

Атомы в сельском хозяйстве: Ядерные методы в исследованиях «контролируемого применения» пестицидов

По проектам ФАО / МАГАТЭ в Зейберсдорфских лабораториях ведется разработка более эффективных, безопасных и экологически менее вредных пестицидов

Мансур Хуссейн

Традиционно проблема борьбы с сельскохозяйственными вредителями решалась путем разработки новых, более действенных пестицидов. Однако использование пестицидов часто не дает желаемого биологического эффекта из-за неспособности добиться доставки пестицида к месту назначения в оптимальных количествах и в точно определенное время.

При внесении пестицида основная часть его теряется, не достигнув цели. Потери происходят из-за физических факторов, отвлекающих его от места применения, и вследствие химического распада. Физические потери вызываются испарением, стеканием с поверхностного покрова животных, растений или почвы, связыванием в почве или выщелачиванием. Химический распад может быть результатом фотораспада, гидролиза или биомиграции в микроорганизмах. Таким образом некоторые пестициды разрушаются быстро, тогда как другие характеризуются большей устойчивостью и могут перемещаться от пункта внесения, вызывая возможные вредные побочные эффекты и загрязнение окружающей среды.

В результате возросшей общественной озабоченности, вызванной потенциальной опасностью

стойких пестицидов для здоровья человека и окружающей среды, возникла необходимость повысить внимание к методам исключения стойких композиций и разработки менее стойких пестицидов, обладающих более высоким селективным действием. Стоимость разработки нового пестицида значительно возросла и в настоящее время может достигать до 20 млн.долл. США или выше. Эти расходы, в свою очередь, ложатся на потребителя. В то же время менее стойкие пестициды требуют повышения частоты их применения, и их использование может потребовать чрезвычайно высоких расходов, особенно для развивающихся стран.

Принципы контролируемого применения пестицидов

Признавая серьезность проблем, связанных со стоимостью и ограничениями в разработке новых пестицидов, промышленность и ученые обратились к разработкам по улучшению доставки пестицидов, как новых, так и уже используемых. Эффективным путем сокращения потерь пестицидов и их попадания в окружающую среду является технология контролируемого применения. При использовании этого метода пестицид и его носитель (обычно это полимерная структура) соединяются таким образом, чтобы обеспечить доставку пестицида к объекту применения в контролируемых количествах за определенный отрезок времени.

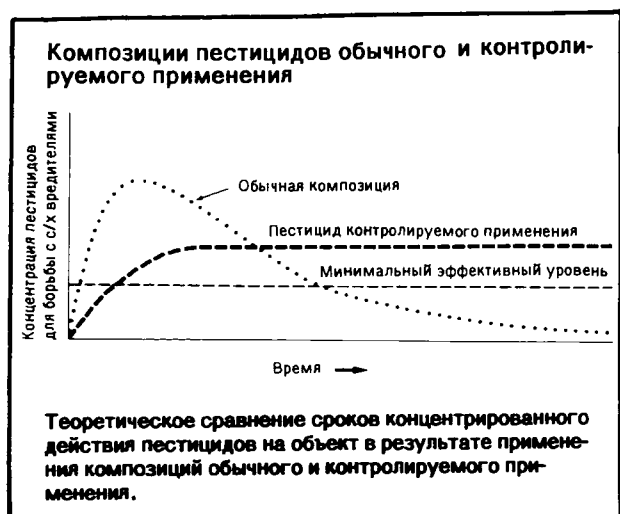
Г-н Мансур Хуссейн руководит Радиохимической секцией в Зейберсдорфских лабораториях под Веной.

Для природы не является новым контролируемое распространение пестицидов из подверженных биораспаду субстанций. Для многих высших растений характерна система противодействия росту окружающей растительности, основанная на явлении, известном как „аллелопатия“. Например, отсутствие сорняков вокруг клюквы приписывается гербицидным соединениям, образуемым в листьях и попадающим на поверхность почвы путем выщелачивания с водой при затоплении клюквенных болот в период паводка. Естественные механизмы вырабатывают неактивные глюкоиды, обладающие фитотоксичными свойствами. Поэтому для достижения необходимого гербицидного эффекта требуется дальнейший гидролизный распад. Все это свидетельствует о существующем в природе механизме использования подверженных биораспаду систем для поддержания химических концентраций, обладающих фитотоксичными свойствами.

