

Исследования и подготовка специалистов в области плодородия почвы, проводимые ФАО и МАГАТЭ в Зейберсдорфских лабораториях Агентства

Ядерная технология в почвоведении и растениеводстве разрабатывается и передается через различные механизмы

Ф. Запата и Г. Хардарсон

Настоящее столетие характеризуется бурным ростом населения на земле. Предполагается, что в 2015 г. население достигнет почти 8 миллиардов человек. В связи с этим отмечается постоянное увеличение потребности в выращиваемых на весьма ограниченных площадях земли продуктах питания, кормах и в биотопливе. Предлагается несколько решений. Для развивающихся стран наиболее перспективным решением на ближайшее будущее является интенсификация сельскохозяйственного производства на обрабатываемых землях путем повышения интенсивности выращивания сельскохозяйственных культур и/или увеличения урожайности.

Интенсификация сельского хозяйства путем „зеленой революции” требует разработки новых технологий и совершенствования агрономической практики. Сюда относятся использование высокоурожайных сортов возделываемых культур, механизация, ирригация и особенно агрохимикаты. При интенсивном сельскохозяйственном производстве возделываемым культурам требуются значительные количества питательных веществ, восполняемых применением удобрений. Однако за последние 10 лет упрочилось понимание того, что „зеленая революция” мало повлияла на положение мелких фермеров в развивающихся странах. Из-за нехватки средств и увеличения цен на сельскохозяйственные машины повышенное внимание стало уделяться анализу и необходимому совершенствованию недорогих систем выращивания культур, а также более эффективному использованию ограниченных средств. Благодаря этому, была рекомендована концепция подходов к системам питания растений, предусматривающая интеграцию всех

источников получения растениями питательных веществ и факторов возделывания культур в продуктивную сельскохозяйственную систему, которая позволяет увеличить плодородие почвы, продуктивность культур и рентабельность. Такая интегрированная система питания растений включает предельно высокую эффективность в использовании имеющихся химических удобрений и максимально возможное применение альтернативных источников питания, таких как органические удобрения, фосфаты и биологическая фиксация азота.

Ядерные методы в почвоведении и продуктивность растений: исторический обзор

С момента создания в 1964 г. Объединенный отдел ФАО/МАГАТЭ по ядерным методам в пищевой промышленности и сельском хозяйстве оказывает в сотрудничестве с Сельскохозяйственной лабораторией МАГАТЭ в Зейберсдорфе содействие в исследованиях, разработках и передаче ядерной технологии в целях оказания помощи странам в создании лучших условий для выращивания культур и скота. Что касается почвоведения и продуктивности растений, то соответствующие исследования проводились в рамках координированных исследовательских программ и проектов технического сотрудничества, осуществляемых Секцией плодородия почвы, ирригации и выращивания культур Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ. Изотопы используются в качестве индикаторов, например, для определения количества и движения питательных веществ, особенно из удобрений в растении и почву. Радиационные методы с использованием таких приборов, как нейтронные влагомеры и гамма-зонды плотности, дают возможность следить за влажностью и определять изменения в объеменом весе почвенных профилей надежным неdestructивным способом, экономя при этом время, силы и деньги.

Г-н Запата – руководитель, а Г-н Хардарсон – сотрудник Группы почвоведения в Зейберсдорфских лабораториях



Имеющиеся у Группы почвоведения современные приборы (такие как автоматический азотный анализатор, спаренный с анализатором соотношений стабильных изотопов) позволяют обеспечить повышенную пропускную способность в отношении образцов при предоставлении обычных аналитических услуг в поддержку полевых проектов по Совместной программе ФАО/МАГАТЭ.

