



ISSN 1727-1320 (Print),
ISSN 2308-6459 (Online)

ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2024 TOM VOLUME 107 ВЫПУСК ISSUE 2



Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia

**Для оформления обложки использованы фотографии бабочки и гусеницы яблонной плодовой гусеницы к статье А.Н. Фролова, Ю.А. Захаровой, С.М. Малыш (стр. 40–74)
(© С.Г. Удалов, ВИЗР)**

**For the cover design, the photo of codling moth adult and larva for the article
by A.N. Frolov, Yu.A. Zakharova, S.M. Malysh (p. 40–74) were used
(© S.G. Udalov, VIZR)**

СКВОЗЬ СУМЕРКИ К СВЕТУ: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ВАРИАТИВНОСТЬ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ЯБЛОННОЙ ПЛОДОЖОРКИ

А.Н. Фролов*, Ю.А. Захарова, С.М. Малыш

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

* ответственный за переписку, e-mail: afrolov@vizr.spb.ru

Цель настоящей работы – оценить аттрактивность для яблонной плодожорки *Cydia pomonella* (L.) маломощных УФ светодиодов с низкой интенсивностью свечения, включая их интеракцию с синтетическим половым аттрактантом (СПА), в контрастных условиях Северо-Запада и Юга России. Для проведения работ использовали ловушки двух конструкций – клеевые Дельта и контейнерные воронкообразные Unitrap, которые размещали в садах, расположенных в г. Павловск (Санкт-Петербург) и х. Слободка (Славянский район Краснодарского края). Результаты оценки аттрактивности светодиодных излучателей оказались существенно различными: в первом пункте испытаний имаго яблонной плодожорки УФ излучением вообще не привлекались, тогда как во втором отлов на свет происходил достаточно активно. При этом положительный фототаксис у имаго вредителя в Санкт-Петербурге отсутствовал не только во время белых ночей, но и в последующий период, т. е. вне зависимости от угла нахождения Солнца под горизонтом в ночное время, и, соответственно, вариации уровня освещенности в сумерках. В обоих пунктах испытаний не было зафиксировано увеличения вылова имаго яблонной плодожорки снабженными СПА ловушками после их дооснащения УФ светодиодами. В частности, в С.-Петербурге различия между СПА и СПА-УФ ловушками были статистически незначительными, а в Слободке при использовании ловушек Дельта отмечался высоко достоверный антагонизм этих приманок по аттрактивности. Полученные результаты подробно обсуждаются с привлечением обширного массива литературных данных, характеризующих особенности фототаксиса у насекомых, особенности поведения имаго яблонной плодожорки в разных природных условиях, ее экологическую пластичность и высокий адаптационный потенциал, что позволило оценить перспективы и наметить направления дальнейших исследований. В статье также демонстрируется оригинальный алгоритм расчета начала и завершения периода белых ночей, основанный на учете перцепции энтомологического объекта.

Ключевые слова: ловушка, светодиод, фототаксис, синтетический половой аттрактант, аттрактивность, взаимодействие, белые ночи

Поступила в редакцию: 11.07.2024

Принята к печати: 11.09.2024

Введение

Яблонная плодожорка *Cydia pomonella* (L.) – самый вредоносный представитель сем. Tortricidae, способный наносить огромный экономический ущерб семечковым плодовым культурам в климатических условиях умеренных широт Земли (Barnes, 1991; Beers et al., 2003; Welter, 2009; Kadoić Balaško et al., 2020; Murray, Alston, 2020), в т. ч. в России (Васильев, Лившиц, 1984; Болдырев, Каширская, 2009; Третьяков, 2012; Балыкина и др., 2015; Бараненко, Медведева, 2018; Бондарчук и др., 2020), включая ее северо-западную часть – Ленинградскую область (Данилевский, Кузнецов, 1968; Жаворонкова, Иванова, 2008; Овсянникова и др., 2013; Овсянникова, Гричанов, 2019). Этот вредитель, имеющий по всей видимости европейское происхождение (Шельдешова, 1967; Данилевский, Кузнецов, 1968; Meraner et al., 2008), широко расселился в Америке, Африке, Австралии и Азии (EPPO Global Data Base, 2022), причем дальнейшее расширение ареала, как и нарастание вредоносности насекомого до сих пор продолжают, в т. ч. по причинам потепления климата планеты и интенсификации хозяйственной деятельности человека (Rafoss, Sæthre, 2003; Kumar et al., 2015; Zhao et al., 2015;

Jiang et al., 2018; Guo et al., 2021; Jha et al., 2024; Song et al., 2024). Борьба с яблонной плодожоркой в течение долгих лет осуществлялась почти исключительно путем интенсивного применения инсектицидов, что привело к формированию резистентных популяций во многих регионах промышленного садоводства (Reyes et al., 2007, 2009; Pajač et al., 2011; Kadoić Balaško et al., 2020). Так, начиная с конца 20-х годов прошлого века, накопилось поистине неисчислимое множество данных, свидетельствующих об утрате эффективности на тех или иных территориях чуть ли не всех рекомендованных для контроля вредителя действующих веществ инсектицидов, принадлежащих к самым разным химическим классам (хлор- и фосфорорганическим соединениям, карбатам, пиретроидам, неоникотиноидам, авермектинам, антранилдиамидам, регуляторам роста и т. д.) по причине формирования резистентности, в т. ч. групповой, перекрестной и множественной (Bush et al., 1993; Sauphanor et al., 2000; Boivin et al., 2001; Bouvier et al., 2001; Сухорученко, 2001; Язловецкий, Якимчук, 2009; Knight, 2010a; Voudouris et al., 2011; Reyes et al., 2015; Yang, Zhang, 2015; Bosch et al., 2018; Ju et al.,

2021; Idier et al., 2023). В этой связи совершенствование защиты плодовых культур от яблонной плодовой жорки в настоящее время нацелено не только на поиск новых, более эффективных, причем менее опасных для окружающей среды инсектицидов (Bassi et al., 2009; Miletić et al., 2011; Doerg et al., 2012; Czaja et al., 2015; Szpyrka et al., 2017; Kadoić Balaško et al., 2020; Долженко, Лаптиев, 2021; Skenderasi et al., 2023), но и на разработку нехимических методов борьбы, которые бы способствовали существенному сокращению применения инсектицидов вплоть до отказа от их использования. Среди таких подходов прежде всего необходимо выделить совершенствование приемов биологического метода (Cross et al., 1999; Mills, 2005, 2022; Lacey, Unruh, 2005; Lacey et al., 2006; De Waal et al., 2011, 2017; Odendaal et al., 2016; Thorpe et al., 2016; Kadoić Balaško et al., 2020; Yağci et al., 2021; Agasyeva et al., 2022; Gümüşsoy et al., 2022; Ahmad et al., 2024), хотя и тут яблонная плодовая жорка оказалась способна формировать резистентность, а именно к бакуловирусу гранулеза (CpGV) (Fritsch et al., 2005; Asser-Kaiser et al., 2007; Schmitt et al., 2013; Zecherà et al., 2013; Gebhardt et al., 2014; Jehle et al., 2017; Sauer et al., 2017a, b; Siegwart et al., 2020; Fan et al., 2022; Biganski et al., 2024). Соответственно наибольший интерес в сфере защиты растений вызывает разработка таких технологий, которые бы не столь активно стимулировали адаптивную эволюцию насекомого, например, конструирование препятствующих распространению вредителя защитных сеток (Tasin et al., 2008; Suhani et al., 2012; Alaphilippe et al., 2016; Pajač Živković et al., 2016; Baiamonte et al., 2016; Chouinard et al., 2017; Manja, Aoun, 2019; DiGiacomo et al., 2023; Marshall, Beers, 2023; Nelson et al., 2023, 2024). Впрочем, лидирующие позиции в создании новых систем защиты плодовых культур от яблонной плодовой жорки, несомненно, принадлежат решениям, нацеленным на дезорганизацию процесса размножения вредителя. Так, впечатляющих результатов удалось добиться с помощью генетического метода борьбы, который обеспечивается массовыми выпусками стерильных самцов (Proverbs et al., 1978, 1982; Bloem et al., 2007; Vreysen et al., 2010; Paterson et al., 2019; Thistlewood, Judd, 2019; Simmons et al., 2021). Однако гораздо более широкое применение в защите растений от вредителей, в т. ч. яблонной плодовой жорки, нашли биологически активные соединения – семиохемики (Pickett et al., 1993; El-Ghany, 2019; Komala et al., 2021; Anton, Jacquín-Joly, 2022; Yalçın, 2023; Tiwari et al., 2024), и в первую очередь синтетические половые аттрактанты (СПА) – аналоги половых феромонов (Brunner et al., 2005; Witzgall et al., 2008, 2010; Вендило и др., 2009; Рябчинская и др., 2015), а также обладающие кайромонной функцией аттрактанты растительного происхождения (Coracini et al., 2004; Knight et al., 2011, 2019a; Preti et al., 2021a, c). Благодаря уникальным свойствам этих соединений (селективность действия, высокая эффективность при низких концентрациях, малая токсичность, высокая летучесть и слабая персистентность) прежде всего удалось реализовать достаточно надежный мониторинг яблонной плодовой жорки (Knight, Light, 2005, 2012; Цветкова и др., 2008; Knight et al., 2009; Kot, 2010; Adams et al., 2017a, b; Зейналов, 2017; Knight et al., 2019b; Яковук и др., 2020; Preti et al., 2021c; Suto, 2022). Огромные усилия были направлены также на разработку технологий применения

