

УДК 632.915

УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕДЕНИЕМ ВРЕДНЫХ НАСЕКОМЫХ: СВЕТОВЫЕ, ХИМИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ И ИХ СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ

© 2022 г. А. Н. Фролов

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
шоссе Подбельского, 3, С.-Петербург–Пушкин, 196608 Россия
e-mail: afrolov@vizr.spb.ru

Поступила в редакцию 4.07.2022 г.

После доработки 22.07.2022 г.

Принята к публикации 6.09.2022 г.

Строгое соблюдение требований экологической безопасности – непереносимое условие функционирования современной защиты растений, поэтому перспективным направлением ее развития стал поиск путей управления поведением вредителей с помощью не проявляющих токсического действия электромагнитного излучения (света) и химических соединений природного происхождения (семиохемиков). В статье рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с теоретическим обоснованием и практическим применением световых и химических сигналов, как по отдельности, так и совместно, для управления поведением насекомых. Обсуждены представления о структурно-функциональной организации зрительных и обонятельных рецепторных систем насекомых, об особенностях восприятия ими визуальной и ольфакторной информации, о мультимодальных механизмах обработки сенсорной информации, обеспечивающих сложные формы поведения. Кратко описаны история применения искусственных источников света в защите растений и опыт использования феромонных продуктов для подавления размножения вредителей (массовый вылов, дезориентация, непрямые методы контроля численности). Особое внимание уделено сильным и слабым сторонам световых излучателей и БАВ (синтетических половых аттрактантов и семиохемиков растительного происхождения с кайромонной функцией) для мониторинга и проведения истребительных мероприятий против вредных насекомых, на конкретных примерах охарактеризована их безопасность для нецелевой энтомофауны. Совместное применение светового излучения и семиохемиков нередко характеризуется синергическим действием на целевые виды насекомых, что показывает актуальность разработки конструкций ловушек, позволяющих одновременно использовать для привлечения насекомых визуальные и ольфакторные стимулы.

Ключевые слова: защита растений, ловушка, светодиод, семиохемик, аттрактивность, синергия, мониторинг, управление.

DOI: 10.31857/S0367144522030017, **EDN:** HNQLBG

Потери растениеводческой продукции от вредных организмов по разным оценкам составляют от 14 до 30 % потенциального урожая (Oerke et al., 1994; El-Wakeil, 2010; Popr, Hantos, 2011; Daniel et al., 2018, и др.), причем в непростых социально-экономи-

ческих и природно-климатических условиях России недобор урожая может достигать значительно больших значений (Гончаров, 2010; Павлюшин и др., 2013). Соответственно, роль фитосанитарного блока в обеспечении эффективного функционирования растениеводства неуклонно возрастает (Павлюшин, 2010; Захаренко, 2013; Санин, 2016), что обусловлено помимо прочего потеплением климата (Попова, Попов, 2013; Bebber et al., 2013; Левитин, 2015) и более быстрым распространением вредоносных адвентивных объектов (Ижевский, 2008; Есипенко, 2012, и др.).

Современный этап развития сельскохозяйственной фитосанитарии начался в конце 1950-х – начале 1960-х гг., когда на фоне критики использования хлорорганических пестицидов стало формироваться новое стратегическое направление – интегрированная защита растений (Integrated Pest Management, IPM), предусматривающая отказ от бесконтрольного применения химических средств и интеграцию основных подходов борьбы с вредными организмами в единую систему (Stern et al., 1959; Glass, Thurston, 1978; Altieri, Nicholls, 2004). С тех пор концепция IPM прошла долгий путь, и сейчас развивается в таких направлениях, как проектирование агроэкосистем и агроландшафтов, разработка технологий применения биологических и небиологических средств, формирование концепций адаптивного, экологического и органического земледелия, использование генно-модифицированных культур, применение беспроводных средств связи, компьютерных технологий, микроэлектроники и др. (Koul, Cuperus, 2007; Vreysen et al., 2007; Romeis et al., 2008; Peshin, Dhawan, 2009; Павлюшин, 2010; Dara, 2019; Dent, Binks, 2020).

В последние годы проблема экологической безопасности приобрела особую актуальность, в т. ч. в связи с отмечаемым в мире сокращением биоразнообразия энтомофауны, которое в газете Гардиан было звучно названо армагеддоном насекомых (ориг. «insectageddon») (Monbiot, 2017). Если журналистскую позицию и можно посчитать алармистской (Komonen et al., 2019), это ни в коей мере не уменьшает остроту проблемы (Forister et al., 2019; Rhodes, 2019; Thomas et al., 2019; Van der Sluijs, 2020; Dar et al., 2021). Действительно, в мире с каждым годом лавинообразно растет число публикаций, свидетельствующих об ускорении сокращения популяций насекомых, которое чаще всего пока проявляется в снижении численности, однако отмечаются также и случаи полного вымирания видов (Conrad et al., 2006; Van Dyck et al., 2009; Cameron et al., 2011; Swengel et al., 2011; Brooks et al., 2012; Schuch et al., 2012; Scheper et al., 2014; Melero et al., 2016; Hallmann et al., 2017; Lister, Garcia, 2018; Owens, Lewis, 2018; Goulson, 2019; Harris et al., 2019; Seibold et al., 2019; Wepprich et al., 2019; Van Klink et al., 2020; Wagner, 2020; Laussmann et al., 2021, и др.).

Проблема коллапса насекомых справедливо считается важнейшей в экосистемной биологии и нуждается в глубоком и разностороннем анализе (Cardoso, Leather, 2019; Eisenhauer et al., 2019; Montgomery et al., 2020; Van der Sluijs, 2020). По всей видимости, вызывается сокращение биоразнообразия энтомофауны не одним, а совокупностью сложным образом взаимодействующих факторов (Eggleton, 2020; Lupi et al., 2021; Yang et al., 2021), среди которых выделяют изменение климата, разрушение среды обитания, урбанизацию и индустриализацию, включая побочный негативный эффект электромагнитных полей сотовой связи и светового загрязнения. Особенно часто упоминаются в этой связи интенсификация сельского хозяйства и, в первую очередь, неумеренное применение системных инсектицидов (Goulson, 2018; Grubisic et al., 2018; Hladik et al., 2018; Holder et al., 2018; Sánchez-Bayo, Wyckhuys, 2019;

Seibold et al., 2019; Kumar et al., 2020; Balmori, 2021; Boyes et al., 2021; Giorio et al., 2021; Wagner et al., 2021; Warren et al., 2021; Abudulai et al., 2022; Levitt et al., 2022; Жуковская и др., 2022, и др.).

Таким образом, в современную эпоху приоритетным направлением развития защиты растений безусловно становится разработка подходов, обеспечивающих более строгое соблюдение требований экологической безопасности (Павлюшин и др., 2008; Leather, 2017; Furlan et al., 2021). Наиболее перспективным в этом отношении выглядит поиск путей управления поведением вредителей с помощью не обладающих токсическим действием электромагнитного излучения и химических соединений природного происхождения (Foster, Harris, 1997; Potting et al., 2005; Roitberg, 2007; Rodriguez-Saona, Stelinski, 2009; Gregg et al., 2018; Kim et al., 2019; Mishra et al., 2019; Mazzoni, Anfora, 2021).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ (СВЕТ)

У насекомых развиты разнообразны органы фоторецепции – простые глаза (дорсальные глазки у имаго и стеммы у личинок насекомых с полным превращением) и сложные фасеточные глаза (у имаго, а также у личинок насекомых с неполным превращением). Фасеточные глаза насекомого включают до нескольких тысяч омматидиев, каждый из которых имеет свою собственную систему линз, пигменты и световые рецепторы. Фасеточные глаза отличаются высоким разрешением, способностью обнаруживать движение, различать цвета, в т. ч. воспринимать ультрафиолетовую часть спектра и линейно поляризованный свет. Выделяют две категории сложных фасеточных глаз – аппозиционные и суперпозиционные. Первыми обладает большинство дневных видов насекомых, вторыми – большинство ночных. В аппозиционном глазу омматидии оптически изолированы друг от друга, тогда как в суперпозиционном глазу рецепторы стимулируются светом, попавшим в соседние омматидии, и таким образом острота зрения приносится в жертву чувствительности к свету (Мазохин-Поршняков, 1965; Kirkpatrick et al., 1970; Tovée, 1995; Land, 1997; Labhart, Meyer, 1999; Stavenga, 2002; Chittka, Wells, 2004; Wang, Montell, 2007; van Langevelde et al., 2011; Barghini, Souza de Medeiros, 2012; Klowden, 2013; Belušić et al., 2017, и др.).

За последнее десятилетие удалось существенно продвинуться в понимании того, каким образом насекомые с их миниатюрным мозгом оказываются способными оперировать сложными зрительными стимулами (Avarguès-Weber et al., 2012). Хотя пока мало известно о конкретных механизмах обработки визуальной информации, проходящей по зрительным путям в зрительные доли и другие участки протоцеребрума, на примере шмелей было показано, что зрительные нейроны, локализованные в разных частях мозга, специализированы по чувствительности к цвету и движению, а также различаются способами кодирования сигналов, что позволяет эффективно осуществлять параллельный анализ сигналов (Paulk et al., 2009; Meyer-Rochow, 2019). Удалось также раскрыть функциональное значение простых глазков, способных корректировать восприятие спектрального баланса естественной освещенности, обеспечивая таким образом высокое качество цветного зрения насекомого (Garcia et al., 2017).

Число различных типов спектральных рецепторов варьирует в глазу насекомых от одного до шести. Хотя охватываемый фоторецепторами спектральный диапазон может сильно различаться у разных видов, у некоторых он способен достигать рекордных значений (от < 300 до > 700 нм) (Briscoe, Chittka, 2001; Van Der Kooi et al., 2021), но в

большинстве случаев укладывается в диапазон 350–700 нм (Bishop et al., 2004; Crook et al., 2009; Oh et al., 2011; Cho, Lee, 2012; Jeon et al., 2012, и др.). Несмотря на то, что чувствительность глаза к ультрафиолетовому излучению нередко ниже, чем к иным областям спектра, особенно зеленой, способность видеть ультрафиолетовое излучение позволяет насекомым ориентироваться по коротковолновому свечению неба, в том числе в ночное время (Мазохин-Поршняков, 1961).

Известному с незапамятных времен феномену лёта насекомых на искусственные источники света в сумеречное и ночное время суток посвящена обширная литература (Мазохин-Поршняков, 1955, 1956, 1960; Verheijen, 1958; Mikkola, 1972; Чернышев, 1976, 1996; Baker, Sadovy, 1978; Горностаев, 1984; Yela, Holyoak, 1997; Szentkirályi, 2002; Barghini, Souza de Medeiros, 2012; Shimoda, Honda, 2013; Owens, Lewis, 2018, и др.). Привлекаемые светом виды насекомых очень различны по образу жизни и встречаются почти во всех отрядах. Особенно многочисленны они в отрядах Lepidoptera (Noctuidae, Geometridae, Lymantriidae, Lasiocampidae, Notodontidae, Sphingidae, Arctiidae, Tetheidae, Drepanidae, Cossidae, Crambidae, Pyralidae, Phycitidae, Tortricidae, Yponomeutidae, Zygaenidae и др.), Coleoptera (Dytiscidae, Carabidae, Hydrophilidae, Staphylinidae, Scarabaeidae, Heteroceridae, Elateridae, Coccinellidae и многие другие), Diptera (Chironomidae, Culicidae, Tipulidae, Limoniidae, Trichoceridae, Ceratopogonidae, Empididae и др.), а также Trichoptera, Ephemeroptera, Hymenoptera, Blattodea и Mantodea. При всем разнообразии летающих на свет насекомых их объединяет общая черта – сумеречная и/или ночная лётная активность (Горностаев, 1984; Чернышев, 1996). Вопрос о том, насколько полно сборы насекомых на свет отражают фактический таксономический состав местной энтомофауны, неоднократно подвергался изучению в условиях тропиков, в т. ч. в Индии (Gadagkar et al., 1990; Missa et al., 2009; Edwin, Ambrose, 2011; Jha et al., 2017; Kimondiu et al., 2019; Soumit, Sinjini, 2019, и др.). В целом, несмотря на отдельные отклонения, представленность в сборах на свет видов из отрядов Coleoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera и Diptera отражает их относительное видовое обилие в природе. Поскольку УФ излучением способны привлекаться насекомые в условиях затенения даже в дневное время (Самков, 1989), вывод о том, что источники искусственного излучения могут найти достаточно широкое применение для управления поведенческими реакциями энтомологических объектов, не вызывает сомнения.

Сведения, характеризующие экологические аспекты лёта насекомых на свет и влияние на него тех или иных факторов (температура и влажность воздуха, осадки, ветер, атмосферное давление, естественная освещенность и наличие антропогенных источников света, место размещения и конструкция ловушки, ее мощность и продолжительность работы и др.), весьма обширны. Исчерпывающий по полноте охвата проблемы обзор более чем 2500 работ, начиная с XVIII в. и заканчивая началом 1980-х гг., был опубликован Г. Н. Горностаевым (1984). Исследования, выполненные в последующие годы, по большей части были посвящены описанию фенологии и динамики численности насекомых, в том числе вредоносных, а также оценке влияния на их лётную активность тех или иных экологических факторов (Dent, Pawar, 1988; McGeachie, 1989; Waringer, 1991; Maelzer et al., 1996; Crummay, Atkinson, 1997; Yela, Holyoak, 1997; Maelzer, Zalucki, 1999; Szentkirályi, 2002; Yamamura et al., 2006; Jonason et al., 2014; Endo, 2016; Haider et al., 2020, и др.). В понимании природы лёта насекомых на свет (Robinson, Robinson, 1950; Verheijen, 1958; Мазохин-Поршняков, 1960; Mikkola, 1972; Hsiao, 1973; Baker, Sadovy, 1978; Горностаев, 1984; Чернышев, 1996; Nowinszky, 2003;

Donners et al., 2018; Gaydecki, 2019, и др.) существенного прогресса за последние десятилетия не достигнуто, и наиболее обоснованной остается гипотеза, выдвинутая Г. А. Мазохиним-Поршняковым (1960) и подкрепленная соображениями Г. Н. Горностаева (1984) и В. Б. Чернышева (1996). Согласно их взглядам, реакция насекомых на свет представляет собой двухэтапный процесс. На первом этапе в результате переключения азимутальной ориентации насекомого с космического на земной ориентир происходит искривление траектории полета в сторону искусственного источника света. На втором этапе (уже вблизи источника света) ориентационные сигналы искажаются и начинают играть роль внешнего раздражителя, возбуждающего реакцию бегства, и с этого момента поведение насекомых подчиняется программе выхода на открытое пространство, ложным индикатором которого служит сам источник света. В рамках изложенной гипотезы удастся объяснить большинство известных фактов, связанных с реакцией фототаксиса насекомых, в том числе 1) разнообразие траекторий полета на свет, 2) наиболее высокую среди всех источников света аттрактивность ультрафиолетовых ламп, 3) существенное ослабление лёта на свет в лунные ночи, 4) несовпадение по спектру области максимальной чувствительности глаза насекомого и зоны наиболее привлекательного излучения лампы, 5) зависимость интенсивности прилета насекомых (в особенности с сумеречной активностью) от ориентации светоловушки относительно сторон света (Горностаев, 1984). Таким образом, предложенная интерпретация феномена лёта на свет базируется на имеющих большое экологическое значение естественных поведенческих реакциях насекомых (Чернышев, 1996). Все остальные известные нам объяснения природы этого явления либо представляют на современном уровне знаний лишь исторический интерес (von Buddenbrock, 1917; Ludwig, 1933), либо направлены на решение частных вопросов, например, описание траекторий движения насекомых вблизи источника света (Gaydecki, 2019), либо имеют спорное биологическое обоснование (Газалов, 2000).

Сбор насекомых на искусственные источники света начал постепенно приобретать статус важнейшего энтомологического приема с появлением специальных устройств – светоловушек (Riley, 1885; Frost, 1952). Развитие этих устройств прошло ряд этапов, связанных с прогрессом светотехники. Г. Н. Горностаев (1984) выделил три таких этапа: 1) доэлектрический период (1870–1920 гг.), 2) использование ламп накаливания (1920–1950 гг.) и 3) ртутно-кварцевых ламп (с 1950 г.), однако в конце прошлого – начале текущего тысячелетия стали появляться новые конструкции, основанные на применении светодиодных излучателей, что ознаменовало переход к новому этапу в развитии светоловушек (Burkett et al., 1998; Chu et al., 2003; Cohnstaedt et al., 2008).

Световые ловушки издавна широко применяются при эколого-фаунистических исследованиях, изучении стационального распределения и фенологии насекомых (Gadagkar et al., 1990; Kato et al., 1995; Маталин, 1996; Beck, Linsenmair, 2006; Sharma, Bisen, 2013; Jonason et al., 2014, и др.), а их серийное производство позволило создать разветвленные сети, обеспечившие многолетние наблюдения за динамикой численности насекомых, в т. ч. в Великобритании (Williams, 1948; Taylor, French 1974; Southwood et al., 2003; Harrington et al., 2012; Shortall, Cook, 2022), Венгрии (Kádár, Szentkirályi, 1997; Szentkirályi, 1999, 2002; Hufnagel, Gimesi, 2010; Hufnagel et al., 2022), Финляндии (Mikkola, 1972; Blomberg et al., 1976; Väisänen, 1993; Leinonen et al., 2016) и других странах (Maelzer, Zalucki, 1999; Hill, 2013, и др.).

В зависимости от цели отлова насекомых выделяют три направления применения светоловушек: 1) получение информации для фаунистических исследований; 2) надзор за популяциями вредных насекомых; 3) истребление вредителей и/или получение биомассы (Горностаев, 1984). Разнообразие целей сбора насекомых на свет в сочетании с совершенствованием техники способствовали появлению множества конструкций светоловушек, описания которых время от времени появляются в литературе (Горностаев, 1961, 1984; Терсков, Коломиец, 1966; Hinton, 1974; Muirhead-Thomson, 1991; Schauff, 2001; Цуриков, 2006; Harris, 2006; Sheikh et al., 2016; Noskov et al., 2021, и др.). Используются ловушки чаще всего как средство мониторинга, в первую очередь вредных видов насекомых (Williams, 1939, 1940; Терсков, Коломиец, 1966; Андреев и др., 1970; Bowden, 1982; Muirhead-Thomson, 1991; Raimondo et al., 2004; Zalucki, Furlong, 2005; Ramamurthy et al., 2010; Prasad, Prabhakar, 2012). До недавнего времени их широкое применение в этом качестве сдерживали громоздкость, значительный расход энергии и высокая стоимость, однако благодаря появлению светодиодной техники и микроконтроллеров удалось существенно уменьшить размеры, стоимость устройств и энергозатраты при более высокой световой отдаче, доступности того или иного диапазона излучения, более длительном сроке службы и повышенной безопасности (Chu et al., 2003; Cohnstaedt et al., 2008; Holguin et al., 2010; Shimoda, Honda, 2013; Исмаилов и др., 2016; Park, Lee, 2017; Кремнева и др., 2019; Kim et al., 2019; Kammar et al., 2020; Pan et al., 2020). Хотя использование светодиодных ловушек в практике мониторинга вредителей еще только разворачивается (Ahuja et al., 2012; Rak Cizej et al., 2014; Stukenberg et al., 2015), перспективность их широкого применения, в т. ч. в России, не вызывает сомнений (Возмилов и др., 2011; Газалов и др., 2013; Суринский, 2013; Кондратьева, Бузмаков, 2018; Грушева и др., 2019; Пачкин и др., 2020; Савчук и др., 2020; Frolov et al., 2020).

К важным достоинствам световых ловушек относится привлечение ими особей обоих полов. Публикации разных лет свидетельствуют о том, что даже среди чешуекрылых, у которых соотношение полов в сборах на свет, как правило, сдвинуто в пользу самцов, самок в ловушки обычно попадает довольно много (Turner, 1918; Yathom, 1981; Горностаев, 1984; Steinbauer, 2003; Beck, Linsenmair, 2006; Garris, Snyder, 2010; Truxa, Fiedler, 2012; Nowinszky, Puskás, 2015, и др.). Известно, что информационная ценность пойманных самцов для фитосанитарного прогноза часто невысока, поскольку производят вредящее растениям потомство самки (Witzgall et al., 2010). Места перезимовки питающихся на полевых культурах вредных насекомых и места откладки яиц, как правило, разделены, в связи с чем имаго вынуждены перемещаться внутри севооборота (Jeger, 1999; Mazzi, Dorn, 2012). Если бы лётная активность самцов и самок всегда была одинаковой, то по численности выловленных самцов можно было бы однозначно судить о численности в местах размещения ловушек самок и, соответственно, прогнозировать плотность отложенных ими яиц, что, однако, наблюдается далеко не всегда (Фролов, Рябчинская, 2018; Фролов и др., 2021).

Начиная с 20–30-х гг. XX века, светоловушки неоднократно пытались использовать в качестве средства снижения численности вредителей и нередко эти усилия оказывались успешными, хотя чаще всего закрытых помещениях. Так, Г. Н. Горностаев (1984) сообщал о положительных результатах борьбы с табачным жуком *Lasioderma serricorne* (F.), достигнутых в складских помещениях с помощью световых ловушек, однако основанная на феромониторинге и фумигации помещений система защиты от этого вредителя оказалась более выгодной экономически (Buchelos, Papadopoulou,

1999; da Silva et al., 2018), даже несмотря на то, что по уровню аттрактивности феромон существенно уступал источнику УФ излучения (Papadopoulou, Buchelos, 2002). Ссылки на публикации 1930–1970-х гг., в которых упоминаются другие положительные примеры борьбы с насекомыми в помещениях при использовании излучателей света, а именно с ногохвостками в теплицах и с синантропными мухами в коровниках, а также со складчатокрылыми осами в булочных и кондитерских, можно также найти в работе Г. Н. Горностаева (1984).

Защитное действие световых ловушек в полевых условиях, по мнению Г. Н. Горностаева (1984), достигалось редко и только при 1) невысокой начальной численности вредителя, 2) отлове на свет значительной доли самок и 3) ограниченности залета особей вредителя в защищаемую зону извне (Cantelo, 1974). Лишь в нескольких опубликованных в 1950–1970-х гг. работах сообщалось об успешном применении светоловушек против вредителей полевых культур – средиземноморской стеблевой совки *Sesamia nonagrioides* (Lef.) и хлопковой совки *Helicoverpa armigera* (Hbn.), европейского и восточного кукурузных мотыльков *Ostrinia nubilalis* (Hbn.) и *O. furnacalis* (Gn.) на кукурузе, а также бражников *Manduca sexta* (L.) и *M. quinquemaculata* (Haworth) на томатах и табаке (Горностаев, 1984).

Однако благодаря совершенствованию светотехники в настоящее время на рынке уже весьма широко представлены инсектицидные светоловушки самых разных конструкций: 1) профессионального назначения для установки на открытых пространствах, 2) для бытового использования в закрытых, в том числе 3) жилых помещениях, 4) для применения вне помещений, 5) промышленные установки для использования на пищевых производствах и 6) мобильные устройства небольшого размера (Дубинин, 2022). По сравнению с изделиями прошлых лет современные конструкции светоловушек способны гораздо эффективнее уничтожать насекомых не только в закрытых помещениях, но и на открытых пространствах. Убедительным примером их результативности стало применение в период проведения XXIX летних Олимпийских игр 2008 г. в Китае.

Большая часть ареала многоядного, особо опасного вредителя, лугового мотылька *Loxostege sticticalis* (L.) (Lepidoptera: Crambidae), способного совершать дальние миграции и склонного генерировать внезапные вспышки массового размножения, находится на территориях России и Китая (Фролов, 2015). В 2008 г. численность этого вредителя в первом поколении в Китае была невысокой и не вызывала опасений, однако во втором поколении внезапно произошел ее внезапный очень сильный рост. В результате массовое размножение лугового мотылька охватило до 11 миллионов гектаров сельскохозяйственных угодий (Luo et al., 2009). Ущерб от этой вспышки грозил к тому же стать репутационным, поскольку она произошла буквально накануне открытия в Пекине олимпийских игр, к проведению которых в Китае тщательно готовились (Пятирикова, 2008). Начало игр было назначено на 8 августа 2008 г., но за считанные дни до него окна и стены Олимпийского комплекса оказались облепленными огромным количеством бабочек, которые залетали в Пекин из очагов массового размножения вредителя в автономном районе Внутренняя Монголия и провинции Хэбэй, где плотность насекомых местами доходила до 500 особей на 1 м²! Китайские энтомологи в кратчайшие сроки решили проблему, перекрыв миграционные потоки насекомых сотнями электробивающих ловушек черного света (рис. 1). В результате к открытию Олимпийских игр даже единичных имаго лугового мотылька на территории комплекса



Рис. 1. Борьба с луговым мотыльком в Китае в период проведения XXIX Олимпийских игр в августе 2008 г.

1 – электроубивающие ловушки черного света на столбах электрической сети линиями перпендикулярно направлению миграционных потоков имаго лугового мотылька из северных очагов в Пекин,
2 – уничтоженные бабочки лугового мотылька в контейнере ловушки.

