



Возможность возникновения резистентности

Непрерывное использование фосфина для контроля над вредителями запасов в помещениях с несоответствующими стандартами герметизации, ведущими к низким концентрациям, часто вкупе с не соблюдаемыми периодами экспозиции, привело к развитию стойких видов во многих странах. Большинство исследований на сопротивляемость включало изучение разновидностей вредителей продовольственных запасов с длительным сроком хранения. К настоящему времени известно десять разновидностей жука, включая Табачного Жука (*Lasioderma serricorne* (F.) и две разновидности моли, способных к развитию резистентности к фосфину. Главный механизм уменьшенного поглощения фосфина наблюдается у *Rhizopertha dominica* (F.) (Малый Зерновой Точильщик) и *Tribolium castaneum*, (Красный мучной жук) и это, вероятно, имеет место в других разновидностях. Второй механизм сопротивления - усиленная детоксификация фосфина к фосфиду, продемонстрированная Чедри и Прайсом (1990). Изучение генетики сопротивляемости у *Sitophilus oryzae* (зернохранилищный долгоносик) и *Oryzaephilus surinamensis* показало, что, по крайней мере, существуют два гена сопротивляемости в этих разновидностях (Миллс и Атье, 2000). Механизмы относительно легко выбираются, и вовлеченные гены не особенно опасны, поэтому они остаются в популяциях при отсутствии давления отбора (Миллс, К.А., неопубликованные наблюдения). Обзор сопротивляемости, проведенный ФАО в 1972-73 гг. выявил сопротивляемость в 33 из 82 выбранных стран (Чамп и Дайт, 1976). С тех пор ситуация ухудшилась в рамках числа выявленных разновидностей и степени охвата (Конвой, 1981 в Тэйлоре, 1986; Миллс, 1983; 1986; Тайлер и др., 1983; Тэйлор, 1986; Шривастава, 1980; Тэйлор, 1989; Пачеко и др., 1990; Цеттлер, 1990). Наихудшая ситуация сложилась во всех товарных секторах в развивающихся странах-производителях, где часто создаются практически оптимальные условия для увеличения популяции. При благоприятных условиях, семь или восемь поколений Табачного Жука (*L. serricorne*) могут быть воспроизведены в течение одного года (Манцелли, 1987). Стандарты фумигации фосфином в этих странах является переменными и часто низкими. Комбинация низких стандартов фумигации, повторной фумигации и быстрого увеличения популяции после ненадлежащего контроля, обеспечивает идеальные условия для отбора резистентности. Необходимо проводить тренинг управленческого персонала и непосредственно фумигаторов, т.к. они должны иметь информацию о проблеме резистентности фосфину.

При рассмотрении неправильных методов использования фосфина обнаруживается широкий диапазон доз, доступных насекомым - от передозировок до фактически нулевой концентрации, когда существует доступ воздуха в обрабатываемое помещение. Известно, что главный ген, управляющий поглощением у двух разновидностей Рисового Долгоносика (*S. Oryzae*) и Пилообразного Зернового Жука (*O. surinamensis*), является не полностью рецессивным у гетерозигот, более терпимых, чем нормальные штаммы. (Миллс и Атье, публикации в прессе). Лабораторный отбор некоторых полевых штамм увеличил сопротивляемость фосфину (129, 131). Однако наиболее высокие показатели резистентности впоследствии были зарегистрированы в полевых штаммах у некоторых видов насекомых в Бангладеше. Например, по сравнению с полным уничтожением восприимчивых насекомых Малого зернового точильщика (*R. Dominica*) после 20-ти часового подвергания 0-0,3 мг фосфина/ литр⁻¹ (дискриминационная доза для этого вида ¹³²). Все особи данного вида, собранные в Бангладеше, смогли выжить после 20-ти часовой экспозиции 1,45 мг/литр⁻¹, и экспозиция данной дозе в течение 72 часов предполагала уничтожение всех насекомых данного вида.