семиохемиков для снижения численности вредителя за счет (1) массового отлова бабочек (El-Sayed et al., 2006; Hussain et al., 2015; Jaffe et al., 2018; Preti et al., 2021b; Sürmeli, Demirel, 2022), их уничтожения при помощи приманок с комбинацией (2) семиохемика и инсектицида (технология ‘lure and kill’) (Charmillot et al., 2000; Lösel et al., 2003; Stará et al., 2008; El-Sayed et al., 2009; Mansour, 2010; Somsai et al., 2010; Gregg et al., 2018) или (3) семиохемика и агента биометода (технология ‘autodissemination’) (Hartley et al., 2005; Howse et al., 2007; Пастарнак и др., 2014; Pushnya et al., 2021), а также (4) предотвращения спаривания имаго путем нарушения процесса поиска и обнаружения полового партнера (технология ‘mating disruption’) (Thomson et al., 2001; Pringle et al., 2003; Stelinski et al., 2008; Witzgall et al., 2008; Joshi et al., 2008, 2011; McGhee et al., 2011; Ниязов и др., 2012; Pluciennik, 2013; Walker et al., 2013; Miller, Gut, 2015; Kamali et al., 2017; Benelli et al., 2019; Cardé, 2021). Хотя эффективность защиты плодовых культур с применением указанных выше технологий варьирует в зависимости от многих факторов (плотности популяции насекомых, размеров защищаемого участка, степени его пространственной изоляции, природно-экономических условий региона) и в целом обходится дороже, чем обработка инсектицидами, в современных условиях для защиты садов все чаще используют средства нехимической защиты, и в первую очередь технологию ‘mating disruption’ (Witzgall et al., 2008; Thomson et al., 2009; McGhee et al., 2011, 2014; Mori, Evenden, 2013; Cartier, 2015; Kovanci, 2017; Долженко и др., 2018; Cardé, 2021; Kashirskaya et al., 2022; Kutinkova et al., 2022; Silva, Bento, 2023). При этом, несмотря на успехи, появилось сообщение, которое нуждается, однако, в подтверждении, что широкое распространение данной технологии способно вызвать ответную защитную реакцию у насекомых: из центральной части сада бабочки перемещаются на его периферию, ускользая т. о. от дезориентирующего действия высоких концентраций феромонного препарата в атмосфере. В результате на краевых участках имаго вредителя удается найти друг друга и спариваться, а из отложенных яиц появляются гусеницы, которые повреждают плоды (Sharon et al., 2024). Поскольку семиохемики также не лишены определенных недостатков, а именно способны негативно воздействовать на поведение нецелевых видов насекомых (Frolov, 2022), исследователи все чаще приходят к выводу о том, что максимальная биологическая и экономическая эффективность защиты садов от яблонной плодовой жорки будет достигаться лишь при интеграции различных по характеру воздействия на популяцию вредителя способов подавления численности (Judd et al., 2005; Knight, 2008; Chouinard et al., 2016; Sigsgaard et al., 2017; Walker et al., 2017; Horner et al., 2020; Nelson et al., 2021; Knight et al., 2022). Соответственно, разработка новых подходов к управлению численностью яблонной плодовой жорки продолжает оставаться чрезвычайно актуальным направлением исследований сельскохозяйственной энтомологии (Kadoić Balaško et al., 2020).

Давно известно, что виды чешуекрылых с сумеречной-ночной активностью, к которым относится и яблонная плодовая жорка (Worthley, 1932; Zech, 1955; Приставка, 1971), обладают положительным фототаксисом, т. е. способны привлекаться источниками искусственного освещения

(Мазохин-Поршняков, 1960; Hsiao, 1973; Горностаев, 1984; Frank, 1988; Nowinszky, 2003). Недавно опять появились сообщения о том, что весьма существенного снижения потерь урожая от яблонной плодовой гнили в садах удалось добиться с помощью массового отлова имаго ловушками с УФ излучением, причем как действующим самостоятельно (Erler, Tosun, 2023), так и в комбинации с семиохемиками, в т. ч. с СПА, причем с использованием энергоэффективных излучателей малой мощности (Knight et al., 2023). Для того, чтобы всесторонне охарактеризовать аттрактивность малоэнергетического, т. е. крайне перспективного для практического применения УФ излучения (включая его комбинацию с СПА) для имаго яблонной плодовой гнили представляется необходимым оценить реакции насекомых в различных частях ареала вредителя, и особенно в северной его части (Afonin et al., 2009), т. е. в специфических

условиях сильно варьирующего в течение сезона уровня природной освещенности в сумерках, и особенно во время белых ночей, когда ночь состоит из одних лишь светлых сумерек (Лазаревич, 2006; Белые ночи, 2024). Актуальность таких работ обусловлена к тому же тем обстоятельством, что на Северо-Западе России сохраняется тенденция роста вредоносности яблонной плодовой гнили (Николаева, Крюкова, 2010; Овсянникова, Гричанов, 2019). Соответственно, целью настоящей работы явилась оценка аттрактивности для имаго яблонной плодовой гнили малоэнергетических УФ светодиодов слабой интенсивности свечения как самостоятельно, так и во взаимодействии с СПА при проведении полевых испытаний в условиях двух контрастных по климатическим условиям регионов – Северо-Запада и Юга России.