Фотографии предоставлены и публикуются с любезного разрешения проф. Цзяна Синьфу (Prof. Jiang Xingfu, Beijing).

уже было не найти. Разработкой комплексных систем защиты растений от лугового мотылька в Китае занимаются давно при активном участии и методическом руководстве Института защиты растений Всекитайской академии сельскохозяйственных наук в Пекине. Учеными лаборатории мигрирующих насекомых этого Института подтверждена высокая эффективность для борьбы с вредителем светоловушек, питающихся от стационарных электрических сетей или работающих автономно на солнечных батареях. Ловушки излучают свет в диапазоне 320–400 нм и уничтожают насекомых при их контакте с сеткой, находящейся под высоким напряжением (2300 в). Одна такая ловушка, согласно информации от разработчика, обеспечивает защиту от лугового мотылька посева сельскохозяйственных растений на площади 3–4 га (Zhang et al., 2008).

Приведенный пример использования современных светоловушек для контроля численности лугового мотылька наглядно свидетельствует о чрезвычайно высоком потенциале их эффективности. Этот вывод подтверждается многими данными (Shimoda, Honda, 2013), в частности, подавлением ловушками с «черным светом» размножения 25 видов насекомых, обитавших на одном из островов архипелага Виргинских островов (Cantelo et al., 1974), или впечатляющими результатами борьбы с комплексом вредителей чая, полученными при испытаниях инсектицидных ламп в целом ряде провинций Китая (Liu et al., 2013). В то же время совершенно очевидно, что широкое применение инсектицидных светоловушек для проведения истребительных мероприятий нельзя рекомендовать к бесконтрольному применению (Henton, 1974), разве что лишь изредка на участках, занятых особо ценными культурами. Поскольку вылов насекомых на свет лишен избирательности, своей отрицательной стороной он может

вызвать сверхвысокую смертность у нецелевых, в том числе полезных или охраняемых видов насекомых.

Необходимость обеспечения безопасности для безвредной энтомофауны во время использования световых ловушек не вызывает сомнений даже при организации мониторинга вредных насекомых. К примеру, в работе Е. И. Овсянниковой с соавт. (Овсянникова и др., 2020) сообщается о неудачном, по мнению авторов, опыте применения ими светодиодных ловушек в Ленинградской обл. Ловушками, установленными рядом с участками с сельскохозяйственными культурами, за сезон было собрано несколько десятков видов насекомых, однако в них попадали лишь единичные особи экономически значимых в регионе видов. С другой стороны, в литературе можно найти материалы, свидетельствующие о реальной возможности одновременного достижения обеих целей – и эффективного мониторинга целевого вредного объекта, и незначительного вылова нецелевых видов насекомых (Грушева и др., 2019; Frolov et al., 2020; Gebrezihier, Gebrezihier, 2020; Pan et al., 2020). Известно, что ультрафиолетовая часть спектра не отражается, а сильно поглощается растительностью (Caldwell, 1981). Поэтому размещая светоловушку внутри массива сельскохозяйственной культуры, мы ограничиваем спектр привлекаемых видов насекомых лишь самыми многочисленными обитателями, т. е. вредителями культуры, на посеве или посадке которой проводится мониторинг. Так, при размещении светодиодных ловушек внутри посева кукурузы, посадки капусты и яблоневого сада (не ближе 15 м от края участка) подавляющее большинство отловленных насекомых относилось к целевым объектам мониторинга, соответственно кукурузному мотыльку *O. nubilalis*, капустной моли *Plutella xylostella* (L.) и яблонной плодовой гусенице *Cydia pomonella* (L.). Особей нецелевых видов в ловушках обычно было так же мало, как и в ловушках с половыми феромонами (Фролов и др., 2021). В качестве другого решения проблемы защиты полезной энтомофауны при мониторинге крупных чешуекрылых было предложено автоматически отделять более мелких насекомых, свободно покидающих затем ловушку (Пачкин и др., 2020). Оба подхода имеют преимущества и недостатки и нуждаются в совершенствовании. При этом очевидно, что избирательность аттрактивности световых лучей для насекомых неизбежна и лишь в некоторой степени может быть скорректирована изменением спектрального состава или интенсивности излучения.

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ (СЕМИОХЕМИКИ)

Химический канал связи используется практически всеми живыми существами, обеспечивая функционирование биологических систем разного уровня сложности. На организменном уровне биологически активные вещества (БАВ) поддерживают гомеостаз внутренней среды и координацию ростовых и формообразовательных процессов, на популяционном уровне обеспечивают связь между полами и участвуют в регуляции плотности популяции, на уровне экосистем осуществляют функцию управления паразито-хозяинными, конкурентными и иными взаимоотношениями особей (Барбье, 1978; Остроумов, 1986; Harborne, 2001). Для насекомых химический канал очень важен, поскольку используется при поиске пищи, полового партнера, мест откладки яиц и для защиты от естественных врагов (Hallem et al., 2006).

Обонятельные хеморецепторы у насекомых представлены сенсиллами, изучение которых имеет долгую историю (Dethier, 1963; Boeckh et al., 1965; Елизаров, 1978; Klownden, 2013). Обонятельные сенсиллы располагаются преимущественно на ан-

теннах и на нижнечелюстных щупиках, где располагаются также вкусовые, механо-, гигро- и терморесепторы, а иногда и датчики углекислоты. Сенсорные образования представлены одной или несколькими специализированными рецепторными клетками (нейронами), обкладочными клетками и кутикулярным отделом разнообразной формы – встречаются трихонидные, базиконические, плакоидные и иной формы сенсиллы с тонкими, пронизывающими кутикулу порами, через которые молекулы стимула диффундируют, затем связываются в лимфе сенсиллы специализированными белками и транспортируются к рецептору, после возбуждения которого разлагаются эстеразами (Keil, 1999; Hansson; Stensmyr, 2011; Klowden, 2013; Suh et al., 2014, и др.). Недавние разработки в области геномики и молекулярной нейробиологии ольфакторной системы *Drosophila melanogaster* Meigen детализировали понимание ее структурно-функциональной организации (Lin et al., 2007; Laissue, Vosshall, 2008). Аксоны от обонятельных рецепторов обычно заканчиваются в обонятельных долях дейтоцеребрума, откуда информация передается по нервным путям в грибовидные тела или латеральные рога протоцеребрума для интеграции (Gruntman, Turner, 2013; Schultzhaus et al., 2017; Das Chakraborty, Sachse, 2021, и др.).

Обладающие информационной функцией летучие БАВ обычно называют аллелохемиками (Whittaker, Feeny, 1971) либо, чаще, семиохемиками (Regnier, 1971). По выполняемым функциям БАВ подразделяют на четыре группы: 1) феромоны, обеспечивающие внутривидовую коммуникацию (половые, пищевые, агрегационные, следовые, тревоги, территориальные метки и др.), 2) алломоны, обеспечивающие форму такой химической коммуникации, при которой основную выгоду получает продуцирующий их организм (антифиданты или репелленты, защищающие растение от фитофагов; аттрактанты, привлекающие энтомофагов к повреждаемым фитофагами растениям; аллелопатические вещества растений), 3) кайромоны – вещества межвидового химического взаимодействия, при котором выгоду получает воспринимающий их организм (пищевые аттрактанты для фитофагов или энтомофагов, способствующие нахождению хозяина или жертвы), и 4) синомоны, регулирующие межвидовые химические взаимодействия, при которых выгоду может получать как продуцирующий, так и воспринимающий их объект (Pickett et al., 1993).

Изучение воздействия БАВ на насекомых продолжается не меньше, чем наблюдения за лётом насекомых на свет, о чем свидетельствуют книга отца английского пчеловодства Ч. Батлера, изданная в Оксфорде в 1609 г. (Morse, Нооер, 1985), и эксперименты с *Saturnia pyri* (Denis et Schiff.), проведенные во второй половине XIX в. Ж.-А. Фабром, который обнаружил, что только что вышедшая из куколки самка способна привлечь десятки конспецифичных самцов на расстоянии в несколько километров. Истории исследований БАВ посвящено несколько публикаций, в частности, работы Д. Шнайдера (Schneider, 1999) и В. Хэнссона (Hansson, 2014). Современный этап развития химической экологии ведет отсчет со второй половины 50-х гг. XX века (Harborne, 2001; Witzgall et al., 2010), когда путем снятия электроантеннограммы была доказана обонятельная функция антенны тутового шелкопряда *Bombyx mori* (L.) (Schneider, 1957), А. Бутенандт с коллегами (Butenandt et al., 1959) достигли долгожданного успеха в расшифровке химической структуры полового феромона этого насекомого, П. Карлсон и М. Люшер (Carlson, Lusher, 1959) дали определение феромону как выделяемому в окружающую среду живым организмом веществу, вызывающему специфическую реакцию у особей того же биологического вида, а Дж. С. Фрэнкель (Fraenkel, 1959) опубликовал работу под говорящим названием: «Смысл существо-

вания вторичных растительных соединений: эти странные химические вещества возникли как средство защиты растений от насекомых, а теперь используются насекомыми для поиска пищи». 1970–1980-е гг. были отмечены широкомасштабными испытаниями феромонных продуктов, предназначенных для использования в защите растений (Reddy, Guerrero, 2010; Witzgall et al., 2010). В результате уже к 1990-м гг. были достигнуты впечатляющие успехи в управлении размножением доброго десятка вредных видов, таких как *Pectinophora gossypiella* (Saunders), *Grapholita molesta* (Busck), *Keiferia lycopersicella* (Walsingham), *Epiphyas postvittana* (Wlk.), *Synanthedon tipuliformis* (Clerck), *Eupoecilia ambiguella* (Hbn.), *Lobesia botrana* (Den. et Schiff.), *Paralobesia viteana* (Clemens), *Argyrotaenia velutinana* (Wlk.), *Cydia pomonella* и др. (Cardé, Minks, 1995). С начала XX столетия удалось существенно расширить представления о механизмах восприятия запахов насекомыми, в том числе благодаря переходу исследований на геномный уровень (De Bruyne, Baker, 2008; Leal, 2013; Montagné et al., 2015; Fleischer et al., 2018; Cassau, Krieger, 2021).

Совершенно очевидно, что благодаря эффективности и безопасности для окружающей среды семиохемии представляют для защиты растений огромный интерес (Mitchell, 1980; Pickett et al., 1997; Буров, Новожилов, 2001; Cox, 2004; Smart et al., 2014). Наибольшей популярностью среди них пользуются феромоны, которые по характеру воздействия на мишень делятся на праймеры, вызывающие медленные фундаментальные физиологические изменения у особей-мишеней, и релизеры, стимулирующие немедленные и обратимые поведенческие реакции (Klowden, 2013). Как правило, праймеры используются общественными насекомыми для регулирования социальных взаимодействий. В жизни одиночных видов насекомых основное значение имеют релизеры – половые и агрегационные феромоны, которым посвящена обширная литература (Ando et al., 2004; Reddy, Guerrero, 2004, 2010; Магомедов и др., 2009; Wicker-Thomas, 2011; Лебедева и др., 2012, 2016; Рябчинская и др., 2015; Yew, Chung, 2015; Вендило, Лебедева, 2016; Пятнова и др., 2016; Рябчинская, Фролов, 2016; Stökl, Steiger, 2017; Brezolin et al., 2018; Ishikawa, 2020).

Половые феромоны обычно подразделяют на три категории: половые аттрактанты, которые привлекают особей противоположного пола; половые репелленты, отпугивающие особей того же пола, и антиферомоны, подавляющие восприятие реципиентом полового аттрактанта (Brown, 1977; Saad, Scott, 1981; Гричанов, Овсянникова, 2005; Лебедева и др., 2016, и др.). Помимо указанных, выделяют также категорию параферомонов – искусственно модифицированных аналогов природных молекул феромонов (Renou, Guerrero, 2000). Как правило, природные половые феромоны представляют собой многокомпонентные смеси соединений, каждое из которых участвует в выполнении специфической функции: основные компоненты привлекают насекомого с дальнего расстояния, а минорные отвечают за другие функции (остановку, приземление, ухаживание и копуляцию), что обеспечивает успешность полового контакта конспецифичных особей и поддержание межвидовой презиготической репродуктивной изоляции (Cardé, Baker, 1984; Linn, Roelofs, 1989; Howse et al., 1998; Allison, Cardé, 2016; Chen et al., 2018, и др.).

В многочисленных публикациях детально рассматриваются области применения синтетических половых аттрактантов (СПА) в защите растений, в том числе для 1) выявления карантинных объектов, раннего обнаружения и контроля за распространением адвентивных видов; 2) сигнализации о начале вылета и наблюдений за дина-

микой лёта местных вредных видов, надзора за их миграциями и кочевыми перемещениями; 3) сезонного прогноза численности вредителей и оценки экономического порога вредоносности; 4) определения сроков проведения истребительных мероприятий; 5) массового вылова, дезориентации, стерилизации, инфицирования или токсикации. Иными словами, СПА находят практическое применение в двух основных направлениях защиты растений – в качестве средства для получения информации о состоянии популяций вредителей и как инструмент для снижения их численности. Первое направление, а именно феромониторинг, нашло широкое применение для раннего обнаружения очагов размножения вредителей, в первую очередь карантинных, установления границ ареала и зон вредоносности, оценки плотности и для сезонного прогноза численности популяции при принятии решения о проведении защитных мероприятий, прогнозирования и оценки их эффективности. На уловистость СПА влияет множество факторов – погодные условия (температура и влажность воздуха, осадки, скорость ветра, освещенность), состояние популяции объекта (плотность, соотношение полов, активность), а также состав применяемой смеси (соотношение компонентов, их чистота, дозировка в препаративной форме), материал диспенсера, конструкция ловушек и технология их использования (схема размещения, частота обслуживания) (Webster et al., 1986; Филимонов, Богданова, 1988; Dent, Pawar, 1988; Mitchell et al., 1989; Kondo et al., 1993; Kehat et al., 1994; Гричанов, Овсянникова, 2005; Weinzierl et al., 2005; Witzgall et al., 2010; Prasannakumar et al., 2012; Rizvi et al., 2021, и др.). Неуклонно растущие требования к безопасности применяемых средств защиты растений ведут к всё более активному вовлечению в них феромонных продуктов и за рубежом (Howse et al., 1998; El-Sayed et al., 2006; Čokl, Millar, 2009; Cui, Zhu, 2016; Roge, 2021, и др.), и в России (Сазонов, 1988; Филимонов, Богданова, 1988; Яцынин, 1989; Пятнова, 2007; Войняк и др., 2009; Рябчинская и др., 2015; Вендило, Лебедева, 2016; Пятнова и др., 2016; Долженко, 2017). Повсюду эти продукты убедительно демонстрируют весь комплекс своих замечательных свойств – селективность действия, высокую эффективность, низкую токсичность, высокую летучесть и слабую персистентность.

Полагают, что грамотно проведенный мониторинг повышает экологичность истребительных мероприятий, сохраняет полезную энтомофауну, способствует повышению экономической эффективности защиты растений, на 30–100 % сокращая число химических обработок (Коваленков и др., 2000; Гричанов, Овсянникова, 2005; Лебедева и др., 2006, 2012, 2016; von Kröcher, Röhrig, 2007; Пятнова и др., 2016; Рябчинская, Фролов, 2016; Долженко, 2017; Cros et al., 2020; Dent, Binks, 2020, и др.). Обычно экономическая эффективность применения феромонов оценивается экспертным путем весьма приблизительно и лишь изредка она базируется на расчетах реальной экономической выгоды. Так, было подсчитано, что долгосрочное использование феромонных ловушек для мониторинга цитрусовой плодовой галеры *Gymnandrosoma aurantianum* Lima в центральной и южной Бразилии обеспечивает поддержание уровня доходности в пределах 5–50 % (Bento et al., 2016).

В случае причинения вреда насекомыми на личиночной стадии основным и непременным условием эффективного мониторинга с помощью СПА должна быть статистически достоверная регрессионная зависимость между числом отловленных имаго и плотностью на растениях преимагинальных стадий дочернего поколения. Чаще всего она при проведении полевых исследований такая связь обнаруживается (Tingle, Mitchell, 1981; Baker et al., 1982; Ramaswamy et al., 1983; Allen et al., 1986; Evenden

et al., 1995; Coll et al., 2000; Nofemela, 2010; Rhainds et al., 2015; Carrière et al., 2017), однако не всегда и не везде, поскольку на эту зависимость влияет множество факторов, в том числе погодные условия, биологические свойства насекомого, его популяционная динамика, особенности хозяйственной деятельности, конструкция и размещение ловушек (Miluch et al., 2013; Mason, Isaacs, 2018). Так, детальный анализ характера связи между плотностями имаго хлопковой совки *Helicoverpa armigera* в феромонных ловушках и особей ее преимагинальных стадий на растениях показал, что она существенно варьирует в зависимости от погодных условий и фазы динамики численности вредителя (Гричанов, Овсянникова, 2005). Неудивительно поэтому, что разные авторы приходят к противоположным выводам относительно возможности использовать феромоны для сезонного прогноза динамики численности этого вида. Во многих публикациях сообщается, что плотность отловленных феромонными ловушками имаго хлопковой совки достоверно коррелирует с плотностью гусениц на растениях (Bourdouxhe, 1980; Izquierdo, 1996; Visalakshmi et al., 2000; Sonkar et al., 2012; Саранцева и др., 2014; Pal et al., 2014; Rawat et al., 2017), однако нередки указания либо на отсутствие такой связи (Kehat et al., 1982; Nyambo, 1989; Кравченко, 1991), либо на нестабильность ее проявления при разных условиях (Loganathan, Uthamasamy, 1998; Yadav et al., 2021).

В отношении другого вредного объекта – кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* – противоположные мнения высказывались даже по поводу возможности применения феромонных ловушек для наблюдения за динамикой лёта имаго. Действительно, хотя очень многие исследователи отмечали, что СПА служат надежным средством учёта численности этого вредителя (Kalinová et al., 1994; Bartels et al., 1997; Reardon et al., 2006; Pélozuelo, Frérot, 2007; Войняк, Ковалев, 2010, Kárpáti et al., 2016; Фролов, Грушевая, 2017), слишком часто появлялись сообщения о ненадежности либо даже невозможности их применения для мониторинга (Stockel et al., 1984; Maini, Burgio, 1994; Keszthelyi, Lengyel, 2003; Rak Cizej, Persolja, 2013; Грушевая и др., 2015; Рябчинская, 2016). Хотя неудачи при использовании СПА для целей мониторинга могут быть разными, чаще всего первопричиной их является то обстоятельство, что аттрактивность СПА ограничена лишь самцами, прогностическая ценность которых существенно ниже, чем самок (Witzgall et al., 2010). Хотя установлено, что отдельным представителям чешуекрылых (в том числе из семейств Tortricidae, Noctuidae, Arctiidae, Cossidae, Sesiidae, Yponomeutidae и Pyralidae), жесткокрылых, реже – тараканов и двукрылых свойственно так называемое автоопределение (способность продуцирующих феромон самок ощущать его запах), их поведенческие реакции на феромон различны: в одних случаях феромон вызывает реакцию агрегации, а в других, наоборот, стимулирует расселение (Holdcraft et al., 2016). Поскольку проявление автоопределения у насекомых разнообразно, его необходимо должным образом изучить до того, как применять ловушки со СПА для мониторинга или управления численностью.

Вполне понятен поэтому интерес исследователей к семиохемикам растительного происхождения, проявляющим кайромонную активность в отношении растительноядных насекомых. Действительно, к настоящему времени накоплено множество данных, свидетельствующих о том, что фитофаги при выборе растения-хозяина в значительной степени руководствуются составом продуцируемых растением летучих соединений (Thorsteinson, 1960; Visser, 1986; Metcalf, Kogan, 1987; Renwick, Chew, 1994; Hui et al., 2004; Gordon-Weeks, Pickett, 2009; Reinecke, Hilker, 2014; Frérot et al., 2017; Ômura, 2018). Идентифицированы тысячи летучих БАВ – вторичных метаболитов рас-

тений, включая алканы, алкены, спирты, кетоны, альдегиды, эфиры, органические кислоты, которые определяют поведенческие реакции насекомых при поиске и выборе кормовых растений. Некоторые соединения образуются только после нанесения фитофагом повреждения, другие же продуцируются также интактными растениями, хотя и в меньших количествах (Dudareva et al., 2004, 2013; Knudsen et al., 2006; Laothawornkitkul et al., 2009). Эти соединения могут выполнять самые разные функции, в том числе обеспечивать защиту от фитофагов путем привлечения энтомофагов (Holopainen, Blande, 2013), поддерживая тем самым функционирование сложных тритрофных систем (Turlings, Erb, 2018). Более того, вторичные метаболиты растений, вероятно, играют важную роль и при формировании структуры экосистем (Kessler, Kalske, 2018). Таким образом, вполне закономерен интерес специалистов по защите растений к семиохемикам растительного происхождения с целью использования их для мониторинга вредных растительоядных видов и для управления их численностью (Smart et al., 2014; Reisenman et al., 2016; Blassioli-Moraes et al., 2019).

Действительно, в тех случаях, когда использование СПА не обеспечивает достаточно эффективного мониторинга вредного объекта, самым простым решением проблемы может стать добавление к СПА синтетического семиохемика с кайромонной функцией (СКФ), что способно существенно повысить надежность и прогностическую достоверность результатов наблюдений (Maini, Burgio, 1999; Deng et al., 2004; Reddy, Guerrero, 2004; Yang et al., 2004; Tasin et al., 2007; Mahroof, Phillips, 2008; Schmidt-Büsser et al., 2009, и др.). В случае же слишком низкой эффективности СПА мониторинг вредного объекта может быть осуществлен и при использовании СКФ в качестве приманки в чистом виде, конечно, при условии 1) высокого уровня его аттрактивности и 2) достаточно узкого спектра привлекаемых СКФ иных энтомологических объектов. Так, выделенный из рылец растений кукурузы фенилацетальдегид оказался весьма аттрактивным для широкого круга растительноядных насекомых, в том числе совок *Helicoverpa armigera*, *Autographa gamma* (L.), *Trichoplusia ni* (Hbn.) и *Chrysodeixis includens* (Walker), кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis*, пестрянки *Cisseps fulvicollis* (Hbn.), клопа-слепняка *Lygus lineolaris* (Palisot) и многих других видов насекомых (Cantelo, Jacobson, 1979a; Maini, Burgio, 1990; Burgio, Maini, 1994). В светоловушка попадало существенно больше насекомых при добавлении в качестве приманки фенилацетальдегида (Cantelo, Jacobson, 1979b). Это соединение неоднократно пытались использовать для мониторинга кукурузного мотылька, как основного вредителя кукурузы (Maini, Burgio, 1990, 1994; Pélozuelo, Frérot, 2007; Camerini et al., 2015), однако из-за низкой видоспецифичности привлекающего действия эти усилия успехом не увенчались. И только когда был обнаружен синергический по аттрактивности эффект для имаго кукурузного мотылька комбинации фенилацетальдегида с другим летучим семиохемиком 4-метокси-2-фенэтиловым спиртом, удалось получить эффективный СКФ (Molnár et al., 2015). Смесь указанных соединений под официальным коммерческим названием «bisex lure» («бисексуальная приманка») обеспечивала в 3–5 раз более высокую аттрактивность для имаго кукурузного мотылька в сравнении с традиционными СПА, причем самок привлекалось существенно больше, чем самцов (Tóth et al., 2016). Испытания этой приманки, проведенные в пяти странах Европы (Болгарии, Венгрии, Италии, Словении и Турции), показали отличные результаты: в 11 экспериментах из 13 число собранных в ловушки имаго кукурузного мотылька статистически достоверно превышало таковое в ловушках, снабженных СПА (Tóth et al., 2017). Проведенные на Северном Кавказе и в Воронежской обл. испытания

этого препарата полностью подтвердили его высокую эффективность (Фролов и др., 2020а). При этом оказалось, что данная смесь семиохемиков не лишена недостатков: когда ловушки с ней были размещены рядом с полем гречихи, в них в массе стали попадать шмели, а не бабочки вредителя (рис. 2). Производитель этой приманки в сопроводительной инструкции предупреждает, что снабженные ею ловушки ни в коем случае нельзя размещать вблизи пчелиных ульев. Такая рекомендация с биологической точки зрения вполне понятна, поскольку пчелы активно собирают пыльцу с цветущих метелок кукурузы и, возможно, ориентируются при этом на запах летучих БАВ. Но предвидеть, что шмели также будут привлекаться бисексуальной приманкой, вряд ли было возможно, ведь они не собирают пыльцу кукурузы. Приведенный пример ясно показывает, что диапазон видоспецифичности аттрактивного действия у СКФ для растительноядных насекомых в целом гораздо шире, чем у СПА, что делает СКФ потенциально намного более опасным для нецелевой энтомофауны (Murali-Baskaran et al., 2018). Эту особенность аттрактивного эффекта СКФ следует учитывать даже при использовании его для мониторинга, не говоря уже о применении в качестве средства борьбы.

