



## МАГАТЭ и „зеленая революция“

*Применение ядерных методов  
ведет к большим изменениям как в  
исследовательских лабораториях,  
так и на полях фермеров*

Бьёрн Сигурбьёрнссон и Лео Е. Лалланс

Термин „зеленая революция“ ранее употреблялся только когда речь шла о нескольких высокоурожайных злаковых культурах, созданных в 60-х годах. Выведение этих культур в совокупности с более интенсивным использованием удобрений и пестицидов ознаменовало собой начало революции в производстве продуктов питания, в основном, в странах Азии. Целый ряд стран, хронически испытывавших нехватку продуктов питания, стал обеспечивать себя зерновыми, владеть большими запасами зерна и в конечном итоге экспортировать продукты питания.

При оценке прошлого становится ясным, что это было началом сельскохозяйственной революции, которая в течение двух десятилетий опровергла мрачные прогнозы и предсказания о большом дефиците продуктов питания к 1970 г. Для многих стран мира и в настоящее время характерен серьезный недостаток пищевых продуктов, но в целом это часто объясняется природными катастрофами, политическими факторами и другими причинами, а отнюдь не отсутствием технологии по производству продуктов питания. Темпы прироста продуктов питания превышают темпы прироста населения. Этот поразительный прогресс объясняется, в основном, достижениями в области селекции растений и земледелия на основе чрезвычайно возросших капиталовложений.

С самого начала „зеленой революции“ важная роль принадлежала ядерным методам. Они обеспечили

Г-н Сигурбьёрнссон является директором Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ по использованию атомной энергии (изотопов и излучений) в целях развития пищевой промышленности и сельского хозяйства, г-н Лалланс является заместителем директора Объединенного отдела.

Фото сверху: Радиационно-индуцированный мутант ячменя имеет короткий, прямой и плотный колос.

дополнительный объем исследований и разработок в области сельского хозяйства, что во многих случаях оказалось решающим. Исследования, использующие уникальные свойства радиоактивных и стабильных изотопов для изучения элементов питания растений и животных, значительно расширили наши знания в области физиологии растений и питания сельскохозяйственных культур. Это обеспечило фундаментальную базу для прогресса в земледелии и расширило наши представления в области питания, воспроизводства и диагностики заболеваний животных, что является основными предпосылками для увеличения продуктивности животных.

Ионизирующее излучение оказалось бесценным в усилении генетической изменчивости сельскохозяйственных культур. Оно вызывает как вредные, так и полезные мутации и позволяет селекционерам использовать новые гены и комбинации генов для получения разновидностей сельскохозяйственных культур, обладающих устойчивостью к заболеваниям, лучшей адаптацией к условиям и более высокой урожайностью.

С использованием того же механизма ионизирующее излучение вызывает стерильность насекомых-паразитов, уменьшая их воспроизводство, стерилизует или убивает патогенные микроорганизмы и организмы, вызывающие заболевания и порчу продуктов.

Таким образом, различные применения только одной ядерной технологии или в сочетании с другими новыми технологиями внесли вклад в эту революцию на каждой ступени цепочки по производству продуктов питания, начиная от уровня: почва, вода и семена, далее — развитие растений и животных и обеспечение защиты продуктов, находящихся на хранении, пока они не достигнут стола потребителя. В то же самое время эти методы оказались полезны

ми в исследованиях по защите окружающей среды в связи с чрезвычайно возросшим использованием потенциально вредных химикалий.

#### Участие МАГАТЭ

Вскоре после создания МАГАТЭ в 1957 г. в Агентство был приглашен на работу эксперт по вопросам сельского хозяйства. Он разработал программу сельскохозяйственных исследований, которые выполнялись путем заключения контрактов с организациями, применяющими самые передовые в мире методы по индуцированию мутаций для выведения растений. Пять лет спустя была проведена первая программа координированных исследований с применением изотопных индикаторов с целью оказания помощи азиатским странам, занимающимся выращиванием риса, в области разработки более эффективных методов использования удобрений. Далее последовали другие программы исследований, позволившие устанавливать оптимальные сроки и приемы внесения удобрений для посевов пшеницы и кукурузы и в конечном итоге превратившиеся в очень успешные программы с применением изотопов по повышению уровня фиксации атмосферного азота бобовыми и улучшению ирригации.