Материалы и методы

Для проведения полевых работ по оценке аттрактивности разных видов приманок для имаго яблонной плодовой гнили использовали изготовленные ООО «ИЦ РИКСО» (<https://companium.ru/id/1037800125241-ic-rikso>) ловушки двух типов: (1) прозрачные Дельта с клеевыми вкладышами производства компании ООО «Феромон» (<https://pherotrap.ru/>) и (2) контейнерные воронкообразные Unitrap (Epsky et al., 2008) с желтого цвета верхней частью, зеленой крышкой и прозрачным основанием (рис. 1). Выбор столь контрастных по своим характеристикам ловушек был обусловлен тем обстоятельством, что в литературе обнаруживается крайне противоречивая информация по поводу того, какие конструкции ловушек наиболее эффективны для отлова имаго яблонной плодовой гнили (Vincent et

al., 1990; Vickers, Rothschild, 1991; Knight et al., 2002, 2014, 2022; Knight, Miliczky, 2003; Knight, Light, 2005; Knight, Fisher, 2006; Tasin et al., 2008; Myers et al., 2009; Knight, 2010b; McGhee et al., 2011; Barros-Parada et al., 2013; Hussain et al., 2015; Murray, Alston, 2020; Preti et al., 2021b; Frewin et al., 2022). В качестве СПА в ловушках использовали коммерческий продукт компании ООО «Феромон» – резиновые диспенсеры, пропитанные 1 мг кодлемона (действующее вещество транс, транс-8,10-додекадиенол). Оба типа ловушек были оснащены 6 аккумуляторными батареями АА 1.2 В емкостью 2200 мА/час, платой с двумя малоэнергетическими УФ светодиодами слабого свечения (пиковая мощность 3 Вт, рабочая мощность 2 Вт создает расчетный световой поток в УФ диапазоне 25–35 нм, в видимом



Рисунок 1. Используемые для отлова имаго яблонной плодовой гнили ловушки: Дельта (1) и воронкообразные контейнерного типа Unitrap (2)

Figure 1. Delta (1) and container funnel-shaped Unitrap (2) traps used for catching the codling moth adults

свете обеспечивается освещенность 2 лк), излучающими свет в противоположные друг от друга стороны, и платой с управляющим устройством в виде микроконтроллера Attiny 13A, которое позволяет автоматически переключать питание светодиодов в ловушке в зависимости от заданного уровня освещенности окружающей среды (Мильцын и др., 2020; Фролов и др., 2020). Известно, что для достижения высокой эффективности ловушек необходимо использовать излучатели, максимально аттрактивные для объекта отлова (Zhou et al., 2018). В этой связи в ловушках были установлены УФ светодиоды с длиной волны 365–370 нм, поскольку согласно сведениям литературы именно эта часть спектра в наибольшей степени привлекательна для имаго яблонной плодовой жужки (Жигальцева, Чернобровина, 1966; Приставко, 1969а; Приставко и др., 1975; Knight et al., 2023; Erler, Tosun, 2023). Важно отметить, что светодиоды хотя и были установлены в ловушках в непосредственной близости от места размещения феромонного диспенсера, прямое попадание светового излучения на него исключалось (Фролов и др., 2021). Данное обстоятельство обеспечивает корректность оценки ожидаемого эффекта интерактивности СПА и УФ излучения по привлекательности для насекомых при одновременном использовании обоих средств аттракции в одной и той же ловушке.

В окр. г. Санкт-Петербурга испытания ловушек проводили в яблонном саду (59°39'14" с. ш. и 30°24'11" в. д.) научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории» Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (далее ППЛ ВИР), расположенной в г. Павловске. Климат г. Павловска умеренный и влажный, переходный от морского к континентальному, продолжительность дня здесь меняется от 5 часов 51 минуты при зимнем солнцестоянии до 18 часов 50 минут при летнем солнцестоянии (Павловск, 2024). Сад, в котором осуществляли мониторинг яблонной плодовой жужки, представлял собой коллекцию генетических ресурсов яблони, насчитывающую более 500 сортообразцов отечественной и зарубежной селекции (Шлявас, 2017). Сад занимает площадь 12 га и имеет схему посадки деревьев 6×6 м²; здесь периодически проводятся междурядные обработки и подкормки минеральными удобрениями. Ловушки размещали в кроне деревьев на высоте около 1.5 м от поверхности земли в период бутонизации яблонь на расстоянии не ближе 20 м друг от друга, а также от границы сада. Автоматическое включение светодиодных излучателей в ловушках настраивали на уровень фактически наблюдавшейся освещенности в саду во время захода солнца, а выключение – на освещенность во время восхода солнца, которые ежегодно фиксировали перед началом проведения испытаний ловушек (начало июня). Такой способ настройки светодиодов в ловушках, реализованный в недавних работах по отлову имаго яблонной плодовой жужки с помощью светодиодов (Erler, Tosun, 2023; Knight et al., 2023), основывается на сведениях литературы о том, что лётная активность имаго яблонной плодовой жужки, в т. ч. на источники искусственного света, начинается либо незадолго перед, либо уже после захода солнца (Worthley, 1932; Zech, 1955; Жигальцева и др., 1964; Скиркявичюс, Тагьянскяйте, 1970а; Приставко, 1969б, 1971; Heikinheimo, 1971; Batiste et al., 1973с; Приставко, Черный, 1974; Castrovillo,

Cardé, 1979; Jarfas, Viola, 1981; Sæthre, Hofsvang, 2005). До попадания первых особей яблонной плодовой жужки в ловушки их инспектировали ежедневно, последующие учёты проводили дважды в неделю. Во время осмотра ловушек подсчитывали и удаляли пойманных имаго, причем значительную их часть размещали на ватных матрасиках в целях контроля достоверности идентификации видовой и половой принадлежности пойманных особей. Одновременно в ловушках с действующими в качестве приманки светодиодами меняли аккумуляторы на свежезаряженные. Замену клеевых вкладышей в ловушках Дельта осуществляли по мере их загрязнения, а феромонные диспенсеры меняли 1 раз в месяц. Тестировали следующие варианты приманок в ловушках: (1) светодиоды (Свет), (2) диспенсеры с СПА, (3) комбинацию диспенсера с СПА и светодиодов (СПА+Свет) и (4) отсутствие приманивающих средств в ловушке (Контроль). Отлов имаго яблонной плодовой жужки в саду осуществляли с начала июня и до конца августа в течение 4 полевых сезонов (2020–2023 гг.). Ловушки Дельта и/или Unitrap с 4 вариантами приманок ежегодно (кроме ловушек Дельта в 2020 г., когда в испытаниях не участвовал вариант с приманкой СПА+Свет), размещали в саду в виде 3 рендомизированных повторений.

Поскольку уже первые полученные в ходе проведения испытаний в окр. г. Санкт-Петербурга результаты (2020–2021 гг.) продемонстрировали крайне низкую аттрактивность для имаго яблонной плодовой жужки УФ светодиодов слабой интенсивности свечения, было принято решение провести аналогичные испытания ловушек с четырьмя указанными выше приманками в южной части ареала вредителя, где по данным литературы наблюдается весьма высокий уровень аттрактивности УФ излучения для вредителя, а именно газоразрядных ламп в окрестностях городов Тирасполя (Жигальцева и др., 1964; Жигальцева, Чернобровина, 1966), Киева, Запорожья, Одессы, Ялты (Приставко, 1969б, 1970б, 1971; Васильев, Приставко, 1970; Приставко, Черный, 1974; Приставко и др., 1976) и сверхярких светодиодов в окр. г. Краснодара (Исмаилов и др., 2012; Пачкин, Кремнева, 2019). Соответственно, испытания снабженных указанными выше 4 вариантами приманок (СПА, Свет, СПА+Свет и Контроль) двух конструкций ловушек (прозрачных клеевых Дельта и воронкообразных Unitrap) были проведены в Краснодарском крае на территории х. Слободка Славянского района (45°40'19.884" с. ш. и 37°49'0.84" в. д.). Место проведения испытаний территориально располагалось в Кубано-Приазовской низменности, в 62 км от районного центра г. Славянск-на-Кубани. Климат здесь умеренно континентальный, прилегающая к морю часть низменности разделена на множество ответвлений реки Кубань и на заболоченных участках обычны плавни (Кубано-Приазовская низменность, 2022), а продолжительность темных периодов суток в июне – августе меняется в относительно нешироком диапазоне (7.7–9.4 час) (Погода в Краснодарском крае по месяцам, 2024). Мониторинг яблонной плодовой жужки проводили в частном саду площадью 6.25 га, в котором произрастают яблони и груши со схемой посадки деревьев 2×2 м² и применяются все принятые в зоне рекомендации по уходу за фруктовыми деревьями, включая регулярные инсектицидные обработки против вредителей. Ловушки вывешивали в кроне яблонь на высоте около 1.5 м от поверхности земли, не

ближе 10 м от края садового участка и на расстоянии не менее 10 м друг от друга, в 5 рендомизированных повторениях. Мониторинг имаго яблонной плодовой гнили проводили в течение июня – августа 2023–2024 гг. в соответствии с описанной выше, примененной в окр. г. Санкт-Петербурга методикой.