Как выше уже отмечалось, помимо использования для феромониторинга БАВ находят применение также для управления численностью вредных насекомых. Среди известных способов использования БАВ в качестве средств борьбы прямого действия выделяют 1) массовый вылов насекомых обоих полов, 2) создание «самцового вакуума» путем массового вылова самцов, 3) дезориентацию самцов, которые становятся неспособными найти конспецифичных самок в условиях насыщения испарениями СПА воздуха в местообитаниях насекомых. Направления непрямого действия



Рис. 2. Контейнер конической ловушки, снабженной приманкой bisex lure, с пойманными в течение трех дней шмелями. Ловушка была установлена вблизи посева гречихи по предшественнику кукуруза на зерно, окр. с. Чураево Белгородской обл., 2019 г. (Фролов и др., 2021).

включают применение СПА в комплексе с другими средствами защиты растений, в том числе хемостерилиантами и энтомопатогенными микроорганизмами.

Из перечисленных направлений раньше остальных начали применять массовый вылов феромонными ловушками особей вредных видов (Емельянов, Булыгинская, 1999; El-Sayed et al., 2006; Savoldelli, Trematerra, 2011; Suckling et al., 2015), поскольку при прочих равных условиях он способен обеспечивать более значительное снижение численности в сравнении с методом дезориентации, ведь нарушение процесса спаривания лишь задерживает, но не отменяет поиск полового партнера, тогда как массовый отлов его полностью предотвращает (Byers, 2012). Однако технология нарушения спаривания разработана намного основательнее и, соответственно, гораздо чаще используется в качестве приема прямой борьбы с вредителями (Lance et al., 2016).

Применение технологии массового отлова зависит от целого ряда условий: 1) СПА должен быть высоко аттрактивным, 2) эффективность выше при низкой начальной численности объекта и ограниченности потоков иммигрантов, 3) воздействие на численность намного сильнее при использовании аттрактанта, привлекающего не столько самцов, сколько самок, т. е. агрегационного феромона, 4) эффект более высок в случае долгоживущих и медленно размножающихся объектов, 5) результативность определяется конструкцией ловушек и технологией их размещения, 6) экономический эффект в решающей степени зависит от стоимости феромонного продукта, ловушек и ручного труда, необходимого для их установки. В том случае, когда феромонные ловушки отлавливают лишь самцов, в популяции вредителя ожидается возникновение так называемого эффекта самцового вакуума, в результате которого значительная, если не основная, часть самок окажется неспособной оставить потомство. И хотя чтобы получить экономически приемлемый эффект обычно требуется отловить не менее 80–95 % самцов в популяции (Hegazi et al., 2009), имеется немало примеров успешного использования метода массового отлова для подавления размножения вредных видов. Среди последних прежде всего следует упомянуть вредителей сада и древесных насаждений (чешуекрылых, короедов, пальмовых долгоносиков), а также вредителей запасов (Madsen, Carty, 1979; Trematerra, 1997; Schlyter et al., 2001; Cork et al., 2003; El-Sayed et al., 2006; Hegazi et al., 2009; Larrain et al., 2009; Savoldelli, Trematerra, 2011; Byers, 2012; Suckling et al., 2015).

Однако наиболее востребованным способом применения СПА в защите растений стал метод дезориентации самцов вредного вида, теряющих способность найти конспецифичных самок на участке, воздушное пространство которого насыщено парами препарата (Taschenberg, Roelofs, 1978; Cardé, Minks, 1995; Witzgall et al., 2008; Benelli et al., 2019, и др.). Для достижения эффекта дезориентации используют разные методы внесения феромонного продукта, в том числе вручную, в виде микрокапсул, полых волокон, или специальных диспенсеров, обеспечивающих высокий и продолжительный уровень эмиссии СПА (Welter et al., 2005). Максимальной эффективностью характеризуются диспенсеры, выделяющие феромон с постоянной скоростью, дешевые в производстве и простые в использовании, полностью разлагающиеся по истечении срока действия (Hummel et al., 2013). Метод дезориентации характеризуется весьма высоким уровнем технологичности, что обеспечивает геометрический рост площадей сельскохозяйственных культур, защищаемых от вредных насекомых с его помощью (Witzgall et al., 2010; Ioriatti, Lucchi, 2016). Наиболее успешные примеры подавления размножения вредителей с помощью метода дезориентации, достигнутые

в отношении непарного шелкопряда *Lymantria dispar* (L.), яблонной плодовой жоржки *Cydia pomonella*, гроздовой листовертки *Lobesia botrana* (Denis et Schiffmüller), восточной плодовой жоржки *Grapholita molesta*, изюмной моли *Cadra cautella* (Walker), мельничной огневки *Ephesia kuehniella* Zeller, индийской мучной моли *Plodia interpunctella* (Hbn.) и древооточка *Cossus insularis* (Staudinger), рассмотрены в недавнем обзоре С. Ризви с соавт. (Rizvi et al., 2021). О положительных результатах использования метода дезориентации сообщается также в публикациях отечественных авторов (Вендило и др., 2009; Лебедева и др., 2012; Пятнова и др., 2013; Долженко и др., 2018; Юрченко, 2019; Кулакова и др., 2022, и др.). В настоящее время, безусловно, наиболее широко в мире метод дезориентации применяется против яблонной плодовой жоржки (Witzgall et al., 2008). В Российской Федерации против этого вредителя официально разрешены к применению препараты Шин-Етсу МД СТТ, д (Шин-Етсу Кемикал Ко.) и Бриз (БАСФ СЕ). Диспенсеры, содержащие кодлемон (СПА яблонной плодовой жоржки), развешиваются в саду в количестве 500 шт. на 1 га перед началом лета имаго перезимовавшего поколения (Государственный каталог..., 2022). Технология дезориентации продолжает бурно развиваться и в ближайшем будущем можно ожидать новых достижений в этом направлении (Miller, Gut, 2015; Rizvi et al., 2021), в том числе благодаря удешевлению феромонных продуктов, которые планируется получать с использованием биотехнологических способов синтеза (Holkenbrink et al., 2020; Petkevicius et al., 2020).

Для достижения высокого защитного эффекта при использовании метода дезориентации требуется знание природы механизмов, нарушающих в популяции вредителя процесс спаривания (Suckling et al., 2018). Эти механизмы могут действовать не только конкурентным, но и неконкурентным образом (Miller et al., 2006a), что встречается гораздо реже (Miller et al., 2006b). Защищаемая территория должна быть максимально изолирована от иммиграционных залетов оплодотворенных самок вредителя. В противном случае эффективность мероприятия может оказаться гораздо ниже ожидаемой. И, наконец, необходимо иметь в виду ненулевую вероятность развития резистентности вредителя к СПА, например, за счет повышения эмиссии феромона самками и роста порога реакции самцов, а также изменений в составе феромона в ряду последовательных поколений (Шамшев, Гричанов, 2008). Первый тревожный сигнал о высоком микроэволюционном потенциале насекомого, способном обеспечить размножение в условиях применения средств дезориентации, был получен в отношении хлопковой моли *Pectinophora gossypiella* (Evenden, Haynes, 2001), а затем и зерновой моли *Plodia interpunctella* (Svensson et al., 2002). Первый случай выработки резистентности к средствам дезориентации был обнаружен в Японии для чайной листовертки *Adoxophyes honmai* Yasuda (Mochizuki et al., 2008). Используемый в качестве средства дезориентации этого насекомого (Z)-11-тетрадецилацетат в первые четыре года предотвращал спаривания бабочек на 96 %, однако через 14–16 лет эффект снизился до 50 % (Mochizuki et al., 2002). Реакция самцов устойчивой популяции на компоненты полового феромона отличалась от реакции самцов дикого типа; в частности, они привлекались приманками со значительно измененным соотношением компонентов (Tabata et al., 2007).

Таким образом, несмотря на очевидные достоинства и неплохие перспективы, применение СПА в качестве средства управления численностью (массовый отлов или дезориентация самцов) имеет немало ограничений. Поэтому дальнейшее его развитие направлено на усиление эффектов, вызываемых БАВ, благодаря комбинированию с другими защитными средствами. Одним из таких комбинированных подходов в

борьбе с вредными объектами стало совместное использование СПА с хемотрестерилантами, т. е. автостерилизация (Булыгинская и др., 1987). Хотя работы в этом русле продолжают (Cristman et al., 2017), перспективы практического применения такого подхода представляются довольно ограниченными.

Более многообещающим для защиты растений представляется совместное применение семиохемиков с агентами биологического метода (Sharma et al., 2019). Суть подхода, получившего название автодиссеминации, состоит в том, что сначала имаго вредного насекомого привлекаются в ловушки с аттрактантом, где заражаются патогенными микроорганизмами, которые затем распространяются в популяции вредителя инфицированными особями. Потенциальная эффективность применения такого подхода безусловно выше, чем от массового вылова, поскольку даже не посещавшие ловушек особи будут погибать от распространившихся в популяции вредителя энтомопатогенов (Vega et al., 2000; Reddy, Guerrero, 2010). В качестве агентов автодиссеминации обычно предлагается использовать энтомопатогенные грибы *Beauveria bassiana* (Balsamo-Crivelli) и *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) (Gutiérrez-Cárdenas et al., 2019; Akutse et al., 2020; Mkiga et al., 2021; Zekeya et al., 2022), реже – нематод (Пушня и др., 2021), простейших (Shapas et al., 1977) или вирусы (Jackson et al., 1992).

Наиболее перспективным направлением применения летучих семиохемиков (в том числе феромонов) для управления численностью вредных насекомых в настоящее время считается так называемая стратегия «Push-Pull» («отталкивание-притягивание») (Khan, Pickett, 2008; Reddy, Guerrero, 2010; Eigenbrode et al., 2016), которую все чаще рассматривают в качестве альтернативы химическим инсектицидам. Данная стратегия предусматривает одновременное использование репеллентов для отпугивания вредителя от находящихся под защитой участков («отталкивание») и аттрактантов, привлекающих его в другие местообитания («притягивание»). Использование данной стратегии требует глубокого знания экологических особенностей вредного объекта, химизма защищаемой культуры и роли БАВ в регуляции экосистемных процессов (Cook et al., 2007).

СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ СВЕТОВОГО И ХИМИЧЕСКОГО СИГНАЛОВ

Необычайное разнообразие и широчайший диапазон экологических ниш, занимаемых насекомыми (Stork, 2018), – следствие исключительной удачности их «конструкции», созданной природой (Чернышев, 1996), которую отличают, в частности, высокоорганизованные сенсорная и нейромоторная системы, более сопоставимые с таковыми позвоночных животных, чем с системами других беспозвоночных (Gullan, Cranston, 2014). Работы К. фон Фриша с цветным зрением и химическими чувствами насекомых на примере медоносной пчелы *Apis mellifera* L. открыли окно в отличный от человеческого мир восприятий. Однако дальнейшее изучение зрительной и обонятельной систем насекомых долгое время развивалось по двум продуктивным, но независимым траекториям, оставляя по большей части незатронутыми вопросы о том, каким образом насекомые руководствуются обеими этими чувствами согласованно (Leonard, Masek, 2014). Поэтому В. Б. Уиглесворс (Wigglesworth, 1934) был совершенно прав, указав в заключении к своей эпохальной книге «Физиология насекомых», что хотя насекомые достигают своих целей при помощи бесконечного разнообразия чувственных восприятий, механизмы, благодаря которым обеспечивается цельность их поведения, все еще совершенно ускользают от физиологического анализа. Оче-

видно, что нервная система насекомых построена таким образом, чтобы не только выполнять мгновенные действия, не требующие контроля со стороны головного мозга (Burdohan, Comer, 1996), но и совершать сложные поведенческие акты, в том числе с использованием предшествующего опыта. Такая организация, названная децентрализованной, предполагает, что в одних случаях быстрые решения могут приниматься лишь на основе получения нервными узлами унимодальной сенсорной информации, тогда как в других требуется серьезный анализ мультимодальной информации, который осуществляется высшими мозговыми центрами (Wessnitzer, Webb, 2006).

Мультимодальные механизмы обработки информации все еще слабо изучены (Thiagarajan, Sachse, 2022), и интерес к вопросам интеграции сложных комбинаций сигналов, воспринимаемых сенсорными системами насекомых, неуклонно растет. Так, с использованием разных модельных объектов, в том числе представителей перепончатокрылых, двукрылых, чешуекрылых, жесткокрылых, прямокрылых и других отрядов была показана важность одновременного анализа поступающей из независимых источников сенсорной информации как условия для эффективного контроля поведения. Было установлено, что при поиске источника пищи самка кровососущего комара *Aedes aegypti* (L.) использует сенсорную информацию, поступающую по нескольким каналам – визуальному, тепловому и обонятельному (McMeniman et al., 2014). У *Drosophila melanogaster* инициирование пищевого поведения обеспечивается информацией, получаемой по трем независимым сенсорным каналам – от вкусовых, обонятельных и механорецепторов (Oh et al., 2021), а табачный бражник *Manduca sexta* при выборе подходящих для питания цветков растений руководствуется как ольфакторными, так и визуальными сигналами, причем пищевое поведение активизируется лишь при рецепции комплементарных сигналов, приходящих по каналам обеих сенсорных систем (Raguso, Willis, 2002; Balkenius et al., 2009). Накоплено очень много данных, свидетельствующих о том, что поведение насекомых при выборе растений базируется на сложной совокупности сенсорных сигналов – визуальных, обонятельных, а также тактильных и вкусовых, причем их взаимодействия играют, очевидно, определяющую роль в принятии насекомым решения о соответствии растения его потребностям. В частности, получено множество подтверждений важности интеграции зрительных и ольфакторных стимулов у антофильных видов насекомых, включая классических опылителей, при выборе цветков растений для посещения (Kevan, Baker 1983; Kunze, Gumbert, 2001; Raguso, Willis, 2002; Leonard et al., 2011; Tang et al., 2013; Kantsa et al., 2017; Balamurali et al., 2020; Barragán-Fonseca et al., 2020). Для растительноядных насекомых собрано немало данных, указывающих на важную роль взаимодействий визуальных, обонятельных и иных стимулов, определяющих выбор пригодных видов растений-хозяев (Tuttle et al., 1988; Björklund et al., 2005; Blackmer, Cañas, 2005; Campbell, Borden, 2006a, 2006b, 2009; Brévault, Quilici, 2010; Otálora-Luna et al., 2013; Lyu et al., 2015; Kerr et al., 2017; Schröder et al., 2017; Park et al., 2018, 2019). При изучении поведения общественных насекомых (медоносной пчелы и муравьев) установлена их способность не только к простым действиям на основе стимулов, связанных с добыванием пищи, но и к сложным когнитивным операциям, таким как концентрация, прогнозирование и планирование (Dornhaus, Franks, 2008; Menzel, 2012), причем и в этих случаях также была доказана высокая эффективность обучения с использованием бимодальных (обонятельного и визуального) стимулов. Таким образом, есть все основания полагать, что сверхаддитивный, т. е. синергический эффект (Latash, 2008) при взаимодействии зрительного и

ольфакторного сигналов обеспечивается мультимодальной интеграцией сенсорной информации в высших центрах головного мозга насекомого (Thiagarajan, Sachse, 2022). Соответственно, не вызывает сомнения перспективность глубокого изучения когнитивных способностей насекомых, включая структурно-функциональную организацию работы их мозга (Чайка, 2015).

Исследования сенсорных систем насекомых очень важны для прикладной энтомологии (Тыщенко, 1986). Так, например, хорошо известно, что насекомые по-разному привлекаются в снабженные одним и тем же аттрактантом ловушки разного цвета, и учитывая это обстоятельство можно существенно повысить их эффективность (Smart et al., 1997; Alyokhin et al., 2000; Campbell, Borden, 2006a; Mizell et al., 2007; Vuts et al., 2012; Arnold et al., 2016; Karmakar et al., 2018; Murtaza et al., 2019, и др.).

В настоящее время при проведении мониторинга вредных объектов широко используются ловушки, снабженные летучими семиохемиками (главным образом СПА), к неоспоримым достоинствам которых относятся избирательность привлекающего действия, легкость установки, мобильность и низкая стоимость (Srivastava, Srivastava, 1989, Cocco et al., 2012, и др.). Опубликовано также немало данных, свидетельствующих о том, что феромонные ловушки способны обеспечивать бóльшую, чем у световых ловушек, эффективность отлова, особенно при низкой плотности объекта мониторинга, однако на их уловистость могут существенно повлиять условия, в которых используются ловушки (Bucher, Bracken, 1979; Ho, Reddy, 1983; Delisle et al., 1998; Landolt et al., 2011, и др.). Много работ, в которых сообщается, что световые ловушки, наоборот, обеспечивают бóльшие объемы вылова целевых объектов мониторинга в сравнении с феромонными (Ho, Reddy, 1983; Nyambo, 1988; Cocco et al., 2012; Frolov et al., 2020, и др.). Из-за неизбирательности в отношении привлекаемых видов насекомых использование световых ловушек, как правило, более трудоемко (требуется провести таксономическую диагностику отловленного материала) и потенциально более опасно для окружающей среды из-за возможности нанесения ущерба полезной энтомофауне. Существенное преимущество световых ловушек – привлечение ими особей обоих полов, и нередко они точнее сигнализируют о начале лёта и прохождении его пика. Есть немало свидетельств и тому, что феромонные и световые ловушки в равной степени позволяют выявлять тренды динамики численности объектов мониторинга (Hendricks et al., 1973; Roach, 1975; Fletcher-Howell et al., 1983; Wilson, Bauer, 1986; Nyambo, 1988; Srivastava, Srivastava, 1989; Campbell et al., 1992; van Rensburg, 1992; Bartels et al., 1999; Östrand et al., 2007; Baker et al., 2011; Bereś, 2012; Cocco et al., 2012; Грушевая и др., 2019, и др.). Тем не менее, можно встретить утверждения, что пик отлова самцов в феромонные ловушки наступает лишь после того, как численность самок в популяции к концу лёта сильно снизится и они начнут проигрывать синтетическому феромону в приманивании самцов (Witzgall et al., 2010). Кроме того, основной недостаток многих снабженных СПА ловушек состоит в том, что они способны отлавливать лишь самцов, но не самок вредителя. По этой причине результаты отлова ловушками могут давать смещенные, с невысокой достоверностью оценки численности объекта мониторинга (Ramsden et al., 2017) и даже более того, выдавать ложную информацию о его состоянии. Поэтому при мониторинге вредного насекомого всегда имеет смысл одновременно использовать как световые, так и феромонные ловушки.

Для подтверждения последнего тезиса рассмотрим северные очаги массового размножения кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* в Белоруссии и Центральном Черноземье Российской Федерации, которые сформировались после того, как здесь стали активно выращивать кукурузу для получения зерна. Любопытно, что установленные на посевах этой культуры ловушки со стандартными СПА слабо или даже вообще не привлекали самцов местных популяций вредителя (Грушевая и др., 2015). До этого считалось, что репродуктивное поведение кукурузного мотылька изучено до мельчайших подробностей. Так, результатами многочисленных наблюдений в США было установлено, что перед спариванием имаго обоих полов перелетают из мест зимовки на посевы кормовых растений, прежде всего кукурузы, где концентрируются на прилегающих к посевам участках с невысокой густой растительностью (Showers et al., 1976; DeRozari et al., 1977; Sappington, Showers, 1983, и др.). В этих местах бабочки и спариваются, причем после посещения посева для откладки яиц многие самки возвращаются в них и повторно спариваются, а вот самцы чаще остаются в этих агрегациях (Sappington, Showers, 1983). На Северном Кавказе имаго вредителя перезимовавшего поколения ведут себя сходно: бабочки из мест зимовки перелетают в места агрегаций, которые располагаются рядом с посевами кукурузы, покрыты невысокой густой растительностью и, как правило, примыкают к лесным полосам (Фролов, Тришкин, 1992; Фролов и др., 1996). В литературе, правда, можно найти единичные упоминания и о принципиально ином репродуктивном поведении насекомых перезимовавшего поколения. По наблюдениям в Швейцарии, подавляющее большинство бабочек спаривается в местах перезимовки или неподалеку от них, так что на поиск растения-хозяина для откладки яиц вылетают уже оплодотворенные самки, тогда как большая часть самцов остается в местах отрождения (Cordillot, Duelli, 1989). На эти сведения, к сожалению, особого внимания не обратили, и о том, что популяции вредителя делятся на две группы по репродуктивным тактикам имаго, стало ясно лишь когда пришлось разбираться с причинами низкой эффективности ловушек со СПА в Белоруссии и Центрально-Черноземном районе РФ. Цикл исследований с использованием газовой и хромато-масс-спектрометрии экстрактов абдоминальных желез самок, молекулярно-генетического анализа и снятия электроантеннограмм у самцов доказал принадлежность особей кукурузного мотылька из северных очагов вредоносности к широко распространенной стандартной феромонной Z-расе вредителя. Таким образом, низкая эффективность феромонных ловушек не была обусловлена возможной специфичностью состава полового феромона, тем более что самцы в массе привлекались ловушками со СПА на полях, непосредственно примыкающих к участкам, где кукурузу выращивали в прошлом году. Когда же расстояние между источником расселения имаго вредителя после зимовки, т. е. полем, где в предыдущем году выращивали кукурузу на зерно, и посевом кукурузы текущего года превышало 1.5 км, самцы если и попадали в феромонные ловушки, то в совсем небольшом количестве, а растения, тем не менее, оказывались поврежденными, что говорит о том, что оплодотворенные самки туда прилетали (Фролов, Рябчинская, 2018; Фролов и др., 2021). Известно, что большинство бабочек кукурузного мотылька в течение жизни перемещается на довольно короткие расстояния (Sappington, 2018), однако только сейчас стало понятно, что летная активность самцов и самок в разных популяциях существенно различается в зависимости от того, какая репродуктивная тактика имаго доминирует: 1) «расселение перед спариванием» (США и юг России) или 2) «расселение после спаривания» (Швейцария, Белоруссия и Центрально-Черноземный район РФ). Вполне очевидно, что эффективность мониторинга численности вредителя с использованием ловушек со СПА

будет совершенно разной в зависимости от популяционных особенностей насекомых. В том случае, когда имаго в популяции используют репродуктивную тактику «расселение перед спариванием», ловушки со СПА окажутся высокоэффективными, а вот в случае следования насекомыми тактике «расселение после спаривания» применение ловушек со СПА будет малоэффективным или вообще бесполезным. Хотя о причинах, вызвавших формирование альтернативных репродуктивных тактик, пока можно лишь догадываться, наиболее вероятно, что своеобразие поведенческих ритуалов было инициировано спецификой распространенности кормовых растений вредителя в ареале (Фролов и др., 2021). Проблема же неэффективного мониторинга решается в любом случае просто: в ловушки следует помещать приманки, привлекательные для самок вредителя. Поэтому вполне ожидаемо снабженные СКФ или светодиодными УФ излучателями как клеевые типа Дельта, так и контейнерного типа ловушки успешно прошли полевые испытания, показав высокую эффективность, причем не только в новых, но и в традиционных очагах вредоносности кукурузного мотылька. Важно отметить при этом, что максимальную аттрактивность продемонстрировали ловушки, в которых одновременно были использованы светодиодные излучатели и СКФ (Фролов и др., 2021).

Сказанное означает, что ловушки на основе комбинации специфичного для привлечения целевого объекта семиохемика и неспецифичного светового сигнала представляют немалый интерес для защиты растений от вредителей. Совместное применение этих приманок позволяет рассчитывать на 1) существенное повышение достоверности регрессионной зависимости «родители–потомки», как основы прогностических моделей мониторинга, и 2) значительное снижение трудозатрат на массовый вылов благодаря сокращению необходимого числа ловушек. С середины XX в. исследователи предпринимали неоднократные попытки повысить уловистость световых ловушек путем их комбинирования с теми или иными запаховыми приманками, и порой положительный эффект достигался даже при помещении в специальную камеру внутри световой ловушки виргинных самок, например, в борьбе против табачного бражника *Manduca sexta* на одном из Виргинских островов и совки *Trichoplusia ni* во Флориде, о чем сообщал в своем обзоре Г. Н. Горностаев (1984). Исключительно высокая эффективность такой комбинации, позволявшей успешно применять светоферомонные ловушки не только для учета численности, но и в качестве возможного средства борьбы с вредным объектом, дала Г. Н. Горностаеву (1984) основания для предположения, что «будущее истребительного направления за светоферомонными ловушками», однако эта мысль не получила дальнейшего развития.

Известно, что совместное применение световых и феромонных ловушек оказывается полезным как при проведении защитных мероприятий (Gentry et al., 1971; Gentry, Davis, 1973; Debolt et al., 1979), так и для мониторинга вредных объектов, поскольку информация, получаемая от ловушек разных конструкций, позволяет своевременно выявлять и корректировать возможные смещения оценок численности объектов, которые время от времени возникают (Delisle et al., 1998; Pan et al., 2015; Rice et al., 2017; Rhains et al., 2019), и, соответственно, разрабатывать более взвешенные прогнозы. Важно подчеркнуть, что часто, хотя и не всегда (Hathaway, 1981; Sambaraju, Phillips, 2008), совместное применение светового излучения и семиохимиков вызывает сверхаддитивный прирост отлова насекомых из разных групп как с полным, так и с неполным метаморфозом (Gentry et al., 1971; Gentry, Davis, 1973; Duehl et al., 2011; McQuate, 2014; Miyatake et al., 2016; Otieno et al., 2018; da Silva et al., 2019).