В 1964 г. были начаты программы в области энтомологии, животноводства и сохранения продуктов питания. Деятельность лаборатории по оказанию помощи в Зейберсдорфе стала основой всех сельскохозяйственных программ Агентства, и, если рассматривать ее ретроспективно, обеспечила большой успех этих программ в развивающихся странах. (См. статью о Зейберсдорфской лаборатории в этом номере Бюллетеня.)

В том же 1964 г. программа Агентства претерпела существенные изменения, что было сделано в целях обеспечения эффективности и связи программы с развитием исследований в области продовольствия и сельского хозяйства во всем мире. Было подписано соглашение между МАГАТЭ и Продовольственной и

сельскохозяйственной организацией (ФАО) Организации Объединенных Наций о создании Объединенного отдела, отвечающего перед ООН за деятельность в этой сфере. Данные меры обеспечили Агентству непосредственное взаимодействие с сельскохозяйственными исследовательскими организациями, что, в свою очередь, привело к „зеленой революции“.

В данной статье приводится лишь несколько примеров о других достижениях шести секций, входящих в Объединенный отдел ФАО/МАГАТЭ.

#### Растениеводство

Секция селекции и генетики растений разработала эффективные методы мутагенной обработки семян и отдельных частей растений, а также методы оценки воздействия излучения, селекции и испытаний перспективных мутантов. Подготовленное в результате этой работы *Руководство по выведению мутантов* ФАО/МАГАТЭ в течение последних 20 лет используется селекционерами всего мира, что обеспечило большой успех по выведению культур методом индуцированных мутаций.

Уникальность вклада индуцированных мутаций в „зеленую революцию“ заключается в способности устранить недостатки в высокоурожайных и наиболее адаптируемых культурах. Новые лучшие сорта, полученные с помощью метода индуцированных мутаций, непосредственно используются на полях фермеров или для дальнейших программ по выведению растений. Индуцированные мутации проводятся на генотипах многих лучших сортов ячменя, выращиваемого в Европе, твердой пшеницы в Италии, риса, разводимого в Калифорнии, а также некоторых наиболее продуктивных сортов хлебных злаков, выращиваемых в развивающихся странах. Во многих случаях первичная лучевая обработка семян проводится в Зейберсдорфской лаборатории, селекционеры



Слушатели курсов, организованных МАГАТЭ, ФАО и Шведским агентством по международному развитию в 1977 г. в Индии, с большим интересом рассматривают сорт сорго, выведенный методом индуцированных мутаций и обладающий повышенной устойчивостью к болезням.



Бобовые растения, обеспечивающие значительное количество белка для питания миллионов людей, в течение 30 лет находятся в центре внимания программ Агентства по выведению растений. Около 80 улучшенных культурных сортов 13 различных видов, полученных с помощью индуцированных мутаций, было передано фермерам для увеличения поставок продуктов питания.

проходят подготовку в Агентстве, лучшие сорта выведены в результате исследований, проводимых по контракту с Агентством, или в рамках проектов по техническому сотрудничеству. В настоящее время около 1000 разновидностей сельскохозяйственных культур, полученных методом индуцированных мутаций, выращиваются по всему миру на площади в несколько миллионов гектаров. Если подсчитать все сорта, выведенные с помощью мутаций, то их число, по всей видимости, достигнет десятков миллионов. Годовой экономический эффект измеряется в миллиардах долларов.

#### Почва и вода

Изотопы обеспечивают единственный прямой метод для определения питательных веществ, поступающих из почвы и получаемых за счет удобрений. Это позволяет оценить эффективность использования имеющегося источника питательных веществ с целью рекомендаций лучших методов по увеличению эффективности использования дорогих удобрений и в некоторых случаях дать информацию о результатах применения минимальных количеств удобрений, обеспечивающих максимальный рост растений.