Сборы имаго яблонной плодовой гнили в ловушки в окр. г. Санкт-Петербурга делили на две части, а именно (1) за период с начала лета имаго (начало – первая декада июня) до 09 июля и (2) с 10 июля до конца августа. Хотя официально периодом белых ночей в г. Санкт-Петербурге считается промежуток времени, когда Солнце опускается за линию горизонта не более чем на 7° , что происходит в период с 11 июня и до 02 июля (Белые ночи, 2024), при проведении границы между циклами белых и темных ночей мы руководствовались информацией, характеризующей соответствующие изменения в поведенческих реакциях такого же сумеречного, как и яблонная плодовая гниль (Zech, 1955; Приставка, 1971; Sæthre, Hofsvang, 2005) представителя Microlepidoptera, а именно капустной моли *Plutella xylostella* (L.) (Harcourt, 1954, 1957; Wang et al., 2021). По результатам отловов имаго последней светодиодами и феромонными ловушками в окр. С.-Петербурга в 2020 и 2021 гг. обнаружилось, что до 8–9 июля бабочки чаще привлекаются запахом СПА, а после – УФ излучением маломощных светодиодов слабого свечения (Захарова и др., 2022). Таким образом в качестве даты завершения периода белых ночей в регионе с точки зрения чешуекрылого насекомого с сумеречной активностью было выбрано 09 июля, когда уровень природной освещенности снижался до такого уровня, что слабое излучение светодиодов начинало превосходить по аттрактивности феромонный сигнал. Согласно расчетам, Солнце в С.-Петербурге 09 июля опускается под линию горизонта до 7.7° (здесь и далее расчеты производили с помощью онлайн-калькулятора “Azimuth and solar elevation angle”). Соответственно расчетной датой, с которой начиналось погружение Солнца на такую глубину (7.7°) оказывается 03 июня, так что сборы имаго яблонной плодовой гнили с этого числа и по 09 июля были

реализованы в тот период, когда большая часть ночей являла собой светлые гражданские сумерки (Розенберг, 1963). Во втором же интервале сборов (10 июля – конец августа) ночи становились гораздо темней, поскольку Солнце опускалось под линию горизонта на глубину от 7.8° до 21.5° . Во время проведения мониторинга яблонной плодовой гнили в Краснодарском крае в период с 01 июня по 25 августа Солнце погружалось под горизонт на 21.1° (21.06) – 33.8° (25.08) (расчеты выполнены для широты г. Краснодара), что обеспечивало на всем интервале учетных дат весьма низкий уровень естественной освещенности в темное время суток.

Перед проведением статистического анализа численности бабочек, пойманных каждой ловушкой за последовательно проведенные учеты, преобразовывали по формуле $(x + 0.5)^{0.5}$ (Roelofs, Cardé, 1977), после чего отловы пересчитывали за недельные сроки (Васильев, Приставка, 1970). В связи с тем, что значительная часть распределений насекомых, пойманных в ловушки с теми или иными приманками, существенно отличалась от нормального распределения согласно тесту Шапиро-Уилка, а их дисперсии не проходили тесты на однородность согласно критериям Левена и Кохрена при $P_\alpha = 0.05$, статистическую обработку данных отловов проводили с использованием непараметрических тестов, а именно Краскелла–Уоллеса и Уилкоксона. Значимость различий между средними при $P_\alpha \leq 0.05$ выявляли с использованием поправки Бонферрони на множественность сравнений. Эффекты взаимодействия аттрактивных свойств УФ излучения и СПА оценивали с помощью рекомендованного С. С. Савиловским (Sawilowsky, 1990) расширенного медианного теста Шумейкера (Shoemaker’s extended median test) (Shoemaker, 1986), который отличается высоким уровнем робастности при работе с данными, полученными из распределений с т. н. «толстыми хвостами» (Mohebbi, Shoemaker, 1990). При проведении статистических расчетов использовали программные продукты Statgraphics Centurion 19 и Tibco Statistica 14.

Результаты

Итоговые результаты отловов имаго яблонной плодовой гнили за 2020–2023 гг. в яблонном саду ППЛ ВИР (г. Павловск) ловушками, снабженными разными приманками, представлены в таблице 1. Всего за 4 года испытаний было поймано 2134 имаго вредителя. При этом подавляющее большинство выловленных на разные приманки имаго оказалось самцами: средние оценки доли самок в отловах варьировали от 0 (Свет, Контроль) и 1.5% (СПА) до 7.2% (СПА+Свет). Хотя согласно тесту Уилкоксона рост доли самок в отловах на СПА+Свет оказался высоко достоверным ($P_\alpha < 0.001$), учитывая абсолютное преобладание самцов в отловах на все тестируемые приманки, дальнейший статистический анализ эффектов аттрактивности проводили без учета половой принадлежности имаго. В итоге оказалось, что подавляющее большинство бабочек было поймано в ловушки с СПА (>43%) и СПА+Свет (>56%), тогда как на свет и в контроле за все время испытаний удалось отловить лишь единичных особей (по 0.2% в каждом из этих вариантов) (табл. 1).

Динамика отловов имаго яблонной плодовой гнили в 2020–2023 гг. в расчете на 1 ловушку, снабженную одной из трех потенциально аттрактивных приманок (СПА, Свет, СПА+Свет), представлена на рисунке 2. Эти материалы, как и содержащая сведения об отловах насекомых таблица 1, наглядно демонстрируют отсутствие, во-первых, какого-либо аттрактивного эффекта у УФ светодиодного излучения малой мощности, а, во-вторых, стабильно проявляющейся тенденции к росту уловистости ловушек в результате совместного использования в них СПА и светодиодных излучателей.

В таблице 2 представлены результаты статистического анализа аттрактивности разных приманок с использованием теста Краскелла–Уоллеса и поправки Бонферрони. Эти результаты убедительно свидетельствуют о высоко достоверных отличиях сборов насекомых на приманки СПА и СПА+Свет с одной стороны, и Свет и Контроль – с другой. При этом статистически значимых различий между отловами насекомых внутри обеих групп приманок (СПА vs СПА+Свет) и (Свет vs Контроль) выявить не удалось.

Таблица 1. Отловы имаго яблонной плодовой мушки ловушками двух типов (Дельта и Unitrap) на разные приманки в яблонном саду в окр. г. Санкт-Петербурга (ППЛ ВИР, г. Павловск, 2020-2023 гг.)

Ловушка	Год	Приманка											
		СПА			Свет			СПА+Свет			Контроль		
		самцы	самки	сумма	самцы	самки	сумма	самцы	самки	сумма	самцы	самки	сумма
Дельта	2020	320	0	320	3	0	3	–	–	–	0	0	0
	2022	140	4	144	0	0	0	162	26	188	2	0	2
	2020	65	0	65	2	0	2	148	10	158	0	0	0
Unitrap	2021	390	5	395	1	0	1	428	20	448	0	0	0
	2022	75	3	78	0	0	0	120	12	132	1	0	1
	2023	101	5	106	0	0	0	86	5	91	0	0	0
Итого за все годы		1091	17	1108	6	0	6	944	73	1017	3	0	3
Самки, %		1.5			0			7.2			0		
Всего отловлено, исключая сборы 2020 г. ловушками Дельта		788			3			1017			3		
В процентах		43.5			0.2			56.1			0.2		

Table 1. Capture of the codling moth adults by traps of two types (Delta and Unitrap) for various baits in an apple orchard in the vicinity of St. Petersburg (PPL VIR, 2020-2023)

	Year	Trap Bait											
		SSA			Light			SSA+Light			Control		
		males	females	sum	males	females	sum	males	females	sum	males	females	sum
Delta	2020	320	0	320	3	0	3	–	–	–	0	0	0
	2022	140	4	144	0	0	0	162	26	188	2	0	2
	2020	65	0	65	2	0	2	148	10	158	0	0	0
Unitrap	2021	390	5	395	1	0	1	428	20	448	0	0	0
	2022	75	3	78	0	0	0	120	12	132	1	0	1
	2023	101	5	106	0	0	0	86	5	91	0	0	0
Total for all years		1091	17	1108	6	0	6	944	73	1017	3	0	3
Females, %		1.5			0			7.2			0		
Total trapping, excluding caught with Delta traps in 2020		788			3			1017			3		
Percentage		43.5			0.2			56.1			0.2		

Данный вывод наглядно демонстрируют квантильные диаграммы аттрактивности разных приманок для имаго яблонной плодовой мушки (в расчете на 1 ловушку за 7 дней) (рис. 3). Кроме того, он согласуется с результатами расширенного медианного теста Шумейкера, свидетельствующими об отсутствии эффекта взаимодействия светодиодов и СПА по их аттрактивности для яблонной плодовой мушки ($\chi^2 = 0.54$, $df = 1$, $P_{\alpha} = 0.464$).

