

УДК 595.786:632.914

**ПОЛОВОЙ ФЕРОМОН И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ: ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТТРАКТАНТНЫХ СВОЙСТВ
ДЛЯ ИМАГО ХЛОПКОВОЙ СОВКИ *HELICOVERPA ARMIGERA*
(HBN.) (LEPIDOPTERA, NOCTUIDAE)**

© 2024 г. А. Н. Фролов,^{1*} А. Г. Конончук,^{1**} И. В. Грушевая,^{1***}
А. А. Мильцын,^{1****} С. Д. Каракотов,^{2*****} С. В. Стулов,^{2*****}
Н. В. Вендило^{2*****}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
шоссе Подбельского, 3, С.-Петербург—Пушкин, 196608 Россия

²АО «Щелково Агрохим»

ул. Заводская, 2, Щелково, Московская обл., 141108 Россия

*e-mail: afrolov@vizg.spb.ru (автор, ответственный за переписку), **e-mail: kononchuk26@yandex.ru,

e-mail: grushevaya_12@mail.ru, *e-mail: miltsen@yandex.ru, *****e-mail: ksd@betaren.ru,

*****e-mail: stulov.s@betaren.ru, *****e-mail: nvvendilo@inbox.ru

Поступила в редакцию 3.11.2023 г.

После доработки 8.12.2023 г.

Принята к публикации 7.03.2024 г.

Хотя перспективность применения управляющих поведением насекомых композиций семиохемиков (феромонов, алломонов, кайромонов и синомонов) и семиофизиков (стимулов физической природы) в защите растений от вредных насекомых не вызывает сомнения, особенности взаимодействий их аттрактантных свойств изучены крайне слабо. Так, несмотря на то что хлопковая совка *Helicoverpa armigera* (Hbn.) является чуть ли не самым вредоносным насекомым на планете, в литературе до сих пор нет данных о влиянии на ее поведение сочетания световых сигналов и синтетического полового аттрактанта (СПА). В июле—августе 2021—2023 гг. в двух пунктах Краснодарского края на посевах кукурузы проводили испытания ловушек с четырьмя вариантами приманок (УФ светодиоды, СПА, СПА + УФ светодиоды, и контроль) для привлечения имаго хлопковой совки. Результаты испытаний обнаружили значительные различия между этими вариантами по отловам бабочек вредителя: в контроле не было поймано ни одной особи, ловушки с УФ светодиодами отловили около 8, с СПА — чуть более 30, а ловушки, привлекавшие насекомых СПА и УФ светодиодами одновременно, выловили почти 60 % от общего числа пойманных бабочек. Слабый вылов насекомых на свет, очевидно, объясняется размещением ловушек в рядках высокорослой гибридной кукурузы на высоте 1.5 м от поверхности земли и не менее чем в 30 м от края поля, из-за чего свет, в отличие от молекул СПА, быстро рассеивался окружающей растительностью. Однако выгодной чертой использованной методики была незначительная численность в уловах нецелевых видов насекомых в ловушках со светодиодами, как и в ловушках с другими вариантами приманок, за исключением зеленых кузнечиков *Tettigonia caudata* (Ch.) и *T. viridissima* (L.). С помощью двухфакторного дисперсионного анализа как исходных, так и преобразованных $(X + 0.5)^{1/2}$ данных отловов эффект синергии

во взаимодействиях СПА и световых сигналов по аттрактивности для имаго вредителя удалось доказать при $p_{\alpha} = 0.05$ лишь в одном испытании из пяти проведенных, в связи с чем делается вывод о том, что взаимодействие семиохемии и семиофизики имеет скорее аддитивный, чем синергический характер. Так или иначе, полученные в ходе испытаний результаты позволяют рассматривать совместное применение СПА и световых сигналов в качестве перспективного средства управления поведением этого вредителя, поскольку дооснащение феромонных ловушек УФ светодиодами способно обеспечить почти двукратный прирост вылова имаго хлопковой совки.

Ключевые слова: ловушка, светодиод, синтетический половой аттрактант, аддитивный эффект, синергия.

DOI: 10.31857/S0367144524010026, **EDN:** NTAEOJ

Хлопковая совка *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) – широко распространенное в Старом Свете (Европе, Африке, Азии, Австралии) насекомое (Zalucki et al., 1986; Sharma, 2005; Lammers, MacLeod, 2007; Yadav et al., 2022), благодаря чему ее нередко именуют Old World bollworm (Venette et al., 2003; Kiran et al., 2019). Впрочем, это название уже устарело, поскольку не так давно вредителю удалось существенно расширить свой ареал за счет колонизации Южной Америки (Tay et al., 2013; Kriticos et al., 2015; *Helicoverpa armigera...*, 2021), причем угроза проникновения в Северную Америку остается вполне реальной (Venette et al., 2003; Sullivan, Molet, 2007; Kriticos et al., 2015). Хлопковая совка заслуженно рассматривается в качестве едва ли не самого вредоносного для сельского хозяйства энтомологического объекта на Земле (Wu, Guo, 2005; Dhaliwal et al., 2010; Riaz et al., 2021; Yadav et al., 2022). Так, согласно одним данным (Sharma, 2005; Haile et al., 2021) ежегодные потери урожая сельскохозяйственной продукции в мире от этого насекомого превышают 3 млрд долларов США, а по другим – даже 5 млрд (Tay et al., 2013), причем в Китае и Индии чуть ли не 50 % всех инсектицидов используется для борьбы с этим видом, а фермеры тратят до 40 % своего дохода на приобретение средств защиты растений от насекомого (Lammers, MacLeod, 2007). Соответственно, по уровню вредоносности хлопковая совка в Индии справедливо получила статус вредителя национального значения (Sharma et al., 2010).

Вплоть до 80-х гг. прошлого века считалось (Farrow, Daly, 1987), что северная граница распространения хлопковой совки в Европе проходит примерно по 40° с. ш., однако в условиях потепления климата она сместилась к северу более чем на 500 км, перейдя через 45° с. ш. (Lammers, MacLeod, 2007). В России область распространения хлопковой совки охватывает лесостепную и степную зоны, простираясь до южной границы тайги (Afonin et al., 2008). В сравнении с началом (Алфераки, 1907) и серединой (Горышин, 1958) XX в. область вредоносности хлопковой совки в России расширилась более чем на 700 км к северу – от предгорий Северного Кавказа до севера лесостепи Центральной России (Ченикалова, Коломыцева, 2021). На этой территории хлопковая совка периодически наносит столь серьезный ущерб сельскому хозяйству (Говоров и др., 2013), что может рассматриваться в качестве первоочередного кандидата на включение в список особо опасных сельскохозяйственных вредителей России (Перечень особо опасных..., 2010).

Хлопковую совку отличает крайне широкая многоядность. Сообщается о повреждении этим насекомым более чем 200 видов растений из более чем 50 семейств, однако чаще всего ключевым растением-хозяином вредителя служит кукуруза (Zalucki et al., 1986, 1994; Matthews, 1991; Nibouche, 1999; Jallow et al., 2001; Rajapakse, Walter, 2007;

Sullivan, Molet, 2007; Матов, Кононенко, 2012; Cunningham, Zalucki, 2014; Kriticos et al., 2015; Gomes et al., 2017; *Helicoverpa armigera*..., 2021; Riaz et al., 2021; Yadav et al., 2022, и др.). Этого вредителя характеризует также очень высокий уровень мобильности – помимо кочевых перемещений в пределах 1–10 км, имаго способны совершать дальние миграции на расстояния свыше 500 км (Pedgley, 1985; Farrow, Daly, 1987; Pedgley et al., 1987; Gregg et al., 1995; Feng et al., 2004, 2005, 2009; Jones et al., 2019; Zhou et al., 2019). На большей части своего ареала *H. armigera* – преимущественно факультативный мигрант (Riley et al., 1992; Zhou et al., 2000; Jones et al., 2019; Jyothi et al., 2021), но в засушливых условиях Австралии этот вид способен к облигатным миграциям (Zalucki et al., 1986; Gregg et al., 1995; Fitt, Cotter, 2005). Кроме того, хлопковая совка отличается очень высоким уровнем плодовитости: при благоприятных условиях в среднем она достигает 1000 яиц на 1 особь, а максимально может превышать 4000 яиц (Hardwick, 1965; Hou, Sheng, 1999; Mironidis, Savoroulou-Soultani, 2014; Noor-ul-Ane et al., 2018), что является одним из наиболее высоких показателей репродуктивного потенциала у представителей подсем. Heliothinae (Matthews, 1991). Таким образом, чрезвычайно высокую вредоносность хлопковой совки обеспечивает ее мощный адаптационный потенциал, который обусловлен уникальным сочетанием широкой многоядности, невероятной мобильности, высокой плодовитости и, кроме того, способности к факультативной диапаузе, что позволяет насекомому успешно развиваться в широчайшем диапазоне экологических условий среды (Fitt, 1989).

