

РОССИЙСКИЕ ФЕРОМОНЫ для спасения урожая

Виктор Быков, д. х. н., ведущий научный сотрудник ИНХС РАН
Евгений Финкельштейн, д. х. н., профессор, зав. лабораторией ИНХС РАН

Разработка ИНХС РАН позволяет снизить стоимость синтеза феромонов в 3–5 раз

Как известно, одной из главных задач в сельском хозяйстве является защита растений и пищевых запасов от насекомых-вредителей. Сегодня серьезнейшую угрозу существованию растительного покрова представляют организмы-переселенцы (инвазийные организмы), в том числе относящиеся к карантинным видам. В результате проникновения на новые территории в процессе перемещения людей, грузов, техники эти виды могут существенно изменять среду обитания, структуру сельскохозяйственного производства, приводить к социально-экономическим потрясениям. Так, по оценкам экономистов, в США потери от организмов-переселенцев после их акклиматизации в начале столетия составили 137 млрд долларов, в Индии — 117 млрд долларов, в Бразилии — 50 млрд долларов, в Великобритании — 12 млрд долларов, в ЮАР — 7 млрд долларов.

К границам РФ в настоящий момент приближается целый ряд опасных для сельского хозяйства чужеземных вредителей, и в их числе кукурузный жук диабротика (*Diabrotica virgifera*), который за последние 10 лет обосновался на территории 13 европейских стран, а

также северо-американские вредители лесо-декоративных и тепличных растений. Согласно данным Европейской и Средиземноморской организации по карантину и защите растений (ЕОКЗР), появление западного кукурузного жука в России прогнозируется к 2010–2011 году. Множество других вредителей полей и леса уже прочно обосновались на российских просторах, хорошо известны аграриям и ежегодно уничтожают урожай на миллиарды рублей.

Для защиты от вредителей используются различные химические средства, главным образом сильнодействующие химикаты, отравляющие зачастую не только опасных вредителей, но и саму сельскохозяйственную продукцию. Перед производителем стоит выбор — рискнуть чистотой полученной продукции, применяя дозу пестицида, или же «скормить» урожай вредителям.

Зарубежными учеными был найден безопасный для человека метод борьбы с насекомыми-вредителями — применение половых феромонов, веществ, которые вырабатываются насекомыми для обмена информацией между собой. Разместив синтезированные феромоны в искусственной ловушке, человек привлекает к ловушке самцов, улавливает их и ли-

шает тем самым популяцию способности к размножению и выведению личинок, плюс повышенная концентрация феромонов в воздухе дезориентирует самцов популяции и не дает им найти самок. Известные методы тонкого органического синтеза, используемые для получения феромонов, многостадийны (8–9 стадий). Кроме того, дороги исходные соединения и реагенты, что приводит к высокой себестоимости соединения. По данным зарубежных химических каталогов, стоимость цис-9-тетрадеценала составляет сегодня около 200 евро за 0,1 грамма. В силу дороговизны препарата метод остается недоступным для многих растениеводов, тем не менее, уже составляет экономическую конкуренцию привычным пестицидам — поскольку позволяет получить экологически чистую сельхозпродукцию, спрос на которую стабильно растет во всем мире.

Новейшая разработка ИНХС РАН, позволившая сократить синтез цис-9-тетрадеценала до 2 стадий и таким образом снизить его стоимость в 3–5 раз, делает его прямым конкурентом пестицидным препаратам и открывает путь к широкомасштабному коммерческому использованию продукта как в России, так и за рубежом.



Личинки колорадского жука — бич картофельных полей. Колорадский жук устойчив к ядам (инсектицидам), кроме того, несъедобен для большинства птиц и животных.



Феромоновая ловушка, разработанная в Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН

Что могут феромоны

Используя синтетические вещества, идентичные по строению и составу природным феромонам, возможна организация регулирования численности популяции определенного вида насекомых с целью поддержания ее на разумном уровне для сохранения баланса экосистемы.

Этот подход лишен недостатков, которые присущи использованию ядохимикатов, в том числе биоразлагающихся. При использовании феромонов не происходит привыкания насекомых к применяемым препаратам.

Их полная нетоксичность, предельно малый расход (1 миллиграмм на ловушку), а также широкий перечень (≈ 2300) различных видов насекомых-вредителей лесного и сельского хозяйств, теплиц и оранжерей, продуктовых складов, жилых построек, обеспечивает абсолютное преимущество данного подхода по сравнению с традиционными способами борьбы с насекомыми-вредителями.