Изотопы и эффективность использования удобрений

Хорошо известно, что сельскохозяйственные культуры реагируют на применение удобрений в большинстве почв. Для сохранения и увеличения плодородия почвы, необходимого для высокой продуктивности, требуется регулярное внесение удобрений. Примерно 50 %-ное увеличение урожая зерна хлебных злаков достигнуто за счет удобрений. Из 130 миллионов тонн удобрений, внесенных в почвы в 1984–1985 гг., на азот (N) приходится 54 %, на фосфор (P) – 26 % и на калий (K) – 20 %. В 1985 г. развивающиеся страны использовали 48 миллионов тонн удобрений стоимостью примерно 4950 млн. долл. США. Это составило 38 % от общего применения удобрений. За период 1980–1985 гг. использование удобрений в развивающихся странах увеличивалось на 6 % ежегодно, в то время как в развитых государствах оно росло за тот же период лишь на 1,8 %. Для удовлетворения мировых потребностей в продовольствии применение азотно-фосфорно-калиевых удобрений должно увеличиться в течение последующих 20 лет в 4–5 раз. Такое увеличение – показатель роли удобрений в обеспечении питания возрастающего населения земли.

Сельскохозяйственная культура принимает лишь часть вносимого в почву удобрения. Остальное либо остается в почве, либо теряется в результате выщелачивания, физического вымывания, фиксации почвой и/или выхода в атмосферу вследствие химических и микробиологических процессов. Поэтому необходима информация об относительных преимуществах различных видов практического использования удобрений, таких как методы внесения удобрений, время их внесения и их источники. Такая информация поможет достичь максимально эффективного и экономного использования удобрений и тем самым сократить стоимость производства.

Наилучшее сочетание практических приемов вне-

сения удобрений (норма, размещение, время и источник) может быть установлено для отдельных систем земледелия путем проведения полевых экспериментов в различных экологических условиях (почва и климат). Применяемые для этой цели классические методы являются непрямыми, так как они основываются на определении разницы в урожайности в зависимости от внесения удобрений. Эксперименты с использованием удобрений, меченых стабильными и радиоактивными изотопами, являются прямым и быстрым путем получения окончательных ответов на вопросы, где, когда и в каких формах должны вноситься удобрения. В течение 20 лет в некоторых координированных программах ФАО/МАГАТЭ по рису, кукурузе и пшенице широко применялись в таких экспериментах удобрения, меченные изотопами ^{32}P и ^{15}N . Изотопные методы предусматривают внесение под культуру меченого удобрения и определение в ней процента питательного элемента, полученного от удобрения. К счастью, многие изотопы могут использоваться в качестве индикаторов в изучении взаимосвязей почва–растение и в других связанных с этим исследованиях. Группа почвоведения в Зейберсдорфских лабораториях МАГАТЭ играла основную роль в осуществлении этих программ, разрабатывая изотопные методы, предоставляя аналитические услуги и передавая эту технологию государствам-членам путем подготовки для них специалистов. Принятие такой усовершенствованной практики внесения удобрений во многих странах мира позволило экономить удобрения на много миллионов долларов ежегодно.

Изотопные методы позволяют также быстро и надежно получать информацию о распространении активных корней, расположении зон с наивысшей плотностью поглощающих корней и о том, как эти данные меняются со сменой сезонов. Внесение удобрений близко к зоне с наивысшей активностью



Вспомогательные исследования и подготовка стипендиатов ведутся Группой почвоведения в поддержку программ координированных исследований по использованию фиксирующих азот деревьев для восстановления и сохранения плодородия почвы.

корней и в то время, когда они наиболее активны, имеет значение для определения рациональной практики использования удобрений на плантациях древесных культур. Для определения распространения корней различных древесных культур, имеющих для развивающихся стран экономическое значение, был разработан и использовался метод инъекции в почву меченого фосфором-32 фосфатного раствора. В Зейберсдорфских лабораториях были разработаны детали экспериментов с такой инъекцией и методы отбора проб в целях уменьшения ошибок при проведении экспериментов. Лаборатории поддержали осуществление этой программы, изготовив и предоставив тысячи ампул с раствором, меченым фосфором-32.