Описано множество самых разнообразных конструкций ловушек, в которых используются различные принципы привлечения и фиксации материала (Muirhead-Thomson, 1991; Weinzierl et al., 2005; Epsky et al., 2008; Holguin et al., 2010; Голуб и др., 2012; Sheikh et al., 2016, и др.), однако, как правило, конструкция каждой ловушки предполагает использование лишь одного модуля аттракции из числа возможных, т. е., либо излучающий свет блок, либо испускающую летучие БАВ емкость. Исключений, когда в ловушке предусмотрено одновременное участие в аттракции различных по принципам привлекающего действия модулей, немного (см., например, McQuate, 2014; Miyatake et al., 2016; Rice et al., 2017). Среди них следует особо выделить светоферомонную ловушку (Фролов и др., 2020б), представляющую собой усовершенствованную конструкцию ловушки Bucket Funnel Trap (Nightingale, 1983) благодаря установке рядом с контейнером для феромонного продукта излучающего ультрафиолет светодиодного блока. Оригинальная конструкция этой воронкообразной ловушки контейнерного типа была разработана компанией International Pheromone Systems Ltd (United Kingdom) еще в конце 70-х гг. XX века и с тех пор на протяжении многих десятилетий Bucket Funnel Trap остается весьма популярной (Epsky et al., 2008). Количество работ, выполненных с ее использованием в новом тысячелетии (Jayasinghe et al., 2006; Guerrero et al., 2014; Cardé et al., 2018; Whitfield et al., 2019; Быковская и др., 2020, и др.), продолжает расти в сравнении с 80–90-ми гг. прошлого века (Albert et al., 1984; Voerman et al., 1984; van Rensburg, 1992). Испытания созданной на основе Bucket Funnel Trap светоферомонной ловушки показали, что комбинация СКФ и ультрафиолетового излучения нередко вызывает синергический прирост уловистости для чешуекрылых, в том числе кукурузного мотылька *O. nubilalis* и яблонной плодовой гусеницы *C. pomonella* (Фролов и др., 2021), поэтому перспективы использования таких ловушек для мониторинга вредных насекомых весьма широкие.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансировании Российским научным фондом (проект № 22-26-00199).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев С. В., Мартенс Б. К., Молчанова В. А. 1970. Электроуловители в исследованиях по защите растений от вредных насекомых. Энтомологическое обозрение **49** (2): 484–495.
- Барбье М. 1978. Введение в химическую экологию. М.: Мир, 229 с.
- Булыгинская М. А., Войняк В. И., Бравдовский В. А. 1987. Стерилизация природных популяций вредных чешуекрылых путем совместного применения феромонов и хемостерилиантов. Информационный бюллетень ВПС МОББ (20): 75–81.
- Буров В. Н., Новожилов К. В. 2001. Семиохемики в защите растений от сельскохозяйственных вредителей. Труды Русского энтомологического общества **72**: 3–15.
- Быковская А. В., Трепашко Л. И., Самонов А. С. 2020. Мониторинг имаго стеблевого кукурузного мотылька с использованием смеси фенилацетальдегида и 4-метоксифенилового спирта в Беларуси. В кн.: Защита растений. Сборник научных трудов Республиканского научного дочернего унитарного предприятия «Институт защиты растений». Выпуск 44. Минск: Колорград, с. 150–161.
- Вендило Н. В., Лебедева К. В. 2016. Применение феромонных препаратов в лесном хозяйстве. Защита и карантин растений **5**: 43–45.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25958564>
- Вендило Н. В., Плетнев В. А., Лебедева К. В. 2009. Применение феромонов для защиты плодовых садов от вредных насекомых. Агрохимия **8**: 72–84.
- Возмилов А. Г., Дюрягин А. Ю., Суринский Д. О. 2011. Светоловушки для проведения мониторинга численности и фазы развития насекомых–вредителей. Достижения науки и техники АПК **7**: 76–78.

- Войняк В. И., Ковалев Б. Г. 2010. Эффективность половых феромонов вредителей кукурузы. Защита и карантин растений 7: 25–26.
- Войняк В., Брадовский В., Батко М., Настасе Т. 2009. Итоги и перспективы применения БАВ в системах интегрированной защиты растений. Protecția plantelor – realizări și perspective 40: 212–217.
- Газалов В. С. 2000. Электрооптическая защита садов от насекомых-вредителей. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Волгоград: Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия, 323 с.
- Газалов В. С., Беленов В. Н., Евдокимов А. Ю. 2013. Компоновка светодиодных излучателей установок защиты растений с учетом аддитивности компонентов цвета. Вестник АПК Ставрополя 2: 101–105.
- Голуб В. Б., Цуриков М. Н., Прокин А. А. 2012. Коллекция насекомых: сбор, обработка и хранение материала. М.: Товарищество научных изданий КМК, 339 с.
- Гончаров Н. Р. 2010 Развитие инновационных процессов в защите растений. Защита и карантин растений 4: 4–8.
- Горностаев Г. Н. 1961. Конструкции ловушек с источниками света для ночных сборов насекомых. Вестник Московского университета 4: 51–57.
- Горностаев Г. Н. 1984. Введение в этиологию насекомых-фотоксенов (лёт насекомых на искусственные источники света). В кн.: В. И. Тобиас (ред.). Этиология насекомых. Л.: Наука, с. 101–167 (Труды Всесоюзного энтомологического общества, т. 66).
- Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, Часть I. Пестициды. 2022. М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации (Минсельхоз России), 839 с.
[URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/34c/bgmi1os21367s1r3275yroksqx27xrqa.zip>]
- Гричанов И. Я., Овсянникова Е. И. 2005. Феромоны для фитосанитарного мониторинга вредных чешуекрылых насекомых. Приложения к журналу Вестник защиты растений. Серия 5. СПб.–Пушкин: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 244 с.
- Грушевая И. В., Конончук А. Г., Малыш С. М., Мильцын А. А., Фролов А. Н. 2019. Светодиодная ловушка для мониторинга кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis*: результаты испытания в Краснодарском крае. Вестник защиты растений 4 (102): 49–54.
<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-4-102-49-54>
- Грушевая И. В., Фролов А. Н., Рябчинская Т. А., Трепашко Л. И., Быковская А. В. 2015. Новые очаги массовых размножений кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* в Беларуси и России: тревожный вызов устоявшимся знаниям о вредителе. В кн.: О. И. Бородин, В. А. Цинкевич (ред.). Современные проблемы энтомологии Восточной Европы. Материалы I Международной научно-практической конференции. Минск: Экоперспектива, с. 93–97.
- Долженко В. И., Буркова Л. А., Долженко Т. В. 2018. Применение синтетического полового феромона Шин-Етсу МД СТТ, Д. Защита и карантин растений 5: 23–24.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34859159>
- Долженко Т. В. 2017. Биологизация и экологическая оптимизация ассортимента средств защиты сельскохозяйственных культур от вредителей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. СПб.–Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 43 с.
- Дубинин Д. М. [Интернет-документ]. 2022. Световая ловушка для насекомых. Добролов ООО «Кафедра дезинфекционного дела».
[URL: <https://dobrolov.com/info/news/svetovaya-lovushka-dlya-nasekomykh/>]
- Елизаров Ю. А. 1978. Хеморецепция насекомых. М.: Издательство МГУ, 232 с.
- Емельянов В. А., Бульгинская М. А. 1999. Использование феромонов для борьбы с яблонной плодовой жоржкой *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) методом элиминации и дезориентации самцов. Энтомологическое обозрение 78 (3): 555–564.
- Есипенко Л. П. 2012. Биологические инвазии как глобальная экологическая проблема юга России. Юг России: экология, развитие 4: 21–25.
- Жуковская М. И., Северина И. Ю., Новикова Е. С. 2022. Световое антропогенное загрязнение: действие на насекомых. Биосфера 14 (2): 126–136.
<https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i2.669>
- Захаренко В. А. 2013. Потенциал фитосанитарии и его реализация на основе применения пестицидов в интегрированном управлении фитосанитарным состоянием агроэкосистем России. Агрохимия 7: 3–15.
- Ижевский С. С. 2008. Инвазия чужеземных насекомых – угроза экологической и экономической безопасности России. АгроXXI 4–6: 33–36.
- Исмаилов В. Я., Садковский В. Т., Соколов Ю. Г., Шумилов Ю. В., Мкртчян А. Г. 2016. Опыт разработки ловушек насекомых с использованием сверхъярких светодиодов. В кн.: Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Выпуск 9. Материалы международной научно-практи-

- ческой конференции «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем» с молодежной стратегической сессией «Кадры, ресурсы, возможности, инновации», 20–22 сентября 2016 г. Краснодар: Всероссийский НИИ биологической защиты растений, с. 45–49.
- Коваленков В. Г., Исмаилов В. Я., Тюрина Н. М. 2000. Феромоны в интегрированных системах. Защита и карантин растений **8**: 12–13.
- Кондратьева Н. П., Бузмаков Д. В. 2018. Обоснование использования световых электротехнологий для отлова насекомых. Агротехника и энергообеспечение **3** (20): 47–53.
- Кравченко В. Д. 1991. Бесперспективный метод учета. Защита растений **8**: 13.
- Кремнева О. Ю., Садковский В. Т., Соколов Ю. Г., Исмаилов В. Я., Данилов Р. Ю. 2019. Оценка эффективности ловушек насекомых различных конструкций для фитосанитарного мониторинга. Зерновое хозяйство России **1**: 52–55.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-61-1-52-55>
- Кулакова Н. И., Растегаева В. М., Тодоров Н. Г., Сеницына Е. В. 2022. Эффективность борьбы с томатной молью методом дезориентации в условиях закрытого грунта. Аграрный научный журнал **5**: 31–36.
<https://doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp31-36>
- Лебедева К. В., Вендило Н. В., Плетнев В. А. 2006. Феромоны вредных насекомых. Защита и карантин растений **4**: 40–41.
- Лебедева К. В., Вендило Н. В., Плетнев В. А. 2012. Феромоны лесных насекомых и их применение в защите леса от вредителей. Агротехника **8**: 77–89.
- Лебедева К. В., Вендило Н. В., Плетнев В. А. 2016. Феромоны листоверток в защите растений. Агротехника **2**: 80–96.
- Левитин М. М. 2015. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата. Сельскохозяйственная биология **50** (5): 641–647.
<https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.641rus>
- Магомедов У. Ш., Кузин А. А., Ковалев Б. Г., Атанов Н. М., Кузина Н. П. 2009. Применение феромонов: состояние вопроса и тенденции. Защита и карантин растений **11**: 36–38.
- Мазохин-Поршняков Г. А. 1955. Массовое привлечение насекомых на ультрафиолетовое излучение. Доклады АН СССР **102** (4): 729–732.
- Мазохин-Поршняков Г. А. 1956. Сравнение привлекающего действия лучей различного спектрального состава на насекомых. Энтомологическое обозрение **35** (4): 752–759.
- Мазохин-Поршняков Г. А. 1960. Почему насекомые летят на свет. Энтомологическое обозрение **39** (1): 52–58.
- Мазохин-Поршняков Г. А. 1961. Астрономическая ориентация членистоногих. Энтомологическое обозрение **40** (4): 724–738.
- Мазохин-Поршняков Г. А. 1965. Зрение насекомых. М.: Наука, 263 с.
- Маталин А. В. 1996. Об использовании световых ловушек в экологических исследованиях жулиц (Coleoptera, Carabidae). Зоологический журнал **75** (5): 744–756.
- Овсянникова Е. И., Гричанов И. Я., Кремнева О. Ю., Пачкин А. А. 2020. Апробация светодиодных ловушек. Защита и карантин растений **7**: 29–32. <https://doi.org/10.5281/ZEN0D0.3590503>
- Остроумов С. А. 1986. Введение в биохимическую экологию. М.: Издательство МГУ, 176 с.
- Павлюшин В. А. 2010. Научное обеспечение защиты растений и продовольственная безопасность России. Защита и карантин растений **2**: 11–15.
- Павлюшин В. А., Вилкова Н. А., Сухорученко Г. И., Нефедова Л. И., Фасулати С. Р. 2013. Фитосанитарная дестабилизация агроэкосистем. СПб.: Родные просторы, 184 с.
- Павлюшин В. А., Вилкова Н. А., Сухорученко Г. И., Фасулати С. Р. 2008. Фитосанитарные последствия антропогенной трансформации агроэкосистем. Вестник защиты растений **3**: 3–26.
- Пачкин А. А., Кремнева О. Ю., Иванисова М. В. 2020. Испытание светоловушки с сепарирующим насекомоприемником на подсолнечнике. В кн.: Ю. Ф. Лачуга и др. (ред.). Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса. Юбилейный сборник научных трудов XIII международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Донского государственного технического университета (Ростовского-на-Дону института сельхозмашиностроения), в рамках XXIII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш». В 2 томах. Том 1. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «ДГТУ-ПРИНТ», с. 215–218.
<https://doi.org/10.23947/interagro.2020.1.215-218>
- Попова Е. Н., Попов И. О. 2013. Климатические факторы, определяющие границы ареалов вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных растений, и расчетные методы оценки изменения ареалов при изменении климата. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем **25**: 175–204.

- Пушня М., Исмаилов В., Балахнина И., Родионова Е., Снесарева Е., Команцев А. 2021. Биологический контроль вредителей сельскохозяйственных культур с использованием метода автодиссеминации энтомопатогенных нематод семейства Steinermatidae (Nematoda: Rhabditida). *Сельскохозяйственная биология* **56** (3): 523–536.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.523rus>
- Пятиркова Ж. [Интернет-документ]. 2008. Интересные факты о Пекинской Олимпиаде – 2008. [URL: <https://s30657437700.mirtesen.ru/blog/43903544438/Interesnyie-faktyi-o-Pekinskoj-Olimpiade---2008>]
- Пятнова Ю. Б. 2007. Феромонные препараты. Защита и карантин растений **3**: 67–68.
- Пятнова Ю. Б., Кислицына Т. И., Войнова В. Н., Каракотов С. Д., Плетнев В. А., Вендило Н. В., Лебедева К. В., Велчева Н., Станева Е. 2013. Испытания феромона восточной и сливовой плодовой моли для контроля численности методом дезориентации. Защита и карантин растений **8**: 33–35.
- Пятнова Ю. Б., Лебедева К. В., Каракотов С. Д. 2016. Феромоны насекомых: на службе защиты растений. Защита и карантин растений **5**: 37–40.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25958562>
- Рябчинская Т. А. 2016. Стеблевой кукурузный мотылек и методы его мониторинга. Защита и карантин растений **1**: 25–28.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25333164>
- Рябчинская Т. А., Колесова Д. А., Саранцева Н. А., Харченко Г. Л., Бобрешова И. Ю. 2015. Использование синтетических половых феромонов для снижения плотности популяции вредных чешуекрылых. *Агрохимия* **10**: 75–89.
- Рябчинская Т. А., Фролов А. Н. 2016. Состояние исследований и перспективы использования феромонов на полевых культурах. Защита и карантин растений **8**: 11–14.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26454211>
- Савчук И. В., Басуматорова Е. А., Сурицкий Д. О., Большаков Ю. Н. 2020. Использование электрооптических устройств для защиты сельскохозяйственных культур. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета* **6** (86): 149–152.
- Сазонов А. П. 1988. Синтетические половые аттрактанты в защите растений (вместо введения). В кн.: А. П. Сазонов (ред.). Феромоны насекомых и разработка путей их практического использования. Сборник научных трудов ВИЗР. Л.: Всесоюзный научно-исследовательский институт защиты растений, с. 5–15.
- Самков М. Н. 1989. Возможности сбора насекомых на искусственный свет в дневное время. *Зоологический журнал* **68** (4): 110–113.
- Санин С. С. 2016. Проблемы фитосанитарии России на современном этапе. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии* **6**: 45–55.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25817122>
- Саранцева Н. А., Рябчинская Т. А., Харченко Г. Л., Бобрешова И. Ю. 2014. Оптимизация феромониторинга хлопковой совки на посевах кукурузы в ЦЧР. Защита и карантин растений **3**: 27–29.
- Сурицкий Д. О. 2013. Параметры и режимы энергосберегающего электрооптического преобразователя для мониторинга насекомых вредителей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тюмень: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 126 с.
- Терсков И. А., Коломиец Н. Г. 1966. Световые ловушки и их использование в защите растений. М.: Наука, 146 с.
- Тыщенко В. П. 1986. Физиология насекомых. М.: Высшая школа, 299 с.
- Филимонов Г. И., Богданова Т. П. 1988. Основные факторы, влияющие на отлов бабочек яблонной плодовой моли феромонными ловушками. В кн.: А. П. Сазонов (ред.). Феромоны насекомых и разработка путей их практического использования. Сборник научных трудов ВИЗР. Л.: Всесоюзный научно-исследовательский институт защиты растений, с. 63–68.
- Фролов А. Н. 2015. Луговой мотылек – общая проблема России и Китая. Защита и карантин растений **4**: 14–17.
- Фролов А. Н., Грушевая И. В. 2017. Феромониторинг кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* Hbn. (Lepidoptera: Crambidae) в Краснодарском крае: динамика численности самцов и гусениц на посевах кукурузы. *Вестник защиты растений* **1** (91): 55–58.
- Фролов А. Н., Грушевая И. В., Конончук А. Г. 2021. Современные типы ловушек для мониторинга чешуекрылых на примере кукурузного мотылька. Монография. СПб.: Научно-технологические технологии, 120 с.
- Фролов А. Н., Грушевая И. В., Конончук А. Г., Рябчинская Т. А., Колесников В. Б., Tóth M. 2020a. Оценка эффективности мониторинга кукурузного мотылька с использованием бисексуальной приманки по данным испытаний на Кубани и в ЦЧР. В кн.: В. С. Паштецкий (науч. ред.). Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки. Материалы V Международной научной конферен-

- ции, 21–25 сентября 2020 г., Республика Крым, Россия. Симферополь: Ариал, с. 104–106. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-51>
- Фролов А. Н., Мильцын А. А., Захарова Ю. А., Грушевая И. В., Конончук А. Г., Токарев Ю. С. 2020б. Светоферомонная ловушка для летающих насекомых. Патент на полезную модель № RU 201632 U1, 24.12.2020. Заявка № 2020127904 от 21.08.2020.
- Фролов А. Н., Рябчинская Т. А. 2018. К вопросу о причинах низкой аттрактивности синтетических феромонов кукурузного мотылька в новых северных очагах вредоносности насекомого на кукурузе. Вестник защиты растений **1** (95): 5–11. [https://doi.org/10.31993/2308-6459-2018-1\(95\)-5-11](https://doi.org/10.31993/2308-6459-2018-1(95)-5-11)
- Фролов А. Н., Тришкин Д. С. 1992. Факторы, влияющие на концентрацию бабочек кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera, Pyraustidae) перезимовавшего поколения в местах спаривания в Краснодарском крае. Зоологический журнал **71** (10): 144–148.
- Фролов А. Н., Тришкин Д. С., Дятлова К. Д., Чумаков М. А. 1996. Пространственное распределение имаго кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* в зоне развития двух поколений. Зоологический журнал **75** (11): 1644–1652.
- Цуриков М. Н. 2006. Простые ловушки для сбора беспозвоночных. Зоологический журнал **85** (6): 760–765.
- Чайка С. Ю. 2015. Основные закономерности организации нервной системы насекомых и перспективы ее изучения. Евразийский союз ученых **4–10**: 11–14.
- Чернышев В. Б. 1976. Зависимость лёта некоторых насекомых на свет от естественной освещенности. Зоологический журнал **55** (11): 1635–1639.
- Чернышев В. Б. 1996. Экология насекомых. Учебник. М.: Издательство МГУ, 304 с.
- Шамшев И. В., Гричанов И. Я. 2008. Место феромонов в фитосанитарных технологиях. Защита и карантин растений **9**: 22–23.
- Юрченко Е. Г. 2019. Дезориентация гроздевой листовертки с помощью синтетического феромона Шин-Етсу МДЛ. Защита и карантин растений **2**: 24–26.
- Яцынин В. Г. 1989. Феромоны в борьбе с насекомыми. Защита растений **1**: 60–63.
- Abudulai M., Nboiyne J. A., Quandahor P., Seidu A., Traore F. 2022. Agricultural intensification causes decline in insect biodiversity. In: H. El-Shafie (ed.). Global Decline of Insects [Working Title]. London, United Kingdom: IntechOpen. [URL: <https://www.intechopen.com/chapters/80971>]. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101360>
- Ahuja D. B., Ahuja U. R., Srinivas P., Singh R. V., Malik M., Sharma P., Bamawale O. M. 2012. Development of farmer-led integrated management of major pests of cauliflower cultivated in rainy season in India. Journal of Agricultural Science **4** (2): 79–90. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n2p79>
- Akutse K. S., Subramanian S., Khamis F. M., Ekese S., Mohamed S. A. 2020. Entomopathogenic fungus isolates for adult *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) management and their compatibility with *Tuta* pheromone. Journal of Applied Entomology **144** (9): 777–787. <https://doi.org/10.1111/jen.12812>
- Albert R., Bogenschütz H., König E. 1984. Untersuchungen zum Einsatz von Sexuallockstoff-Fallen zur Überwachung des Massenwechsels von *Operophtera brumata* L. (Lepid., Geometridae). Zeitschrift für Angewandte Entomologie **98** (1–5): 286–298. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1984.tb02714.x>
- Allen D. C., Abrahamson L. P., Eggen D. A., Lanier G. N., Swier S. R., Kelley R. S., Auger M. 1986. Monitoring spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) populations with pheromone-baited traps. Environmental Entomology **15** (1): 152–165. <https://doi.org/10.1093/ee/15.1.152>
- Allison J. D., Cardé R. T. 2016. Pheromones: reproductive isolation and evolution in moths. In: J. D. Allison, R. T. Cardé (eds). Pheromone Communication in Moths. Berkeley: University of California Press, p. 11–23.
- Altieri M., Nicholls C. 2004. Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. N. Y. et al.: CRC Press, 252 p. <https://doi.org/10.1201/9781482277937>
- Alyokhin A. V., Messing R. H., Duan J. J. 2000. Visual and olfactory stimuli and fruit maturity affect trap captures of oriental fruit flies (Diptera: Tephritidae). Journal of Economic Entomology **93** (3): 644–649. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.3.644>
- Ando T., Inomata S., Yamamoto M. 2004. Lepidopteran sex pheromones. In: S. Schulz (ed.). The Chemistry of Pheromones and Other Semiochemicals I. Topics in Current Chemistry. Vol. 239. Berlin; Heidelberg: Springer, p. 51–96.
- Arnold S. E., Stevenson P. C., Belmain S. R. 2016. Shades of yellow: interactive effects of visual and odour cues in a pest beetle. PeerJ **4**: e2219. <http://doi.org/10.7717/peerj.2219>