Фитосанитарный мониторинг, нацеленный на сбор, анализ и передачу информации о численности вредных объектов, является базовым элементом современных интегрированных систем защиты растений (Павлюшин, 2010). Хотя для мониторинга хлопковой совки издавна используются световые ловушки (Maelzer, Zalucki, 1999; Nowinszky, Puskás, 2011; Keszthelyi et al., 2019; Specht et al., 2021; Nemerenco, Nastas, 2023), причем с недавних пор в качестве источника света были взяты на вооружение светодиодные излучатели (Pan et al., 2020), для решения задач фитосанитарного мониторинга гораздо чаще применяют ловушки, снабженные синтетическими половыми аттрактантами (СПА) (Venette et al., 2003; Sullivan, Molet, 2007). Главными составляющими многокомпонентного полового феромона самок хлопковой совки служат Z-11-гексадеценаль и Z-9-гексадеценаль (Klun et al., 1979; Kehat et al., 1980; Zhang et al., 2012), соотношение которых варьирует у разных географических популяций вредителя (Gao et al., 2020). Так или иначе, технология мониторинга хлопковой совки, основанная на использовании снабженных СПА ловушек, широко применяется в сельскохозяйственной практике как за рубежом (Pawar et al., 1988; Nyambo, 1989; Loganathan, Uthamasamy, 1998; Loganathan et al., 1999; Visalakshmi et al., 2000; Zhou et al., 2000; Dömötör et al., 2007; Pathania et al., 2009; Pal et al., 2014; Amandeep et al., 2016; Rawat et al., 2017; Sehto et al., 2020; Karakasis et al., 2021; Reddy et al., 2021; Yadav et al., 2021, и т. д.), так и в России (Гричанов, Овсянникова, 2005; Фефелова, Фролов, 2007; Мисриева, 2012; Саранцева и др., 2014; Юрченко, Орлов, 2019; Исмаилов и др., 2023, и др.). Для отлова имаго хлопковой совки были также разработаны ловушки, в которых в качестве аттрактанта используется смесь семиохемиков растительного происхождения (He et al., 2021), но пока они не получили широкого распространения. Оценке сравнительной эффективности наиболее популярных при мониторинге этого вредителя феромонных и световых ловушек посвящен ряд публикаций (Wilson, Bauer, 1986; Dent, Pawar, 1988; Nyambo, 1988; Srivastava et al., 1989, 1992; Baker et al., 2011; Shah et al., 2011; Keszthelyi et al., 2016; Гелетюк, Настас, 2022). В них показано, что отловы совки на свет и СПА различны по динамике во времени

и не одинаковы в разных регионах, и рекомендуется одновременно использовать оба типа ловушек для более точного прогнозирования ее вредной деятельности. Хотя возможности применения в защите растений от вредных насекомых комбинаций семиохемиков (феромонов, алломонов, кайромонов и синомонов) и семиофизиков (стимулов физической природы, прежде всего световых излучений) в последние годы все чаще обсуждаются в литературе (Mazzoni, Anfora, 2021; Frolov, 2022; Gross, Franco, 2022; Nieri et al., 2022), нам неизвестны публикации, в которых бы рассматривались особенности совместного воздействия СПА и светового излучения на поведение хлопковой совки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для проведения полевых работ по оценке сравнительной аттрактивности разных типов приманок для имаго хлопковой совки использовали желто-зеленые воронкообразные ловушки контейнерного типа модели Bucket Funnel Trap (Epsky et al., 2008), зарекомендовавшей себя в качестве относительно малоопасного для нецелевой энтомофауны, но очень эффективного устройства для отлова имаго вредителя (Guerrero et al., 2014; Fite et al., 2020; Karakantza et al., 2023). Конструкцию ловушек модифицировали таким образом, чтобы они могли быть использованы также и в качестве световых. Модификация заключалась в установке в каждую ловушку аккумуляторных батарей АА напряжением 1.2 В, платы с двумя УФ светодиодами, излучающими свет длиной волны 365 нм в противоположные друг от друга стороны, и платы, несущей управляющее устройство (микроконтроллер Attiny 13А), позволяющее автоматически переключать питание светодиодов в ловушке в зависимости от освещенности окружающей среды (Фролов и др., 2020). Выбор светодиодов с УФ спектром излучения определялся максимальной аттрактивностью этого диапазона волн для хлопковой совки (Wang et al., 2022). Светодиоды размещали в непосредственной близости от корзинки, предназначенной для помещения в нее диспенсера с СПА, однако прямое попадание на диспенсер светового излучения конструктивно исключалось (Фролов и др., 2021). Данное обстоятельство позволяет корректно оценивать сочетание аттрактантных свойств СПА и УФ излучения в ловушке. В качестве СПА использовали смесь 97 : 3 Z-11-гексадеценаля и Z-9-гексадеценаля на резиновом носителе (100 мкг/диспенсер), произведенную в АО «Щелково Агрохим». Как контроль были задействованы «пустые» ловушки, т. е. без СПА и с отключенным электропитанием светодиодов.

Ловушки устанавливали на производственных посевах гибридной кукурузы, каждый площадью не менее 15 га, расположенных в непосредственной близости от двух населенных пунктов Краснодарского края: (1) пос. Ботаника Гулькевичского р-на (45°12'57.6" с. ш. и 40°47'41.8" в. д.), поля Кубанской опытной станции ВИР (КОС ВИР, филиал Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова) и ООО «Научно-производственное объединение КОС-МАИС» (НПО КОС-МАИС); и (2) станицы Курчанской Темрюкского р-на (45°12'56.0" с. ш. и 37°33'48.0" в. д.), поля предприятия «ИП Куртаков». Указанные пункты испытаний расположены на территориях двух различных природно-экономических зон землепользования Краснодарского края: специализированной на производстве зерна Центральной зоны (пос. Ботаника) и Анапо-Таманской зоны (станция Курчанская) со специализацией в производстве фруктов и овощей (Коробка и др., 2015). Испытания ловушек проводили с начала июля и до середины или конца августа 2021–2023 гг. в период прохождения растениями фенологических фаз V–R6 согласно шкале Университета штата Айова

(Iowa State University scale) (Ritchie et al., 1993), т. е. в период лёта имаго первого поколения в году (второй волны лёта бабочек в сезоне). Поскольку потомство имаго именно этого поколения наносит максимальный ущерб посевам кукурузы на зерно, организация мониторинга вредителя именно в данный период представляет наибольший практический интерес (Dömötör et al., 2007). При проведении испытаний в ловушках использовали четыре варианта приманок: УФ светодиоды, СПА, комбинацию светодиодов и СПА, а также ловушки без приманивающих средств в качестве контроля. Ловушки размещали на посевах тремя (2021 г.) или четырьмя (2022 и 2023 гг.) рандомизированными блоками в рядах посева не ближе 30 м до края поля, с расстоянием между ловушками внутри блоков 8–10 м и между блоками не менее 30 м. Ловушки устанавливали на стандартной высоте 1.5 м над землей, что соответствовало примерно 2/3–3/4 высоты растений (рис. 1). Такое размещение ловушек согласуется с рекомендациями по установке на посевах сельскохозяйственных культур феромонных ловушек (напр., Baker et al., 2011), но не световых, в том числе светодиодных (Pan et al., 2020), аттрактантное действие которых максимально проявляется при их размещении на открытых участках. Примененная нами схема размещения ловушек была выбрана не только в целях соблюдения единообразия методического подхода в опыте, но и для проверки возможности минимизировать негативное воздействие ловушек со светодиодами на нецелевую энтомофауну, так как мониторинг хлопковой совки даже ловушками, снабженными СПА, может сопровождаться гибелью полезных насекомых (Fite et al., 2020). Светодиодные ловушки, использованные нами ранее для мониторинга кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* (Hbn.), при размещении их на посевах кукурузы описанным выше способом оказались для нецелевой энтомофауны ничуть не опаснее ловушек, снабженных семиохемиками (Фролов и др., 2021), хотя были во много раз аттрактивнее для целевого объекта мониторинга (Frolov et al., 2020). Ловушки осматривали каждые 3–4 дня, попавших в ловушку насекомых удаляли, причем значительную часть сборов переносили на ватные матрасики, а аккумуляторы в ловушках меняли на свежезаряженные. Диспенсеры с СПА сменяли ежемесячно.

Статистическую обработку данных отловов имаго хлопковой совки проводили с использованием одно- и двухфакторного дисперсионного анализа в соответствии с рекомендациями 1) по стабилизации дисперсии отклонений в условиях обнаружения нулевой аттрактивности ловушек контрольного варианта (Reeve, Strom, 2004) и 2) по выявлению эффекта синергии двух независимо действующих факторов (Slinker, 1998). Перед проведением анализа количества бабочек, пойманных каждой ловушкой за отдельные учеты, в целях нормализации распределения преобразовывали по формуле $(x + 0.5)^{1/2}$ (Roelofs, Cardé, 1977), затем за весь период испытания суммировали, после чего усредняли за недельный срок. Действие учетных факторов оценивали по преобразованным данным, тогда как взаимодействия анализировали также с использованием нетрансформированных данных, поскольку было показано, что преобразование данных по методу извлечения квадратного корня приводит к завышению ошибки I рода для взаимодействий (Payton et al., 2006). Для проведения статистических вычислений использовали программные продукты MS Excel 2021 и Tibco Statistica 13, проверку распределений на нормальность проводили с использованием теста Колмогорова–Смирнова, дисперсий на однородность – с использованием критериев Кохрена и Бартлетта, а значимость различий в плотности отловленных насекомых (среднем числе имаго, отловленных 1 ловушкой за 1 неделю учетов) оценивали с помощью множественных критериев Даннетта (Dunnett's test) и Тьюки (Tukey's HSD) при $p_a \leq 0.05$.



Рис. 1. Модифицированная ловушка Bucket Funnel Trap, снабженная синтетическим половым аттрактантом вредителя и двумя УФ светодиодами.