Отличия между чувствительными и стойкими видами насекомых

к резистентности.

Вызываемый фосфином наркоз предположительно рассматривался как защитный механизм у насекомых, и понижение пороговых величин наркоза постулировалось как механизм сопротивляемости фосфину^{125,137}. Уинкс^{69, 129} и Уотерфорд⁸⁸ изучали реакцию Красного Мучного Жука (*T. Castaneum*) на широкий ряд концентраций фосфина и периоды экспозиции. Индекс токсичности на уровне LD_{50} варьировался от 0,65 в диапазоне от 0,025 – 5,0 мг. фосфина на литр⁻¹ до 1,3 в диапазоне от 0,0095-0,025 мг. литр⁻¹, по сравнению с 0,89 у чувствительных насекомых. На основе этих исследований Уинкс и Уотерфорд заключили, что индексы токсичности для чувствительных и стойких пород различны, и что было бы ошибочным определять один фактор резистентности на основе фиксированной концентрации или периода экспозиции. Их исследования также не придавало значения наркозу как механизму резистентности у Красного Мучного Жука, т.к. у резистентной породы, вместо ожидаемого низкого, был более высокий порог наркоза по сравнению с чувствительными породами⁸⁸. В действительности, быстрый тест на резистентность фосфину был разработан недавно, основываясь на быстрой нейтрализации чувствительных насекомых при использовании заранее определенной концентрации по сравнению с их стойкими аналогами¹³⁸.

Так же было отмечено, что подвергание фосфину вызывало большее подавление дыхания у чувствительных пород Красного Мучного Жука¹¹⁶ и Малого Зернового Точильщика⁹⁶, чем у их стойких аналогов. Однако дальнейшие исследования не смогли показать существенных различий в чувствительности митохондриальных препаратов у чувствительных и резистентных особей Малого Зернового Точильщика к подавлению фосфином. Таким образом, невосприимчивая к фосфину митохондриальная респираторная цепочка вряд ли является основным механизмом резистентности к фосфину, и отличия в респираторном подавлении обусловлены разными уровнями поглощения фосфина.

Каши⁸⁴ предположил взаимосвязь между выживанием кислородного голодания у 5 особей вредителей запасов и их терпимостью к фосфину, хотя представленные данные не поддерживали эту гипотезу в полной мере. Похожие эксперименты с использованием Малого Зернового Точильщика показали отсутствие взаимосвязи между статусом резистентности фосфину и выживанием при условиях кислородного голодания.

Бэлл¹⁴⁰ указывал, что большие концентрации фосфина (>0.5 мг/литр⁻¹) отпугивали чувствительных к фосфину породы Зернохранилищного Долгоносика, но не стойкие породы, и что Тот же самый результат был получен для *S. oryzae* Литием и Литием (1994) и для *.ft.* Доминиканской республики и *T. castaneum* (Ansell et al., 1990). Можно было бы ожидать хороший контроль(управление) *heterozygotes* и трудности в отборе сопротивления в этих разновидностях, и все же это происходит. Это поддерживает свидетельство(очевидность), что низкие стандартные окуривания являются разумно банальными. Это может ожидаться в окуривании оптовых хлебных злаков, например, где хорошее распределение фосфина может быть трудно и запечатавшее проблематично. В случае окуриваний предметов потребления под стеклами *sheeted*, хорошие стандарты окуривания с большей готовностью достижимы. Однако, невнимание, чтобы детализировать типа правильной дозировки, преднамеренное(неторопливое) сокращение рекомендованных периодов подвергания и, особенно, невнимание к запечатыванию к этажу и использованию хорошего качества неповрежденные листы несомненно произведет сопротивление.