Концепция контролируемого применения биологически активных ингредиентов успешно разрабатывалась фармацевтической промышленностью в течение последних трех десятилетий для обеспечения безопасного и эффективного использования лекарств и медицинских средств.

Технология контролируемого применения пестицидов дает возможность повысить их эффективность путем уменьшения потерь из-за попадания в окружающую среду. Потерянное в окружающей среде количество восполняется внесением определенной композиции пестицида и носителя до достижения равновесия (см. график). Цель заключается в доставке пестицида к объекту применения в постоянных эффективных концентрациях в течение определенного отрезка времени. Композиция должна быть эффективной на протяжении периода вызревания урожая, но не должна переходить на следующий урожай в неприемлемых размерах.

В обычном случае пестицид высвобождается в течение короткого отрезка времени в целях получения концентраций, превышающих оптимальный уровень. По мере попадания пестицида в окружающую среду его эффективное количество так же быстро уменьшается, пока не упадет ниже минимального эффективного уровня. При этом поддержание эффективных уровней в дальнейшем достигается лишь за счет повторных вводов пестицида.



Пестицид может физически удерживаться в инертной массе, такой, например, как полимер, или может быть с ней химически связан. В системе контролируемого применения пестицид может высвобождаться различными путями, включая диффузию, эрозию, гидрацию, гидролиз, биораспад,

Композиции пестицидов контролируемого применения

Композиции пестицидов контролируемого применения можно разделить на четыре основных типа:

Резервуар с полимерной мембраной. К этому типу относятся микрокапсулы и микрослойные композиции.

- **Микрокапсулы** приспособлены для распыления и обычно имеют диаметр в диапазоне 5–50 микрон. Они состоят из пестицида в виде жидкой сердцевинки, окруженной пленкой из полимера (1).

- **Микрослойные композиции.** Это система сэндвичного типа, в которой активный агент заключен в центральном резервуарном слое, который покрыт сверху и снизу двумя защитными слоями (2).

Матрица, содержащая физически связанный пестицид. В этом случае пестицид рассеян или растворен в полимерной матрице. Материалом матрицы может служить резина, поливинилхлорид (ПВХ), гипсовосковая смесь, полиэфирные и акриловые смолы, поливинил ацетат (ПВА), целлюлоза, крахмал и желеобразные образования, такие как альгинат и лигнин (3).

Ковалентно связанные пестициды. В этой системе пестицид включается в структуру полимера и высвобождается путем гидролиза. Дополнительной полимеризацией в эту структуру могут также быть включены пестициды, содержащие мономеры (4).

Системы пестицидных гранул в оболочке. Глиняные или другие минеральные гранулы с диаметром около 1 мм заполняются пестицидом и покрываются оболочкой из полимерной пленки, которая контролирует высвобождение пестицида (5).

Композиции пестицидов контролируемого применения дают ряд преимуществ:

- Срок эффективного действия нестойких пестицидов может быть продлен.

- Композиции контролируемого применения позволяют использовать гораздо меньшее количество пестицидов за одинаковый активный период, что приводит к уменьшению отходов и сокращению числа применений.

- Потери из-за действия факторов окружающей среды (испарения, фотолиз, выщелачивание водой, распад от влияния химических и микробиологических факторов) могут быть сокращены. Это дает экономии расходов на приобретение активного агента.

- Уменьшается загрязнение окружающей среды.

- Уменьшается токсичное действие на объекты, не подлежащие действию пестицида, — растения, животные, птицы, рыбы и другие организмы.

- Пестициды могут быть лучше нацелены на нужные участки и их эффективность может быть повышена.

- Композиции контролируемого применения более безопасны для обслуживающего персонала и всех, кто вступает в контакт с пестицидами.