При проведении программы координированных исследований девяти развивающихся стран по использованию на участках для выращивания риса удобрений, меченных изотопом фосфора-32, было обнаружено, что внесение фосфатных удобрений на поверхность почвы или в поверхностный слой оказалось в два раза эффективнее внесения удобрений в почву на глубину 10 см между рядами риса. Это открытие позволяет сократить использование удобрений более чем наполовину без потерь урожайности.

Исследования по использованию удобрений, меченных стабильным изотопом азота-15, показали, что

внесение азотных удобрений на глубину 5–15 см в почву дает более высокие урожаи, чем внесение удобрений на поверхность. Данные из 13 развивающихся стран показали, что усвоение растениями азота увеличилось почти на 32 % при внесении на эту глубину, чем при внесении на поверхность. Одна из стран — участниц проекта, применившая основанные на этих результатах рекомендации по внесению удобрений, сообщила, что в течение года была получена экономия в размере 30 милл. долларов США только за счет уменьшения количества используемых азотных удобрений.

Секция плодородия почв, ирригации и возделывания сельскохозяйственных культур Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ совместно с Секцией сельского хозяйства Зейберсдорфской лаборатории разработала методы с применением изотопа азота-15 для отличия биологически фиксированного атмосферного азота в растениях от азота, полученного из почвы.

Было установлено, что существует огромное различие между сортами бобовых культур в их способности фиксирования атмосферного азота. Например, в то время как сорт *Vicia faba* может удовлетворять около 70 % или более своих потребностей в азоте за счет фиксации атмосферного азота, другой сорт *Phaseolus* — обычный сорт пищевых бобов, получает из атмосферы около 30 % или менее азота. Впоследствии соответственно была начата программа координированных исследований для получения в сорте *Phaseolus* более высокой способности фиксации азота, и в настоящее время уже имеются данные, что это возможно. Даже небольшое увеличение способности фиксации азота этим сортом приведет к значительному сокращению использования азотных удобрений во всем мире.

Исследования, проведенные на пастбище в Уругвае, также дают пример возможной экономии: так, включение в состав посевных культур белого клевера обеспечило фиксирование из атмосферы около

120 кг азота на гектар за полгода. Это эквивалентно экономии примерно 250 кг мочевины на гектар, что в пересчете на деньги в течение полугода даст экономию в 73 долл. США на гектар.

### Животноводство

Большинство развивающихся стран, расположенных в районах тропиков и субтропиков, испытывают недостаток в продуктах животноводства, что объясняется скорее не серьезным недостатком количества животных, а значительно меньшей продуктивностью животных по сравнению со странами с умеренным климатом.

Одной из задач Секции животноводства и ветеринарии является увеличение продуктивности животных за счет улучшения питания, способности воспроизводства и диагностики заболеваний в изучаемых районах. Сотрудниками Секции разработаны методы стратегии дополнительного питания, в соответствии с которыми для корма скота используются: местные дешевые пожнивные остатки и животноводческие отбросы (например, кукурузный корм для скота, выжимки сахарного тростника, рыбный тук, птичий помет, обработанная щелочами и аммиаком солома) и побочные агропромышленные продукты (такие как мочевина). Животные получают более сбалансированный рацион сухих веществ, энергии, белка, минеральных веществ и витаминов, в результате чего повышается их продуктивность. Ценность дополнительного питания оценивается методами *in vitro*. Дополнительный материал маркируется такими радиоактивными индикаторами, как углерод-14, фосфор-32, йод-125 или водород-3, пропускается через аппарат искусственного желудка, где изучается его влияние на продукты ферментации желудка, микробиологию и белок до проведения экспериментов на фермах. Такое исследование добавочного рациона питания до внедрения его в качестве экспериментального питания на фермах значительно уменьшает сроки испытаний и затраты.

Для идентификации и измерения гормонов были применены радиоизотопы водорода-3 и йода-125, что облегчило проведение исследований метаболических процессов для повышения воспроизводства животных. Изотопы использовались в разработке радиоиммунных и энзимоиммунных методов, являющихся наиболее эффективными рутинными диагностическими процедурами для случаев нарушения репродукции, терапевтических задач, токсикологической оценки и исследования остатков.