1 – ловушка, размещенная в посеве кукурузы; 2 – насекомые, отловленные в ловушку за 3 суток, в подавляющем большинстве имаго хлопковой совки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам испытаний в 2021–2023 гг. в двух географических пунктах с использованием ловушек, снабженных разными приманками, в общей сложности была поймана 1801 особь хлопковой совки. Отловы насекомых на разные приманки сильно различались: в ловушки контрольного варианта за все время испытаний не было поймано ни одной бабочки, в ловушки со светодиодами отловили около 8, с СПА – чуть более 30, а в ловушки, привлекавшие насекомых СПА и светодиодами одновременно, попало почти 60 % от общего числа бабочек (табл. 1).

Весьма неожиданным оказался тот факт, что вылов бабочек на свет был значительно меньшим, чем на СПА. Так, хотя конструктивные отличия ловушек сильно затрудняют количественное сопоставление аттрактивности светового и химического сигналов, поскольку даже различия в окраске ловушек могут существенно повлиять на улов имаго вредителя (Karakantza et al., 2023), световое излучение ловушек, согласно данным литературы (Wilson, Bauer, 1986; Dent, Pawar, 1988; Srivastava et al., 1989, 1992; Baker et al., 2011; Shah et al., 2011; Гелетюк, Настас, 2022), пусть и не всегда, но часто намного

Таблица 1. Отловы имаго хлопковой совки ловушками с разными приманками в окрестностях двух пунктов Краснодарского края

Пункт испытаний	Год	Приманка в ловушках (объяснение сокращений см. в тексте)				
		Свет	СПА	СПА + свет	Контроль	Сумма
Пос. Ботаника	2021	86	162	354	0	602
	2022	13	136	163	0	312
	2023	8	36	124	0	168
	Всего	107	334	641	0	1082
Станица Курчанская	2022	35	208	307	0	550
	2023	0	42	127	0	169
	Всего	35	250	434	0	719
Итого		142	584	1075	0	1801
В процентах		7.9	32.4	59.7	0	100

привлекательнее для имаго хлопковой совки, чем СПА. Вполне вероятно, что сравнительно низкая аттрактивность светодиодного излучения для имаго хлопковой совки в наших опытах обусловлена особенностями пространственного размещения ловушек. Поскольку последние были установлены среди густой высокорослой растительности, световые потоки от светодиодов, в отличие от СПА, очевидно, быстро гасились листвою, окружающей ловушки, и поэтому могли привлекать насекомых лишь на весьма коротких расстояниях.

Позитивным результатом применения вышеописанной схемы размещения ловушек в посевах кукурузы было незначительное число насекомых нецелевых видов в ловушках как со светодиодами, так и с другими приманками (рис. 2, 1, 2). Иногда в ловушки помимо хлопковой совки попадали другие обитатели биоценоза кукурузного поля, в том числе мухи, жуки-щелкуны, бронзовки, златоглазки, пауки, но наиболее часто зеленые кузнечики *Tettigonia caudata* (Ch.) и *T. viridissima* (L.), которые проникали в контейнеры ловушек, снабженных СПА и СПА в сочетании со светодиодами, и поедали отловленных насекомых (рис. 2, 3, 4). В таких случаях число отловленных, но уничтоженных кузнечиками имаго хлопковой совки устанавливали путем подсчета оставшихся от жертв пар передних крыльев.

В уловах имаго хлопковой совки ловушками, снабженными СПА, нами были обнаружены лишь самцы. Давно известно, что, как и у многих других чешуекрылых, СПА хлопковой совки привлекают в ловушки исключительно самцов (Pawar et al., 1988; Kant et al., 1999; Loganathan et al., 1999; Dömötör et al., 2007, и др.), хотя самки этого вида способны к автодетекции, т. е. могут воспринимать запах собственного феромонного сигнала (Bakthavatsalam et al., 2016). В сборах ловушками, снабженными светодиодами (только ими и в сочетании с СПА), также в массе обнаруживались самцы, тогда как самки встречались гораздо реже. Доля последних в уловах имаго в снабженных светодиодами (главным образом в комбинации с СПА) ловушками в окр. пос. Ботаника оценивалась в 2021 г. в $20.4 \pm 5.7\%$ ($n = 49$), в 2022 г. – в $13.3 \pm 8.8\%$ ($n = 15$), и в 2023 г. была равна 0 ($n = 39$). Самок в снабженных светодиодами и СПА ловушках в окр. станицы Курчанская в 2023 г. оказалось лишь $6.7 \pm 4.6\%$ ($n = 30$), а в 2022 г. их не было ($n = 12$).



Рис. 2. Результаты трехсуточной работы снабженных световыми диодами ловушек, размещенных на посеве кукурузы в период цветения растений.

В отловах (1, 2) преобладают имаго хлопковой совки, что свидетельствует о малой опасности примененной схемы размещения ловушек для нецелевой фауны, за исключением зеленых кузнечиков *Tettigonia caudata* (Ch.) и *T. viridissima* (L.), проникавших в контейнеры ловушек и поедавших пойманных насекомых (3, 4).

Известно, что для фитосанитарного прогноза информационная ценность пойманных самок существенно выше, чем самцов, поскольку именно первые производят вредящее потомство (Witzgall et al., 2010). Соответственно, заметным преимуществом световых ловушек перед феромонными является их способность привлекать особей

обоих полов, хотя в сборах на свет, как правило, соотношение полов у чешуекрылых сдвинуто в пользу самцов (Горностаев, 1984). Примечательно, что публикации, в которых сведения об отловах имаго хлопковой совки на свет приведены без указания половой принадлежности пойманных насекомых (Srivastava et al., 1989, 1992; Maelzer, Zalucki, 1999; Keszthelyi et al., 2016, 2019; Pan et al., 2020, и др.), встречаются чуть ли не чаще работ, в которых количество самцов и самок в результатах мониторинга хлопковой совки световыми ловушками представлено отдельно (Dent, Pawar, 1988; Nyambo, 1988; Baker et al., 2011; Shah et al., 2011). В целом же литературные данные по мониторингу хлопковой совки свидетельствуют о том, что соотношение полов в отловах на свет сильно варьирует во времени и пространстве, что, впрочем, касается также и соотношения численностей бабочек, пойманных в феромонные и световые ловушки. Любопытно, что анализ многолетних сборов имаго хлопковой совки, полученных разветвленной сетью светоловушек в Венгрии, позволил связать существенные расхождения в динамике отловов имаго вредителя световыми и феромонными ловушками с различиями в реакциях фототаксиса бабочек мигрирующих и оседлых популяций (Keszthelyi et al., 2016).

Так или иначе, учитывая абсолютное численное преобладание самцов в отловах на используемые приманки, последующий статистический анализ их эффективности проводили с использованием данных отловов имаго без учета их половой принадлежности.

Динамика отловов имаго хлопковой совки в расчете на 1 ловушку, снабженную каждой из трех привлекавших имаго хлопковой совки приманок (свет, СПА, СПА + свет), в двух пунктах Краснодарского края в 2021–2023 гг. представлена на рис. 3. Эти материалы, свидетельствующие о различиях в динамике численности насекомых по годам (в 2023 г. численность хлопковой совки снизилась по сравнению с предыдущими сезонами), как и содержащая сведения об отловах насекомых табл. 1, весьма наглядно демонстрируют серьезные различия в аттрактивности использованных приманок. Однако перед проведением статистической обработки полученных данных необходимо рассмотреть известные проблемы и упомянуть пути их устранения.

Хорошо известно, что проведение дисперсионного анализа требует соблюдения ряда условий, в первую очередь равенства дисперсий в сравниваемых совокупностях (Шеффе, 1980). Для устранения возможных нарушений условий выполнения анализа обычно применяют преобразование исходных данных вида $(X + 0.5)^{1/2}$ или $\log(Y + 1)$ (Roelofs, Cardé, 1977; Kuno, 1991; Sileshi, 2006, и др.). При этом, однако, включение в дисперсионный комплекс вариантов опыта с равными 0 результирующими оценками представляет собой статистическую проблему, которую преобразованием данных далеко не всегда удастся решить из-за трудностей с достижением однородности дисперсий (Reeve, Strom, 2004). Для решения этой проблемы было рекомендовано 1) проводить дисперсионный анализ с исключением из расчетов вариантов с нулевыми ответами и 2) использовать тесты множественных сравнений, учитывающие частоту ошибок в эксперименте, а именно критерии Даннетта (Dunnett's test) для сравнения опытных вариантов с контролем и Тьюки (Tukey's HSD) для сравнения опытных вариантов друг с другом (Reeve, Strom, 2004). Использованное нами преобразование $(x + 0.5)^{1/2}$ данных, согласно критериям Кохрена (Cochran's C test) ($G = 0.470$, $p_\alpha > 0.05$) и Бартлетта ($\chi^2 = 7.34$, $p_\alpha = 0.06$), позволило достичь приемлемого уровня однородности дисперсий в испытаниях приманок для отлова имаго хлопковой совки, в частности, благодаря тому, что в контрольном варианте сформировалась ненулевая дисперсия при пересчете преобразованных данных