Технология имеет ряд недостатков, в том числе:

- Возможная потребность в специальном оборудовании для применения некоторых композиций.

- Возможное повышение стоимости из-за расходов на специальные разработки и более дорогостоящие инертные ингредиенты.

механический разрыв и т.п. Скорость высвобождения зависит от характера используемой системы контролируемого применения, конкретного механизма высвобождения пестицида и его физических свойств.



Жидкостный сцинтилляционный счетчик используется для измерения радиоактивности пестицида.

Радиоактивные метки в исследованиях пестицидов

Радиоактивные метки давно используются для исследований пестицидов. Этот метод является одним из наиболее точных и надежных инструментов в руках специалиста по химии пестицидов и обычно используется для количественного и качественного анализа пестицидов и продуктов их распада.

Разработка композиций пестицидов для их контролируемого применения требует в качестве первого шага изучение скорости выделения активного агента в предназначенную для него среду (например, в воздух, воду и/или почву). Эта информация необходима для модификаций композиций с целью получения соответствующих характеристик высвобождения. Наибольшая эффективность пестицида достигается при оптимальной скорости его высвобождения. Количество пестицида, высвобождаемого в различные компоненты окружающей среды (почву, воду, растения, рыбу и т.д.), может определяться путем периодических анализов репрезентативных образцов. Образцы можно анализировать с использованием обычных аналитических или радиоаналитических методов. Радиоаналитические методы являются более чувствительными и быстрыми, поскольку образцы при этом в меньшей степени нуждаются в обработке.

В сложной агроэкологической системе, когда при борьбе с конкретным вредителем не должны поражаться другие организмы, скорость высвобождения пестицида из композиции может быть решающим фактором. Например, при борьбе с сорняками в агроэкологической системе рис/рыба желательно, чтобы сорняки уничтожались без ущерба для рыбы. Многие гербициды при применении в обычных композициях в достаточно высоких дозах для уничтожения сорняков токсичны также и по отношению к рыбе. Однако в композициях для контролируемого применения гербициды высво-

бождались бы в количествах, достаточных для уничтожения намеченных сорняков, но без ущерба для рыбы или других объектов. Для достижения желаемой скорости высвобождения пестицидов необходимо искусное манипулирование их композициями. Высвобождение пестицида из композиции в намеченную среду, такую как вода, поддается точному измерению при использовании пестицидов, меченных радиоактивным изотопом, таким как тритий, углерод-14, фосфор-32 или хлор-35. Концентрация связанной с выделением пестицида радиоактивности измеряется жидкостным сцинтилляционным счетчиком.

Для такого рода анализов можно также использовать обычные методы аналитической химии, такие как хроматография. Однако часто, прежде чем подвергнуться хроматографическому анализу, образцы требуют „очистки“. Наличие остатков невысвобожденных пестицидов можно быстрее установить путем сжигания носителя в атмосфере кислорода до получения двуокиси углерода-14, количество которого можно измерить. Напротив, не всегда возможно полностью извлечь остатки пестицидов, не меченных радиоактивной меткой, чтобы провести анализ обычными аналитическими методами. В большинстве анализов обычные хроматографические и радиоаналитические методы взаимно дополняют друг друга.

В дополнение к определению скорости высвобождения исследуются и другие вопросы, связанные с разработкой приемлемых пестицидных композиций, в том числе:

- стабильность композиций при ожидаемых условиях окружающей среды и при хранении;
- судьба высвобожденного пестицида в почве, воде и в других компонентах окружающей среды;
- поглощение высвобожденного пестицида, его распределение в живых организмах и изменение в

уровнях остатков в результате меняющейся скорости высвобождения.

Использование ядерных методов может способствовать успеху этих исследований.

Исследования при поддержке ФАО/МАГАТЭ

Объединенный отдел ФАО/МАГАТЭ по использованию ядерных методов в пищевой промышленности и сельском хозяйстве с 1983 г. был спонсором международных программ координированных исследований по разработке пестицидов контролируемого применения. В этих проектах принимали участие институты Китая, Венгрии, Индии, Индонезии, Малайзии, Пакистана, Филиппин, Таиланда, Танзании, Бельгии, ФРГ, Великобритании и США.