Принципиально важным представляется тот факт, что уловистость ловушек, снабженных разными приманками, весьма слабо варьировала внутри сезона, т. е. соотношение сборов насекомых ловушками с разными приманками сохранялось практически постоянным как во время белых, так и следующих за ними темных ночей (табл. 2).

Учитывая, что полученные в окр. г. Санкт-Петербурга результаты продемонстрировали уровень аттрактивности УФ излучения для имаго яблонной плодовой мушки на уровне контроля, т. е. практически полное отсутствие положительного фототаксиса, нами также были проведены испытания ловушек с четырьмя вариантами приманок (СПА, Свет, СПА+Свет, Контроль) в южной части ареала вредителя, откуда получено немало свидетельств высокой

привлекательности УФ излучения для имаго вредителя (Жигальцева и др., 1964; Жигальцева, Чернобровина, 1966; Приставко, 1969б, 1970б, 1971; Васильев, Приставко, 1970; Приставко, Черный, 1974; Приставко и др., 1976; Пачкин, Кремнева, 2019). Представленные в таблице 3 результаты испытаний, выполненных в течение двух лет в Славянском районе Краснодарского края, свидетельствуют о достаточно высокой аттрактивности УФ излучения маломощными светодиодами слабого свечения для имаго местной популяции яблонной плодовой мушки. При этом оказалось, что отловы насекомых были представлены здесь чуть ли не исключительно самцами (в использованной для оценки соотношения полов выборке из 286 имаго, пойманных на СПА, свет и СПА+свет, все особи оказались самцами).

Статистический анализ с использованием теста Краскелла-Уоллеса выявил ряд достоверных эффектов в отношении отлова имаго яблонной плодовой мушки на приманки СПА, Свет и СПА+Свет, которые в определенной степени оказались связанными с конструктивными особенностями ловушек (табл. 4). Этот вывод убедительно подтвердил медианный тест Шумейкера: высоко достоверный

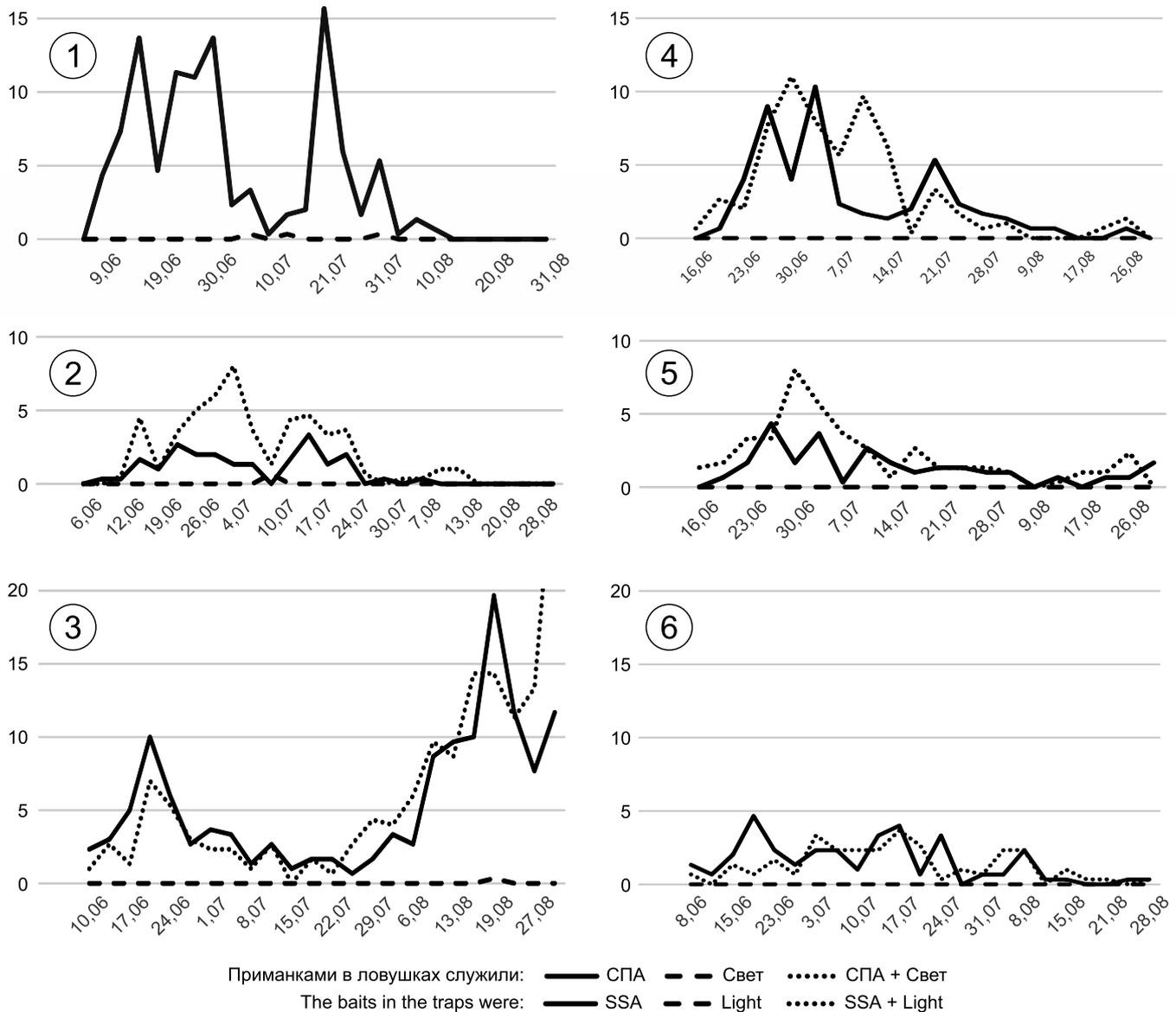


Рисунок 2. Динамика отлова имаго яблонной плодожорки в расчете на 1 ловушку в яблонном саду в окр. г. Санкт-Петербурга (ППЛ ВИР, г. Павловск) в 2020-2023 гг. Для отлова использовали в 2020 г. ловушки Дельта (1) и Unitrap (2), в 2021 г. – Unitrap (3), в 2022 г. – Дельта (4) и Unitrap (5), в 2023 г. – Unitrap (6)

Figure 2. Dynamics of the codling moth adults trapping (per 1 trap in an apple orchard in the vicinity of St. Petersburg, PPL VIR, Pavlovsk) in 2020-2023. Delta (1) and Unitrap (2) traps were used for trapping in 2020, Unitrap (3) in 2021, Delta (4) and Unitrap (5) in 2022, and Unitrap (6) in 2023

негативный эффект взаимодействия аттрактивностей светодиодов и СПА был доказан для сборов бабочек ловушками Дельта ($\chi^2 = 9.37$, $df = 1$, $P_{\alpha} = 0.002$), но не Unitrap ($\chi^2 = 0$, $df = 1$, $P_{\alpha} = 1.00$). Рассматривая сборы суммарно, можно видеть, что максимальные значения вылова имаго вредителя достигались ловушками с приманкой СПА, а сбор на УФ свет существенно превышал таковой в контроле и не обнаруживал значимых отличий от вылова насекомых на СПА+Свет, который в свою очередь уступал таковому на СПА (табл. 4). Соответственно, оценивая сборы насекомых ловушками обеих конструкций в единой совокупности, получаем высоко достоверный негативный эффект взаимодействия аттрактивностей светодиодов и СПА ($\chi^2 = 15.57$, $df = 1$, $P_{\alpha} = 0.00008$). Указанные закономерности

наглядно демонстрируют квантильные диаграммы отловов имаго яблонной плодожорки ловушками, снабженными разными приманками (рис. 4).