Радиация и использование водных ресурсов

Вода, являющаяся поставщиком минеральных питательных веществ, оказывается во многих районах мира одним из основных факторов, ограничивающих сельскохозяйственное производство. Поэтому необходимо разработать соответствующие методы наилучшего использования атмосферных осадков в условиях сухого земледелия или увеличить эффективность использования воды на орошаемых землях. В связи с этим проводились исследования по радиационным методам с применением таких приборов, как нейтронные влагомеры и гамма-зонды плотности, в целях совершенствования практики использования воды в засушливых и полузасушливых районах.

Для определения условий, при которых культуры наилучшим образом используют такие дорогостоящие вещи, как производимые промышленностью удобрения и ирригация, проводились исследования по эффективности применения воды и удобрений в орошаемом и неорошаемом земледелии в полузасушливых районах.

Методы изучения альтернативных источников питательных веществ

Неорганические удобрения могут быть в некоторой мере заменены другими источниками питательных веществ, имеющимися на местах или менее дорогостоящими. Лишь некоторые растения, например, бобовые и несколько других семейств в симбиозе с соответствующими организмами способны непосредственно использовать атмосферный N_2 . Этот процесс назван биологической фиксацией азота (БФА). Экономия азота в почвах и растениях, благодаря надлежащим образом регулируемым системам фиксации N_2 , представляется наиболее обнадеживающей альтернативой в деле дополнения химического азотного удобрения в агроэкосистемах.

За последние десять лет несколько исследовательских программ ФАО/МАГАТЭ были посвящены измерению и усилению природного процесса биологической фиксации азота, особенно симбиотической фиксации N_2 бобовыми культурами в различных системах. Кроме того, осуществляемые в настоящее время программы сконцентрированы на повышении как урожайности, так и уровня фиксации азота в зернобобовых с помощью интегрированного подхода.

Измерение количества N_2 , фиксируемого в полевых условиях, — основное требование к любой программе, имеющей целью максимизировать БФА. Из многих имеющихся методов метод с использованием изотопа ^{15}N наиболее надежен в определении количественных и интегрированных величин азота, фиксируемого в природных и сельскохозяйственных системах. Это — единственный метод, позволяющий определить относительные доли азота почвы, удобрения и атмосферы в общем количестве азота, содержащегося в растении семейства бобовых. В настоящее время он получил широкое признание в мире как наиболее практичное и полезное средство создания максимально благоприятных условий выращивания культуры с помощью БФА.

Метод с изотопом ^{15}N для количественного определения содержания азота, биологически фиксируемого выращиваемыми в полевых условиях бобовыми, был в основном разработан Сельскохозяйственной лабораторией в Зейберсдорфе и затем применен к другим фиксирующим N_2 системам, таким как пастбища и древесные бобовые, актиноризальные деревья и *Azolla*.

Фосфориты также являются важным потенциальным источником фосфора во многих странах. Непосредственное применение тонко измельченного фосфорита из местных фосфатных месторождений может быть самым дешевым источником фосфора для выращивания культуры на засушливых почвах тропиков. Лаборатория разработала также методы с использованием изотопа ^{32}P для оценки наличия фосфора в местных фосфоритах. Эти методы применяются в рамках программы ФАО/МАГАТЭ по агрономической оценке природных фосфоритов в связи с проектами программы ФАО по удобрениям. Настоящие исследования фокусируются на определении генотипных различий у деревьев, фиксирующих азот, в поглощении ими фосфора из фосфоритов с целью максимизировать фиксацию азота и увеличить плодородие почвы.

Поддержка Зейберсдорфской лаборатории МАГАТЭ

Группа почвоведения Зейберсдорфских лабораторий Агентства оказывает неоценимую поддержку исследованиями и разработками программам координированных исследований (ПКИ) и полевым проектам технического сотрудничества, координируемым Секцией плодородия почв, ирригации и выращивания культуры Объединенного отдела МАГАТЭ и Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО). Эта группа играет главную роль в разработке и передаче ядерной технологии в области почвоведения и продуктивности растений с начала осуществления (1964 г.) программы Объединенного отдела.