- Avarguès-Weber A., Mota T., Giurfa M. 2012. New vistas on honey bee vision. *Apidologie* **43**: 244–268.
<https://doi.org/10.1007/s13592-012-0124-2>
- Baker G., Tann C., Fitt G. 2011. A tale of two trapping methods: *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera, Noctuidae) in pheromone and light traps in Australian cotton production systems. *Bulletin of Entomological Research* **101** (1): 9–23.
<https://doi.org/10.1017/S0007485310000106>
- Baker P. B., Shelton A. M., Andaloro J. T. 1982. Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: Yponomeutidae) in cabbage with pheromones. *Journal of Economic Entomology* **75** (6): 1025–1028.
<https://doi.org/10.1093/jee/75.6.1025>
- Baker R., Sadovy Y. 1978. The distance and nature of the light-trap response of moths. *Nature* **276** (5690): 818–821.
<https://doi.org/10.1038/276818a0>
- Balamurali G. S., Rose S., Somanathan H., Kodandaramaiah U. 2020. Complex multi-modal sensory integration and context specificity in colour preferences of a pierid butterfly. *Journal of Experimental Biology* **223** (13): jeb223271.
<https://doi.org/10.1242/jeb.223271>
- Balkenius A., Bisch-Knaden S., Hansson B. 2009. Interaction of visual and odour cues in the mushroom body of the hawkmoth *Manduca sexta*. *Journal of Experimental Biology* **212** (4): 535–541.
<https://doi.org/10.1242/jeb.021220>
- Balmori A. 2021. Electromagnetic radiation as an emerging driver factor for the decline of insects. *Science of the Total Environment* **767**: 144913.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144913>
- Barghini A., Souza de Medeiros B. A. 2012. UV radiation as an attractor for insects. *Leukos* **9** (1): 47–56.
<https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2012.09.01.003>
- Barragán-Fonseca K. Y., Van Loon J. J., Dicke M., Lucas-Barbosa D. 2020. Use of visual and olfactory cues of flowers of two brassicaceous species by insect pollinators. *Ecological Entomology* **45** (1): 45–55.
<https://doi.org/10.1111/een.12775>
- Bartels D. W., Hutchison W. D., Bach D. J., Rabaey T. L. 1999. Evaluation of commercial pheromone lures and comparative blacklight trap catches for monitoring Z-strain European corn borer (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Agricultural and Urban Entomology* **16** (1): 85–94.
- Bartels D. W., Hutchison W. D., Udayagiri S. 1997. Pheromone trap monitoring of Z-strain European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae): optimum pheromone blend, comparison with blacklight traps, and trap number requirements. *Journal of Economic Entomology* **90** (2): 449–457.
<https://doi.org/10.1093/jee/90.2.449>
- Bebber D. P., Ramotowski M. A., Gurr S. J. 2013. Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Climate Change* **3** (11): 985–988.
<https://doi.org/10.1038/nclimate1990>
- Beck J., Linsenmair K. E. 2006. Feasibility of light-trapping in community research on moths: attraction radius of light, completeness of samples, nightly flight times and seasonality of Southeast-Asian hawkmoths (Lepidoptera: Sphingidae). *Journal of Research on the Lepidoptera* **39**: 18–36.
- Belušić G., Šporar K., Meglič A. 2017. Extreme polarisation sensitivity in the retina of the corn borer moth *Ostrinia*. *Journal of Experimental Biology* **220** (11): 2047–2056.
<https://doi.org/10.1242/jeb.153718>
- Benelli G., Lucchi A., Thomson D., Ioriatti C. 2019. Sex pheromone aerosol devices for mating disruption: challenges for a brighter future. *Insects* **10** (10): 308.
<https://doi.org/10.3390/insects10100308>
- Bento J. M., Parra J. R., de Miranda S. H., Adami A. C., Vilela E. F., Leal W. S. 2016. How much is a pheromone worth? *F1000Research* **5**: 1763.
<https://doi.org/10.12688/f1000research.9195.1>
- Bereś P. 2012. Flight dynamics of *Ostrinia nubilalis* Hbn. (Lep., Crambidae) based on the light and pheromone trap catches in Nienadówka (South-Eastern Poland) in 2006–2008. *Journal of Plant Protection Research* **52** (1): 130–138.
<https://doi.org/10.2478/v10045-012-0021-8>
- Bishop A. L., Worrall R. J., Spohr L. J., McKenzie H. J., Barchia I. M. 2004. Response of *Culicoides* spp. (Diptera: Ceratopogonidae) to light-emitting diodes. *Australian Journal of Entomology* **43** (2): 184–188.
<https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.2003.00391.x>
- Björklund N., Nordlander G., Bylund H. 2005. Olfactory and visual stimuli used in orientation to conifer seedlings by the pine weevil, *Hylobius abietis*. *Physiological Entomology* **30** (3): 225–231.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2005.00451.x>

- Blackmer J. L., Cañas L. A. 2005. Visual cues enhance the response of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) to volatiles from host plants. *Environmental Entomology* **34** (6): 1524–1533.
<https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.6.1524>
- Blassioli-Moraes M. C., Laumann R. A., Michereff M. F., Borges M. 2019. Semiochemicals for integrated pest management. In: S. Vaz (ed.). *Sustainable Agrochemistry*. Cham: Springer, p. 85–112.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-17891-8_3
- Blomberg O., Itämies J., Kuusela K. 1976. Insect catches in a blended and a black light-trap in northern Finland. *Oikos* **27** (1): 57–63.
<https://doi.org/10.2307/3543432>
- Boeckh J., Kaissling K. E., Schneider D. 1965. Insect olfactory receptors. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* **30**: 263–280.
- Bourdouxhe L. 1980. Study of changes in *Heliothis armigera* flights with synthetic pheromone traps in Senegal. *FAO Plant Protection Bulletin* **28** (3): 107–109.
- Bowden J. 1982. An analysis of factors affecting catches of insects in light-traps. *Bulletin of Entomological Research* **72** (4): 535–556.
<https://doi.org/10.1017/S0007485300008579>
- Boyes D. H., Evans D. M., Fox R., Parsons M. S., Pocock M. J. 2021. Is light pollution driving moth population declines? A review of causal mechanisms across the life cycle. *Insect Conservation and Diversity* **14** (2): 167–187.
<https://doi.org/10.1111/icad.12447>
- Brévault T., Quilici S. 2010. Interaction between visual and olfactory cues during host finding in the tomato fruit fly *Neoceratitis cyanescens*. *Journal of Chemical Ecology* **36** (3): 249–259.
<https://doi.org/10.1007/s10886-010-9766-6>
- Brezolin A. N., Martinazzo J., Muenchen D. K., de Cezaro A. M., Rigo A. A., Steffens C., Steffens J., Blassioli-Moraes M. C., Borges M. 2018. Tools for detecting insect semiochemicals: a review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **410** (17): 4091–4108.
<https://doi.org/10.1007/s00216-018-1118-3>
- Briscoe A. D., Chittka L. 2001. The evolution of color vision in insects. *Annual Review of Entomology* **46**: 471–510.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.471>
- Brooks D. R., Bater J. E., Clark S. J., Monteith D. T., Andrews C., Corbett S. J., Bfaumont D. A., Chapman J. W. 2012. Large carabid beetle declines in a United Kingdom monitoring network increases evidence for a widespread loss in insect biodiversity. *Journal of Applied Ecology* **49** (5): 1009–1019.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02194.x>
- Brown L. B. 1977. Host-related responses and their suppression. Some behavioral consideration. In: H. H. Shorey, J. J. McKelvey Jr. (eds). *Chemical Control of Insect Behavior: Theory and Application*. N. Y.: Wiley, p. 117–127.
- Buchelos C. T., Papadopoulou S. C. 1999. Evaluation of the effectiveness of a new pheromonic trap for monitoring *Lasioderma serricorne* (F.) in tobacco stores. *Anzeiger für Schädlingskunde* **72** (4): 92.
<https://doi.org/10.1007/BF02768916>
- Bucher G. E., Bracken G. K. 1979. The bertha armyworm, *Mamestra configurata* (Lepidoptera: Noctuidae). An estimate of light and pheromone trap efficiency based on captures of newly emerged moths. *Canadian Entomologist* **111** (9): 977–984.
<https://doi.org/10.4039/Ent111977-9>
- von Buddenbrock W. 1917. Die Lichtkompassbewegungen bei den Insekten, insbesondere den Schmetterlingsraupen. *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse* **8**: 1–26.
- Burdohan J. A., Comer C. M. 1996. Cellular organization of an antennal mechanosensory pathway in the cockroach, *Periplaneta americana*. *Journal of Neuroscience* **16** (18): 5830–5843.
<https://doi.org/10.1523/jneurosci.16-18-05830.1996>
- Burgio G., Maini S. 1994. Phenylacetaldehyde trapping of *Ostrinia nubilalis* (Hb.), *Autographa gamma* (L.) and hoverflies: trap design efficacy. *Bollettino dell'Istituto di Entomologia 'Guido Grandi' della Università degli Studi di Bologna* (49): 1–14.
- Burkett D. A., Butler J. F., Kline D. L. 1998. Field evaluation of colored light-emitting diodes as attractants for woodland mosquitoes and other Diptera in north central Florida. *Journal of the American Mosquito Control Association* **14** (2): 186–195.
- Butenandt A., Beckmann R., Stamm D., Hecker E. 1959. Über den Sexual-Lockstoff des Seidenspinners *Bombyx mori*. Reindarstellung und Konstitution. *Zeitschrift für Naturforschung* **14 b**: 283–284.
- Byers J. A. 2012. Modelling female mating success during mass trapping and natural competitive attraction of searching males or females. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **145** (3): 228–237.
<https://doi.org/10.1111/eea.12006>

- Caldwell M. M. 1981. Plant response to solar ultraviolet radiation. In: O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond, H. Ziegler (eds). *Physiological Plant Ecology I*. Berlin; Heidelberg, N. Y.: Springer, p. 169–197.
- Camerini G., Groppali R., Rama F., Maini S. 2015. Semiochemicals of *Ostrinia nubilalis*: diel response to sex pheromone and phenylacetaldehyde in open field. *Bulletin of Insectology* **68** (1): 45–50.
- Cameron S. A., Lozier J. D., Strange J. P., Koch J. B., Cordes N., Solter L. F., Griswold T. L. 2011. Patterns of widespread decline in North American bumble bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **108** (2): 662–667.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1014743108>
- Campbell C. D., Walgenbach J. F., Kennedy G. G. 1992. Comparison of black light and pheromone traps for monitoring *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) in tomato. *Journal of Agricultural Entomology* **9** (1): 17–24.
- Campbell S. A., Borden J. H. 2006a. Close-range, in-flight integration of olfactory and visual information by a host-seeking bark beetle. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **120** (2): 91–98.
<https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00425.x>
- Campbell S. A., Borden J. H. 2006b. Integration of visual and olfactory cues of hosts and non-hosts by three bark beetles (Coleoptera: Scolytidae). *Ecological Entomology* **31** (5): 437–449.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00809.x>
- Campbell S. A., Borden J. H. 2009. Additive and synergistic integration of multimodal cues of both hosts and non-hosts during host selection by woodboring insects. *Oikos* **118** (4): 553–563.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.16761.x>
- Cantelo W. W. 1974. Blacklight traps as control agents: an appraisal. *Bulletin of the Entomological Society of America* **20** (4): 279–282.
<https://doi.org/10.1093/besa/20.4.279>
- Cantelo W. W., Goodenough J. L., Baumhover A. H., Smith J. S., Stanley J. M., Henneberry T. J. 1974. Mass trapping with blacklight: effects on isolated populations of insects. *Environmental Entomology* **3** (3): 389–395.
<https://doi.org/10.1093/ee/3.3.389>
- Cantelo W. W., Jacobson M. 1979a. Phenylacetaldehyde attracts moths to bladder flower and to blacklight traps. *Environmental Entomology* **8** (3): 444–447.
<https://doi.org/10.1093/ee/8.3.444>
- Cantelo W. W., Jacobson M. 1979b. Corn silk volatiles attract many pest species of moths. *Journal of Environmental Science & Health Part A* **14** (8): 695–707.
<https://doi.org/10.1080/10934527909374907>
- Cardé R. T., Baker T. C. 1984. Sexual communication with pheromones. In: W. J. Bell, R. T. Cardé (eds). *Chemical Ecology of Insects*. Boston, MA: Springer, p. 355–383.
- Cardé R. T., Bau J., Elkinton J. S. 2018. Comparison of attraction and trapping capabilities of bucket- and delta-style traps with different pheromone emission rates for gypsy moths (Lepidoptera: Erebiidae): implications for understanding range of attraction and utility in surveillance. *Environmental Entomology* **47** (1): 107–113.
<https://doi.org/10.1093/ee/nvx185>
- Cardé R. T., Minks A. K. 1995. Control of moth pests by mating disruption: successes and constraints. *Annual Review of Entomology* **40**: 559–585.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.40.010195.003015>
- Cardoso P., Leather S. R. 2019. Predicting a global insect apocalypse. *Insect Conservation and Diversity* **12** (4): 263–267.
<https://doi.org/10.1111/icad.12367>
- Carrière Y., Antilla L., Liesner L., Tabashnik B. E. 2017. Large-scale evaluation of association between pheromone trap captures and cotton boll infestation for pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology* **110** (3): 1345–1350.
<http://dx.doi.org/10.1093/jee/tox086>
- Cassau S., Krieger J. 2021. The role of SNMPs in insect olfaction. *Cell and Tissue Research* **383** (1): 21–33.
<https://doi.org/10.1007/s00441-020-03336-0>
- Chen Q. H., Zhu F., Tian Z., Zhang W. M., Guo R., Liu W., Pan L., Du Y. 2018. Minor components play an important role in interspecific recognition of insects: a basis to pheromone based electronic monitoring tools for rice pests. *Insects* **9** (4): 192.
<https://doi.org/10.3390/insects9040192>
- Chittka L., Wells H. 2004. Color vision in bees: mechanisms, ecology and evolution. In: F. R. Prete (eds). *Complex Worlds from Simpler Nervous Systems*. Cambridge: MIT Press, p. 165–191.
- Cho K. S., Lee H. S. 2012. Visual preference of diamondback moth, *Plutella xylostella*, to light-emitting diodes. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* **55** (5): 681–684.
<https://doi.org/10.1007/s13765-012-2116-3>

- Chu C. C., Che T. Y., Simmons A. M., Jackson C. G., Alexander P. A., Henneberry T. J. 2003. Development of light-emitting diode (LED) traps for whiteflies and other insects. *IOBC WPRS Bulletin* **26** (10): 27–32.
- Cocco A., Deliperi S., Delrio G. 2012. Potential of mass trapping for *Tuta absoluta* management in greenhouse tomato crops using light and pheromone traps. *IOBC WPRS Bulletin* **80**: 319–324.
- Cohnstaedt L. E. E., Gillen J. I., Munstermann L. E. 2008. Light-emitting diode technology improves insect trapping. *Journal of the American Mosquito Control Association* **24** (2): 331–334.
<https://doi.org/10.2987%2F5619.1>
- Čokl A. A., Millar J. G. 2009. Manipulation of insect signaling for monitoring and control of pest insects. In: I. Ishaaya, A. Horowitz (eds). *Biorational Control of Arthropod Pests*. Dordrecht: Springer, p. 279–316.
https://doi.org/10.1007/978-90-481-2316-2_11
- Coll M., Gavish S., Dori I. 2000. Population biology of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae), in two potato cropping systems in Israel. *Bulletin of Entomological Research* **90** (4): 309–315.
<https://doi.org/10.1017/S0007485300000432>
- Conrad K. F., Warren M. S., Fox R., Parsons M. S., Woiwod I. P. 2006. Rapid declines of common, widespread British moths provide evidence of an insect biodiversity crisis. *Biological Conservation* **132**: 279–291.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.04.020>
- Cook S. M., Khan Z. R., Pickett J. A. 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology* **52**: 375–400.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091407>
- Cordillot F., Duelli P. 1989. Adaptive dispersal in the European corn borer *Ostrinia nubilalis* (Lep.: Pyralidae) in northwestern Switzerland. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* **24** (1–2): 65–71.
- Cork A., Kamal N. Q., Alam S. N., Choudhury J. C. S., Talekar N. S. 2003. Pheromone and their applications to insect pest control – a review. *Bangladesh Journal of Entomology* **13** (2): 1–13.
- Cox P. D. 2004. Potential for using semiochemicals to protect stored products from insect infestation. *Journal of Stored Products Research* **40** (1): 1–25.
[https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(02\)00078-4](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00078-4)
- Cristman D., Voineac V., Clinciu Radu R. A. 2017. The effectiveness of Admiral 10 EC as an insecticide to control the pest of *Grapholita molesta* Busck (Lepidoptera, Tortricidae). *Lucrări Științifice, Universitatea de Științe Agricole Și Medicină Veterinară 'Ion Ionescu de la Brad', Iași, Seria Agronomie* **60** (2): 241–244.
- Crook D. J., Francese J. A., Zylstra K. E., Fraser I., Sawyer A. J., Bartels D. W., Lance D. R., Mastro V. C. 2009. Laboratory and field response of the emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae), to selected regions of the electromagnetic spectrum. *Journal of Economic Entomology* **102** (6): 2160–2169.
<https://doi.org/10.1603/029.102.0620>
- Cros M. J., Aubertot J. N., Gaba S., Reboud X., Sabbadin R., Peyrard N. 2020. Improving Pest Monitoring Networks in order to reduce pesticide use in agriculture. *arXiv preprint arXiv:2002.00951*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.00951>
- Crummey F. A., Atkinson B. W. 1997. Atmospheric influences on light-trap catches of the brown planthopper rice pest. *Agricultural and Forest Meteorology* **88** (1–4): 181–197.
[https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00040-3)
- Cui G. Z., Zhu J. J. 2016. Pheromone-based pest management in China: past, present, and future prospects. *Journal of Chemical Ecology* **42** (7): 557–570.
<https://doi.org/10.1007/s10886-016-0731-x>
- Daniel C., Barloggio G., Stoeckli S., Luka H., Niggli U. 2018. Management of crops to prevent pest outbreaks. In: V. Vacante, S. Kreiter (eds). *Handbook of Pest Management in Organic Farming*. CAB International, p. 1–23.
- Dar S. A., Ansari M. J., Naggar Y. A., Hassan S., Nighat S., Zehra S. B., Rashid R., Hassan M., Hussain B. 2021. Causes and reasons of insect decline and the way forward. In: H. El-Shafie (ed.). *Global Decline of Insects [Working Title]*. London, United Kingdom: IntechOpen. [URL: <https://www.intechopen.com/online-first/77656>].
<https://doi.org/10.5772/intechopen.98786>
- Dara S. K. 2019. The new integrated pest management paradigm for the modern age. *Journal of Integrated Pest Management* **10** (1): 12.
<https://doi.org/10.1093/jipm/pmz010>
- Das Chakraborty S., Sachse S. 2021. Olfactory processing in the lateral horn of *Drosophila*. *Cell and Tissue Research* **383**: 113–123.
<https://doi.org/10.1007/s00441-020-03392-6>
- Debolt J. W., Wolf W. W., Henneberry T. J., Vail P. V. 1979. Evaluation of Light Traps and Sex Pheromone for Control of Cabbage Looper and Other Lepidopterous Insect Pests of Lettuce. U. S. Department of Agriculture, Technical Bulletin 1606, 39 p.

- De Bruyne M., Baker T. C. 2008. Odor detection in insects: volatile codes. *Journal of Chemical Ecology* **34** (7): 882–897.
<https://doi.org/10.1007/s10886-008-9485-4>
- Delisle J., West R. J., Bowers W. W. 1998. The relative performance of pheromone and light traps in monitoring the seasonal activity of both sexes of the eastern hemlock looper, *Lambda fuscicollis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **89** (1): 87–98.
<https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1998.00385.x>
- Deng J. Y., Wei H. Y., Huang Y. P., Du J. W. 2004. Enhancement of attraction to sex pheromones of *Spodoptera exigua* by volatile compounds produced by host plants. *Journal of Chemical Ecology* **30** (10): 2037–2045.
<https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000045593.62422.73>
- Dent D. R., Pawar C. S. 1988. The influence of moonlight and weather on catches of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in light and pheromone traps. *Bulletin of Entomological Research* **78** (3): 365–377.
<https://doi.org/10.1017/S0007485300013146>
- Dent D., Binks R. H. 2020. *Insect Pest Management*, 3rd Edition. CABI, 408 p.
- DeRozari M. B., Showers W. B., Shaw R. H. 1977. Environment and the sexual activity of the European corn borer. *Environmental Entomology* **6** (5): 657–665.
<https://doi.org/10.1093/ee/6.5.657>
- Dethier V. G. 1963. *The physiology of insect senses*. London: Methuen; N. Y.: Wiley, 266 p.
- Donners M., van Grunsven R. H., Groenendijk D., van Langevelde F., Bikker J. W., Longcore T., Veenendaal E. 2018. Colors of attraction: modeling insect flight to light behavior. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology* **329** (8–9): 434–440.
<https://doi.org/10.1002/jez.2188>
- Dornhaus A., Franks N. R. 2008. Individual and collective cognition in ants and other insects (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News* **11**: 215–226.
- Dudareva N., Klempien A., Muhlemann J. K., Kaplan I. 2013. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *New Phytologist* **198** (1): 16–32.
<https://doi.org/10.1111/nph.12145>
- Dudareva N., Pichersky E., Gershenzon J. 2004. Biochemistry of plant volatiles. *Plant Physiology* **135** (4): 1893–1902.
<https://doi.org/10.1104/pp.104.049981>
- Duehl A. J., Cohnstaedt L. W., Arbogast R. T., Teal P. E. A. 2011. Evaluating light attraction to increase trap efficiency for *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology* **104** (4): 1430–1435.
<https://doi.org/10.1603/EC10458>
- Edwin J., Ambrose D. P. 2011. Diversity and population dynamics of light trapped insects from Courtallam Tropical Rainforest, Western Ghats, Tamil Nadu, South India. In: D. P. Ambrose (ed.). *Insect Pest Management, A Current Scenario*. Palayamkottai, India: Entomology Research Unit, St. Xavier's College, p. 58–68.
- Eggleton P. 2020. The state of the world's insects. *Annual Review of Environment and Resources* **45** (1): 61–82.
<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-050035>
- Eigenbrode S. D., Birch A. N. E., Lindzey S., Meadow R., Snyder W. E. 2016. A mechanistic framework to improve understanding and applications of push-pull systems in pest management. *Journal of Applied Ecology* **53** (1): 202–212.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12556>
- Eisenhauer N., Bonn A., Guerra C. A. 2019. Recognizing the quiet extinction of invertebrates. *Nature Communications* **10** (1): 50.
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-07916-1>
- El-Sayed A. M., Suckling D. M., Wearing C. H., Byers J. A. 2006. Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *Journal of Economic Entomology* **99** (5): 1550–1564.
<https://doi.org/10.1093/jee/99.5.1550>
- El-Wakeil N. E. 2010. Insect economic levels in relation to crop production. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* **43** (17): 1711–1745.
<https://doi.org/10.1080/03235400902753584>
- Endo N. 2016. Effective monitoring of the population dynamics of *Nezara viridula* and *Nezara antennata* (Heteroptera: Pentatomidae) using a light trap in Japan. *Applied Entomology and Zoology* **51** (3): 341–346.
<https://doi.org/10.1007/s13355-016-0404-9>
- Epsy N. D., Morrill W. L., Mankin R. W. 2008. Traps for capturing insects. In: J. L. Capinera (ed.). *Encyclopedia of Entomology*, 2nd Edition. Berlin; Heidelberg: Springer Science & Business Media, p. 3887–3901.