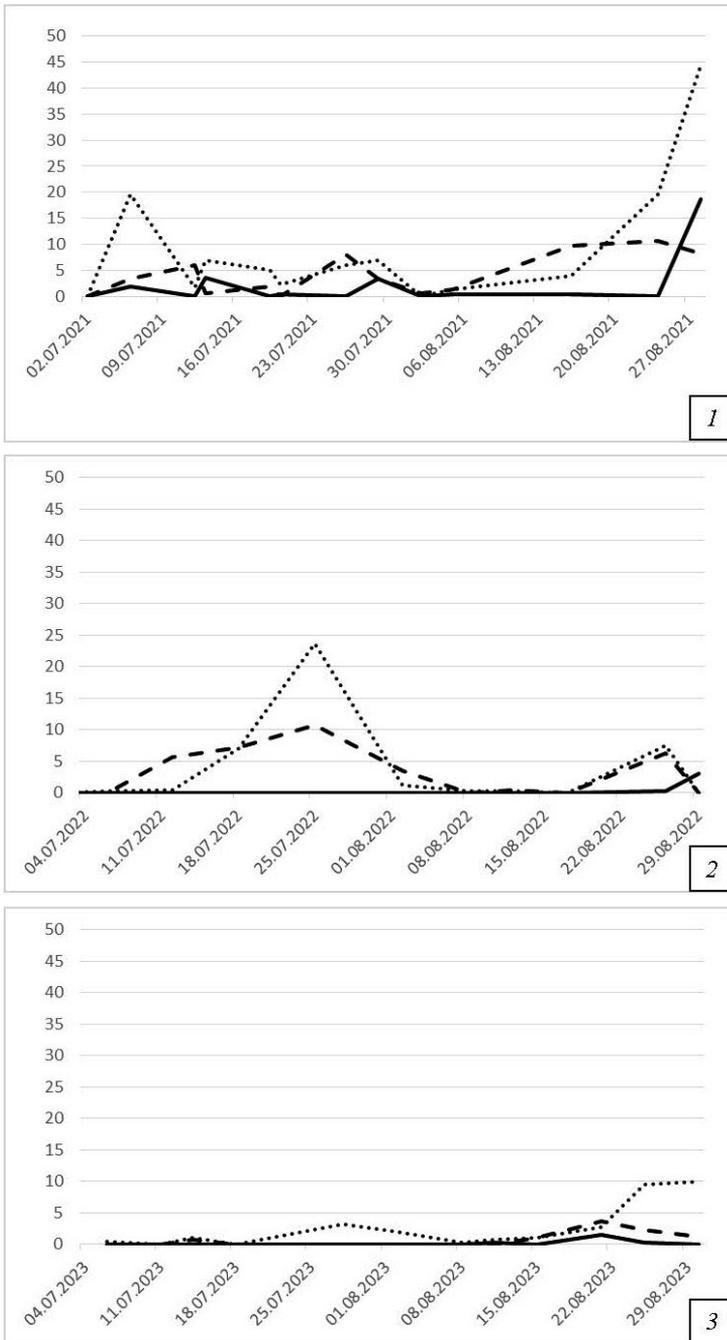


Рис. 3. Динамика отлова имаго хлопковой совки в расчете на 1 ловушку, снабженную одним из трех типов приманок в окрестностях пос. Ботаника (1–3) и станции Курчанская (4, 5) Краснодарского края в 2021 (1), 2022 (2, 4) и 2023 гг. (3, 5)

Обозначения приманки в ловушке: *сплошная линия* – свет, *штриховая линия* – СПА, *пунктирная линия* – СПА + свет

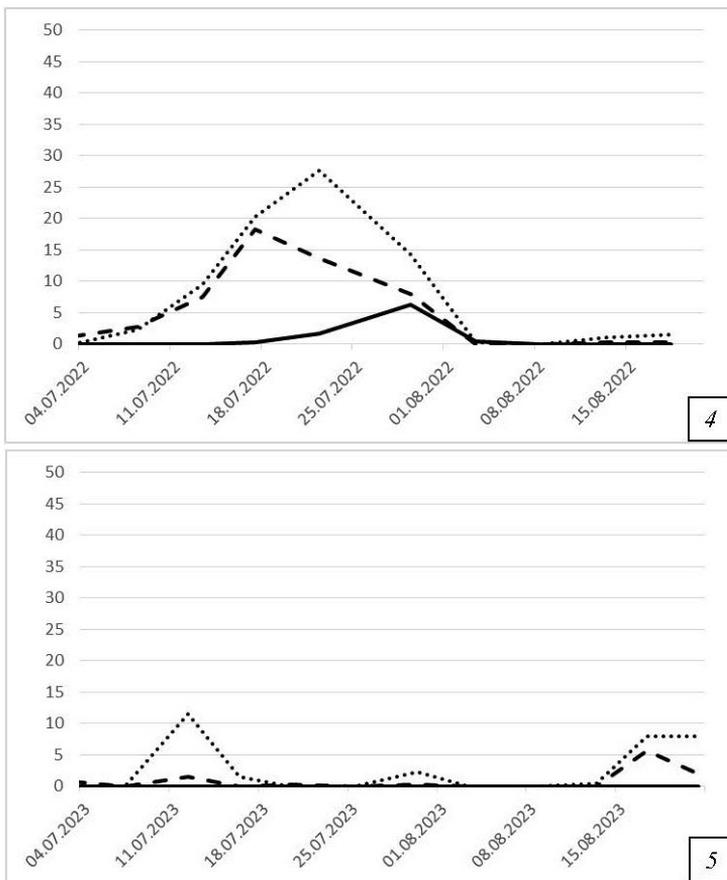


Рис. 3 (продолжение).

отловов за 1 неделю. Тем не менее, поскольку неоднородность дисперсий хоть и не достигает критического уровня значимости $p_\alpha = 0.05$, но все же достаточно велика, в соответствии с рекомендациями (Reeve, Strom, 2004) были проведены дополнительные расчеты, результаты которых представлены в табл. 2. Полученные результаты убедительно подтверждают существенность различий между средними значениями аттрактивности для хлопковой совки светодиодов, СПА и их совместного действия, причем условие однородности дисперсий в однофакторном комплексе, согласно критерию Бартлетта, соблюдается уже в гораздо большей степени ($\chi^2 = 2.11, p_\alpha = 0.35$), чем в случае двухфакторного дисперсионного комплекса.

Вопрос о характере взаимодействия света и СПА в результирующей аттрактивности для имаго хлопковой совки является в нашем исследовании ключевым. Если следовать формальному определению синергии как феномена, при котором совместные действия факторов обеспечивают бóльший результат, нежели сумма их результатов по отдельности (Синергия, 2023), представленные в табл. 2 данные позволяют предполагать ее проявление во взаимодействии света и СПА, поскольку количество отловленных бабочек в варианте СПА + свет превышает простую сумму отловов ловушками со светом

Таблица 2. Средние оценки плотностей имаго хлопковой совки, отловленных на различные приманки (свет, СПА, СПА + свет) и в контроле в двух пунктах Краснодарского края

Пункт проведения испытаний	Год	Свет (С)	СПА (А)	СПА + свет (АС)	Контроль
Пос. Ботаника	2021	2.5 b	6.0 c	11.5 d	0 a
	2022	0.5 a	1.0 a	2.6 b	0 a
	2023	1.1 ab	2.2 b	3.7 c	0 a
Станица Курчанская	2022	1.2 a	9.7 b	10.2 b	0 a
	2023	0 a	1.7 a	6.5 b	0 a
Среднее		1.2 b	4.1 c	6.9 d	0 a

Примечание. Плотность определяется как среднее число имаго, отловленных 1 ловушкой за 1 неделю учетов. Одинаковыми буквенными индексами снабжены значения, различающиеся при p_{α} согласно критериям Тьюки (Tukey's HSD) (сравнение средних в столбцах С, А и АС) и Даннетта (Dunnnett's test) (сравнение средних С, А и АС с контролем).

и СПА ($6.9 > 1.2 + 4.1$). Впрочем, аналогичная картина наблюдается и по данным табл. 1 ($1075 > 142 + 584$).

Понятие синергии широко используется практически во всех отраслях человеческой деятельности, так как из него вытекает сформулированное еще Аристотелем основное положение холизма, гласящее, что целое больше, чем сумма его частей. К настоящему времени накоплен огромный пласт научной литературы самой разной направленности (биологической, химической, медицинской, технической, экономической и т. п.), в которой отражается широкое разнообразие как мнений о природе феномена, так и подходов к его выявлению (Bliss, 1939; Loewe, 1953; Berenbaum, 1977; Greco et al., 1995; Latash, 2008; Касьяненко, 2017; Roell et al., 2017; Caesar, Cech, 2019, и др.). В том случае, когда отсутствует возможность использования для анализа цепочек данных типа «доза – эффект», доказательством проявления эффекта синергии, очевидно, может явиться лишь статистическая достоверность взаимодействия учетных факторов в рамках двухфакторного дисперсионного анализа (Slinker, 1998). Соответственно, исключить из расчетов контрольный вариант, несмотря на то что отловы были нулевыми, никак не представляется возможным.

Результаты анализа полученных за весь период испытаний трансформированных $(x + 0.5)^{1/2}$ данных в рамках единого дисперсионного комплекса (табл. 3) свидетельствуют, что несмотря на большую уловистость ловушек, привлекавших имаго хлопковой совки комбинацией СПА + светодиоды по сравнению с ловушками, снабженными СПА и светодиодами в отдельности, достоверность эффекта взаимодействия на уровне значимости $p_{\alpha} \leq 0.05$ не доказывается. Вывод об отсутствии статистической достоверности эффекта взаимодействия был подтвержден дисперсионным анализом с использованием нетрансформированных данных ($F = 2.85, p = 0.09$). Проанализированные в рамках отдельных дисперсионных комплексов трансформированные данные, полученные при проведении каждой из пяти серий испытаний в отдельности, в четырех случаях из пяти не смогли доказать значимости эффекта взаимодействия СПА и светодиодов при $p_{\alpha} \leq 0.05$. Лишь в одном испытании из пяти (окр. станицы Курчанской в 2023 г.) достоверность взаимодействия СПА + свет была доказана при $p_{\alpha} = 0.05$ (см. табл. 3). Дополнительно выполненные расчеты с использованием нетрансформированных данных выявили статистическую достоверность эффекта взаимодействия СПА и светодиодов при $p_{\alpha} \leq 0.05$ в испытании, выполненном в окр. пос. Ботаника в 2023 г. ($F = 5.12, p = 0.05$),

но не показали значимости взаимодействия в испытании, проведенном в окр. станции Курчанской в 2023 г. ($F = 3.80, p = 0.08$). Таким образом, результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что более высокий вылов имаго хлопковой совки в варианте СПА + свет главным образом обеспечивается аддитивным взаимодействием эффектов светодиодов и СПА, которое, однако, порой способно трансформироваться в синергическое.