Использование ядерных методов имело большое значение для определения и контроля гормонов, необходимых для переноса эмбриона, введения эмбриона и других приемов по усилению процесса репродукции. Это оказало большую помощь в разработке современных систем животноводства в развитых и развивающихся странах.



Помещение с постоянной температурой и влажностью, где на стеллажах поставлены подносы с диетой для личинок и посевом яиц средиземноморской мухи, которые будут находиться в них в течение 7 дней (полный цикл развития мух). Этот процесс является частью проекта по уничтожению средиземноморской плодовой мухи в Мексике методом стерилизации насекомых.

Радиоизотопы и излучения нашли также широкое применение в диагностике и контроле заболеваний. Секция поддержала предложение о применении излучения для производства вакцин для животных. Наиболее успешной разработкой было использование облученной вакцины против бронхита у рогатого скота, вызванного нематодами — сезонной болезни, которая до создания этой вакцины приводила к большим потерям годовалых животных. Прошло уже 15 лет со времени первого применения вакцины, и ее широкое использование — многие миллионы доз — подтверждает то огромное значение, какое она имеет для фермеров-животноводов.

### Борьба с насекомыми

Секция по борьбе с насекомыми и сельскохозяйственными вредителями, в основном, занимается оказанием помощи странам по практическому применению метода стерилизации насекомых (МСН), как эффективного, недорогого и безопасного для окружающей среды метода по ликвидации насекомых. Основное внимание было обращено на уничтожение средиземноморской плодовой мухи и некоторых видов мухи цеце, являющихся переносчиками трипаносомоза среди животных и людей. Метод стерилизации насекомых (МСН) требует разведения больших количеств насекомых, которые затем стерилизуются гамма-излучением и в больших количествах выпускаются на поля, где они спариваются с дикими насекомыми. Такие спаривания не дают потомства, что ведет к сокращению и в конечном

итоге к исчезновению популяции насекомых. Таким образом, массовое разведение является основным моментом операции. Метод успешно применяется в программах по уничтожению средиземноморской плодовой мухи и мухи цеце во многих развивающихся странах.

При осуществлении проекта в Мексике предполагалось выведение более 500 млн. средиземноморской плодовой мухи в неделю методами массового размножения насекомых, разработанными совместно ФАО и МАГАТЭ. Полученные особи проходили стерилизацию гамма-излучением и выпускались в окружающую среду. Успешное осуществление проекта помогло ликвидировать средиземноморскую плодовую муху в Мексике в течение нескольких лет. В настоящее время стерильные насекомые используются для уничтожения средиземноморской мухи в Гватемале и для защиты территории Мексики от ее повторного вторжения. Получение полноценных урожаев дает экономию в сотни миллионов долларов в год.

Процесс размножения мухи цеце сильно отличается от процесса массового размножения средиземноморской мухи. Мухи цеце дают одно поколение потомства каждые 9–10 дней. Процесс воспроизводства идет очень медленно и количество имеющих мух цеце действительно очень невелико по сравнению с другими насекомыми. Выведение мух сначала проводилось на козах, кроликах и морских свинках. Теперь применяются искусственные мембраны, использующие кровь, собранную на местных скотобойнях. Данная технология прошла испытания в центральной Нигерии, что обеспечило в 1987 г. успешное уничтожение мухи цеце на территории в 1500 км<sup>2</sup>.

### Защита окружающей среды

Секция агрохимикатов направляет свои усилия на увеличение безопасности применения удобрений и пестицидов и снижение вредного влияния их остатков, что, по всей вероятности, является результатом как правильного, так и неправильного использования этих агрохимикатов. В связи с тем, что их внесение в почву в больших количествах было предпосылкой для появления высокоурожайных сельскохозяйственных культур „зеленой революции”, эффективная оценка их использования и значения в агросфере важна для правильного землепользования.

Применение ядерных методов в исследовании остаточных пестицидов показало, что проблема остаточных количеств в тропических странах не является такой серьезной, как ранее предполагалось, при условии соблюдения некоторых основных правил их использования. Высокие средние температуры и влажность, характерные для большинства развивающихся стран, обеспечивают гораздо более высокие скорости рассеяния пестицидов по сравнению со странами с умеренным климатом. Хотя

имеют место несколько усиленные микробиологические нарушения, но в основном, рассеивание обеспечивается простым испарением с поверхности растений и почвы.