Таким образом, полученные в окр. г. Санкт-Петербурга и в Краснодарском крае результаты испытаний ловушек, снабженных одним и тем же набором приманок (СПА. Свет, СПА+Свет и Контроль), оказались существенно различными: в первом случае вылова имаго яблонной плодожорки УФ излучением вообще не отмечалось, тогда как во втором отлов на УФ свет происходил достаточно активно. При этом отсутствие реакции положительного фототаксиса у имаго вредителя в окр. г. Санкт-Петербурга наблюдалось не только во время белых ночей, но и в последующий период, т. е. эффект проявлялся на протяжении всего

Таблица 2. Средние оценки вылова имаго яблонной плодовой мушки за 1 неделю в периоды белых ночей (июнь – 09 июля), по их завершении (10 июля – конец августа) и в целом за сезон (июнь – август) в снабженные разными приманками ловушки в яблонном саду в окр. г. Санкт-Петербурга (ППЛ ВИР, г. Павловск, 2020-2023 гг.)

Период учетов	Приманка				Достоверность различий между приманками	
	СПА	Свет	СПА+Свет	Контроль	H [*])	P _α
В ловушках Unitrap						
Июнь – 09 июля	4.77 ± 1.09 b ^{**})	0 a	5.67 ± 1.14 b	0.02 ± 0.02 a	39.82	0.00000001
10 июля – конец августа	4.76 ± 1.60 b	0.03 ± 0.02 a	6.44 ± 2.05 b	0 a	36.82	0.00000005
Июнь – август	4.72 ± 1.31 b	0.02 ± 0.01 a	6.04 ± 1.36 b	0.01 ± 0.01 a	38.75	0.00000002
В ловушках Дельта						
Июнь – 09 июля	9.23 ± 3.61 b	0 a	11.46 ± 6.81 b	0 a	9.48	0.02
10 июля – конец августа	2.42 ± 1.07 b	0 a	3.43 ± 1.47 b	0.09 ± 0.09 a	9.18	0.03
Июнь – август	4.54 ± 1.86 b	0 a	5.93 ± 3.13 b	0.06 ± 0.06 a	9.07	0.03
В ловушках Unitrap и Дельта вместе						
Июнь – 09 июля	5.66 ± 1.14 b	0 a	6.83 ± 1.59 b	0.02 ± 0.02 a	50.01	0.0000000008
10 июля – конец августа	4.29 ± 1.31 b	0.03 ± 0.02 a	5.84 ± 1.67 b	0.02 ± 0.02 a	46.25	0.0000000005
Июнь – август	4.68 ± 1.09 b	0.02 ± 0.01 a	6.02 ± 1.20 b	0.02 ± 0.01 a	48.47	0.0000000002

^{*}) Тест Краскелла–Уоллеса; ^{**}) $\bar{X} \pm SE$, одинаковыми буквами снабжены значения, достоверно не отличающиеся при $P_{\alpha} \leq 0.05$ согласно процедуре Бонферрони.

Table 2. Mean estimates of the codling moth adult captures per 1 week during the periods of White Nights (June – July 09), at their completion (July 10 – the end of August) and totally for the season (June – August) by traps equipped with different baits in an apple orchard in the vic. of St. Petersburg (PPL VIR, Pavlovsk, 2020-2023)

The catch period	Bait				Significance of differences between baits	
	SSA	Light	SSA+Light	Control	H [*])	P _α
In Unitraps						
June – July 09	4.77 ± 1.09 b ^{**})	0 a	5.67 ± 1.14 b	0.02 ± 0.02 a	39.82	0.00000001
July 10 – end of August	4.76 ± 1.60 b	0.03 ± 0.02 a	6.44 ± 2.05 b	0 a	36.82	0.00000005
June – August	4.72 ± 1.31 b	0.02 ± 0.01 a	6.04 ± 1.36 b	0.01 ± 0.01 a	38.75	0.00000002
In Delta traps						
June – July 09	9.23 ± 3.61 b	0 a	11.46 ± 6.81 b	0 a	9.48	0.02
July 10 – end of August	2.42 ± 1.07 b	0 a	3.43 ± 1.47 b	0.09 ± 0.09 a	9.18	0.03
June – August	4.54 ± 1.86 b	0 a	5.93 ± 3.13 b	0.06 ± 0.06 a	9.07	0.03
In Unitraps and Delta traps together						
June – July 09	5.66 ± 1.14 b	0 a	6.83 ± 1.59 b	0.02 ± 0.02 a	50.01	0.0000000008
July 10 – end of August	4.29 ± 1.31 b	0.03 ± 0.02 a	5.84 ± 1.67 b	0.02 ± 0.02 a	46.25	0.0000000005
June – August	4.68 ± 1.09 b	0.02 ± 0.01 a	6.02 ± 1.20 b	0.02 ± 0.01 a	48.47	0.0000000002

^{*}) The Kruskal–Wallis test; ^{**}) $\bar{X} \pm SE$, the same letters are provided with values that do not significantly differ at $P_{\alpha} \leq 0.05$ according to the Bonferroni procedure.

сезона, вне зависимости от глубины погружения Солнца под линию горизонта и, соответственно, вариации природной освещенности в темное время суток. С другой стороны, полученные в обоих пунктах испытаний результаты характеризуются определенным сходством в реакциях имаго яблонной плодовой мушки на совместное действие светового и феромонного сигналов, которое не обнаружило

аддитивности эффектов аттрактивности, не говоря уже о синергетичности. При этом некоторое увеличение отлова имаго вредителя на СПА+Свет по сравнению с СПА в окр. г. Санкт-Петербурга можно хотя бы отчасти связать с небольшим, но высоко достоверным приростом доли самок в отловах на эту приманку. В условиях же Краснодарского края аналогичного эффекта выявлено не было, здесь

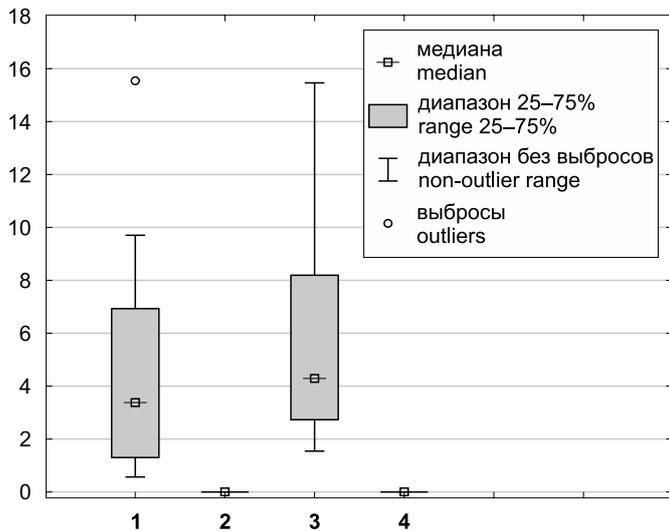


Рисунок 3. Квантильные диаграммы отлова имаго яблонной плодовой жорки в расчете на 1 ловушку (Unitrap и Дельта совокупно) за 7 дней учетов в течение всего сезона (июнь – август) на разные приманки (окр. С.-Петербурга, Павловск, ППЛ ВИР, 2020-2023 гг.). По оси абсцисс – приманки (1 – СПА, 2 – Свет, 3 – СПА+Свет, 4 – Контроль), по оси ординат – отловы имаго за неделю