- Evenden M. L., Borden J. H., Sickle van G. A. 1995. Predictive capabilities of a pheromone-based monitoring system for western hemlock looper (Lepidoptera: Geometridae). *Environmental Entomology* **24** (4): 933–943.
<https://doi.org/10.1093/ee/24.4.933>
- Evenden M. L., Haynes K. F. 2001. Potential for the evolution of resistance to pheromone-based mating disruption tested using two pheromone strains of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **100** (1): 131–134.
- Fleischer J., Pregitzer P., Breer H., Krieger J. 2018. Access to the odor world: olfactory receptors and their role for signal transduction in insects. *Cellular and Molecular Life Sciences* **75** (3): 485–508.
<https://doi.org/10.1007/s00018-017-2627-5>
- Fletcher-Howell G., Ferro D. N., Butkewich S. 1983. Pheromone and blacklight trap monitoring of adult European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) in western Massachusetts. *Environmental Entomology* **12** (2): 531–534.
<https://doi.org/10.1093/ee/12.2.531>
- Forister M. L., Pelton E. M., Black S. H. 2019. Declines in insect abundance and diversity: we know enough to act now. *Conservation Science and Practice* **1** (8): e80.
<https://doi.org/10.1111/csp.2.80>
- Foster S. P., Harris M. O. 1997. Behavioral manipulation methods for insect pest-management. *Annual Review of Entomology* **42**: 123–146.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.42.1.123>
- Fraenkel G. S. 1959. The raison d'être of secondary plant substances: these odd chemicals arose as a means of protecting plants from insects and now guide insects to food. *Science* **129** (3361): 1466–1470.
<https://doi.org/10.1126/science.129.3361.1466>
- Frérot B., Leppik E., Groot A. T., Unbehend M., Holopainen J. K. 2017. Chemical signatures in plant-insect interactions. *Advances in Botanical Research* **81**: 139–177.
<https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.10.003>
- Frolov A. N., Grushevaya I. V., Kononchuk A. G. 2020. LEDS and semiochemicals vs. sex pheromons: tests of the European corn borer attractivity in the Krasnodar Territory. *Plant Protection News* **103** (4): 270–274.
<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-4-13989>
- Frost S. W. 1952. Light traps for insect collection, survey and control. *Bulletin of Pennsylvania State Agricultural Experiment Station* **550**: 1–32.
- Furlan L., Pozzebon A., Duso C., Simon-Delso N., Sánchez-Bayo F., Marchand P. A., Codato F., Bijleveld van Lexmond M., Bonmatin J. M. 2021. An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 3: Alternatives to systemic insecticides. *Environmental Science and Pollution Research* **28**: 11798–11820.
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-1052-5>
- Gadagkar R., Chandrashekara K., Nair P. 1990. Insect species diversity in tropics: sampling methods and a case study. *Journal of the Bombay Natural History Society* **87** (3): 337–353.
- Garcia J. E., Hung Y. S., Greentree A. D., Rosa M. G., Endler J. A., Dyer A. G. 2017. Improved color constancy in honey bees enabled by parallel visual projections from dorsal ocelli. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **114** (29): 7713–7718.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1703454114>
- Garris H. W., Snyder J. A. 2010. Sex-specific attraction of moth species to ultraviolet light traps. *Southeastern Naturalist* **9** (3): 427–434.
<https://doi.org/10.1656/058.009.0302>
- Gaydecki P. 2019. Automated moth flight analysis in the vicinity of artificial light. *Bulletin of Entomological Research* **109** (1): 127–140.
<https://doi.org/10.1017/S0007485318000378>
- Gebrezih H. G., Gebrezih F. G. 2020. Effect of integrating night-time light traps and push-pull method on monitoring and deterring adult fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *International Journal of Entomology Research* **5** (1): 28–32.
- Gentry C. R., Davis D. R. 1973. Weather: influence on catches of adult cabbage loopers in traps baited with BL only or with BL plus synthetic sex pheromone. *Environmental Entomology* **2** (6): 1074–1077.
<https://doi.org/10.1093/ee/2.6.1074>
- Gentry C. R., Dickerson W. A., Henneberry T. J., Baumhover A. H., Stanley J. M. 1971. Evaluation of Pheromone-Baited Blacklight Traps for Controlling Cabbage Loopers on Shade-Grown Tobacco in Florida. *Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Production Research Report No. 133*, 12 p.
- Giorio C., Safer A., Sánchez-Bayo F., Tapparo A., Lentola A., Girolami V., Bijleveld van Lexmond M., Bonmatin J. M. 2021. An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 1: New molecules, metabolism, fate, and transport. *Environmental Science and Pollution Research* **28**: 11716–11748.
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-0394-3>

- Glass E. H., Thurston H. D. 1978. Traditional and modern crop protection in perspective. *Bioscience* **28** (2): 109–115.
<https://doi.org/10.2307/1307424>
- Gordon-Weeks R., Pickett J. A. 2009. Role of natural products in nature: plant-insect interactions. In: A. Osbourn, V. Lanzotti (eds). *Plant-Derived Natural Products*. N. Y.: Springer, p. 321–347.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-85498-4_15
- Goulson D. 2018. Call to restrict neonicotinoids. *Science* **360** (6392): 973.
<https://doi.org/10.1126/science.aau0432>
- Goulson D. 2019. The insect apocalypse, and why it matters. *Current Biology* **29** (19): R967–R971.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.069>
- Gregg P. C., Del Socorro A. P., Landolt P. J. 2018. Advances in attract-and-kill for agricultural pests: beyond pheromones. *Annual Review of Entomology* **63**: 453–470.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035040>
- Grubisic M., van Grunsven R. H., Kyba C. C., Manfrin A., Hölker F. 2018. Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? *Annals of Applied Biology* **173** (2): 180–189.
<https://doi.org/10.1111/aab.12440>
- Gruntman E., Turner G. 2013. Integration of the olfactory code across dendritic claws of single mushroom body neurons. *Nature Neuroscience* **16**: 1821–1829.
<https://doi.org/10.1038/nn.3547>
- Guerrero S., Brambila J., Meagher R. L. 2014. Efficacies of four pheromone-baited traps in capturing male *Helicoverpa* (Lepidoptera: Noctuidae) moths in northern Florida. *Florida Entomologist* **97** (4): 1671–1678.
<https://doi.org/10.1653/024.097.0441>
- Gullan P. J., Cranston P. S. 2014. *The Insects: an Outline of Entomology*. 5th edition. The Atrium, UK: John Wiley & Sons, 632 p.
- Gutiérrez-Cárdenas O. G., Cortez-Madrigal H., Malo E. A., Gómez-Ruiz J., Nord R. 2019. Physiological and pathogenical characterization of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates for management of adult *Spodoptera frugiperda*. *Southwestern Entomologist* **44** (2): 409–421.
<https://doi.org/10.3958/059.044.0206>
- Haider I., Akhtar M., Noman A., Qasim M. 2020. Population trends of some insect pests of rice crop on light trap and its relation to abiotic factors in Punjab Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology* **53** (3): 1015–1023.
- Hallem E. A., Dahanukar A., Carlson J. R. 2006. Insect odor and taste receptors. *Annual Review of Entomology* **51**: 113–135.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.051705.113646>
- Hallmann C. A., Sorg M., Jongejans E., Siepel H., Hofland N., Schwan H., Stenmans W., Müller A., Sumser H., Hörren T., Goulson D., de Kroon H. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS One* **12** (10): e0185809.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hansson B. S. 2014. From organism to molecule and back – insect olfaction during 40 years. *Journal of Chemical Ecology* **40** (5): 409–410.
<https://doi.org/10.1007/s10886-014-0437>
- Hansson B. S., Stensmyr M. C. 2011. Evolution of insect olfaction. *Neuron* **72** (5): 698–711.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.11.003>
- Harborne J. B. 2001. Twenty-five years of chemical ecology. *Natural Product Reports* **18** (4): 361–379.
<https://doi.org/10.1039/B005311M>
- Harrington R., Taylor M. S., Shortall C. R., Alderson L., Mallott M., Verrier P. J. 2012. The Rothamsted Insect Survey: old traps, new tricks. *Aspects of Applied Biology* **117**: 157–164.
- Harris J. E. 2006. Insect light traps. In: J. W. Heaps (ed.). *Insect Management for Food Storage and Processing*. 2nd Edition. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists International, p. 55–66.
- Harris J. E., Rodenhouse N. L., Holmes R. T. 2019. Decline in beetle abundance and diversity in an intact temperate forest linked to climate warming. *Biological Conservation* **240**: 108219.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108219>
- Hathaway D. O. 1981. *Codling Moth: Field Evaluation of Blacklight and Sex Attractant Traps*. Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture. *Advances in Agricultural Technology, Western Series*, No 19, 4 p.
- Hegazi E., Khafagi W. E., Konstantopoulou M., Raptopoulos D., Tawfik H., El-Aziz G. A., El-Rahman S. A., Atwa A., Aggamy E., Showeil S. 2009. Efficient mass-trapping method as an alternative tactic for suppressing populations of leopard moth (Lepidoptera: Cossidae). *Annals of the Entomological Society of America* **102** (5): 809–818.
<https://doi.org/10.1603/008.102.0507>

- Hendricks D. E., Graham H. M., Guerra R. J., Perez C. T. 1973. Comparison of the numbers of tobacco budworms and bollworms caught in sex pheromone traps vs. blacklight traps in Lower Rio Grande Valley, Texas. *Environmental Entomology* **2** (5): 911–914.
<https://doi.org/10.1093/ee/2.5.911>
- Hienton T. E. 1974. Summary of Investigations of Electric Insect Traps. Washington: Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 1498, 136 p.
- Hill L. 2013. Long-term light trap data from Tasmania, Australia. *Plant Protection Quarterly* **28** (1): 22–27.
- Hladik M. L., Main A. R., Goulson D. 2018. Environmental risks and challenges associated with neonicotinoid insecticides. *Environmental Science & Technology* **52** (6): 3329–3335.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06388>
- Ho D. T., Reddy K. S. 1983. Monitoring of lepidopterous stem-borer population by pheromone and light traps. *International Journal of Tropical Insect Science* **4** (1–2): 19–23.
<https://doi.org/10.1017/S1742758400003982>
- Holdcraft R., Rodriguez-Saona C., Stelinski L. L. 2016. Pheromone autodetection: evidence and implications. *Insects* **7** (2): 17.
<https://doi.org/10.3390/insects7020017>
- Holder P. J., Jones A., Tyler C. R., Cresswell J. E. 2018. Fipronil pesticide as a suspect in historical mass mortalities of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **115** (51): 13033–13038.
<https://doi.org/10.1073/pnas.180493411>
- Holguin G. A., Lehman B. L., Hull L. A., Jones V. P., Park J. 2010. Electronic traps for automated monitoring of insect populations. *IFAC Proceedings Volumes* **43** (26): 49–54.
<https://doi.org/10.3182/20101206-3-JP-3009.00008>
- Holkenbrink C., Ding B. J., Wang H. L., Dam M. I., Petkevicius K., Kildegaard K. R., Wenning L., Sinkwitz C., Lorantfy B., Koutsoumpeli E., Franca L., Pires M., Bernardi C., Urrutia W., Mafra-Neto A., Ferreira B. S., Raptopoulos D., Konstantopoulou M., Lofstedt C., Borodina I. 2020. Production of moth sex pheromones for pest control by yeast fermentation. *Metabolic Engineering* **62**: 312–321.
<https://doi.org/10.1016/j.ymben.2020.10.001>
- Holopainen J. K., Blande J. D. 2013. Where do herbivore-induced plant volatiles go? *Frontiers in Plant Science* **4**: 185.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00185>
- Howse P., Stevens J. M., Jones O. T. 1998. *Insect Pheromones and Their Use in Pest Management*. Dordrecht: Springer, 380 p.
- Hsiao H. S. 1973. Flight paths of night-flying moths to light. *Journal of Insect Physiology* **19** (1): 1971–1976.
[https://doi.org/10.1016/0022-1910\(73\)90191-1](https://doi.org/10.1016/0022-1910(73)90191-1)
- Hufnagel L., Gimesi L. 2010. The possibilities of biodiversity monitoring based on Hungarian light trap networks. *Applied Ecology and Environmental Research* **8** (3): 223–239.
- Hufnagel L., Nowinszky L., Hill L., Puskás J., Tar K. 2022. Moth species caught by ultraviolet and visible light sources in connection with their wingspan. In: L. Hufnagel (ed.). *Light Pollution, Urbanization and Ecology*. London, United Kingdom: IntechOpen, 132 p.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.102718>
- Hui F. A. N., Youju J. I. N., Jiquan L. I., Huaju C. 2004. Advances on plant volatile semiochemicals attracting herbivorous insects. *Journal of Beijing Forestry University* **26** (3): 76–81.
- Hummel H. E., Langner S. S., Eisinger M. T. 2013. Pheromone dispensers, including organic polymer fibers, described in the crop protection literature: comparison of their innovation potential. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* **78** (2): 233–252.
- Ioriatti C., Lucchi A. 2016. Semiochemical strategies for tortricid moth control in apple orchards and vineyards in Italy. *Journal of Chemical Ecology* **42** (7): 571–583.
<https://doi.org/10.1007/s10886-016-0722-y>
- Ishikawa Y. (ed.). 2020. *Insect Sex Pheromone Research and Beyond: from Molecules to Robots*. Gateway East, Singapore: Springer Nature, 321 p.
<https://doi.org/10.1007/978-981-15-3082-1>
- Izquierdo J. I. 1996. *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lep., Noctuidae): relationship between captures in pheromone traps and egg counts in tomato and carnation crops. *Journal of Applied Entomology* **120** (1–5): 281–290.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1996.tb01607.x>
- Jackson M. D., Brown G. C., Nordin G. L., Johnson D. W. 1992. Autodissemination of a baculovirus for management of tobacco budworms (Lepidoptera: Noctuidae) on tobacco. *Journal of Economic Entomology* **85** (3): 710–719.
<https://doi.org/10.1093/jee/85.3.710>
- Jayasinghe G. G., Gunaratne W. D. L., Darshanee H. L. C., Griepink F. C., Louwaars N. P., Stol W. 2006. Environmentally Sound Insect Control in Cinnamon. A Feasibility Study on the Use of Insect Pheromones to

Replace Large-Scale Use of Insecticides. Wageningen: Plant Research International B. V., Report No 119, 30 p. [URL: <https://edepot.wur.nl/18992>]

- Jeger M. J. 1999. Improved understanding of dispersal in crop pest and disease management: current status and future directions. *Agricultural and Forest Meteorology* **97** (4): 331–349.
[https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00076-3)
- Jeon J. H., Oh M. S., Cho K. S., Lee H. S. 2012. Phototactic response of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* Linnaeus (Coleoptera: Curculionidae), to light-emitting diodes. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* **55**: 35–39.
<https://doi.org/10.1007/s13765-012-0006-3>
- Jha G., Shankar R., Bajpai A. B., Kumar A., Sharma A. 2017. Insects from light trap: do they represent total diversity. *Progressive Research – An International Journal* **12** (3): 372–374.
- Jonason D., Franzén M., Ranius T. 2014. Surveying moths using light traps: effects of weather and time of year. *PLoS One* **9** (3): e92453.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092453>
- Kádár F., Szentkirályi F. 1997. Effects of climatic variations on long-term fluctuation patterns of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) collected by light trapping in Hungary. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* **32** (1–2): 185–203.
- Kalinová B., Minaf A., Kotěra L. 1994. Sex pheromone characterisation and field trapping of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae), in South Moravia and Slovakia. *European Journal of Entomology* **91** (2): 197–203.
- Kammar V., Rani A. T., Kumar K. P., Chakravarthy A. K. 2020. Light trap: a dynamic tool for data analysis, documenting, and monitoring insect populations and diversity. In: A. Chakravarthy (ed.). *Innovative Pest Management Approaches for the 21st Century*. Singapore: Springer, p. 137–163.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-0794-6_8
- Kantsa A., Raguso R. A., Dyer A. G., Sgardelis S. P., Olesen J. M., Petanidou T. 2017. Community-wide integration of floral colour and scent in a Mediterranean scrubland. *Nature Ecology & Evolution* **1**: 1502–1510.
<https://doi.org/10.1038/s41559-017-0298-0>
- Karlson P., Lüscher M. 1959. 'Pheromones': a new term for a class of biologically active substances. *Nature* **183** (4653): 55–56.
<https://doi.org/10.1038/183055a0>
- Karmakar A., Mitra S., Barik A. 2018. Systemically released volatiles from *Solena amplexicaulis* plant leaves with color cues influencing attraction of a generalist insect herbivore. *International Journal of Pest Management* **64** (3): 210–220.
<https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1383531>
- Kárpáti Z., Fejes-Tóth A., Csengele B., Szőke C., Bónis P., Marton L. C., Molnár B. P. 2016. Pheromone-based monitoring of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) in Hungary. *Maydica* **61** (2): 1–7.
- Kato M., Inoue T., Hamid A. A., Nagamitsu T., Merdek M. B., Nona A. R., Itino T., Yamane S., Yumoto T. 1995. Seasonality and vertical structure of light-attracted insect communities in a dipterocarp forest in Sarawak. *Population Ecology* **37** (1): 59–79.
<https://doi.org/10.1007/BF02515762>
- Kehat M., Anshelevich L., Dunkelblum E., Fraishtat P., Greenberg S. 1994. Sex pheromone traps for monitoring the codling moth: effect of dispenser type, field aging of dispenser, pheromone dose and type of trap on male captures. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **70** (1): 55–62.
<https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1994.tb01758.x>
- Kehat M., Gothilf S., Dunkelblum E., Greenberg S. 1982. Sex pheromone traps as a means of improving control programs for the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology* **11** (3): 727–729.
<https://doi.org/10.1093/ee/11.3.727>
- Keil T. A. 1999. Morphology and development of the peripheral olfactory organs. In: B. S. Hansson (ed.). *Insect Olfaction*. Berlin, Heidelberg: Springer, p. 5–47.
https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2715-8_13
- Kerr J. L., Kelly D., Bader M. K. F., Brockerhoff E. G. 2017. Olfactory cues, visual cues, and semiochemical diversity interact during host location by invasive forest beetles. *Journal of Chemical Ecology* **43** (1): 17–25.
<https://doi.org/10.1007/s10886-016-0792-x>
- Kessler A., Kalske A. 2018. Plant secondary metabolite diversity and species interactions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **49**: 115–138.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062406>
- Keszthelyi S., Lengyel Z. 2003. Flight of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) as followed by light- and pheromone traps in Várda and Balatonmagyaród 2002. *Journal of Central European Agriculture* **4** (1): 55–64.

- Kevan P. G., Baker H. G. 1983. Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology* **28**: 407–453.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.28.010183.002203>
- Khan Z. R., Pickett J. A. 2008. Push-pull strategy for insect pest management. In: J. L. Capinera (ed.). *Encyclopedia of Entomology*, 2nd Edition. Berlin; Heidelberg: Springer Science & Business Media, p. 3074–3082.
- Kim K. N., Huang Q. Y., Lei C. L. 2019. Advances in insect phototaxis and application to pest management: a review. *Pest Management Science* **75** (12): 3135–3143.
<https://doi.org/10.1002/ps.5536>
- Kimondiu J. M., Kumar A. R. V., Ganeshaiah K. N. 2019. Insects from light trap: do they represent total diversity? *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*. **4** (5): 1573–1578.
<https://doi.org/10.22161/IJEAB.45.44>
- Kirkpatrick R. L., Yancey D. L., Marzke F. O. 1970. Effectiveness of green and ultraviolet light in attracting stored-product insects to traps. *Journal of Economic Entomology* **63** (6): 1853–1855.
<https://doi.org/10.1093/jee/63.6.1853>
- Klowden M. J. 2013. *Physiological Systems in Insects*. 3rd Edition. London; San Diego: Academic Press, 682 p.
- Knudsen J. T., Eriksson R., Gershenzon J., Ståhl B. 2006. Diversity and distribution of floral scent. *The Botanical Review* **72** (1): 1–120.
[https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2006\)72\[1:DADOFJ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2006)72[1:DADOFJ]2.0.CO;2)
- Komonen A., Halme P., Kotiaho J. S. 2019. Alarmist by bad design: strongly popularized unsubstantiated claims undermine credibility of conservation science. *Rethinking Ecology* **4**: 17–19.
<https://doi.org/10.3897/rethinkingecology.4.34440>
- Kondo A., Tanaka F., Sugie H., Hokyuu N. 1993. Analysis of some biological factors affecting differential pheromone trap efficiency between generations in the rice stem borer moth, *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Applied Entomology and Zoology* **28** (4): 503–511.
<https://doi.org/10.1303/aez.28.503>
- Koul O., Cuperus G. W. (eds). 2007. *Ecologically-Based Integrated Pest Management*. Oxfordshire, UK; Cambridge, USA: CABI, 462 p.
- Kröcher C., von, Röhrig M. 2007. Monitoring of plant pests and diseases as a base of the Germany-wide online decision support system ISIP. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* **2** (1): 50–51.
- Kumar S., Singh V. K., Nath P., Joshi P. C. 2020. An overview of anthropogenic electromagnetic radiations as risk to pollinators and pollination. *Journal of Applied and Natural Science* **12** (4): 675–681.
<https://doi.org/10.31018/jans.v12i4.2420>
- Kunze J., Gumbert A. 2001. The combined effect of color and odor on flower choice behavior of bumble bees in flower mimicry systems. *Behavioral Ecology* **12** (4): 447–456.
<https://doi.org/10.1093/beheco/12.4.447>
- Labhart T., Meyer E. P. 1999. Detectors for polarized skylight in insects: a survey of ommatidial specializations in the dorsal rim area of the compound eye. *Microscopy Research and Technique* **47** (6): 368–379.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0029\(19991215\)47:6%3C368::AID-JEMT2%3E3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0029(19991215)47:6%3C368::AID-JEMT2%3E3.0.CO;2-Q)
- Laissue P. P., Vossahl L. B. 2008. The olfactory sensory map in *Drosophila*. In: G. M. Technau (ed.). *Brain Development in Drosophila melanogaster*. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Vol. 628. N. Y.: Springer, p. 102–114.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-78261-4_7
- Lance D. R., Leonard D. S., Mastro V. C., Walters M. L. 2016. Mating disruption as a suppression tactic in programs targeting regulated lepidopteran pests in US. *Journal of Chemical Ecology* **42** (7): 590–605.
<https://doi.org/10.1007/s10886-016-0732-9>
- Land M. F. 1997. Visual acuity in insects. *Annual Review of Entomology* **42**: 147–177.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.42.1.147>
- Landolt P. J., Guedot C., Zack R. S. 2011. Spotted cutworm, *Xestia c-nigrum* (L.) (Lepidoptera: Noctuidae) responses to sex pheromone and blacklight. *Journal of Applied Entomology* **135** (8): 593–600.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01571.x>
- Langevelde F., van, Ettema J. A., Donners M., Wallis DeVries M. F., Groenendijk D. 2011. Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. *Biological Conservation* **144**: 2274–2281.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.06.004>
- Laothawornkitkul J., Taylor J. E., Paul N. D., Hewitt C. N. 2009. Biogenic volatile organic compounds in the Earth system. *New Phytologist* **183** (1): 27–51.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02859.x>
- Larraín S. P., Guillón M., Kalazich J., Graña F., Vásquez C. 2009. Effect of pheromone trap density on mass trapping of male potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), and level of damage on potato tubers. *Chilean Journal of Agricultural Research* **69** (2): 281–285.
<http://doi.org/10.4067/S0718-58392009000200018>

- Latash M. L. 2008. Synergy. Oxford, N. Y.: Oxford University Press, 412 p.
- Laussmann T., Dahl A., Radtke A. 2021. Lost and found: 160 years of Lepidoptera observations in Wuppertal (Germany). *Journal of Insect Conservation* **25** (2): 273–285.
<https://doi.org/10.1007/s10841-021-00296-w>
- Leal W. S. 2013. Odorant reception in insects: roles of receptors, binding proteins, and degrading enzymes. *Annual Review of Entomology* **58**: 373–391. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153635>
- Leather S. R. 2017. “Ecological Armageddon” – more evidence for the drastic decline in insect numbers. *Annals of Applied Biology* **172** (1): 1–3.
<https://doi.org/10.1111/aab.12410>
- Leinonen R., Pöyry J., Söderman G., Tuominen-Roto L. 2016. Suomen Yöperhosseurantaa (Nocturna) 1993–2012. Helsinki: Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja 15, 71 p. [URL: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/161221/SYKEra_15_2016.pdf]
- Leonard A. S., Dornhaus A., Papaj D. R. 2011. Flowers help bees cope with uncertainty: signal detection and the function of floral complexity. *Journal of Experimental Biology* **214** (1): 113–121.
<https://doi.org/10.1242/jeb.047407>
- Leonard A. S., Masek P. 2014. Multisensory integration of colors and scents: insights from bees and flowers. *Journal of Comparative Physiology A* **200** (6): 463–474.
<https://doi.org/10.1007/s00359-014-0904-4>
- Levitt B. B., Lai H. C., Manville A. M. 2022. Effects of non-ionizing electromagnetic fields on flora and fauna, part 1. Rising ambient EMF levels in the environment. *Reviews on Environmental Health* **37** (1): 81–122.
<https://doi.org/10.1515/revh-2021-0026>
- Lin H. H., Lai J. S. Y., Chin A. L., Chen Y. C., Chiang A. S. 2007. A map of olfactory representation in the *Drosophila* mushroom body. *Cell* **128** (6): 1205–1217.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.03.006>
- Linn C. E., Roelofs W. L. 1989. Response specificity of male moths to multicomponent pheromones. *Chemical Senses* **14** (3): 421–437.
<https://doi.org/10.1093/chemse/14.3.421>
- Lister B. C., Garcia A. 2018. Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **115** (44): E10397–E10406.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1722477115>
- Liu Y., Liu C., Zhang J. C., Zhao S. Y. 2013. Discussion on applicability of the technology of using light to trap in the field of pests and diseases control in tea plantation of China. *Key Engineering Materials* **575–576**: 487–493.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.575-576.487>
- Loganathan M., Uthamasamy S. 1998. Efficacy of a sex pheromone formulation for monitoring *Heliothis armigera* Hubner moths on cotton. *Journal of Entomological Research* **22** (1): 35–38.
- Ludwig W. 1933. Seitenstetigkeit niederer Tiere im Ein- und Zweilichtversuche. I. *Limantria dispar*-Raupen. *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie* **144** (4): 469–495.
- Luo L., Huang S., Jiang X., Zhang L. 2009. Characteristics and causes for the outbreaks of beet webworm, *Loxostege sticticalis* in northern China during 2008. *Plant Protection* **35** (1): 27–33.
- Lupi D., Mesiano M. P., Adani A., Benocci R., Giacchini R., Parenti P., Zambon G., Lavazza A., Boniotti M. B., Bassi S., Colombo M., Tremolada P. 2021. Combined effects of pesticides and electromagnetic-fields on honeybees: multi-stress exposure. *Insects* **12** (8): 716.
<https://doi.org/10.3390/insects12080716>
- Lyu F., Hai X., Wang Z., Yan A., Liu B., Bi Y. 2015. Integration of visual and olfactory cues in host plant identification by the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae). *PloS One* **10** (11): e0142752.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142752>
- Madsen H. F., Carty B. E. 1979. Codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae): suppression by male removal with sex pheromone traps in three British Columbia orchards. *Canadian Entomologist* **111** (5): 627–630.
<https://doi.org/10.4039/Ent111627-5>
- Maelzer D. A., Zalucki M. P. 1999. Analysis of long-term light-trap data for *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia: the effect of climate and crop host plants. *Bulletin of Entomological Research* **89** (5): 455–463.
<https://doi.org/10.1017/S0007485399000590>
- Maelzer D., Zalucki M. P., Laughlin R. 1996. Analysis and interpretation of long term light trap data for *Helicoverpa punctigera* (Lepidoptera; Noctuidae) in Australia: population changes and forecasting pest pressure. *Bulletin of Entomological Research* **86** (5): 547–557.
<https://doi.org/10.1017/S0007485300039341>