Можно выделить три основных способа использования феромонов:

- в качестве феромонных систем мониторинга, с помощью которых определяют распространенность, численность, пики массового лета вредителей с целью определения регионов, оптимальных сроков и уровня обработки ядохимикатами, что позволяет в 3–6 раз снизить затраты на традиционные ядохимикаты и предусматривает использование малого числа ловушек (2–4 штуки на га);

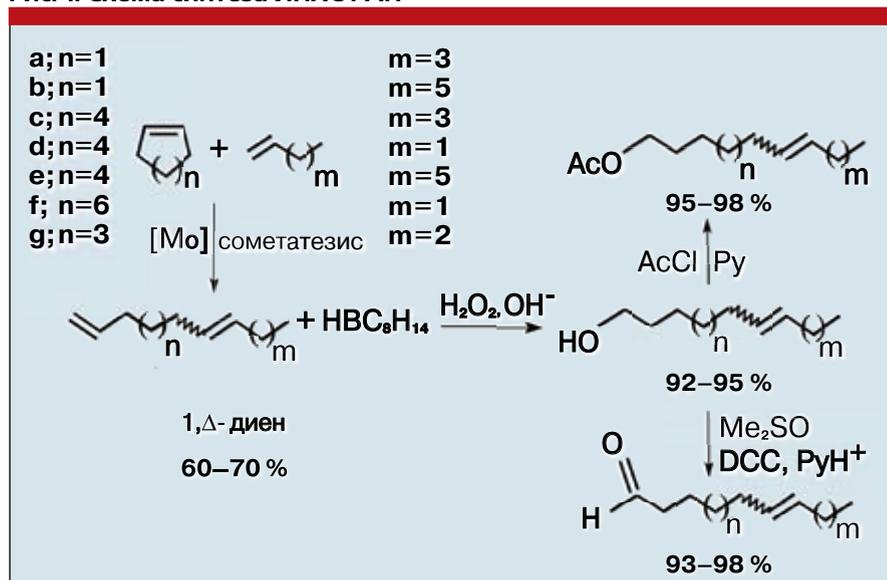
- в качестве систем массового отлова вредителей с помощью феромонных ловушек и липких барьеров;
- в качестве систем, разрушающих коммуникацию насекомых (метод дезориентации). Действие этой системы основано на том, что рецепторы насекомых блокируются повышенным, по сравнению с естественным, количеством феромона (или его аналога), и самцы не могут в этих условиях найти самку. Такой способ борьбы особенно удобен для сельскохозяйственных культур, имеющих большие площади посева.

Содержание метода

В Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН (ИНХС РАН) разработан гибкий 2-х стадийный подход по получению широкого спектра компонентов феромонных композиций более высокой чистоты и низкой стоимости.

Такое малотоннажное конкурентоспособное производство с минимальными капиталовложениями способно удовлетворить потребности производителей различного рода сельскохозяйственной и лесной продукции. Технология основана на относительно недавно

Рис. 1. Схема синтеза ИНХС РАН



открытой реакции каталитического метатезиса олефинов, которая в практическом отношении значительно проще классических способов получения, таких как «ацетиленовый» подход или реакция Виттига.

Для синтеза большого числа моноеновых компонентов феромонов (длинноцепные C_{10} – C_{18} , ацетаты, спирты, альдегиды, имеющие двойную связь в положениях 7–11) предложено использовать перекрестный метатезис (сометатезис) циклоолефинов C_5 , C_7 – C_{10} с α -олефинами состава C_4 – C_8 , с последующим региоселективным гидроборированием-окислением образующегося 1,Δ-диена. Следует отметить, что циклоолефины C_5 , C_7 , C_8 , C_{10} и α -олефины являются доступным сырьем нефтехимического происхождения.

Боробициклононан (9-BBN, HBC_8H_{14}) легко получить из циклооктадиена и диборана. Вследствие того, что последнее соединение рассматривалось в качестве ракетного топлива, то в связи с этим разработана и технология его производства.

Остальные реагенты и растворители, используемые для синтеза, имеют низкую стоимость и широкую доступность. Подбирая нужную пару циклоолефин — α -олефин, можно легко регулировать число углеродных атомов и положение внутренней двойной связи в 1,Δ-диене, а следовательно, и варьировать структуру целевых феромонов (схема 1). Положение внутренней двой-



Феромоновые ловушки для насекомых на полях Бангладеш

Сометатезис протекает в присутствии разработанного оригинального технологического гетерогенного Mo-содержащего катализатора, позволяющего в зависимости от условий реакции получать преимущественно цис- или транс-стереоизомеры. Новым методом в две–три стадии был получен широкий набор моноеновых компонентов феромонов, входящих в состав сотен видов

невозможно уничтожить известными химическими средствами защиты растений, что делает актуальным и перспективным использование феромонов.

Принцип действия разработанной ловушки основан на привлечении самцов листоверток половыми феромонами, вырабатываемыми самками. В ловушку помещают приманку в виде резиновой капсулы (диспенсер), пропитанной половым феромоном, который способен привлекать бабочек

Феромоны составляют серьезную конкуренцию пестицидам, поскольку мировой спрос на экологически чистую продукцию стабильно растет.

ной связи в 1,Δ-диене определяется числом атомов углерода в циклоолефине плюс единица, а длина цепочки равна сумме атомов углерода в циклоолефине и α -олефине.