Figure 3. Box-and-whisker diagrams of the codling moth adult captures per 1 trap (Unitrap and Delta combined) for 7 days of accountings throughout the season (June – August) using different baits (St. Petersburg, Pavlovsk, PPL VIR, 2022-2023). X axis: baits (1 – SSA, 2 – Light, 3 – SSA + Light, 4 – Control), Y axis: adult catches per 1 week

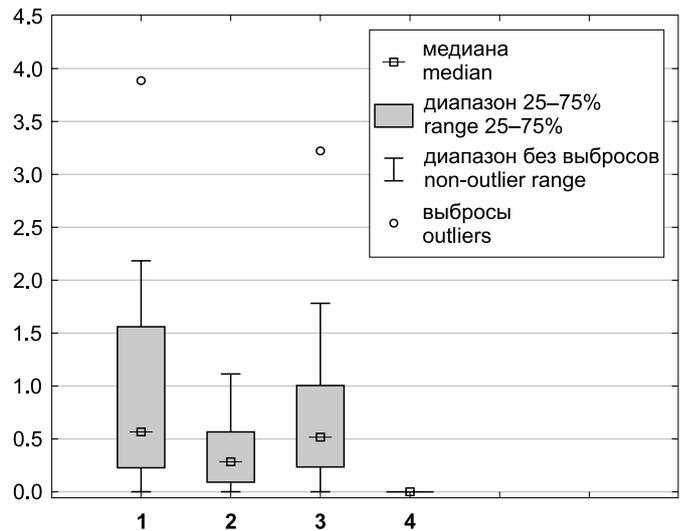


Рисунок 4. Квантильные диаграммы отлова имаго яблонной плодовой жорки в расчете на 1 ловушку (Unitrap и Дельта совокупно) за 7 дней учетов (июнь – август) на разные приманки (частный яблонно-грушевый сад, х. Слободка Краснодарского края, 2022-2023 гг.). По оси абсцисс – приманки (1 – СПА, 2 – Свет, 3 – СПА+Свет, 4 – Контроль), по оси ординат – отловы имаго за неделю

Figure 4. Box-and-whisker diagrams of the codling moth adult captures per 1 trap (Unitrap and Delta combined) for 7 days of accountings (June – August) using different baits (farmstead Slobodka, Krasnodar Territory, private apple and pear orchard, 2022-2023). X axis: baits (1 – SSA, 2 – Light, 3 – SSA + Light, 4 – Control), Y axis: adult catches per 1 week

Таблица 3. Количество отловленных имаго яблонной плодовой жорки ловушками двух типов (Дельта и Unitrap), снабженных разными приманками (частный яблонно-грушевый сад, х. Слободка Краснодарского края, 2022-2023 гг.)

Ловушка	Год	Приманка			
		СПА	Свет	СПА+Свет	Контроль
Дельта	2022	19	34	28	0
	2023	88	8	25	0
Unitrap	2022	57	17	69	0
	2023	29	9	12	1
Итого		193	68	134	1
В процентах		48.7	17.2	33.8	0.2

Table 3. The numbers of captured adults of the codling moth by traps of two types (Delta and Unitrap) equipped with different baits (private apple and pear orchard, farmstead Slobodka, Krasnodar Territory, 2022-2023)

Trap	Year	Bait			
		SSA	Light	SSA+Light	Control
Delta	2022	19	34	28	0
	2023	88	8	25	0
Unitrap	2022	57	17	69	0
	2023	29	9	12	1
Total		193	68	134	1
Percentage		48.7	17.2	33.8	0.2

наоборот взаимодействие аттрактивных свойств приманок СПА и Свет обнаруживало даже достоверную склонность к антагонизму.

И, наконец, выполненные нами наблюдения свидетельствуют о том, что размещение снабженных маломощными УФ светодиодами ловушек в местах обитания яблонной плодовой жорки, как целевого объекта мониторинга, в целом позволяет минимизировать негативное их воздействие на полезную энтомофауну (рис. 5). Прежде всего, сборы особей нецелевых видов в установленные в яблонном саду в г. Павловске ловушки варьировали во время белых ночей в зависимости от приманки (СПА, Свет, СПА+Свет или Контроль) весьма незначительно, однако в дальнейшем отловы нецелевых объектов в ловушках с приманкой Свет обнаружили некоторую тенденцию к росту. В целом же среди нецелевых энтомологических объектов доминировали представители отрядов Lepidoptera и Diptera, порой встречались особи из отряда Hymenoptera (рис. 5), и гораздо реже – Trichoptera.

Таблица 4. Средние оценки отлова за 1 неделю имаго яблонной плодовой жорки в снабженные разными приманками ловушки Дельта и Unitrap (частный яблонно-грушевый сад, х. Слободка Краснодарского края, 2022-2023 гг.)

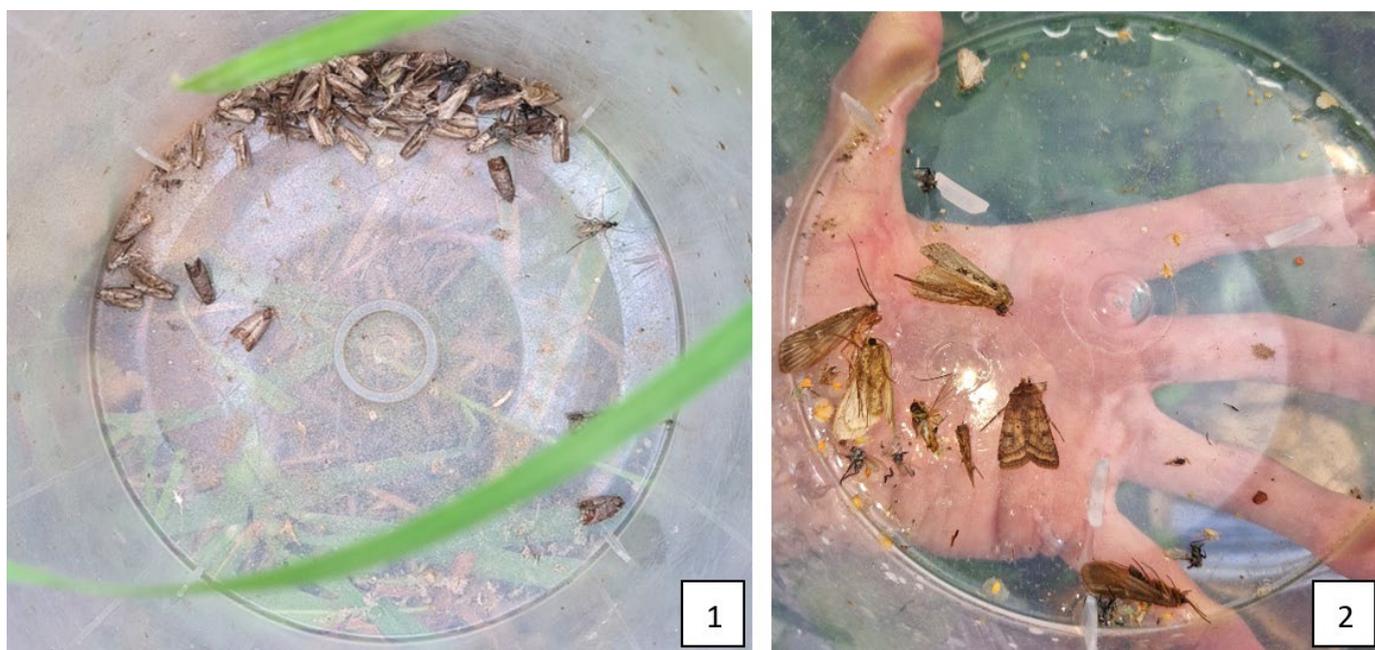
СПА	Приманка			Достоверность различий между приманками	
	Свет	СПА+Свет	Контроль	H [*])	p _α
В ловушках Unitrap					
0.91 ± 0.36 b ^{**})	0.27 ± 0.08 ab	0.88 ± 0.31 b	0.01 ± 0.01 a	21.19	0.0001
В ловушках Дельта					
1.04 ± 0.28 c	0.45 ± 0.14 b	0.55 ± 0.14 b	0 a	16.15	0.001
В ловушках Unitrap и Дельта вместе					
0.98 ± 0.22 c	0.36 ± 0.08 b	0.71 ± 0.17 bc	0.01 ± 0.004 a	36.99	0.00000005

*⁾ Тест Краскелла–Уоллеса; **⁾ $\bar{X} \pm SE$, одинаковыми буквами снабжены значения, достоверно не отличающиеся при $P_{\alpha} \leq 0.05$ согласно процедуре Бонферрони.