- Mahroof R. M., Phillips T. W. 2008. Responses of stored-product Anobiidae to pheromone lures and plant-derived volatiles. *Journal of Applied Entomology* **132** (2): 161–167.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01251.x>
- Maini S., Burgio G. 1990. Influence of trap design and phenylacetaldehyde upon field capture of male and female *Ostrinia nubilalis* (Hb.) (Lepidoptera, Pyralidae) and other moths. *Bollettino dell'Istituto di Entomologia 'Guido Grandi' della Università degli Studi di Bologna* **45**: 157–165.
- Maini S., Burgio G. 1994. Relationship between infestation and capture of adults of *Ostrinia nubilalis* (Hb.) in traps baited with sex pheromones and phenylacetaldehyde in pepper grown in tunnels. *Bollettino dell'Istituto di Entomologia 'Guido Grandi' della Università degli Studi di Bologna* **48**: 101–107.
- Maini S., Burgio G. 1999. *Ostrinia nubilalis* (Hb.) (Lep., Pyralidae) on sweet corn: relationship between adults caught in multibaited traps and ear damages. *Journal of Applied Entomology* **123** (3): 179–185.
<https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.1999.00331.x>
- Mason K. S., Isaacs R. 2018. Juice grape canopy structure and cluster availability do not reduce middle-and late-season captures of male *Paralobesia viteana* (Lepidoptera: Tortricidae) in sex pheromone traps. *Environmental Entomology* **47** (3): 707–714.
<https://doi.org/10.1093/ee/nvy044>
- Mazzi D., Dorn S. 2012. Movement of insect pests in agricultural landscapes. *Annals of Applied Biology* **160** (2): 97–113.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2012.00533.x>
- Mazzoni V., Anfora G. 2021. Behavioral manipulation for pest control. *Insects* **12** (4): 287.
<https://doi.org/10.3390/insects12040287>
- McGeachie W. J. 1989. The effects of moonlight illuminance, temperature and wind speed on light-trap catches of moths. *Bulletin of Entomological Research* **79** (2): 185–192.
<https://doi.org/10.1017/S0007485300018162>
- McMeniman C. J., Corfas R. A., Matthews B. J., Ritchie S. A., Voshall L. B. 2014. Multimodal integration of carbon dioxide and other sensory cues drives mosquito attraction to humans. *Cell* **156** (5): 1060–1071.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.12.044>
- McQuate G. T. 2014. Green light synergistically enhances male sweetpotato weevil response to sex pheromone. *Scientific Reports* **4**: 4499.
<https://doi.org/10.1038/srep04499>
- Melero Y., Stefanescu C., Pino J. 2016. General declines in Mediterranean butterflies over the last two decades are modulated by species traits. *Biological Conservation* **201**: 336–342.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.029>
- Menzel R. 2012. The honeybee as a model for understanding the basis of cognition. *Nature Reviews Neuroscience* **13** (11): 758–768.
<https://doi.org/10.1038/nrn3357>
- Metcalfe R. L., Kogan M. 1987. Plant volatiles as insect attractants. *Critical Reviews in Plant Sciences* **5** (3): 251–301.
<https://doi.org/10.1080/07352688709382242>
- Meyer-Rochow V. B. 2019. Eyes and vision of the bumblebee: a brief review on how bumblebees detect and perceive flowers. *Journal of Apiculture* **34** (2): 107–115.
<https://doi.org/10.17519/apiculture.2019.06.34.2.10>
- Mikkola K. 1972. Behavioural and electrophysiological responses of night-flying insects, especially Lepidoptera, to near-ultraviolet and visible light. *Annales Zoologici Fennici* **9** (4): 225–254.
- Miller J. R., Gut L. J. 2015. Mating disruption for the 21st century: matching technology with mechanism. *Environmental Entomology* **44** (3): 427–453.
<https://doi.org/10.1093/ee/nvv052>
- Miller J. R., Gut L. J., de Lame F. M., Stelinski L. L. 2006a. Differentiation of competitive vs. non-competitive mechanisms mediating disruption of moth sexual communication by point sources of sex pheromone (Part 1): Theory. *Journal of Chemical Ecology* **32** (10): 2089–2114.
<https://doi.org/10.1007/s10886-006-9134-8>
- Miller J. R., Gut L. J., de Lame F. M., Stelinski L. L. 2006b. Differentiation of competitive vs. non-competitive mechanisms mediating disruption of moth sexual communication by point sources of sex pheromone (Part 2): Case studies. *Journal of Chemical Ecology* **32** (10): 2115–2143.
<https://doi.org/10.1007/s10886-006-9136-6>
- Miluch C. E., Dossdall L. M., Evenden M. L. 2013. The potential for pheromone-based monitoring to predict larval populations of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in canola (*Brassica napus* L.). *Crop Protection* **45**: 89–97.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.11.023>

- Mishra A., Sharma P., Gupta A. K., Fatima P., Kumar P. 2019. Control of insect pest through biomolecules and traps. In: B. D. Kaushik, D. Kumar, Md. Shamim (eds). Biofertilizers and Biopesticides in Sustainable Agriculture. Oakville: Apple Academic Press, p. 91–112.
- Missa O., Basset Y., Alonso A., Miller S. E., Curletti G., De Meyer M., Eardley C., Mansell M. W., Wagner T. 2009. Monitoring arthropods in a tropical landscape: relative effects of sampling methods and habitat types on trap catches. *Journal of Insect Conservation* **13** (1): 103–118.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10841-007-9130-5>
- Mitchell E. (ed.) 1980. Management of insect pests with semiochemicals: concepts and practice. Proceedings of an International Colloquium on Management of Insect Pests with Semiochemicals, March 23–28, 1980. Gainesville, Florida, USA. N. Y.: Plenum Press, 1981, 514 p.
- Mitchell E. R., Agee H. R., Heath R. R. 1989. Influence of pheromone trap color and design on capture of male velvetbean caterpillar and fall armyworm moths (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Chemical Ecology* **15** (6): 1775–1784.
<https://doi.org/10.1007/BF01012265>
- Miyatake T., Yokoi T., Fuchikawa T., Korehisa N., Kamura T., Nanba K., Ryouji S., Kamioka N., Hironaka M., Osada M., Hariyama T., Sasaki R., Shinoda K. 2016. Monitoring and detecting the cigarette beetle (Coleoptera: Anobiidae) using ultraviolet (LED) direct and reflected lights and/or pheromone traps in a laboratory and a storehouse. *Journal of Economic Entomology* **109** (6): 2551–2560.
<https://doi.org/10.1093/jee/tow225>
- Mizell R. F., Martin F. G., Tedders W. L. 2007. Behavioral response by *Hylobius pales*, *Pachylobius picivorus* (Coleoptera: Curculionidae) and *Xylotrechus sagittatus* (Coleoptera: Cerambycidae) to trap visual and olfactory cues and an estimate of trap efficiency. *Journal of Entomological Science* **42** (4): 558–572.
<https://doi.org/10.18474/0749-8004-42.4.558>
- Mkiga A. M., Mohamed S. A., du Plessis H., Khamis F. M., Akutse K. S., Nderitu P. W., Niassy S., Muriithi B. W., Ekesi S. 2021. Compatibility and efficacy of *Metarhizium anisopliae* and sex pheromone for controlling *Thaumatotibia leucotreta*. *Journal of Pest Science* **94** (2): 393–407.
<https://doi.org/10.1007/s10340-020-01281-z>
- Mochizuki F., Fukumoto T., Noguchi H., Sugie H., Morimoto T., Ohtani K. 2002. Resistance to a mating disruptant composed of (Z)-11-tetradecenyl acetate in the smaller tea tortrix, *Adoxophyes honmai* (Yasuda) (Lepidoptera: Tortricidae). *Applied Entomology and Zoology* **37** (2): 299–304.
<https://doi.org/10.1303/aez.2002.299>
- Mochizuki F., Noguchi H., Sugie H., Tabata J., Kainoh Y. 2008. Sex pheromone communication from a population resistant to mating disruptant of the smaller tea tortrix, *Adoxophyes honmai* Yasuda (Lepidoptera: Tortricidae). *Applied Entomology and Zoology* **43** (2): 293–298.
<https://doi.org/10.1303/aez.2008.293>
- Molnár B. P., Tóth Z., Fejes-Tóth A., Dekker T., Kárpáti Z. 2015. Electrophysiologically-active maize volatiles attract gravid female European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Journal of Chemical Ecology* **41** (11): 997–1005.
<https://doi.org/10.1007/s10886-015-0640-4>
- Monbiot G. [Интернет-документ] 2017. Insectageddon: farming is more catastrophic than climate breakdown. The Guardian 20.10.2017. [URL: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/oct/20/insectageddon-farming-catastrophe-climate-breakdown-insect-populations>]
- Montagné N., De Fouchier A., Newcomb R. D., Jacquín-Joly E. 2015. Advances in the identification and characterization of olfactory receptors in insects. *Progress in Molecular Biology and Translational Science* **130**: 55–80.
<https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2014.11.003>
- Montgomery G. A., Dunn R. R., Fox R., Jongejans E., Leather S. R., Saunders M. E., Shortall C. R., Tingley M. W., Wagner D. L. 2020. Is the insect apocalypse upon us? How to find out. *Biological Conservation* **241**: 108327.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108327>
- Morse R. A., Hooper T. (eds). 1985. The Illustrated Encyclopedia of Beekeeping. N. Y.: E. P. Dutton, 432 p.
- Muirhead-Thomson R. C. 1991. Trap Responses of Flying Insects: the Influence of Trap Design on Capture Efficiency. London: Academic Press, 304 p.
- Murali-Baskaran R. K., Sharma K. C., Kaushal P., Kumar J., Parthiban P., Senthil-Natha S., Mankin R. W. 2018. Role of kairomone in biological control of crop pests – a review. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **101**: 3–15.
<https://doi.org/10.1016/j.pmp.2017.07.004>
- Murtaza G., Ramzan M., Ghani M. U., Munawar N., Majeed M., Perveen A., Umar K. 2019. Effectiveness of different traps for monitoring sucking and chewing insect pests of crops. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences A, Entomology* **12** (6): 15–21.
<https://doi.org/10.21608/eajbsa.2019.58298>

- Nightingale W. H. 1983. Insect traps. Patent of invention No GB2052942A, 07.04.1983. Application No GB7925176A filled 19.07.1979. Status expired.
- Nofemela R. S. 2010. The ability of synthetic sex pheromone traps to forecast *Plutella xylostella* infestations depends on survival of immature stages. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **136** (3): 281–289. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2010.01029.x>
- Noskov A., Bendix, J., Friess N. 2021. A review of insect monitoring approaches with special reference to radar techniques. *Sensors* **21** (4): 1474. <https://doi.org/10.3390/s21041474>
- Nowinszky L. 2003. The orientation of insects by light – major theories. In: L. Nowinszky (eds.). *The Handbook of Light Trapping*. Szombathely, Hungary: Savaria University Press, p. 15–18.
- Nowinszky L., Puskás J. 2015. Sex ratio analysis of some Macrolepidoptera species collected by Hungarian forestry light traps. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* **11** (2): 99–110. <https://doi.org/10.1515/aslh-2015-0008>
- Nyambo B. T. 1988. A comparative assessment of pheromone and light traps as tools for monitoring *Heliothis armigera* in Tanzania. *International Journal of Pest Management* **34** (4): 448–454. <https://doi.org/10.1080/09670878809371300>
- Nyambo B. T. 1989. Assessment of pheromone traps for monitoring and early warning of *Heliothis armigera* Hübner (Lepidoptera, Noctuidae) in the western cotton-growing areas of Tanzania. *Crop Protection* **8** (3): 188–192. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(89\)90025-2](https://doi.org/10.1016/0261-2194(89)90025-2)
- Oerke E. C., Dehne H. W., Schonbeck F., Weber A. 1994. *Crop Production and Crop Protection: Estimated Losses in Major Food and Cash Crops*. Amsterdam: Elsevier, 808 p.
- Oh M. S., Lee C. H., Lee S. G., Lee H. S. 2011. Evaluation of high power light emitting diodes (HPLEDs) as potential attractants for adult *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* **54** (3): 416–422. <https://doi.org/10.3839/jksabc.2011.065>
- Oh S. M., Jeong K., Seo J. T., Moon S. J. 2021. Multisensory interactions regulate feeding behavior in *Drosophila*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **118** (7): e2004523118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004523118>
- Ômura H. 2018. Plant secondary metabolites in host selection of butterfly. In: J. Tabata (ed.). *Chemical Ecology of Insects*. Boca Raton: CRC Press, p. 3–27.
- Östrand F., Elek J. A., Steinbauer M. J. 2007. Monitoring autumn gum moth (*Mnesampela privata*): relationships between pheromone and light trap catches and oviposition in eucalypt plantations. *Australian Forestry* **70** (3): 185–191. <https://doi.org/10.1080/00049158.2007.10675019>
- Otálora-Luna F., Lapointe S. L., Dickens J. C. 2013. Olfactory cues are subordinate to visual stimuli in a neotropical generalist weevil. *PloS One* **8** (1): e53120. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053120>
- Otieno J. A., Stukenberg N., Weller J., Poehling H. M. 2018. Efficacy of LED-enhanced blue sticky traps combined with the synthetic lure Lurem-TR for trapping of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*). *Journal of Pest Science* **91** (4): 1301–1314. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1005-x>
- Owens A. C. S., Lewis S. M. 2018. The impact of artificial light at night on nocturnal insects: a review and synthesis. *Ecology and Evolution* **8** (22): 11337–11358. <https://doi.org/10.1002/ece3.4557>
- Pal S., Chatterjee H., Senapati S. K. 2014. Monitoring of *Helicoverpa armigera* using pheromone traps and relationship of moth activity with larval infestation on carnation (*Dianthus caryophyllus*) in Darjeeling Hills. *Journal of Entomological Research* **38** (1): 23–26.
- Pan H., Xiu C., Lu Y. 2015. A combination of olfactory and visual cues enhance the behavioral responses of *Apolygus lucorum*. *Journal of Insect Behavior* **28** (5): 525–534. <https://doi.org/10.1007/s10905-015-9521-5>
- Pan H., Xu Y., Liang G., Wyckhuys K. A., Yang Y., Lu Y. 2020. Field evaluation of light-emitting diodes to trap the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Crop Protection* **137**: 105267. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105267>
- Papadopoulou S. C., Buchelos C. T. 2002. Comparison of trapping efficacy for *Lasioderma serricorne* (F.) adults with electric, pheromone, food attractant and control-adhesive traps. *Journal of Stored Products Research* **38** (4): 375–383. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(01\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(01)00039-X)

- Park I., Eigenbrode S. D., Cook S. P., Harmon B. L., Hinz H. L., Schaffner U., Schwarzländer M. 2018. Examining olfactory and visual cues governing host-specificity of a weed biological control candidate species to refine pre-release risk assessment. *BioControl* **63** (3): 377–389.
<https://doi.org/10.1007/s10526-018-9867-7>
- Park I., Schwarzländer M., Hinz H. L., Schaffner U., Eigenbrode S. D. 2019. A simple approach to evaluate behavioral responses of insect herbivores to olfactory and visual cues simultaneously: the double stacked y-tube device and portable volatile collection system. *Arthropod-Plant Interactions* **13**: 139–149.
<https://doi.org/10.1007/s11829-018-9663-4>
- Park J. H., Lee H. S. 2017. Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs). *Applied Biological Chemistry* **60** (2): 137–144.
<https://doi.org/10.1007/s13765-017-0263-2>
- Paulk A. C., Dacks A. M., Phillips-Portillo J., Fellous J. M., Gronenberg W. 2009. Visual processing in the central bee brain. *Journal of Neuroscience* **29** (32): 9987–9999.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1325-09.2009>
- Pélozuelo L., Frérot B. 2007. Monitoring of European corn borer with pheromone-baited traps: review of trapping system basics and remaining problems. *Journal of Economic Entomology* **100** (6): 1797–1807.
<https://doi.org/10.1093/jee/100.6.1797>
- Peshin R., Dhawan A. K. (eds). 2009. *Integrated Pest Management*. Berlin: Springer Sci. & Business Media B. V., Vol. 1: Innovation-Development Process, 690 p.; Vol. 2: Dissemination and Impact, 634 p.
- Petkevicius K., Lofstedt C., Borodina I. 2020. Insect sex pheromone production in yeasts and plants. *Current Opinion in Biotechnology* **65**: 259–267.
<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.07.011>
- Pickett J. A., Wadhams L. J., Woodcock C. M. 1993. Exploiting behaviorally active phytochemicals in crop protection. In: T. A. Van Beek, H. Breteler (eds). *Phytochemistry and Agriculture*. Oxford: Clarendon Press, p. 62–75.
- Pickett J. A., Wadhams L. J., Woodcock C. M. 1997. Developing sustainable pest control from chemical ecology. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **64** (2): 149–156.
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00033-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00033-9)
- Popp J., Hantos K. 2011. The impact of crop protection on agricultural production. *Studies in Agricultural Economics* **113** (1): 47–66.
<http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.102401>
- Potting R. P. J., Perry J. N., Powell W. J. E. M. 2005. Insect behavioural ecology and other factors affecting the control efficacy of agro-ecosystem diversification strategies. *Ecological Modelling* **182** (2): 199–216.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.017>
- Prasad Y., Prabhakar M. 2012. Pest monitoring and forecasting. In: D. P. Abrol, U. Shankar (eds). *Integrated Pest Management: Principles and Practice*. Oxfordshire, UK: CAB International, p. 41–57.
- Prasannakumar N. R., Chakravarthy A. K., Naveen A. H. 2012. Influence of weather parameters on pheromone trap catches of potato cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). *Current Biotica* **5** (4): 508–512.
- Raguso R. A., Willis M. A. 2002. Synergy between visual and olfactory cues in nectar feeding by naïve hawkmoths, *Manduca sexta*. *Animal Behaviour* **64** (5): 685–695.
<https://doi.org/10.1006/anbe.2002.4010>
- Raimondo S., Strazanac J. S., Butler L. 2004. Comparison of sampling techniques used in studying Lepidoptera population dynamics. *Environmental Entomology* **33** (2): 418–425.
<https://doi.org/10.1603/0046-225X-33.2.418>
- Rak Cizej M., Persolja J. 2013. The methods of monitoring and management the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) in Slovenian hop garden. In: International Hop Growers' Convention, Proceedings of the Scientific Commission, Kiev, Ukraine, 04–09 June 2013, p. 69–72. [URL: <https://d-nb.info/1037703790/34#page=69>]
- Rak Cizej M., Sporar K., Štefančič M., Štefančič M., Belušič G. 2014. Preizkus LED svetlobne vabe pri spremljanju pojave koruzne veščice (*Ostrinia nubilalis* Hübner). *Hmeljarski Bilten* **21** (1): 17–29. [URL: <https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-H14BLULJ/31ab4414-5175-46c6-a31d-0143558c1955/PDF>]
- Ramamurthy V. V., Akhtar M. S., Patankar N. V., Menon P., Kumar R., Singh S. K., Ayri S., Parveen S., Mittal V. 2010. Efficiency of different light sources in light traps in monitoring insect diversity. *Munis Entomology & Zoology* **5** (1): 109–114.
- Ramaswamy S. B., Cardé R. T., Witter J. A. 1983. Relationships between catch in pheromone-baited traps and larval density of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Canadian Entomologist* **115** (11): 1437–1443.
<https://doi.org/10.4039/Ent1151437-11>

- Ramsden M. W., Kendall S. L., Ellis S. A., Berry P. M. 2017. A review of economic thresholds for invertebrate pests in UK arable crops. *Crop Protection* **96**: 30–43.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.01.009>
- Rawat R. K., Keval R., Chakravarty S., Ganguly S. 2017. Monitoring of gram pod borer, *Helicoverpa armigera* (Hübner) through pheromone traps on long duration pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. *Journal of Entomology and Zoology Studies* **5** (5): 665–669.
- Reardon B. J., Sumerford D. V., Sappington T. W. 2006. Impact of trap design, windbreaks, and weather on captures of European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) in pheromone-baited traps. *Journal of Economic Entomology* **99** (6): 2002–2009.
<https://doi.org/10.1093/jee/99.6.2002>
- Reddy G. V., Guerrero A. 2004. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends in Plant Science* **9** (5): 253–261.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.03.009>
- Reddy G. V., Guerrero A. 2010. New pheromones and insect control strategies. *Vitamins & Hormones* **83**: 493–519.
[https://doi.org/10.1016/S0083-6729\(10\)83020-1](https://doi.org/10.1016/S0083-6729(10)83020-1)
- Regnier F. E. 1971. Semiochemicals – structure and function. *Biology of Reproduction* **4** (3): 309–326.
<https://doi.org/10.1093/biolreprod/4.3.309>
- Reinecke A., Hilker M. 2014. Plant semiochemicals – perception and behavioural responses by insects. In: C. Voelckel, G. Jander (eds). *Annual Plant Reviews*. Vol. 47: *Insect-Plant Interactions*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, p. 115–153.
- Reisenman C. E., Lei H., Guerenstein P. G. 2016. Neuroethology of olfactory-guided behavior and its potential application in the control of harmful insects. *Frontiers in Physiology* **7**: 271.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00271>
- Renou M., Guerrero A. 2000. Insect parapheromones in olfaction research and semiochemical-based pest control strategies. *Annual Review of Entomology* **48**: 605–630.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.605>
- Rensburg J. B. J. van 1992. Evaluation of pheromone trapping systems in relation to light trap captures of the maize stalk borer, *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae). *South African Journal of Plant and Soil* **9** (3): 144–149.
<https://doi.org/10.1080/02571862.1992.10634618>
- Renwick J. A. A., Chew F. S. 1994. Oviposition behavior in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology* **39**: 377–400.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.39.010194.002113>
- Rhains M., Lavigne D., Rideout T., Candau J. N. 2019. Temporal variation in abundance of male and female spruce budworms at combinatory associations of light traps and pheromone traps. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **167** (6): 526–533.
<https://doi.org/10.1111/eea.12806>
- Rhains M., Therrien P., Morneau L. 2015. Pheromone-based monitoring of spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) larvae in relation to trap position. *Journal of Economic Entomology* **109** (2): 717–723.
<https://doi.org/10.1093/jee/tov393>
- Rhodes C. J. 2019. Are insect species imperilled? Critical factors and prevailing evidence for a potential global loss of the entomofauna: a current commentary. *Science Progress* **102** (2): 181–196.
<https://doi.org/10.1177/0036850419854291>
- Rice K. B., Cullum J. P., Wiman N. G., Hilton R., Leskey T. C. 2017. *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) response to pyramid traps baited with attractive light and pheromonal stimuli. *Florida Entomologist* **100** (2): 449–453.
<https://doi.org/10.1653/024.100.0207>
- Riley C. V. 1885. Traps for the moths. In: *Fourth Report of the United States Entomological Commission: Being a Revised Edition of Bulletin No. 3, and the Final Report on the Cotton Worm*. U. S. Government Printing Office, p. 314–321.
- Rizvi S. A. H., George J., Reddy G. V., Zeng X., Guerrero A. 2021. Latest developments in insect sex pheromone research and its application in agricultural pest management. *Insects* **12** (6): 484.
<https://doi.org/10.3390/insects12060484>
- Roach S. H. 1975. *Heliothis zea* and *H. virescens*: moth activity as measured by blacklight and pheromone traps. *Journal of Economic Entomology* **68** (1): 17–21.
<https://doi.org/10.1093/jee/68.1.17>
- Robinson H. S., Robinson P. J. M. 1950. Some notes on the observed behaviour of Lepidoptera in the vicinity of light-sources together with a description of a light-trap designed to take entomological samples. *Entomologist's Gazette* **1**: 3–20.