Анализ опубликованной информации свидетельствует, что в целом особенности взаимодействия светового излучения и химического сигнала в определении привлекательности ловушки для насекомых изучены весьма фрагментарно. Так, в литературе обнаруживаются единичные работы, в которых сообщается о значительном приросте аттрактивности у комбинаций семиохемика и семиофизика. Например, было

Таблица 3. Дисперсионные комплексы вариации трансформированных $(x + 0.5)^{1/2}$ оценок плотностей имаго хлопковой совки, отловленных в ловушки с различными приманками (свет, СПА, СПА + свет) и в контроле в двух пунктах Краснодарского края (2021–2023 гг.)

Варьирование	Степени свободы, df	Сумма квадратов, SS	Средний квадрат, MS	Критерий Фишера, F	p_{α}
Все испытания в едином комплексе					
Общее	75	60.866			
Блоки	18	15.281	0.849	2.93	0.001
Приманки	3	29.922	9.974	34.39	0.000000000001
СПА (А)	1	26.446	26.446	91.18	0.0000000000003
Свет (С)	1	2.864	2.864	9.88	0.003
$A \times C$	1	0.612	0.612	2.11	0.15
Остаток	54	15.662	0.290		
Испытания по отдельности					
пос. Ботаника, 2021 г.					
$A \times C$	1	0.028	0.028	0.20	0.67
Остаток	6	0.829	0.138		
2022 г.					
$A \times C$	1	0.016	0.016	0.04	0.84
Остаток	9	3.514	0.390		
2023 г.					
$A \times C$	1	0.314	0.314	3.64	0.09
Остаток	9	0.778	0.086		
станция Курчанская, 2022 г.					
$A \times C$	1	0.059	0.059	0.19	0.67
Остаток	9	2.757	0.306		
2023 г.					
$A \times C$	1	0.779	0.779	5.06	0.05
Остаток	9	1.387	0.154		

Примечание. Результаты анализа испытаний в едином комплексе (пос. Ботаника и станция Курчанская за 2021–2023 гг.) представлены всеми элементами варьирования. Из результатов анализов комплексов испытаний, выполненных отдельно, включены лишь сведения о дисперсиях взаимодействия СПА + свет и остатка.

показано, что оснащение УФ светодиодами ловушек с семиохемиками (СПА или растительным кайромоном) обеспечивало увеличение в 2–12 раз улова имаго 4 вредителей сада – яблонной *Cydia pomonella* (L.) и восточной *Grapholita molesta* (Busck) плодовой гусеницы, скошеннополосой *Choristoneura rosaceana* (Harris) и почковой *Spilonota ocellana* (Den. et Schiff.) листовёрток (Knight et al., 2023). Еще сообщалось о шестикратном увеличении улова совки *Trichoplusia ni* (Hbn.) при дооснащении ловушек черного света химическим аттрактантом (СПА) (Gentry, Davis, 1973) и о почти пятикратном увеличении вылова самцов долгоносика *Cylas formicarius* (F.) при снаряжении ловушки комбинированной приманкой в виде СПА и зеленого светодиодного излучателя (McQuate, 2014). Благодаря дооснащению световых ловушек диспенсерами с СПА был достигнут также многократный прирост улова имаго томатной моли *Tuta absoluta* (Meyrick) (Pezhman, Saeidi, 2018). В некоторых случаях рост аттрактивности для насекомых хотя и наблюдался, но оказывался не столь значительным, например, у имаго хрущака *Tribolium castaneum* (Herbst) в ответ на совместное применение УФ светодиодов и агрегационного феромона (Duehl et al., 2011) или у табачного жука *Lasioderma serricorne* (F.) на УФ свет в сочетании с СПА (Miyatake et al., 2016). Что же касается характера взаимодействия привлекающих свойств семиохемиков и световых сигналов, то лишь в некоторых публикациях сообщалось об их синергии в создании аттрактивности для насекомых, а именно мраморного клопа *Halyomorpha halys* (Stål) (Rice et al., 2017), западного цветочного трипса *Frankliniella occidentalis* Pergande (Otieno et al., 2018) и бразильских песочных мух-бабочниц сем. Psychodidae (Silva et al., 2019). При этом, однако, вывод о синергическом действии далеко не всегда подкреплялся соответствующим статистическим анализом взаимодействия семиохемика и света. С другой стороны, сведения о субаддитивном, неаддитивном, а тем более антагонистическом взаимодействии светового и химического сигналов для насекомых (Hathaway, 1981; Sambaraju, Phillips, 2008) отмечаются в литературе крайне редко, возможно, по причине нежелания авторов публиковать отрицательные результаты. Так или иначе, до настоящего времени характер реакций насекомых в ответ на комбинированный стимул остается слабо изученным, и можно лишь догадываться, что аддитивность, а тем более синергия при ответе на комбинацию зрительного и ольфакторного стимулов обеспечивается мультимодальной интеграцией сенсорной информации в высших центрах головного мозга насекомого (Thiagarajan, Sachse, 2022). Впрочем, опубликованный до сего времени материал пока даже не позволяет составить целостного представления о закономерностях формирования поведенческих реакций насекомых при одновременном воздействии на них семиохемиков и света. В этой связи полученные нами результаты можно рассматривать в качестве пусть и небольшого, но отнюдь не лишнего шага на пути к осмыслению природы феномена. Кроме того, принимая во внимание особую значимость хлопковой совки как вредного объекта, изложенные в статье материалы позволяют расценивать совместное применение СПА и световых сигналов в качестве перспективного инструмента управления поведением вредителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая растущую актуальность применения в защите растений комбинаций семиохемиков (феромонов, алломонов, кайромонов и синомонов) и семиофизиков (стимулов физической природы, прежде всего световых излучений), проведено изучение аттрактивности 4 вариантов приманок (УФ светодиоды, СПА, СПА + УФ светодиоды, и контроль), помещенных в воронкообразные контейнерные ловушки, для имаго опаснейшего сельскохозяйственного вредителя – хлопковой совки *Helicoverpa armigera*.

При проведении испытаний на посевах кукурузы в июле—августе 2021—2023 гг. в двух пунктах Краснодарского края были выявлены статистически достоверные различия в уловах имаго вредителя на разные приманки: в контроле вообще не было поймано ни одной бабочки, ловушки с УФ светодиодами отловили около 8, с СПА — чуть более 30, а ловушки, привлекавшие насекомых СПА и УФ светодиодами одновременно, выловили почти 60 % от общего числа бабочек.

Низкий уровень отлова хлопковой совки на свет, очевидно, объясняется особенностями размещения ловушек в испытаниях: их устанавливали в рядах высокорослой кукурузы (после фазы выметывания метелок) на высоте 1.5 м от земли не ближе 30 м до края, так что световые потоки, в отличие от сигналов СПА, быстро гасились густой растительной массой. Положительным следствием применения данной схемы размещения ловушек явилось то обстоятельство, что в ловушках со светодиодами, как и в ловушках с другими вариантами приманок, не обнаруживали сколько-нибудь значительных количеств представителей нецелевой энтомофауны, за исключением зеленых кузнечиков *Tettigonia caudata* (Ch.) и *T. viridissima* (L.).

С помощью двухфакторного дисперсионного анализа исходных и преобразованных $(X + 0.5)^{1/2}$ данных отловов была проведена оценка статистической значимости влияния учтенных факторов, включая взаимодействие светодиодов и СПА, в формировании аттрактивности для вредителя. В результате статистическую достоверность последнего фактора (в отличие от СПА и светодиодов по отдельности) при $p_{\alpha} \leq 0.05$ на всем массиве данных доказать не удалось, и лишь в одном испытании из пяти проведенных эффект взаимодействия СПА и светодиодов оказался статистически значимым. В итоге был сделан вывод о преобладании эффекта аддитивности, но не синергии во взаимодействиях аттрактантных свойств СПА и УФ светодиодов для имаго хлопковой совки. Так или иначе, полученные результаты позволяют рассматривать совместное применение СПА и световых сигналов в качестве перспективного средства для управления поведением вредителя, ведь дооснащение феромонных ловушек УФ светодиодами способно обеспечить почти двукратный прирост вылова имаго хлопковой совки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне благодарны Ю. А. Елацкову (Кубанская опытная станция ВИР), В. Г. Гаркушке (НПО КОС-МАИС) и В. С. Куртакову (Компания «Производство зерна») за возможность проведения полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алфераки С. Н. 1907 [1908]. К фауне чешуекрылых Северного Кавказа (исправления и добавления). Русское энтомологическое обозрение 7 (4): 203—205.
- Гелетюк О., Настас Т. 2022. Оценка сезонной аттрактивности феромонных ловушек в сравнении со световыми для имаго *Heliothis armigera* Hbn. В кн.: С. Ю. Блохина, Н. П. Бучкина, Т. А. Гурова (ред.). Материалы международной научной конференции «Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства». ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, 14—15 апреля 2022 г. СПб.: АФИ, с. 475—477.
- Говоров Д. Н., Живых А. В., Проскуракова М. Ю. 2013. Хлопковая совка — периодическая угроза сельскохозяйственным посевам. Защита и карантин растений 5: 18—20.
- 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).