Вспомогательные исследования. Проводимые группой исследования охватывают широкий круг проблем, которые можно разделить на две области:

Первая область исследований касается проблем восстановления плодородия почвы путем биологической фиксации азота как средства повышения продуктивности растений. Проводимые в поддержку ПКИ исследовательские работы по деревьям, фиксирующим азот, с целью восстановления и сохранения плодородия почвы включают в себя генетическую изменчивость у древесных видов в образовании клубеньков и фиксации азота; отбор эффективных микроорганизмов (*Rhizobium Frankia*) древесных видов и технологию прививки; изотопные методологические исследования по измерению фиксации азота у деревьев; влияние экологических факторов (почва и климат) на образование клубеньков и фиксацию азота у древесных видов; влияние практических приемов регулирования фиксации азота у древесных видов; отбор штаммов *Rhizobium* для эффективной фиксации азота в тропических зернобобовых деревьях и движение штаммов *Rhizobium* в ризосфере зернобобовых деревьев.

Продолжаются исследования в поддержку ПКИ и программ технического сотрудничества по биологической фиксации азота зернобобовыми. Эти ис-

Симпозиум ФАО/МАГАТЭ в 1990 г. по использованию стабильных изотопов

В октябре 1990 г. МАГАТЭ и ФАО организуют крупное научное мероприятие – международный симпозиум по использованию стабильных изотопов в исследованиях питания растений, плодородия почвы и окружающей среды. Стабильные изотопы применялись ранее в геологических науках. Благодаря последним инструментальным разработкам и новаторским исследованиям с использованием различных стабильных изотопов, получило широкое распространение их применение в естественных науках, сельском хозяйстве и экологических исследованиях.

Симпозиум организуется с целью содействия обмену научной информацией и основными достижениями в этих важных областях. Предполагается, что его участники помогут определить новые области исследований, возможные виды применения и средства разработки и передачи таких технологий, конечная цель которых состоит в обеспечении развития устойчивого и экологически здорового сельского хозяйства.

Симпозиум состоится в Вене, Австрия, с 1 по 5 октября 1990 г. Дополнительную информацию можно получить в Секции плодородия почв, ирригации и возделывания культур Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ.

следования потребовали дальнейшей разработки методологии использования изотопа ^{15}N для количественного определения биологической фиксации азота в полевых и тепличных условиях, а также экологических исследований ризобии, клубеньковых бактерий, в ризосфере зернобобовых. Лаборатория проводила работы по количественному определению фиксации N_2 с помощью различных подходов с применением изотопа ^{15}N , влиянию прививок на движение ризобии в ризосфере, образованию клубеньков и фиксации N_2 соевыми бобами, обычными бобами и древесными бобовыми и влиянию экологических стрессов, таких как засуха, засоление почвы и кислотность, на фиксацию азота в зернобобовых.

• Вторая область исследований имеет целью повышение продуктивности соленых, кислых и других испорченных почв. Исследовательские работы проводятся в поддержку двух ПКИ в этой области: (1) использование ядерных методов для повышения продуктивности культур в засоленных почвах и (2) повышение и стабилизация продуктивности растений в малофосфатных полусушливых и неувлажненных почвах тропиков и субтропиков.

Вспомогательные исследования фокусируются на генотипах растений, высокоэффективных при использовании ресурсов по малозатратной технологии: первоначальный отбор и полевые испытания генотипов растений, применимых к некоторым испорченным почвам (соленым или кислым, например) или почвам с высокой эффективностью поглощения и использования воды и питательных веществ; корневая биология и эффективное использование почвенных ресурсов (вода и питательные вещества). Изотопные методы применяются для изу-

чения поглощения (корневые параметры) и использования ресурсов в растении (физиологические параметры).

Все эти исследовательские проекты имеют большое значение не только для устойчивости сельского хозяйства, но и для восстановления и сохранения плодородия почвы и повышения продуктивности растений.