Промышленность табака не может быть удовлетворенна. Промышленность имеет высокий товар ценности и гигиену, и стандарты контроля (управления) вредителя, как ожидалось бы, будут среди лучшего. Главный вредитель запасенного (сохраненного) табака, *L. serricorne*, является очень определенным к табаку, и взаимная инвазия от других менее ценных предметов потребления - не



проблема(выпуск), так как табак обычно хранится один, в отличие от ситуации хранения для бобов какао, например. Промышленность имеет ее собственное хранение в странах производителя и других, связанных с обработкой заводов (растений), и ожидалось бы, что инвазия близко проверена и управляется, где необходимо.

Для подготовки персонала фумигаторов требуются большие усилия, чтобы обучить в общих чертах основам фумигации. Они должны быть ознакомлены с проблемой сопротивляемости некоторых насекомых к фосфину.

При рассмотрении одного варианта, в котором фосфин используется в оптимальной дозе, необходимо обратить внимание на большое разнообразие других концентраций, при которых сопротивляемость насекомых может быть преодолена путём увеличения её или уменьшения в фактически нулевую концентрацию. Такие дозы будут выборочными. Известно, что основной ген, управляющий привыканием в двух видах, *S. oryzae* и *O. surinamensis*, неполно рецессивен с гетерозиготами, он немного более вынослив, чем нормальный тип (Фабрики и Athie, в прессе). Тот же результат был получен для *S. oryzae* Li и Li (1994) и для *.ft. доминики* и *T. castaneum* (Ansell et al., 1990). В данном случае наблюдается хорошее управление гетерозиготами и сопровождается трудностью в выборе нужной концентрации в этом виде, и пока это происходит. Это поддерживает подтверждение, которое снижает стандартные методы фумигации. К этому необходимо быть готовым при фумигации насыпных буртов хлебных злаков, например, где хорошее распределение фосфина может быть затруднено и проблематично. В случае фумигации товаров под слоистыми кипами, традиционные стандарты обеззараживания легче достичь. Тем не менее, если не обращать внимание на выбор правильной дозировки, преднамеренное уменьшение рекомендуемых периодов разложения и, особенно, тщательная фиксация фумисливов на полу и использование неповрежденных фумисливов хорошего качества несомненно приведёт к проявлению резистентности насекомого.

Табачная промышленность не может быть удовлетворена таким результатом. Промышленность имеет высокий товар величины и гигиены и управляющие стандарты вредителя должны ожидать быть среди наилучшего. Основной вредитель сохраненного табака, *L. setigerus*, очень специфичен на табаке и может переселяться с других менее ценных товаров. Это невозможно, поскольку табак обычно сохранен в одиночном виде, в отличие от ситуации хранения для фасолей какао, например. Промышленность имеет собственное хранение в странах-производителях и другое связанное с переработкой на заводах. Занос должен быть ожидаем, и поступающая продукция должна быть тщательно проверена в при выгрузке. Это ситуация в общих чертах, но стандарты должны тщательно быть проверены и рассмотрены, чтобы учитывать резистентность.

В настоящее время, промышленность возлагает большие надежды на фосфин для фумигации кип и комплексных обработок магазинов. Фумигация табака должна справиться с больше чем обычной проблемой проникновения фосфина в спрессованные кипы листьев. Проблема проникновения несовершенна в случаях с внутренними лайнерами, даже теми которые сложены и упакованы герметично, особенно сложенных в нижнем слое кип. Должно быть учтено время, требуемое на достаточное проникновение фосфина и это будет приемлемо для решения проблемы фумигации груза размещённого в местах с умеренно низкими температурами. Низкая температура имеет значимые эффекты в разложении фосфина из таблеток, в проникновении и метаболизме насекомых.