- Горышин Н. И. 1958. Экологический анализ сезонного цикла развития хлопковой совки (*Chloridea obsoleta* F.) в северных районах ее распространения. Ученые записки Ленинградского государственного университета **240**: 3–20.
- 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.
- Исмаилов В. Я., Команцев А. А., Богатырев О. Д. 2023. Контроль численности хлопковой совки на подсолнечнике с помощью феромонов. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии **1** (61): 54–59.
<https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-1-54-59>
- Касьяненко Т. Г. 2017. Системный взгляд на синергию: определение, типология и источники синергического эффекта. Российское предпринимательство **18** (24): 4035–4050.
<https://doi.org/10.18334/tp.18.24.38580>
- Коробка А. Н., Орленко С. Ю., Алексеев Е. В., Малышева Н. Н., Сорочинская Е. М., Трубилин А. И., Нещадим Н. Н., Малюга Н. Г., Василько В. П., Кравцова А. М., Пикушова Э. А., Найденова С., Зазимко М. И., Ефремова В. В., Бардак Н. И., Сисо А. В., Веретельник Е. Ю., Лукомец В. М., Бочкарев Н. И., Тишков Н. М., Гаркуша С. В., Ковалев В. С., Харитонов Е. М., Науменко В. П., Надыкта В. Д., Исмаилов В. Я., Волкова Г. В., Агасьева И. С., Данилов Р. В., Костюков В. В., Монастырский О. А., Савва А. П., Пушня М. В., Садковский В. Т., Соколов Ю. Г., Шумилов Ю. В. 2015. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе. Краснодар: «Просвещение-Юг», 352 с.
- Матов А. Ю., Кононенко В. С. 2012. Трофические связи гусениц совкообразных чешуекрылых фауны России (Lepidoptera, Noctuoidea: Nolidae, Erebiidae, Euteliidae, Noctuidae). Владивосток: Дальнаука, 346 с.
- Мисриева Б. У. 2012. Феромонный мониторинг и численность преимагинальных фаз хлопковой совки в климатических условиях Южного Дагестана. Проблемы развития АПК региона **3**: 45–49.
- Павлюшин В. А. 2010. Научное обеспечение защиты растений и продовольственная безопасность России. Защита и карантин растений **2**: 11–15.
- Перечень особо опасных для продукции растительного происхождения вредных организмов. 2010. Вестник защиты растений **4**: 74–75.
- 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.
- Синергия [Интернет-документ]. 2023. [URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Синергия>].
- Фефелова Ю. А., Фролов А. Н. 2007. Факторы сезонной динамики численности хлопковой совки *Helicoverpa armigera* в Краснодарском крае. Вестник защиты растений **1**: 47–52.
- Фролов А. Н., Грушевая И. В., Конончук А. Г. 2021. Современные типы ловушек для мониторинга чешуекрылых на примере кукурузного мотылька. Монография. СПб.: «Научное издание», 120 с.
- Фролов А. Н., Мильцын А. А., Захарова Ю. А., Грушевая И. В., Конончук А. Г., Токарев Ю. С. 2020. Светоферомонная ловушка для летающих насекомых. Патент на полезную модель № RU 201632 U1, 24.12.2020. Заявка № 2020127904 от 21.08.2020.
- Ченикалова Е. В., Коломыцева В. А. 2021. Хлопковая совка продвигается на север. Проблемы прогноза численности. Защита и карантин растений **2**: 31–33.
- Шеффе Г. 1980. Дисперсионный анализ. Перевод с англ., издание второе. М.: Наука, 512 с.
- Юрченко Е. Г., Орлов О. В. 2019. Мониторинг хлопковой совки на виноградниках. В кн.: Ю. Н. Баранчиков (ред.). Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике. Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 22–26 апреля 2019 г. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, с. 195–196.
- Afonin A. N., Greene S. L., Dzubyenko N. I., Frolov A. N. (eds). 2008. Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and Their Diseases, Pests and Weeds. [URL: <http://www.agroatlas.ru>].
- Amandeep K., Vijay K., Dhawan A. K. 2016. Population monitoring of cotton bollworm moth with sex pheromones in Punjab, India. International Journal of Agricultural Science and Research **6** (3): 235–240.
- 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>
- Bakthavatsalam N., Vinutha J., Ramakrishna P., Raghavendra A., Ravindra K., Verghese A. 2016. Autodetection in *Helicoverpa armigera* (Hubner). Current Science **110** (12): 2261–2267.
<https://www.jstor.org/stable/24908470>
- Berenbaum M. C. 1977. Synergy, additivism and antagonism in immunosuppression: a critical review. Clinical and Experimental Immunology **28** (1): 1–18.

- Bliss C. I. 1939. The toxicity of poisons applied jointly. *Annals of Applied Biology* **26** (3): 585–615.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1939.tb06990.x>
- Caesar L. K., Cech N. B. 2019. Synergy and antagonism in natural product extracts: when 1 + 1 does not equal 2. *Natural Product Reports* **36** (6): 869–888.
<https://doi.org/10.1039/C9NP00011A>
- Cunningham J. P., Zalucki M. P. 2014. Understanding heliothine (Lepidoptera: Heliothinae) pests: what is a host plant? *Journal of Economic Entomology* **107** (3): 881–896.
<https://doi.org/10.1603/EC14036>
- 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>
- Dhaliwal G. S., Jindal V., Dhawan A. K. 2010. Insect pest problems and crop losses: changing trends. *Indian Journal of Ecology* **37** (1): 1–7.
- Dömötör I., Kiss J., Szócs G. 2007. First results on synchrony between seasonal pattern of pheromone trap captures of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, and appearance of freshly emerged larvae on developing cobs of corn hybrids. *Journal of Pest Science* **80** (3): 183–189.
<https://doi.org/10.1007/s10340-007-0164-y>
- 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>
- Epsky 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.
- Farrow R. A., Daly J. C. 1987. Long-range movements as an adaptive strategy in the genus *Heliothis* (Lepidoptera: Noctuidae) – a review of its occurrence and detection in four pest species. *Australian Journal of Zoology* **35** (1): 1–24.
<https://doi.org/10.1071/ZO9870001>
- Feng H. Q., Wu K. M., Cheng D. F., Guo Y. Y. 2004. Northward migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and other moths in early summer observed with radar in northern China. *Journal of Economic Entomology* **97** (6): 1874–1883.
<https://doi.org/10.1093/jee/97.6.1874>
- Feng H. Q., Wu K. M., Ni Y. X., Cheng D. F., Guo Y. Y. 2005. High-altitude windborne transport of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in mid-summer in northern China. *Journal of Insect Behavior* **18**: 335–249.
<https://doi.org/10.1007/s10905-005-3694-2>
- Feng H. Q., Wu X. F., Wu B., Wu K. M. 2009. Seasonal migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) over the Bohai Sea. *Journal of Economic Entomology* **102** (1): 95–104.
<https://doi.org/10.1603/029.102.0114>
- Fite T., Damte T., Tefera T., Negeri M. 2020. Evaluation of commercial trap types and lures on the population dynamics of *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) and its effects on non-targets insects. *Cogent Food & Agriculture* **6** (1): 1771116.
<https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1771116>
- Fitt G. P. 1989. The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems. *Annual Review of Entomology* **34**: 17–53.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.34.010189.000313>
- Fitt G. P., Cotter S. C. 2005. The *Helicoverpa* problem in Australia: biology and management. In: H. Sharma (ed.). *Heliothis/Helicoverpa Management: Emerging Trends and Prospects for Future Research*. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co, p. 57–74.
- Frolov A. N. 2022. Controlling the behavior of harmful insects: light and chemical signals and their combined action. *Entomological Review* **102** (6): 782–819.
<https://doi.org/10.1134/S0013873822060033>
- Frolov A. N., Grushevaya I. V., Kononchuk A. G. 2020. LEDS and semiochemicals vs. sex pheromones: 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>
- Gao K., Torres-Vila L. M., Zalucki M. P., Li Y., Griepink F., Heckel D. G., Groot A. T. 2020. Geographic variation in sexual communication in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Pest Management Science* **76** (11): 3596–3605.
<https://doi.org/10.1002/ps.5893>
- 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>
- Gomes E. S., Santos V., Ávila C. J. 2017. Biology and fertility life table of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in different hosts. *Entomological Science* **20** (1): 419–426.
<http://doi.org/10.1111/ens.12267>