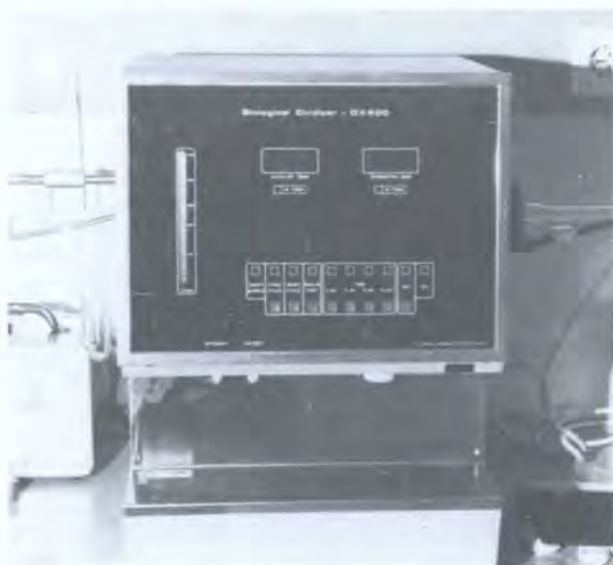
Были также испытаны композиции пестицидов для различных агроэкологических систем, в том числе альгинатные композиции ДДТ, дильдрин и эндосульфанные инсектициды; композиции инсектицида карбофурана в сочетании с несколькими носителями, подверженными биораспаду, включая натрозол, латекс, альгинат и крафт-лигнин, и композиции пиретроидных инсектицидов—дельтаметрина, альфациперметрина и цифлутрина. Аналогичным образом были подготовлены и испытаны композиции нескольких гербицидов для борьбы с сорняками, включая альгинат, натрозол или основанные на латексе композиции бутахлора 2,4-D, дихлобенла, тербутрина и тиобенкарбовых гербицидов.

Результаты этих исследований ясно указывают на возможность разработки потенциально полезных композиций некоторых из испытанных пестицидов, что может привести к получению более действенных, безопасных и экологически менее вредных сочетаний пестицидов, уже широко используемых как в развитых, так и в развивающихся странах.

В настоящее время Секция агрохимикатов Объединенного отдела ФАО/МАГАТЭ имеет программу координированных исследований на тему „Разработка композиций пестицидов контролируемого высвобождения с использованием ядерных методов“. Этот проект был начат в 1988 г. и состоит из двух компонентов: один из них связан с разработкой композиций для инсектицидов по борьбе с мухой цеце, а другой — с разработкой композиций гербицидов для борьбы с сорняками на рисовых плантациях и в экосистемах рис/рыба. Девяти институтам развивающихся стран были предоставлены исследовательские контракты и с тремя институтами Великобритании и США заключены исследовательские соглашения.

Борьба с мухой цеце. В некоторых районах Африки используются покрытые инсектицидами экраны, чтобы держать популяции мух под контролем и не допускать их проникновения в незараженные районы. Однако, поскольку экраны находятся на открытом воздухе, покрывающие их инсектициды пропадают из-за фотолиза, выщелачивания под действием дождевой воды и из-за других внешних воздействий. В результате требуется повторная обработка экранов, что приводит к снижению эффективности контроля и его удорожанию. Целью исследований Агрохимической секции является разработка и отбор композиций инсектицидов, способных продлить срок действия экранов. Защи-

Остатки радиоактивно меченных пестицидов в композициях контролируемого применения можно определить путем сжигания в атмосфере кислорода до двуокиси углерода-14,





Проводятся исследования по разработке композиций инсектицидов для использования в борьбе с мухой цеце. На фото — экран для привлечения мухи цеце с нанесенным радиоактивно меченным инсектицидом помещен под ультрафиолетовую солнечную лампу «Осрам»; биоанализ экрана, покрытого инсектицидом.