Направления будущих исследований

Основное внимание в будущих программах будет по-прежнему сосредоточено на использовании ядерных методов в развитии устойчивого сельского хозяйства. В декабре 1988 г. на совещании консультантов обсуждался вопрос о применении таких методов в молекулярной биологии и современной биотехнологии в рамках настоящих и будущих программ Секции почв МАГАТЭ. Консультанты рекомендовали начать работы в этой области и указали на то, что Секция могла бы внести уникальный и очень важный вклад в развитие работ по испытанию DNA главным образом в микробной экологии, что расширило бы существующие программы по регулированию фиксации азота древесными бобовыми и зернобобовыми в развивающихся странах.

Участники исследовательской группы Объединенной программы ФАО/МАГАТЭ (28 ноября – 2 декабря 1988 г.) также рекомендовали повысить внимание к проблемам эффективного использования водных ресурсов и методам обеспечения и повышения их качества. Во многих развивающихся странах производство продуктов питания в значительной мере ограничивается неэффективным использованием воды и неумением надлежащим образом обеспечить ее качество. Серьезную озабоченность вызывает воздействие на рыболовство и на животный мир воды, загрязненной сельским хозяйством и почвенными отложениями. Устья рек, озера и континентальные шельфы становятся непродуктивными. Такая ситуация чревата серьезными экономическими последствиями и угрозой здоровью людей.

Учебная деятельность

Вместе со вспомогательными исследованиями Группа почвоведения в Зейберсдорфе постоянно ведет подготовку специалистов, организуя учебные курсы и обучение стипендиатов в области применения ядерной технологии в почвоведении и продуктивности растений. Преобладание учебной деятельности в области почвоведения основывается на исторически утвердившихся исследованиях и разработках.

• **Учебные курсы.** Начиная с 1978 г. в Зейберсдорфских лабораториях ежегодно проводятся межрегиональные учебные курсы по применению изотопных и радиационных методов в исследованиях взаимосвязей почва–растение. Кроме того, в 1985 и в 1986 гг. были проведены двое специализированных курсов по биологической фиксации азота. Учебные курсы длятся обычно 4–8 недель и рассчитаны примерно на 20 участников. Для ученых из развивающихся стран, активно работающих по таким проблемам почвоведения, как плодородие почвы, питание растений, биологическая фиксация

Учебное пособие по использованию ядерных методов в исследованиях взаимосвязей почва–растение

В настоящее время МАГАТЭ готовит учебное пособие, охватывающее все аспекты применения ядерных методов в исследованиях плодородия почвы и питания растений. Оно заменит и обновит ранее издававшиеся учебные пособия (1964 г., 1976 г.) и включит в себя имеющиеся специальные знания по проблемам, предусмотренным Совместной программой ФАО/МАГАТЭ. Основные разделы пособия:

- Стабильные и радиоактивные изотопы
- Методы определения ^{15}N
- Изотопные методы в изучении плодородия почвы и питания растений
- Использование методологии с радиоизотопом ^{15}N для оценки биологической фиксации азота
- Фотосинтез и продуктивность культур
- Использование нейтронных водяных манометров и гамма-плотномеров в изучении почвенных вод

Учебное пособие имеет целью помочь молодым ученым из развивающихся стран использовать ядерные методы в улучшении питания растений и тем самым в увеличении производства продуктов питания в их странах. Дополнительную информацию можно получить в Секции плодородия почв, ирригации и возделывания культур Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ или в Группе почвоведения лабораторий МАГАТЭ, A-2444, Seibersdorf, Austria.

азота, эффективность использования воды и практика ирригационных работ, организуется повышенная подготовка по применению стабильных и радиоактивных методов. Крупным новшеством стали проведенные в 1988 г. в Зейберсдорфе учебные курсы по изучению корневых систем с применением ядерных и других методов.

Группа почвоведения в Зейберсдорфе, располагающая специальными знаниями и ресурсами, поддерживает региональные и национальные учебные курсы и другие виды подготовки специалистов. Она готовит персонал для различных центров, разрабатывает программы соответствующих учебных курсов, читает лекции и предоставляет учебные материалы (учебники, брошюры и видеофильмы).