- Greco W. R., Bravo G., Parsons J. C. 1995. The search for synergy: a critical review from a response surface perspective. *Pharmacological Reviews* **47**: 331–385.
- Gregg P. C., Fitt G. P., Zalucki M. P., Murray D. A. H. 1995. Insect migration in an arid continent. II. *Helicoverpa* spp. in eastern Australia. In: V. A. Drake, A. G. Gatehouse (eds). *Insect Migration: Tracking Resources Through Space and Time*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 151–172.
- Gross J., Franco J. C. 2022. Novel trends on semiochemicals and semiophysicals for insect science and management. *Entomologia Generalis* **42** (2): 163–165.
<https://doi.org/10.1127/entomologia/2022/1535>
- 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>
- Haile F., Nowatzki T., Storer N. 2021. Overview of pest status, potential risk, and management considerations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) for U. S. soybean production. *Journal of Integrated Pest Management* **12** (1): 3.
<https://doi.org/10.1093/jipm/pmaa030>
- Hardwick D. F. 1965. The corn earworm complex. *The Memoirs of the Entomological Society of Canada* **97** (S40): 5–247.
<https://doi.org/10.4039/entm9740fv>
- 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.*
- Helicoverpa armigera* (Cotton Bollworm) [Интернет-документ]. 2021. CABI Compendium, 16 November 2021. [URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.26757>]
<https://doi.org/10.1079/cabicompendium.26757>
- He W., Zhao X., Ali A., Ge S., Zhang H., He L., Wu K. 2021. Population dynamics and reproductive developmental analysis of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) trapped using food attractants in the field. *Journal of Economic Entomology* **114** (4): 1533–1541.
<https://doi.org/10.1093/jee/toab113>
- Hou M., Sheng C. 1999. Fecundity and longevity of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): effects of multiple mating. *Journal of Economic Entomology* **92** (3): 569–573.
<https://doi.org/10.1093/jee/92.3.569>
- Jallow M. F. A., Matsumura M., Suzuki Y. 2001. Oviposition preference and reproductive performance of Japanese *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Applied Entomology and Zoology* **36** (4): 419–426.
<https://doi.org/10.1303/aez.2001.419>
- Jones C. M., Parry H., Tay W. T., Reynolds D. R., Chapman J. W. 2019. Movement ecology of pest. *Annual Review of Entomology* **64**: 277–295.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011118-111959>
- Jyothi P., Aralimarad P., Wali V., Dave S., Bheemanna M., Ashoka J., Shivayogiappa P., Lim K. S., Chapman J. W., Sane S. P. 2021. Evidence for facultative migratory flight behavior in *Helicoverpa armigera* (Noctuidae: Lepidoptera) in India. *PLoS One* **16** (1): e0245665.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245665>
- Kant K., Kanaujia K. R., Kanaujia S. 1999. Rhythmicity and orientation of *Helicoverpa armigera* (Hubner) to pheromone and influence of trap design and distance on moth trapping. *Journal of Insect Science* **12**: 6–8.
- Karakantza E., Rumbos C. I., Cavalaris C., Athanassiou C. G. 2023. Different trap types depict dissimilar spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton fields. *Agronomy* **13** (5): 1256.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13051256>
- Karakasis A., Lampiri E., Rumbos C. I., Athanassiou C. G. 2021. Factors affecting adult captures of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in pheromone-baited traps. *Agronomy* **11** (12): 2539.
- Kehat M., Gothilf S., Dunkelblum E., Greenberg S. 1980. Field evaluation of female sex pheromone components of the cotton bollworm, *Heliothis armigera*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **27** (2): 188–193.
<https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1980.tb02963.x>
- Keszthelyi S., Nowinszky L., Szeőke K. 2016. Different catching series from light and pheromone trapping of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biologia* **71**: 818–823.
<https://doi.org/10.1515/biolog-2016-0094>
- Keszthelyi S., Puskás J., Nowinszky L. 2019. Light-trap catch of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* in connection with the moon phases and geomagnetic H-index. *Biologia* **74**: 661–666.
<https://doi.org/10.2478/s11756-019-00197-z>

- Kiran T., R. Mamtha, Saraswathi, Chaitra B. S., Doddamane M. 2019. War against old-world bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hubner): past, present, and future. *Progressive Agriculture* **19** (2): 186–198.
<https://doi.org/10.5958/0976-4615.2019.00037.1>
- Klun J. A., Plimmer J. R., Bierl-Leonhardt B. A., Sparks A. N., Chapman O. L. 1979. Trace chemicals: the essence of sexual communication systems in *Heliothis* species. *Science* **204** (4399): 1328–1330.
<https://doi.org/10.1126/science.204.4399.1328>
- Knight A. L., Preti M., Basoalto E., Fuentes-Contreras E. 2023. Increasing catches of adult moth pests (Lepidoptera: Tortricidae) in pome fruit with low-intensity LED lights added to sex pheromone/kairomone lure-baited traps. *Journal of Applied Entomology* **147**: 843–856.
<https://doi.org/10.1111/jen.13176>
- Kriticos D. J., Ota N., Hutchison W. D., Beddow J., Walsh T., Tay W. T., Borchert D. M., Paula-Moraes S. V., Czepak C., Zalucki M. P. 2015. The potential distribution of invading *Helicoverpa armigera* in North America: is it just a matter of time? *PLoS One* **10** (3): e0119618.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119618> PMID: 25786260
- Kuno E. 1991. Sampling and analysis of insect populations. *Annual Review of Entomology* **36**: 285–304.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.36.010191.001441>
- Lammers J. W., MacLeod A. [Интернет-документ]. 2007. Report of a pest risk analysis: *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808). Plant Protection Service (NL) and Central Science Laboratory (UK), 18 p. [URL: <https://secure.fera.defra.gov.uk/phiw/riskRegister/downloadExternalPra.cfm?id=3879>]
- Latash M. L. (ed.). 2008. *Synergy*. Oxford, NY: Oxford University Press, 412 p.
<http://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195333169.001.0001>
- Loewe S. 1953. The problem of synergism and antagonism of combined drugs. *Arzneimittelforschung* **3** (6): 285–290.
- 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.
- Loganathan M., Sasikumar M., Uthamasamy S. 1999. Assessment of duration of pheromone dispersion for monitoring *Heliothis armigera* (Hüb.) on cotton. *Journal of Entomological Research* **23** (1): 61–64.
- 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>
- 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>
- Matthews M. 1991. Classification of the Heliethinae. Natural Resources Institute (Chatham, UK) Bulletin No 44, 198 p. [URL: <http://gala.gre.ac.uk/11076>]
- Mazzoni V., Anfora G. 2021. Behavioral manipulation for pest control. *Insects* **12** (4): 287.
<https://doi.org/10.3390/insects12040287>
- Mironidis G. K., Savopoulou-Soultani M. 2014. Development, survivorship, and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under constant and alternating temperatures. *Environmental Entomology* **37** (1): 16–28.
<https://doi.org/10.1093/ee/37.1.16>
- 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>
- Nemerenco O., Nastas T. 2023. The pest monitoring of *Heliothis armigera* Hbn. through the use of light traps. In: M. Duca, S. Clapco, A. Port, M. Severin (eds). Abstract Book National Conference with International Participation “Natural Sciences in the Dialogue of Generations”, September 14–15, 2023, Chisinau, Republic of Moldova. Chisinau: Moldova State University, p. 56.
- Nibouche S. 1999. *Helicoverpa* (= *Heliothis*) *armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae, Heliethinae). Série “Les prédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde”, No. 12, Cirad-CA, France, 51 p.
- Nieri R., Anfora G., Mazzoni V., Stacconi M. M. R. 2022. Semiochemicals, semiophysicals and their integration for the development of innovative multi-modal systems for agricultural pests’ monitoring and control. *Entomologia Generalis* **42** (2): 167–183.
<https://doi.org/10.1127/entomologia/2021/1236>