- Rodriguez-Saona C. R., Stelinski L. L. 2009. Behavior-modifying strategies in IPM: theory and practice. In: R. Peshin, A. K. Dhawan (eds). *Integrated Pest Management: Innovation-Development Process*. Dordrecht: Springer, p. 263–315.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8992-3_11
- Roge G. M. 2021. Pheromones as component of integrated pest management. *Entomology, Ornithology & Herpetology: Current Research* **10** (4): 1000244
- Roitberg B. D. 2007. Why pest management needs behavioral ecology and vice versa. *Entomological Research* **37** (1): 14–18.
<https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2007.00045.x>
- Romeis J., Shelton A. M., Kennedy G. G. (eds). 2008. *Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs*. Dordrecht: Springer Sci. & Business Media, 441 p.
- Saad A. D., Scott D. R. 1981. Repellency of pheromones released by females of *Heliothis armigera* and *H. zea* to females of both species. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **30** (2): 123–127.
<https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1981.tb03085.x>
- Sambaraju K. R., Phillips T. W. 2008. Responses of adult *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to light and combinations of attractants and light. *Journal of Insect Behavior* **21** (5): 422–439.
<https://doi.org/10.1007/s10905-008-9140-5>
- Sánchez-Bayo F., Wyckhuys K. A. G. 2019. Worldwide decline of the entomofauna: a review of its drivers. *Biological Conservation* **232**: 8–27.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Sappington T. W. 2018. Migratory flight of insect pests within a year-round distribution: European corn borer as a case study. *Journal of Integrative Agriculture* **17** (7): 1485–1505.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61969-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61969-0)
- Sappington T. W., Showers W. B. 1983. Adult European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) flight activity in and away from aggregation sites. *Environmental Entomology* **12** (4): 1154–1158.
<https://doi.org/10.1093/ee/12.4.1154>
- Savoldelli S., Trematerra P. 2011. Mass-trapping, mating-disruption and attracticide methods for managing stored-product insects: success stories and research needs. *Stewart Postharvest Review* **7** (3): 1–8.
<https://doi.org/10.2212/spr.2011.3.7>
- Schauff M. E. (ed.). 2001. *Collecting and Preserving Insects and Mites: Techniques and Tools*. Washington DC: Systematic Entomology Laboratory, USDA, 68 p. [URL: <https://manualzz.com/doc/12328857/insects---collecting-and-preserving-insects-and-mites-too...>].
- Scheper J., Reemer M., van Kats R., Ozinga W. A., van der Linden G. T. J., Schaminée J. H. J., Siepel H., Kleijn D. 2014. Museum specimens reveal loss of pollen host plants as key factor driving wild bee decline in the Netherlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **111** (49): 17552–17557.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1412973111>
- Schlyter F., Zhang Q. H., Liu G. T., Ji L. Z. 2001. A successful case of pheromone mass trapping of the bark beetle *Ips duplicatus* in a forest island, analysed by 20-year time-series data. *Integrated Pest Management Reviews* **6**: 185–196.
<https://doi.org/10.1023/A:1025767217376>
- Schmidt-Büsser D., von Arx M., Guerin P. M. 2009. Host plant volatiles serve to increase the response of male European grape berry moths, *Eupoecilia ambiguella*, to their sex pheromone. *Journal of Comparative Physiology A* **195** (9): 853–864.
<https://doi.org/10.1007/s00359-009-0464-1>
- Schneider D. 1957. Elektrophysiologische Untersuchungen von Chemo- und Mechanorezeptoren der Antenne des Seidenspinners *Bombyx mori* L. *Zeitschrift für vergleichende Physiologie* **40** (1): 8–41.
<https://doi.org/10.1007/BF00298148>
- Schneider D. 1999. Insect pheromone research: some history and 45 years of personal recollections. *IOBC WPRS Bulletin* **22** (9): 1–8.
- Schröder M. L., Glinwood R., Ignell R., Krüger K. 2017. The role of visual and olfactory plant cues in aphid behaviour and the development of non-persistent virus management strategies. *Arthropod-Plant Interactions* **11**: 1–13.
<https://doi.org/10.1007/s11829-016-9463-7>
- Schuch S., Wesche K., Schaefer M. 2012. Long-term decline in the abundance of leafhoppers and planthoppers (Auchenorrhyncha) in Central European protected dry grasslands. *Biological Conservation* **149** (1): 75–83.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.02.006>
- Schultzhaus J. N., Saleem S., Ifikhar H., Carney G. E. 2017. The role of the *Drosophila* lateral horn in olfactory information processing and behavioral response. *Journal of Insect Physiology* **98**: 29–37.
<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.11.007>

- Seibold S., Gossner M. M., Simons N. K., Blüthgen N., Müller J., Ambarlı D., Ammer C., Bauhus J., Fischer M., Habel J. C., Linsenmair K. E., Nauss T., Penone C., Prati D., Schall P., Schulze E. D., Vogt J., Wllauer S., Weisser W. W. 2019. Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* **574** (7780): 671–674.
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3>
- Shapas T. J., Burkholder W. E., Boush G. M. 1977. Population suppression of *Trogoderma glabrum* by using pheromone luring for protozoan pathogen dissemination. *Journal of Economic Entomology* **70** (4): 469–474.
<https://doi.org/10.1093/jee/70.4.469>
- Sharma A. K., Bisen U. K. 2013. Taxonomic documentation of insect pest fauna of vegetable ecosystem collected in light trap. *International Journal of Environmental Science: Development and Monitoring* **4** (3): 1–8.
- Sharma A., Sandhi R. K., Reddy G. V. 2019. A review of interactions between insect biological control agents and semiochemicals. *Insects* **10** (12): 439.
<https://doi.org/10.3390/insects10120439>
- Sheikh A. H., Thomas M., Bhandari R., Bunkar K. 2016. Light trap and insect sampling: an overview. *International Journal of Current Research* **8** (11): 40868–40873.
- Shimoda M., Honda K. I. 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. *Applied Entomology and Zoology* **48** (4): 413–421.
<https://doi.org/10.1007/s13355-013-0219-x>
- Shortall C. R., Cook L. 2022. Counts of melanic forms of three species of moth in the Rothamsted Insect Survey light-trap network. Rothamsted Research.
<https://doi.org/10.23637/rothamsted.98810>
- Showers W. B., Reed G. L., Robinson J. F., DeRozari M. B. 1976. Flight and sexual activity of the European corn borer. *Environmental Entomology* **5** (6): 1099–1104.
<https://doi.org/10.1093/ee/5.6.1099>
- Silva A. A. da, Rebêlo J. M. M., Carneiro B. F., Castro M. P. P., de Sousa de Almeida M., Ponte I. S., Aguiar J. V. C., Silva F. S. 2019. Exploiting the synergistic effect of kairomones and light-emitting diodes on the attraction of phlebotomine sand flies to light traps in Brazil. *Journal of Medical Entomology* **56** (5): 1441–1445.
<https://doi.org/10.1093/jme/tjz073>
- Silva A. P. O. da, Martins J. R., Goulart H. F., Riffel A., Vaz J. C., Santana A. E. G. 2018. Pest management in stored products: the case of the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). In: E. Lichtfouse (ed.). *Sustainable Agriculture Reviews*. Vol. 27. Cham, Switzerland: Springer, p. 61–89.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-75190-0_3
- Smart L. E., Aradottir G. I., Bruce T. J. A. 2014. Role of semiochemicals in integrated pest management. In: D. P. Abrol (ed.). *Integrated Pest Management: Current Concepts and Ecological Perspective*. San Diego, California: Academic Press, p. 93–109.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398529-3.00007-5>
- Smart L. E., Blight M. M., Hick A. J. 1997. Effect of visual cues and a mixture of isothiocyanates on trap capture of cabbage seed weevil, *Ceutorhynchus assimilis*. *Journal of Chemical Ecology* **23** (4): 889–902.
<https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000006378.65158.ca>
- Sonkar J., Ganguli J., Ganguli R. N. 2012. Studies on correlation of pheromone trap catch of *H. armigera* (Hubner) with larval population in field and weather parameters. *Agricultural Science Digest* **32** (3): 204–208.
- Soumit D., Sinjini B. 2019. Insect fauna captured by light trapping in new town area, north 24 parganas, West Bengal. *Indian Journal of Entomology* **81** (1): 73–74.
<https://doi.org/10.5958/0974-8172.2019.00028.2>
- Southwood T. R. E., Henderson P. A., Woiwod I. P. 2003. Stability and change over 67 years – the community of Heteroptera as caught in a light-trap at Rothamsted, UK. *European Journal of Entomology* **100** (4): 557–561.
<https://doi.org/10.14411/eje.2003.084>
- Srivastava C. P., Srivastava R. P. 1989. Comparison of *Heliothis armigera* (Hubner) male moth catches in light and pheromone traps at Udaipur, Rajasthan, India. *International Journal of Tropical Insect Science* **10** (5): 565–568.
<https://doi.org/10.1017/S1742758400021664>
- Stavenga D. 2002. Colour in the eyes of insects. *Journal of Comparative Physiology A* **188**: 337–348.
<https://doi.org/10.1007/s00359-002-0307-9>
- Steinbauer M. J. 2003. Using ultra-violet light traps to monitor autumn gum moth, *Mnesampela privata* (Lepidoptera: Geometridae), in south-eastern Australia. *Australian Forestry* **66** (4): 279–286.
<https://doi.org/10.1080/00049158.2003.10674922>
- Stern V. M., Smith R., van den Bosch R., Hagen K. 1959. The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: the integrated control concept. *Hilgardia* **29** (2): 81–101.
<https://doi.org/10.3733/hilg.v29n02p081>

- Stockel J., Sureau F., Carles J. P. 1984. Signification et limites du piégeage sexuel de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis* Hb. (Lépid. Pyralidae): recherche d'une relation entre captures de mâles et niveau de population. *Agronomie* **4** (7): 597–602.
- Stöckl J., Steiger S. 2017. Evolutionary origin of insect pheromones. *Current Opinion in Insect Science* **24**: 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.09.004>
- Stork N. E. 2018. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annual Review of Entomology* **63**: 31–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>
- Stukenberg N., Gebauer K., Poehling H. M. 2015. Light emitting diode (LED)-based trapping of the greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*). *Journal of Applied Entomology* **139** (4): 268–279. <https://doi.org/10.1111/jen.12172>
- Suckling D. M., Stringer L. D., Jiménez-Pérez A., Walter G. H., Sullivan N., El-Sayed A. M. 2018. With or without pheromone habituation: possible differences between insect orders? *Pest Management Science* **74** (6): 1259–1264. <https://doi.org/10.1002/ps.4828>
- Suckling D. M., Stringer L. D., Kean J. M., Lo P. L., Bell V., Walker J. T., Twidle A. M., Jiménez-Pérez A., El-Sayed A. M. 2015. Spatial analysis of mass trapping: how close is close enough? *Pest Management Science* **71** (10): 1452–1461. <https://doi.org/10.1002/ps.3950>
- Suh E., Bohbot J. D., Zwiebel L. J. 2014. Peripheral olfactory signaling in insects. *Current Opinion in Insect Science* **6**: 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2014.10.006>
- Svensson G. P., Ryne C., Löfstedt C. 2002. Heritable variation of sex pheromone composition and the potential for evolution of resistance to pheromone-based control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Journal of Chemical Ecology* **28** (7): 1447–1461. <https://doi.org/10.1023/A:1016204820674>
- Swengel S. R., Schlicht D., Olsen F., Swengel A. B. 2011. Declines of prairie butterflies in the midwestern USA. *Journal of Insect Conservation* **15** (1): 327–339. <https://doi.org/10.1007/s10841-010-9323-1>
- Szentkirályi F. 1999. Long-term Insect Monitoring System (LIMSYS) based on light trap network. In: E. Kovács-Láng, E. Molnár, G. Kröel-Dulay, S. Barabás (eds). *Long-Term Ecological Research in the Kiskunság, Hungary*. Vácrátót: Institute of Ecology and Botany of the Hungarian Academy of Sciences, p. 22–24.
- Szentkirályi F. 2002. Fifty years-long insect survey in Hungary: T. Jeremy's contribution to light-trapping. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **48** (Supl. 1): 85–105.
- Tabata J., Noguchi H., Kainoh Y., Mochizuki F., Sugie H. 2007. Sex pheromone production and perception in the mating disruption-resistant strain of the smaller tea leafroller moth, *Adoxophyes honmai*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **122** (2): 145–153. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00500.x>
- Tang Y. C., Zhou C. L., Chen X. M., Zheng H. 2013. Visual and olfactory responses of seven butterfly species during foraging. *Journal of Insect Behavior* **26** (3): 387–401. <https://doi.org/10.1007/s10905-012-9358-0>
- Taschenberg E. F., Roelofs W. L. 1978. Male redbanded leafroller moth orientation disruption in vineyards. *Environmental Entomology* **7** (1): 103–106. <https://doi.org/10.1093/ee/7.1.103>
- Tasin M., Bäckman A. C., Coracini M., Casado D., Ioriatti C., Witzgall P. 2007. Synergism and redundancy in a plant volatile blend attracting grapevine moth females. *Phytochemistry* **68** (2): 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.10.015>
- Taylor L. R., French R. A. 1974. Rothamsted insect survey – fifth annual summary. In: Rothamsted Experimental Station Report for 1973, Part 2. Dorking: Adlard & Son Ltd., Bartholomew Press, p. 240–269. <https://doi.org/10.23637/ERADOC-1-8>
- Thiagarajan D., Sachse S. 2022. Multimodal information processing and associative learning in the insect brain. *Insects* **13**: 332. <https://doi.org/10.3390/insects13040332>
- Thomas C. D., Jones T. H., Hartley S. E. 2019. “Insectageddon”: a call for more robust data and rigorous analyses. *Global change biology* **25** (6): 1891–1892. <https://doi.org/10.1111/gcb.14608>

- Thorsteinson A. J. 1960. Host selection in phytophagous insects. *Annual Review of Entomology* **5**: 193–218.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.05.010160.001205>
- Tingle F. C., Mitchell E. R. 1981. Relationships between pheromone trap catches of male tobacco budworm, larval infestations, and damage levels in tobacco. *Journal of Economic Entomology* **74** (4): 437–440.
<https://doi.org/10.1093/jee/74.4.437>
- Tóth M., Szarukán I., Nagy A., Ábri T., Katona V., Kőrösi Sz., Nagy T., Szarvas Á., Koczor S. 2016. An improved female-targeted semiochemical lure for the European corn borer *Ostrinia nubilalis* Hbn. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* **51** (2): 247–254.
<https://doi.org/10.1556/038.51.2016.2.9>
- Tóth M., Szarukán I., Nagy A., Furlan L., Benvegnù I., Rak Cizej M., Ábri T., Kéki T., Kőrösi S., Pogonyi A., Tshova T., Velchev D., Atanasova D., Kurtulus A., Kaydan B. M., Signori A. 2017. European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn., Lepidoptera: Crambidae): comparing the performance of a new bisexual lure with that of synthetic sex pheromone in five countries. *Pest Management Science* **73** (12): 2504–2508.
<https://doi.org/10.1002/ps.4645>
- Tovée M. J. 1995. Ultra-violet photoreceptors in the animal kingdom: their distribution and function. *Trends in Ecology & Evolution* **10** (11): 455–460.
[https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)89179-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)89179-X)
- Trematerra P. 1997. Integrated pest management of stored-product insects: practical utilization of pheromones. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* **70** (3): 41–44.
<https://doi.org/10.1007/BF01996919>
- Truxa C., Fiedler K. 2012. Attraction to light – from how far do moths (Lepidoptera) return to weak artificial sources of light? *European Journal of Entomology* **109** (1): 77–84.
<https://doi.org/10.14411/eje.2012.010>
- Turlings T. C., Erb M. 2018. Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: mechanisms, ecological relevance, and application potential. *Annual Review of Entomology* **63**: 433–452.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043507>
- Turner W. B. 1918. Female Lepidoptera at light traps. *Journal of Agricultural Research* **14** (3): 135–149.
- Tuttle A. F., Ferro D. N., Idoine K. 1988. Role of visual and olfactory stimuli in host finding of adult cabbage root flies, *Delia radicum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **47** (1): 37–44.
<https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1988.tb02279.x>
- Väisänen R. 1993. Valtakunnallinen yöperhosseuranta. *Baptria* **18**: 9–11.
- Van Der Kooi C. J., Stavenga D. G., Arikawa K., Belušič G., Kelber A. 2021. Evolution of insect color vision: from spectral sensitivity to visual ecology. *Annual Review of Entomology* **66**: 435–461.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-061720-071644>
- Van der Sluijs J. P. 2020. Insect decline, an emerging global environmental risk. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **46**: 39–42.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.08.012>
- Van Dyck H., Van Strien A. J., Maes D., Van Swaay C. A. 2009. Declines in common, widespread butterflies in a landscape under intense human use. *Conservation Biology* **23** (4): 957–965.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01175.x>
- Van Klink R., Bowler D. E., Gongalsky K. B., Swengel A. B., Gentile A., Chase J. M. 2020. Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science* **368** (6489): 417–420.
<https://doi.org/10.1126/science.aax9931>
- Vega F. E., Dowd P. F., Lacey L. A., Pell J. K., Jackson D. M., Klein M. G. 2000. Dissemination of beneficial microbial agents by insects. In: L. A. Lacey, H. K. Kaya (eds). *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology: Application and Evaluation of Pathogens for Control of Insects and Other Invertebrate Pests*. Dordrecht: Springer, p. 153–177.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-1547-8_6
- Verheijen F. J. 1958. The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals. *Archives Néerlandaises de Zoologie* **13** (1): 1–107.
- Visalakshmi V., Ra P., Krishnaya P. V. 2000. Utility of sex pheromone for monitoring *Heliothis armigera* (Hüb.) infesting sunflower. *Journal of Entomological Research* **24** (3): 255–258.
- Visser J. H. 1986. Host odor perception in phytophagous insects. *Annual Review of Entomology* **31**: 121–144.
<http://doi.org/10.1146/annurev.ento.31.1.121>
- Voerman S., Persoons C. J., Priesner E. 1984. Sex attractant for currant clearwing moth *Synanthedon tipuliformis* (Clerck) (Lepidoptera: Sesiidae). *Journal of Chemical Ecology* **10** (9): 1371–1376.
<https://doi.org/10.1007/BF00988118>

- Vreysen M. J. B., Robinson A. S., Hendrichs J. (eds). 2007. Area-Wide Control of Insect Pests: from Research to Field Implementation. Dordrecht, the Netherlands: Springer, 792 p.
- Vuts J., Razov J., Kaydan M. B., Tóth M. 2012. Visual and olfactory cues for catching parasitic wasps (Hymenoptera: Scoliidae). *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **58** (4): 351–359.
- Wagner D. L. 2020. Insect declines in the Anthropocene. *Annual Review of Entomology* **65**: 457–480.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025151>
- Wagner D. L., Fox R., Salcido D. M., Dyer L. A. 2021. A window to the world of global insect declines: moth biodiversity trends are complex and heterogeneous. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **118** (2): e2002549117.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2002549117>
- Wang T., Montell C. 2007. Phototransduction and retinal degeneration in *Drosophila*. *Pflügers Archiv – European Journal of Physiology* **454**: 821–847.
<https://doi.org/10.1007/s00424-007-0251-1>
- Waringer J. A. 1991. Phenology and the influence of meteorological parameters on the catching success of light-trapping for Trichoptera. *Freshwater Biology* **25** (2): 307–319.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1991.tb00493.x>
- Warren M. S., Maes D., van Swaay C. A. M., Goffart P., Van Dyck H., Bourn N. A. D., Wynhoff I., Hoare D., Ellis S. 2021. The decline of butterflies in Europe: problems, significance, and possible solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **118** (2): e2002551117.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2002551117>
- Webster R. P., Charlton R. E., Schal C., Cardé R. T. 1986. High-efficiency pheromone trap for the European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology* **79** (4): 1139–1142.
<https://doi.org/10.1093/jee/79.4.1139>
- Weinzierl R., Henn T., Koehler, P. G., Tucker C. L. 2005. Insect Attractants and Traps. University of Florida, IFAS Extension, ENY277. [URL: <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/27/94/00001/IN08000.pdf>]
- Welter S., Pickel C., Millar J., Cave F., Van Steenwyk R., Dunley J. 2005. Pheromone mating disruption offers selective management options for key pests. *California Agriculture* **59** (1): 16–22.
<https://doi.org/10.3733/ca.v059n01p16>
- Wepprich T., Adrion J. R., Ries L., Wiedmann J., Haddad N. M. 2019. Butterfly abundance declines over 20 years of systematic monitoring in Ohio, USA. *PLoS One* **14** (7): e0216270.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216270>
- Wessnitzer J., Webb B. 2006. Multimodal sensory integration in insects – towards insect brain control architectures. *Bioinspiration & Biomimetics* **1** (3): 63.
- Whitfield E. C., Lobos E., Cork A., Hall D. R. 2019. Comparison of different trap designs for capture of noctuid moths (Lepidoptera: Noctuidae) with pheromone and floral odor attractants. *Journal of Economic Entomology* **112** (5): 2199–2206.
<https://doi.org/10.1093/jee/toz093>
- Whittaker R. H., Feeny P. P. 1971. Allelochemicals: chemical interactions between species. *Science* **171** (3973): 757–770.
<https://doi.org/10.1126/science.171.3973.757>
- Wicker-Thomas C. 2011. Evolution of insect pheromones and their role in reproductive isolation and speciation. *Annales de la Société Entomologique de France* **47** (1–2): 55–62.
<https://doi.org/10.1080/00379271.2011.10697696>
- Wigglesworth V. B. 1934. *Insect Physiology*. London: Methuen & Co. Ltd.; N. Y.: John Wiley & Sons Inc., 154 p.
- Williams C. B. 1939. An analysis of four years captures of insects in a light trap. Part I. General survey; sex proportion; phenology; and time of flight. *Transactions of the Royal Entomological Society of London* **89** (6): 79–131.
- Williams C. B. 1940. An analysis of four years captures of insects in a light trap. Part II. The effect of weather conditions on insect activity; and the estimation and forecasting of changes in the insect population. *Transactions of the Royal Entomological Society of London* **90** (8): 227–306.
- Williams C. B. 1948. The Rothamsted light trap. *Proceedings of the Royal Entomological Society in London, Series A, General Entomology* **23** (7–9): 80–85.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1948.tb00623.x>
- Wilson A., Bauer L. 1986. Light and pheromone traps: their place in monitoring *Heliothis* abundance. In: *Proceedings of the 3rd Australian Cotton Conference*. Surfers Paradise, Queensland, Australia, August 20th–21st, 1986. Wee Waa: Australian Cotton Grower's Research Association, p. 239–243.

- Witzgall P., Kirsch P., Cork A. 2010. Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology* **36** (1): 80–100.
<https://doi.org/10.1007/s10886-009-9737-y>
- Witzgall P., Stelinski L., Gut L., Thomson D. 2008. Codling moth management and chemical ecology. *Annual Review of Entomology* **53**: 503–522.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093323>
- Yadav A., Keval R., Yadav A. 2021. Monitoring of gram pod borer, *Helicoverpa armigera* (Hübner) through pheromone traps in different modules of short duration pigeonpea. *Legume Research – An International Journal* **44** (10): 1192–1197.
<http://doi.org/10.18805/LR-4231>
- Yamamura K., Yokozawa M., Nishimori M., Ueda Y., Yokosuka T. 2006. How to analyze long-term insect population dynamics under climate change: 50-year data of three insect pests in paddy fields. *Population Ecology* **48**: 31–48.
<https://doi.org/10.1007/s10144-005-0239-7>
- Yang L. H., Postema E. G., Hayes T. E., Lippey M. K., MacArthur-Waltz D. J. 2021. The complexity of global change and its effects on insects. *Current Opinion in Insect Science* **47**: 90–102.
<https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.05.001>
- Yang Z., Bengtsson M., Witzgall P. 2004. Host plant volatiles synergize response to sex pheromone in codling moth, *Cydia pomonella*. *Journal of Chemical Ecology* **30** (3): 619–629.
<https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000018633.94002.af>
- Yathom S. 1981. Sex ratio and mating status of *Earias insulana* females (Lepidoptera: Noctuidae) collected from light traps in Israel. *Israel Journal of Entomology* **15**: 97–100.
- Yela J. L., Holyoak M. 1997. Effects of moonlight and meteorological factors on light and bait trap catches of noctuid moths (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Entomology* **26** (6): 1283–1290.
<https://doi.org/10.1093/ee/26.6.1283>
- Yew J. Y., Chung H. 2015. Insect pheromones: an overview of function, form, and discovery. *Progress in Lipid Research* **59**: 88–105.
<https://doi.org/10.1016/j.plipres.2015.06.001>
- Zalucki M. P., Furlong M. J. 2005. Forecasting *Helicoverpa* populations in Australia: a comparison of regression based models and a bioclimatic based modeling approach. *Insect Science* **12** (1): 45–56.
<https://doi.org/10.1111/j.1672-9609.2005.00007.x>
- Zekeya N., Dubois T., Smith J., Ramasamy S. 2022. Field effectiveness of *Metarhizium anisopliae* and pheromone traps against *Phthorimaea absoluta* on tomato in Tanzania. *Crop Protection* **156**: 105942.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105942>
- Zhang Y. J., Jiang Y. Y., Jiang X. F. 2008. Advances on the key control techniques of *Loxostege sticticalis* in China. *China Plant Protection* **28** (5): 15–19.

CONTROL OF THE HARMFUL INSECT BEHAVIOUR: LIGHT AND CHEMICAL SIGNALS AND THEIR COMBINED ACTION

A. N. Frolov

Keywords: plant protection, trap, LED, semiochemical, attractiveness, synergy, monitoring, management.

SUMMARY

Environmental safety is the most important requirement for the functioning of modern plant protection, and therefore a promising direction for its development is the search for ways to control the behaviour of pests using non-toxic electromagnetic radiation (light) and chemical compounds of natural origin (semiochemicals). The paper deals with a wide range of issues related to theoretical substantiation and practical implementation of light and chemical signals, both individually and jointly, to control insect behaviour. First, we discuss modern ideas about the structural and functional organisation of the visual and olfactory receptor systems of insects, the peculiarities of visual and olfactory perception, and multimodal mechanisms of sensory information processing, which provide complex forms of behaviour.

Further, we briefly describe the history of the development of the biophysical direction in plant protection (artificial light sources) and research in the field of chemical ecology of insects, including the use of pheromone products to suppress the reproduction of pests (mass catch, disorientation, indirect methods of population control). The closest attention in the paper is paid to the peculiarities of the practical use of light emitters and biologically active substances (synthetic sex attractants and semiochemicals of plant origin with a kairomone function) for monitoring and implementation of killing measures against harmful insects, their strengths and weaknesses are considered and discussed in detail, advantages and disadvantages are evaluated, efficiency and safety for beneficial insects, including specific examples. Since the combined usage of light radiation and semiochemicals is often characterized by a synergistic effect in relation to the attraction of target entomological objects, it is very important to develop and apply traps, the design of which allows simultaneous application of both visual and olfactory stimuli to attract insects.