Стереосостав

Надо отметить, что феромоны представляют собой индивидуальные или смеси геометрических цис/транс изомеров, причем биологическая активность, как правило, очень сильно зависит от стереосостава, поэтому существует необходимость получения смеси заданного стереосостава либо чистого стереоизомера.

Разработанная в ИНХС РАН технология позволяет получать как чистые стереоизомеры, так и их смеси заданного стереосостава, причем ассортимент феромонов охватывает большое число (более 600) видов различных насекомых. Все стадии получения осуществляются в мягких условиях ($T=5-25^{\circ}C$).

насекомых-вредителей отряда чешуекрылых.

Ловушка для вредителей

На базе созданных в ИНХС РАН феромонов были разработаны и испытаны несколько типов ловушек для вредителей плодовых садов совместно с Институтом эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова РАН (г. Москва). В частности, сексферомонная ловушка для насекомых СФЛ-02 для защиты вишни, черешни, яблони, груши, сливы от опасного многоядного вредителя — подкоровой листовертки.

Гусеницы подкоровой листовертки развиваются в лубе и заболони плодовых розоцветных деревьев. При большой численности они способны наносить существенный урон проводящим сосудам, вызывая засыхание ветвей и отмирание стволов. Так как гусеницы развиваются под корой, их практически



Нашествие саранчи ежегодно уничтожает миллионы гектаров посевов во всем мире



Самцы жучков-вредителей из феромоновой ловушки. Япония.

на расстоянии нескольких десятков метров. Привлеченные феромонами самцы прилетают к ловушке и прилипают к клейкому веществу на поддоне, предотвращая тем самым половое спаривание с самками.

Так как подкоровая листовёртка имеет несколько поколений в сезоне — бабочки размножаются весной и летом, то ловушки следует размещать в течение всего вегетационного периода защищаемой культуры. Их целесообразно

вывешивать по краю территории через 2–3 дерева, внутри защищаемого участ-

Объем рынка феромонов, синтезируемых по «старой» технологии, в Северной Америке составляет 5 млрд долларов, в мире — не менее 15 млрд долларов.

ка через 3–4, квадратно-гнездовым методом. Смена вкладышей осуществляется по мере полного заполнения их бабочками.

Для разработанного в ИНХС РАН 2-х стадийного синтеза широкого спектра феромонов высокой чистоты на базе реакции каталитического метатезиса олефинов характерна низкая себестоимость и предельно малый расход вещества в пересчете на одну ловушку, что обуславливает его высоко конкурентные экономические показатели.

Потребление. Объем рынка

С распадом СССР научная работа по изучению и синтезу новых феромонов фактически прекратилась, несмотря на то, что более 30 необходимых сельскому и лесному хозяйствам феромонов было все же идентифицировано, а некоторые даже прошли полевые испытания.

За рубежом феромоны нашли широкое применение. По некоторым данным, объем рынка феромонов в Северной Америке оценивается в 5 млрд долларов, в мире — не менее 15 млрд долларов. Свыше 80 % всех мировых продаж феромонов приходится на 12 компаний, половина которых находится в США.

Себестоимость 100 г целевого продукта, синтезированного в ИНХС РАН, составляет 619 293 рублей. В то же время, цена по зарубежным каталогам составляет 202 200 евро (Sigma-Aldrich, 14.09.2009), или свыше 9 млн рублей. Таким образом, уже сейчас при выпуске в лабораторных условиях себестоимость российского препарата высокой чистоты в 14,5 раз ниже предлагаемой продажной цены в Европе.

При этом необходимо учесть, что в ходе синтеза 100 г целевого продукта образуются ценные побочные продукты, каталожная стоимость которых достигает 675 500 рублей.

Из 100 г целевого продукта изготавливается 100 000 ловушек (по 1 мг на ловушку). При продажной цене ловушки в 50 рублей выручка инвестора составит около 5 млн рублей с каждых 100 г продукта.

Работа над ошибками

Вероятно, серьезным просчетом нашего Минсельхоза стало то, что в РФ феромонные материалы включены в разряд пестицидов, хотя таковыми не

являются, и к их регистрации предъявляются такие же требования, как к регистрации пестицидов, которые, в отличие от безобидных феромонов, являются высокотоксичными ядами для человека. Высокая стоимость регистрации сделала невозможным формирование рынка феромонных материалов в России. Очевидно, этим и объясняется наличие в распространяемых каталогах пестицидов и агрохимикатов всего лишь двух продуктов данного класса — хотя даже при старом уровне цен на феромоны их доля на рынке могла быть значительной. При цене импортной ловушки в 250–500 рублей каждый фермер или владелец приусадебного хозяйства сможет позволить себе ее приобретение.

Для формирования рынка феромонов в России необходимо изменение их категории в государственной системе учета, а для появления высококонкурентного отечественного производства феромонов нужно пересмотреть и упростить систему регистрации препарата.

Создание промышленной мощности по выпуску феромонов в России с одновременным патентованием препарата в крупнейших регионах мира способно привести к появлению компании, оборот которой составит 5–10 млрд долларов в год. ■