- Noor-ul-Ane M., Kim D. S., Zalucki M. P. 2018. Fecundity and egg laying in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): model development and field validation. *Journal of Economic Entomology* **111** (5): 2208–2216. <https://doi.org/10.1093/jee/toy271>
- Nowinszky L., Puskás J. 2011. Light trapping of *Helicoverpa armigera* in India and Hungary in relation with the moon phases. *Indian Journal of Agricultural Sciences* **81** (2): 154–157.
- Nyambo B. T. 1988. A comparative assessment of pheromone and light traps as tools for monitoring *Heliothis armigera* in Tanzania. *Tropical 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)
- 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>
- 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., 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>
- Pathania S. S., Verma A. K., Gupta P. R. 2009. Pheromone monitoring of *Helicoverpa armigera* (Hubner) and relationship with abiotic factors and infestation on tomato. *Indian Journal of Entomology* **71** (4): 312–316.
- Pawar C., Sithanatham S., Bhatnagar V., Srivastava C., Reed W. 1988. The development of sex pheromone trapping of *Heliothis armigera* at ICRISAT, India. *Tropical Pest Management* **34** (1): 39–43. <https://doi.org/10.1080/09670878809371203>
- Payton M. E., Richter S. J., Giles K. L., Royer T. A. 2006. Transformations of count data for tests of interaction in factorial and split-plot experiments. *Journal of Economic Entomology* **99** (3): 1002–1006. <https://doi.org/10.1093/jee/99.3.1002>
- Pedgley D. E. 1985. Windborne migration of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to the British Isles. *Entomologist's Gazette* **36** (1): 15–20.
- Pedgley D. E., Tucker M. R., Pawar C. S. 1987. Windborne migration of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in India. *International Journal of Tropical Insect Science* **8** (4–6): 599–604. <https://doi.org/10.1017/S1742758400022669>
- Pezhman H., Saeidi K. 2018. Effectiveness of various solar light traps with and without sex pheromone for mass trapping of tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) in a tomato field. *Notulae Scientia Biologicae* **10** (4): 475–484. <https://doi.org/10.15835/nsb10410303>
- Rajapakse C. N. K., Walter G. H. 2007. Polyphagy and primary host plants: oviposition preference versus larval performance in the lepidopteran pest *Helicoverpa armigera*. *Arthropod-Plant Interactions* **1**: 17–26. <https://doi.org/10.1007/s11829-007-9003-6>
- 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.
- Reddy S. E., Rana S., Rana A., Kumar R. 2021. Seasonal incidence and monitoring of *Helicoverpa armigera* Hübner on damask rose (*Rosa × damascena* Herrm.) by sex pheromone traps in western Himalaya (India). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* **20**: 100270. <https://doi.org/10.1016/j.jarmp.2020.100270>
- Reeve J. D., Strom B. L. 2004. Statistical problems encountered in trapping studies of scolytids and associated insects. *Journal of Chemical Ecology* **30**: 1575–1590. <https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000042069.17533.3c>
- Riaz S., Johnson J. B., Ahmad M., Fitt G. P., Naiker M. 2021. A review on biological interactions and management of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Applied Entomology* **145** (6): 467–498. <https://doi.org/10.1111/jen.12880>
- 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 J. R., Armes N. J., Reynolds D. R., Smith A. D. 1992. Nocturnal observations on the emergence and flight behaviour of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in the post-rainy season in central India. *Bulletin of Entomological Research* **82** (2): 243–256.
<https://doi.org/10.1017/S0007485300051798>
- Ritchie S. W., Hanway J. J., Benson G. O., Herman J. C. 1993. How a Corn Plant Develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, Special Report 48, 21 p.
- Roell K. R., Reif D. M., Motsinger-Reif A. A. 2017. An introduction to terminology and methodology of chemical synergy – perspectives from across disciplines. *Frontiers in Pharmacology* **8**: 158.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00158>
- Roelofs W. L., Cardé R. T. 1977. Responses of Lepidoptera to synthetic sex pheromone chemicals and their analogues. *Annual Review of Entomology* **22**: 377–405.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.22.010177.002113>
- 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**: 422–439.
<https://doi.org/10.1007/s10905-008-9140-5>
- Sehto G. N., Rajput I. A., Ahmed A. M., Kolachi M. M., Pathan A. K., Depar M. S., Laghari R. A. K., Mal B. 2020. Monitoring cotton bollworms through synthetic sex pheromone traps. *Pure and Applied Biology* **9** (3): 2007–2013.
<https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90214>
- Shah M. A., Memon N., Baloch A. A. 2011. Use of sex pheromones and light traps for monitoring the population of adult moths of cotton bollworms in Hyderabad, Sindh, Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture* **27** (3): 435–442.
- Sharma H. (ed.). 2005. *Heliothis/Helicoverpa* Management: Emerging Trends and Prospects for Future Research. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co, 482 p.
- Sharma H. C., Srivastava C. P., Durairaj C., Gowda C. L. L. 2010. Pest management in grain legumes and climate change. In: S. S. Yadav, D. L. McNeil, R. Redden, S. A. Patil (eds). *Climate Change and Management of Cool Season Grain Legume Crops*. Dordrecht, Netherlands: Springer Science, p. 115–140.
- Sileshi G. 2006. Selecting the right statistical model for analysis of insect count data by using information theoretic measures. *Bulletin of Entomological Research* **96** (5): 479–488.
<https://doi.org/10.1079/BER2006449>
- 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>
- Slinker B. K. 1998. The statistics of synergism. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology* **30** (4): 723–731.
<https://doi.org/10.1006/jmcc.1998.0655>
- Specht A., Sosa-Gómez D. R., Rios D. A. M., Claudino V. C. M., Paula-Moraes S. V., Malaquias J. V., Silva F. A. M., Roque-Specht V. F. 2021. *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil: the big outbreak monitored by light traps. *Neotropical Entomology* **50**: 53–67.
<https://doi.org/10.1007/s13744-020-00836-0>
- Srivastava C., Pimbert M., Reed W. 1992. Monitoring of *Helicoverpa* (= *Heliothis*) *armigera* (Hubner) moths with light and pheromone traps in India. *International Journal of Tropical Insect Science* **13** (2): 205–210.
<https://doi.org/10.1017/S1742758400014363>
- 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>
- Sullivan M., Molet T. [Интернет-документ]. 2007. CPHST Pest Datasheet for *Helicoverpa armigera*. USDA-APHIS-PPQ-CPHST. Revised April 2014. Revised June 2018 by L. Morales, H. Moylett. [URL: <http://download.ceris.purdue.edu/file/3616>]
- Tay W. T., Soria M. F., Walsh T., Thomazoni D., Silvie P., Behere G. T., Anderson C., Downes S. 2013. A brave New World for an Old World pest: *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *PloS One* **8** (11): e80134.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080134>
- Thiagarajan D., Sachse S. 2022. Multimodal information processing and associative learning in the insect brain. *Insects* **13**: 332.
<https://doi.org/10.3390/insects13040332>
- Venette R. C., Davis E. E., Zaspel J., Heisler H., Larso M. 2003. Mini Risk Assessment. Old World Bollworm, *Helicoverpa armigera* Hübner [Lepidoptera: Noctuidae]. Department of Entomology, University of Minnesota, 36 p.

- Visalakshmi V., Arjuna Rao P., Krishnaya P. 2000. Utility of sex pheromone for monitoring *Heliothis armigera* (Hüb.) infesting sunflower. *Journal of Entomological Research* **24** (3): 255–258.
- Wang Y., Chang Y., Zhang S., Jiang X., Yang B., Wang G. 2022. Comparison of phototactic behavior between two migratory pests, *Helicoverpa armigera* and *Spodoptera frugiperda*. *Insects* **13** (10): 917.
<https://doi.org/10.3390/insects13100917>
- 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>
- Wu K. M., Guo Y. Y. 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. *Annual Review of Entomology* **50**: 31–52.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130349>
- 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* **44** (10): 1192–1197.
<https://doi.org/10.18805/LR-4231>
- Yadav S. P. S., Lahutiya V., Paudel P. 2022. A review on the biology, ecology, and management tactics of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology* **10** (12): 2467–2476.
<https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i12.2467-2476.5211>
- Zalucki M. P., Daghli G., Firempong S., Twine P. 1986. The biology and ecology of *Heliothis armigera* (Hübner) and *H. punctigera* Wallengren (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia: what do we know? *Australian Journal of Zoology* **34** (6): 779–814.
<https://doi.org/10.1071/ZO9860779>
- Zalucki M. P., Murray D. A., Gregg P. C., Fitt G. P., Twine P. H., Jones C. 1994. Ecology of *Helicoverpa armigera* (Hübner) and *Heliothis punctigera* (Wallengren) in the inland of Australia – larval sampling and host-plant relationships during winter and spring. *Australian Journal of Zoology* **42** (3): 329–346.
<https://doi.org/10.1071/ZO9940329>
- Zhang J. P., Salcedo C., Fang Y. L., Zhang R. J., Zhang Z. N. 2012. An overlooked component: (Z)-9-tetradecenal as a sex pheromone in *Helicoverpa armigera*. *Journal of Insect Physiology* **58** (9): 1209–1216.
<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.05.018>
- Zhou X., Applebaum S. W., Coll M. 2000. Overwintering and spring migration in the bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Israel. *Environmental Entomology* **29** (6): 1289–1294.
<https://doi.org/10.1603/0046-225X-29.6.1289>
- Zhou Y., Wu Q., Zhao S., Guo J., Wyckhuys K. A. G., Wu K. 2019. Migratory *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) exhibits marked seasonal variation in morphology and fitness. *Environmental Entomology* **48** (3): 755–763.
<https://doi.org/10.1093/ee/nvz049>

SEX PHEROMONE AND ULTRAVIOLET RADIATION: INTERACTION OF ATTRACTION EFFECTS FOR COTTON EARWORM, *HELICOVERPA ARMIGERA* (HBN.) (LEPIDOPTERA, NOCTUIDAE) ADULTS

A. N. Frolov, A. G. Kononchuk, I. V. Grushevaya, A. A. Miltsen, S. D. Karakotov, S. V. Stulov, N. V. Vendilo

Key words: trap, LED, synthetic sex attractant, additive effect, synergy.

SUMMARY

Although the potential of the use of the semiochemicals (pheromones, allomones, kairomones, and synomones) and the semiophysicals (physical stimuli) to control insect behaviour for plant protection from harmful insects is beyond doubt, the characteristics of the interactions between their attractive properties have been extremely poorly studied. Therefore, despite the fact that the cotton bollworm,

Helicoverpa armigera, is one of the most harmful insects on the planet, there is no information in the literature on the effect of a combination of light stimuli and a synthetic sex attractant (SSA) on the behaviour of this species. In July–August 2021–2023, we conducted a study in two locations in Krasnodar Territory of Russia to test attraction of cotton bollworm adults with traps placed on corn sowings and equipped with four baits: (1) ultraviolet light emitting diodes (UV LEDs), (2) SSA, (3) SSA + UV LEDs, and control (4). The results obtained showed significant differences between the baits in capturing moths: not a single adult was captured in the control trap at all; traps with UV LEDs captured about 8%; with SSA, capturing a little more than 30%, and traps that attracted insects with both SPA and UV LEDs captured almost 60% of the total number of moths captured. The small catch of moths to the light is clearly explained by the situation of the traps in rows of tall hybrid corn at a height of 1.5 metres above the ground and no closer than 30 meters to the edge of the field. This means that the light, unlike SSA signals, was faded rapidly by the surrounding vegetation. However, a positive aspect of the technique used is the absence of significant numbers of non-target insect species capture in traps. The only exceptions are green grasshoppers, *Tettigonia caudata* (Ch.) and *T. viridissima* (L.), in traps with LEDs or other baits. Using two-factor ANOVA of both the original and transformed $(x + 0.5)^{1/2}$ capture data, we found a synergy effect in the interaction of SSA and LED signals with respect to attractiveness for pest adults at $p_a = 0.05$ only in one out of the five tests conducted. This result shows that the interaction of the semiochemicals and semiophysicals has rather additive than synergistic nature. Nevertheless, the results of the tests suggest that the combined use of SSA and LED may be a promising means for controlling the behaviour of the pest since retrofitting pheromone traps with UV LEDs can result in an approximately twofold increase in catch rates of the cotton bollworm adults.