• **Обучение стипендиатов.** Группа почвоведения активно занимается также обучением стипендиатов, в котором она видит эффективный путь передачи развивающимся странам результатов своих исследований и разработок. Ежегодно 10 стипендиатов МАГАТЭ проходят обучение сроком от 3 до 12 месяцев, что составляет примерно 55 человеко-месяцев.

Имеются две категории стипендиатов: *стипендиаты-аналитики*, принимаемые на короткие сроки от 2 до 4 месяцев и изучающие изотопные аналитические методы, используемые в исследованиях почва–растение. Эта форма обучения предусматривает техническое руководство подготовкой и практические занятия. Особое внимание уделяется конкретным методам, относящимся к исследованиям, проводимым по проектам технического сотрудни-

Учебная деятельность Группы почвоведения Зейберсдорфских лабораторий



Группа почвоведения в Зейберсдорфе подготовила на курсах за период 1978–1988 гг. 243 специалиста из 72 государств-членов и 90 стипендиатов-ученых за период 1962–1988 гг. в объеме 635 человеко-месяцев.

чества (например, аналитические методы с изотопом ^{15}N на основе спектрометрии излучения). По мере возможности такие учебные группы в составе 2–4 стипендиатов организуются один-два раза в год. *Стипендиаты-исследователи*, принимаемые на срок от 6 до 12 месяцев и работающие по какой-либо проблеме в рамках исследовательской программы Группы. Этим стипендиатам обеспечивается руководство по стратегии экспериментов и применению изотопов и методов, относящихся к конкретной области исследований, которой стипендиат будет продолжать заниматься по возвращении в свою страну. Стипендиат обязан завершить и описать часть проводимой им исследовательской работы. Ему предоставляется возможность работать с применением ядерных методов с целью решения конкретной исследовательской проблемы.

Кроме того, Группа почвоведения принимает лиц, прибывающих с согласия Агентства в лабораторию МАГАТЭ на 1–2 недели для ознакомления с последними достижениями в интересующих их областях почвоведения. Для стипендиатов-ученых имеется также возможность пройти подготовку на рабочих местах в порядке бесплатного интерна.

Вспомогательные услуги

В поддержку созданных по координированным исследовательским программам Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ международных/региональных сетей группа предоставляет требуемые аналитические услуги в отношении образцов растений, почвы и водных удобрений по более чем 100 исследовательским контрактам на работы по различным программам. За последний год было проведено около 15000 изотопных и других анализов. Кроме того, развешены и отправлены участникам

этих ПКИ меченные изотопом ^{15}N удобрения, необходимые для выполнения запланированных экспериментов.

Группа предоставляет также необходимую аналитическую поддержку лабораториям развивающихся стран, получающих техническую помощь МАГАТЭ и не имеющих соответствующих аналитических средств.

Группа занимает лидирующее положение в разработке новых изотопных измерительных методов и оборудования и в совершенствовании уже используемых. Эти разработки применяются в проектах МАГАТЭ по технической помощи. Например, группа разработала и смонтировала металлические вакуумные линии для подготовки образцов к анализу с изотопом ^{15}N на основе спектрометрии излучения. Она поставляет эти линии для соответствующих проектов технического сотрудничества, осуществляемых в государствах-членах.

Распространение научно-технической информации

Секция плодородия почв, ирригации и возделывания культур проявила при поддержке Группы почвоведения высокую активность в публикации сообщений о крупных достижениях в осуществлении координированных исследовательских программ и о имеющих практическую ценность результатах выполнения проектов технической помощи.

Основные результаты выполненных группой вспомогательных исследований публикуются также в научных журналах. Примерно 10–15 научных докладов публикуются ежегодно в аналитических журналах.

Группа также активно участвует в подготовке учебных материалов (учебники и специальные видеофильмы).