Опыт фумигации (1976) показал что при температуре +25°C и выше, концентрация 0.3 г/м³ (216 ppm) для 4-х дневной экспозиции эффективно против подверженных видов. Яйцо было наиболее устойчиво при +25°C, а куколка при +15°C. Эти данные были использованы как основа для стандартов фумигации ЕРРО для фосфина при дозировке 1 г/м³ (720 ppm) для 5- дневной экспозиции в температурах выше 10°C (Анонимный, 1984). Отдел Соединенных Штатов Сельского хозяйства (USDA) рекомендует дозировку 1.17 г/м³ (842 ppm) и 4- дневная экспозиция (USDA, 1992). Промышленный текущий стандарт для эффективной фумигации в дозе 1.0 г/м³ при 4- дневной экспозиции - концентрация 200 ppm для по крайней мере 48 часов и конечной концентрации 100 ppm (Ryan, 1993). Группа на infestation управлении для поста-урожая табака (ICPT) предлагает, что



фумигация фосфином может выполняться эффективно при условии, что температура будет над 7⁰С. Они отмечают, что фумигация более длинной длительности в более низких температурах потребовалось использование алюминиевых формулировок фосфида, чтобы выдержать достаточное время для версии фосфина. Например, между 7⁰С и 15⁰С необходимо 10-15 дневная экспозиция (Анонимный, 1995).

Резистентность хорошо не изучена в условиях инцидентности, генетики и уровня сопротивления. Zettler (1992) выделил по памяти 10 типов собранных в США и определял из них одного, в качестве резистентного. Rajendran и Narasimhan (1994) впервые описали случаи неудачи в фумигации фосфином из-за резистентности. Фумигация проводилась при температуре 30 +/- 3⁰С. Взрослые и все личинки младших возрастов сохранялись в течение 7 дней при обработке кип с грубой джутовой тканью с конечной концентрацией 0.2 г/м³ из начальной дозировки 1.25 г/м³. Куколки и яйца сохранялись при 8 дневной фумигации гофрированных картонных коробок с корректировкой дозы в 1.1 г/м³ полиэтиленом. Здесь средняя концентрация на восьмой день была 0.37 г/м³ (266 ppm) и требовалось не только 5 дней для концентрации, чтобы профумигировать между свободным пространством и спрессованным табаком. Zettler и Keever (1994) обнаружили 11 из 20 типов жучка, собранного на Юго-Востоке Соединенных Штатов, проявившие резистентность.

В общих чертах, несмотря на возрастание проблемы резистентности, фосфин все еще эффективен на данном этапе фумигации против этих видов вредителей при условии, что требуемая газовая концентрация может быть поддержана чтобы период экспозиции может быть расширен, чтобы естественно управлять выносливостью насекомых (1994). Фосфин останется основным фумигантом использовавшимся в течение многих лет и на данном этапе его использование может увеличиться вследствие исключения бромистого метила, другого широкоиспользуемого фумиганта, в рамках Монреальского протокола, который истощает озоновый слой. С увеличением использования фосфина мы можем ожидать увеличения на сумме нестандартных фумигаций и последовательное увеличение в проблеме резистентности. Бромистый метил был доступен управлять, хотя и ненамеренно, фосфин резистентен насекомыми но преднамеренное использование метилбромид, чтобы бороться резистентностью типов к фосфину не будет будущей опцией если он не может быть оправдан как критическое использование. Есть потребность в разработке активной стратегии против резистентности насекомых при использовании фосфина и путём использования новых разработок в непрерывной дозировке, чтобы гарантировать эффективные газовые периоды концентрации и экспозиции.

Основным в этой эффективной стратегии является обнаружение резистентных насекомых, чтобы использовать против них подходящее расписание дозирования, что может быть приложено для руководства в работе. По методике FAO (1975), различающей тест дозы, при выходе из строя, потребовалось 14 дней, чтобы получить результаты. Это в большинстве случаев слишком долго, когда требуется провести фумигацию быстро. Быстрый тест, базирующийся на том, чтобы взрослых насекомых сбивать с ног разработан для вида жучка кроме *L. serricornis* (1994). Используя этот тест возможно, в течение рабочего дня, установить среди насекомых резистентные особи для выбора соответствующего расписания дозы. Альтернатива должна обрабатывать весь *L. serricornis* как резистентные, так и нерезистентные насекомые прилагая новому расписанию дозирования в каждом случае, включающее более длительные периоды экспозиций.