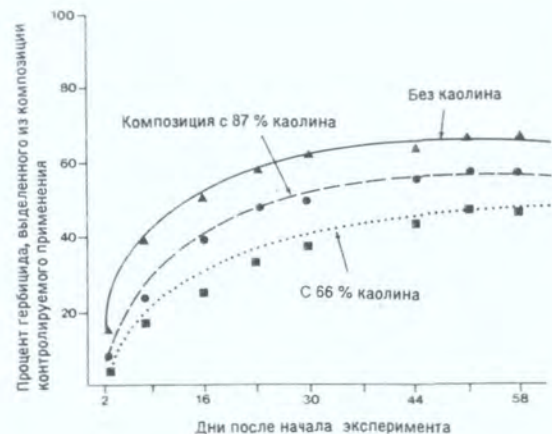


та инсектицидов от действия ультрафиолетового излучения солнца является наиболее важной задачей, поскольку самые эффективные для применения против мухи цеце инсектициды в то же время наиболее чувствительны к ультрафиолетовому излучению.

Использование инсектицидов, меченных углеродом-14, и ядерных методов дало возможность продемонстрировать, что добавление к композициям инсектицидов некоторых соединений, поглощающих ультрафиолетовые лучи, защищает их от распада в результате фотолиза.

Другие эксперименты показали, что выщелачивание инсектицидов с экранов под действием дождевой воды можно сократить добавлением масел в композицию. Желательно также привлекать мух на обработанные экраны. Поэтому в композиции будут добавляться также химические вещества, которые, по имеющимся сообщениям, привлекают мух цеце. Можно выразить надежду, что усилия ученых, сотрудничающих в этом проекте, приведут к созданию композиций инсектицидов, которые продлят срок их действия и внесут вклад в разработку экономичных, эффективных и экологически приемлемых методов борьбы с мухой цеце в Африке.

Борьба с сорняками в экосистемах рис/рыба. Исследования по разработке композиций гербицидов для борьбы с сорняками на рисовых полях и в экосистемах рис/рыба проводятся в сотрудничестве с исследовательскими институтами Китая, Индии, Филиппин, Индонезии, Венгрии и Малайзии. Первые исследования в Зейберсдорфских лабораториях МАГАТЭ показали возможность подготовки композиций тиобенкарбового гербицида с альгинатом и каолином в качестве наполнителя. В настоящее время изучается скорость высвобождения гербицида, меченного углеродом-14, из различных композиций, содержащих разные пропорции альгината и каолина (см. график).



Часть исследований при поддержке ФАО/МАГАТЭ по борьбе с сорняками в экосистемах рис/рыба посвящена использованию радиоактивных меток для изучения различных композиций гербицидов.

На графике показаны данные о высвобождении тиобенкарбового гербицида, меченного углеродом-14, из композиции, содержащей 1 % альгината и разные уровни каолина

Собранные на сегодня данные указывают на возможность варьирования скорости высвобождения гербицида путем изменения соотношения альгината и каолина. Соответствующие композиции в настоящее время испытываются в теплице Зейберсдорфских лабораторий, а также сотрудничающими институтами нескольких развивающихся стран с точки зрения их действия на прорастание и созревание риса и ряда трав, имеющих экономическое значение. Исследования относительной безопасности композиций гербицидов проводятся также в Зейберсдорфе и другими участниками программы координированных исследований. Идеальная композиция гербицида контролируемого применения поможет борьбе с сорняками на рисовых полях или в экосистемах рис/рыба без ущерба для риса, рыбы или других организмов, не явля-

ющихся объектом воздействия, и без остатков гербицидов или продуктов их распада в неприемлемых количествах.

О быстром выходе технологии контролируемого применения гербицидов на авансцену в качестве признанной дисциплины свидетельствует ежегодно растущее число публикаций в литературе и симпозиумов на эту тему. Рост числа ученых, работающих в этой области, привел в 1978 г. к созданию Общества контролируемого применения пестицидов. В 1984 г. оно приступило к выпуску своего издания *Journal of Controlled-Release*. В настоящее время общепризнана способность этой технологии вносить позитивный вклад в решение продовольственных и сельскохозяйственных проблем.

