

# 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

**К**ак 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 ( $\approx 2300$ ) 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);

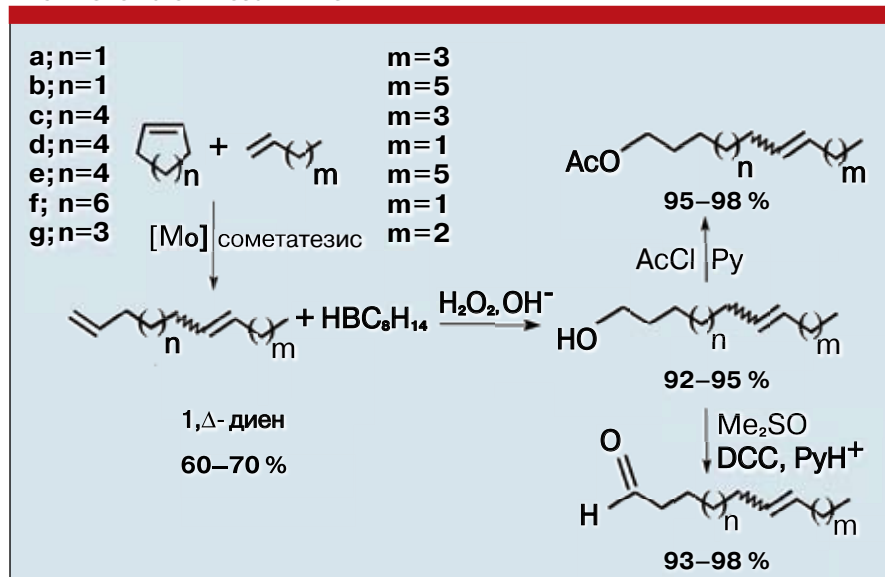
- в качестве систем массового отлова вредителей с помощью феромонных ловушек и липких барьеров;
- в качестве систем, разрушающих коммуникацию насекомых (метод дезориентации). Действие этой системы основано на том, что рецепторы насекомых блокируются повышенным, по сравнению с естественным, количеством 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  $\alpha$ -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  $\alpha$ -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 —  $\alpha$ -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  $\alpha$ -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 подкорковая 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. ■