В настоящее время Секция играет ведущую роль в определении приемлемости для окружающей среды потенциально вредных, но высокостойких и экономически выгодных пестицидов, таких как ДДТ и линдан. Были проведены координированные исследования, в основном, в тропических районах с целью измерения скорости рассеяния и разрушения ДДТ и аналогичных химикалий. Предварительные результаты показали, что в большинстве районов Кении, Индии и Судана скорости рассеяния ДДТ будут приемлемыми, что, в свою очередь, предотвратит местное накопление остатков в почве, растениях и окружающей среде.

Секция также занимается работами по увеличению эффективности ряда пестицидов, чтобы таким образом снизить количество применяемых химикалий. В качестве примера можно привести соединение такого долгоживущего пестицида, как эндосульфат, с полимерами. Полученный материал используется в качестве ловушек для мухи цеце в тропической Африке. Задача по сокращению популяции мухи выполняется путем привлечения мух к ловушкам, где они получают летальную дозу инсектицидов. Согласно предположениям, можно значительно уменьшить популяцию мухи в долинах рек, не оказывая значительного влияния на местную окружающую среду.

### Планы на будущее

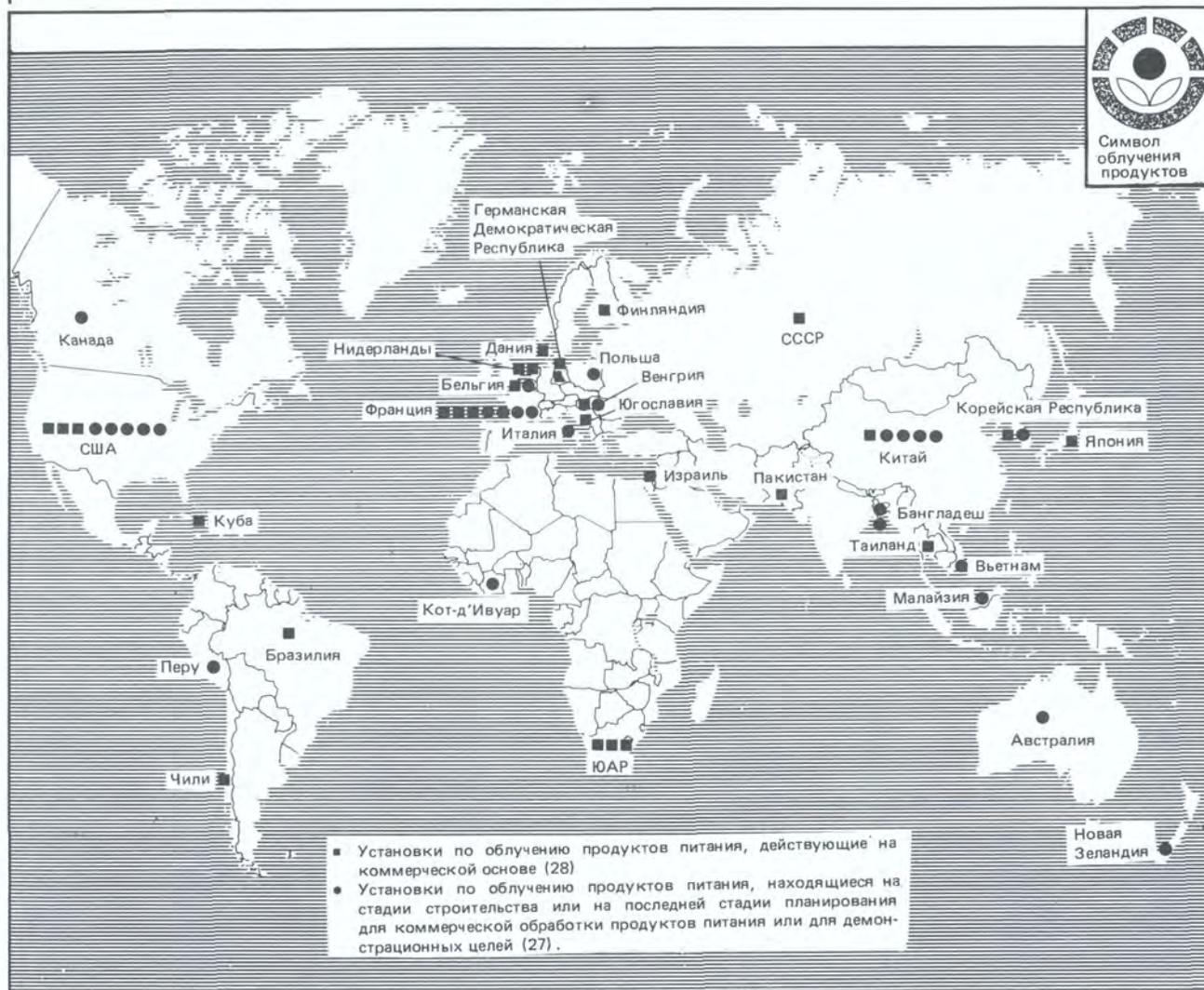
Как и раньше, остаются актуальными задачи по увеличению производства высококачественных продуктов питания. Население мира только что перешагнуло 5-миллиардный рубеж и маловероятно, что темпы прироста населения уменьшатся. Задача на будущее — поддерживать стоимость производства продуктов питания в мире на низком уровне, сокращая количество вносимых удобрений и уделяя большее внимание защите окружающей среды. Дальнейшее повышение продуктивности в растениеводстве и животноводстве требует применения более сложных технологий.

Перспективы, открывающиеся в связи с применением новых биотехнологий и генной инженерии, несомненно ускорят прогресс. Почти любой аспект этих новых технологий связан с использованием изотопных индикаторов или ионизирующих излучений. Ядерные методы постепенно становятся обычными инструментами работы сельскохозяйственных лабораторий развитых стран и некоторых передовых развивающихся стран. Наша цель — помочь другим странам в том, чтобы применение этих методов стало обычным в сельскохозяйственных исследованиях. Ядерные методы очень редко применяются в

чистом виде в исследованиях и разработках. Они все больше используются в качестве интегральной и ведущей составляющей в современной технологии

по увеличению производства продуктов питания и для того, чтобы „зеленая революция” продолжалась и в последующие годы.

Размещение установок по облучению продуктов питания в странах мира



*Использование ионизирующего излучения для сохранения продуктов питания.* Лучевая обработка позволяет снизить потери продуктов питания при хранении и повысить качество поставляемых продуктов. Хотя эти работы не имеют отношения к „зеленой революции”, они, по всей вероятности, будут иметь большое значение для обеспечения поставок продуктов в будущем. В настоящее время положение в этой области следующее:

- В тридцати двух странах одобрено использование на неограниченной основе или с ограничениями 40 видов продуктов, прошедших лучевую обработку.
- В девятнадцати странах введено в действие 25 установок для обработки отдельных видов сельскохозяйственных продуктов на коммерческой основе. Десять других стран проводят строительство или планируют ввод дополнительных установок для обработки продуктов питания и другой продукции. Предполагается, что к 1990 г. по меньшей мере в 25 странах будет находиться в эксплуатации около 50 установок для обработки продуктов питания.
- В результате осуществления объединенного проекта ФАО, МАГАТЭ и Министерства сельского хозяйства Нидерландов создана Международная установка по облучению продуктов питания (IFFIT). В настоящее время на этой установке прошли обучение около 200 ученых и специалистов более чем из 40 стран.
- Международная консультативная группа по облучению продуктов питания (ICGFI), созданная ФАО, МАГАТЭ и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), проводит оценку разработок, осуществляемых во всем мире, предоставляет услуги экспертов и обеспечивает информацией в этой области государства-члены и организации. В состав этой группы входят 26 стран. Они обеспечивают денежные взносы или предоставляют специалистов и оборудование для осуществления разрабатываемых группой программ.