Table 4. Mean estimates of the codling moth adult captures per 1 week by Delta and Unitrap traps equipped with different baits (private apple and pear orchard, farmstead Slobodka, Krasnodar Territory, 2022-2023)

SSA	Bait			Significance of differences between baits	
	Light	SSA+Light	Control	H [*])	p _α
In Unitraps					
0.91 ± 0.36 b ^{**})	0.27 ± 0.08 ab	0.88 ± 0.31 b	0.01 ± 0.01 a	21.19	0.0001
In Delta traps					
1.04 ± 0.28 c	0.45 ± 0.14 b	0.55 ± 0.14 b	0 a	16.15	0.001
In Unitraps and Delta traps together					
0.98 ± 0.22 c	0.36 ± 0.08 b	0.71 ± 0.17 bc	0.01 ± 0.004 a	36.99	0.00000005

*⁾ The Kruskal–Wallis test; **⁾ $\bar{X} \pm SE$, the same letters are provided with values that do not significantly differ at $P_{\alpha} \leq 0.05$ according to the Bonferroni procedure.

**Рисунок 5.** Пример отлова насекомых ловушкой Unitrap в окр. С.-Петербурга (г. Павловск, ППЛ ВИР) по завершении периода белых ночей. Приманки: 1 – СПА+Свет, 2 – Свет**Figure 5.** An example of catching insects with a Unitrap in the vic. of St. Petersburg (Pavlovsk, PPL VIR) at the end of the White Nights period. Baits: 1 – SSA+Light, 2 – Light

Обсуждение

Изучение лёта имаго яблонной плодовой жорки на источнике искусственного освещения имеет давнюю историю. В самой первой из посвященных данному вопросу публикаций сообщалось, что свет керосиновой светоловушки не привлекает бабочек вредителя (Slingerland, 1902) и долгое

время отсутствие положительного фототаксиса у имаго этого вида принималось в качестве безусловно доказанного факта. Однако в конце 20-х годов прошлого века появились сообщения о том, что источники искусственного освещения все-таки способны оказывать аттрактивное

действие на бабочек вредителя (Parrott, 1927; Yothers, 1928; Peterson, Haeussler, 1928; Herms, 1929), хотя и более слабое в сравнении с другими видами чешуекрылых (Putman, 1963).

Уместно заметить, что светоизлучающая техника в ловушках для насекомых прошла долгий путь развития, который, согласно Г. Н. Горностаеву (1984), включал, как минимум, три этапа: 1) доэлектрический период (1870–1920), 2) лампы накаливания (1920–1950), 3) ртутно-кварцевые лампы (с 1950 г.), причем последние для отлова яблонной плодовой плодовой начали использоваться значительно раньше обозначенной этим автором даты. Современный же этап в развитии светоловушек, который пришел на смену газоразрядным (т. е. ртутно-кварцевым и люминесцентным) лампам, начался в конце прошлого – начале текущего столетия (Kim et al., 2019; Frolov, 2022), когда в литературе стали все чаще и чаще появляться описания конструкций, характерной особенностью которых становилось использование светодиодных излучателей (Burkett et al., 1998; Chu et al., 2003, 2004; Chen et al., 2004; Nakamoto, Kuba, 2004).

Все средства, привлекающие имаго яблонной плодовой, принято подразделять на три категории: пищевые приманки, световые излучения и феромонные продукты (Madsen, 1967). Уже на раннем этапе эксплуатации газоразрядных ламп было установлено, что светоловушки характеризуются значительно большей уловистостью в сравнении с пищевыми приманками (Parrott, Collins, 1934). Поэтому до выявления точного состава полового феромона и начала синтеза СПА яблонной плодовой плодовой светоловушками очень широко пользовались при осуществлении мониторинга вредителя (Groves, 1955; Geier, 1960; Madsen, Sanborn, 1962; Barnes et al., 1965; Приставка, 1969а, 1970а; Приставка, Ерищян, 1970; Васильев, Приставка, 1970; Naton, 1972). Кроме того, световые излучатели неоднократно пытались приспособить и для проведения мероприятий по борьбе с яблонной плодовой плодовой (Herms, 1929, 1932; Marshall, Hinton, 1935; Parrott, Collins, 1935; Eyer, 1937; Patterson, 1937; Hamilton, Steiner, 1939; Collins, Machado, 1943; Жигальцева и др., 1964; Жигальцева, Чернобровина, 1966). Хотя поврежденность плодов с деревьев, защищенных с помощью света, значительно снижалась в сравнении с контролем, этого обстоятельства оказалось недостаточно, чтобы признать такой способ защиты урожая эффективным, в т. ч. из-за высокой стоимости применения и обслуживания световых излучателей, весьма ограниченной зоны их привлекающего действия на имаго вредителя и существенного, как правило, преобладания самцов среди отловленных особей над самками (Patterson, 1937; Herms, 1947; Putman, 1963; Madsen, 1967; Приставка, 1970б). При этом, впрочем, в модельных экспериментах с использованием живых самок в качестве источника полового феромона удалось продемонстрировать, что привлечение самцов вредителя комбинацией феромонного сигнала и светового излучения вполне может оказаться эффективным средством борьбы с вредителем (Приставка, 1970в).

После того, как в начале 70-х годов прошлого века была идентифицирована химическая структура полового феромона яблонной плодовой плодовой и разработан синтез СПА (Roelofs et al., 1971; Descoins, Henrick, 1972; Comeau,

Roelofs, 1973; Beroza et al., 1974; McDonough, Moffitt, 1974; Mori, 1974), интерес к использованию светоловушек в защите сада от вредителя быстро угас и их место заняли феромонные продукты (Madsen, Vakenti, 1973; Batiste et al., 1973а; Butt et al., 1974; Riedl, Croft, 1974; Madsen et al., 1976; Maitlen et al., 1976; Westigard, Graves, 1976; Culver, Barnes, 1977; McNally, Barnes, 1980; Riedl, 1980; Приставка, Жуков, 1991). Лишь совсем недавно в связи с повсеместным переходом на светодиодную технику (Flesch, 2006; Mottier, 2010; Schubert, 2018) энтузиазм в отношении применения светоловушек для борьбы с яблонной плодовой плодовой вновь возродился (Erler, Tosun, 2023; Knight et al., 2023). Причиной тому стал целый ряд преимуществ у светодиодных излучателей в сравнении с газоразрядными лампами, в т. ч. значительно более долгий срок службы, низкое энергопотребление, более высокая световая отдача, возможность выбора цветовой температуры, компактность, слабый нагрев, устойчивость к механическим повреждениям, низкие расходы на техническое обслуживание (Folta et al., 2005; Bourget, 2008; Bessho, Shimizu, 2012; Коротченко, 2014; Bantis et al., 2018). Но главное, что при этом светодиоды оказались способны обеспечить большие сборы насекомых в сравнении с ловушками с иными источниками светового излучения (Cohnstaedt et al., 2008; Brehm, 2017; Infusino et al., 2017; Lee et al., 2024; van Deijk et al., 2024), в связи с чем светодиодная техника стала также рассматриваться в качестве средства контроля численности вредителей (Shimoda, Honda, 2013; Park, Lee, 2017; Kim et al., 2019; Frolov, 2022; Ahirwar et al., 2023).

Уже на ранних этапах применения световых ловушек было установлено, что аттрактивность света для имаго яблонной плодовой плодовой в целом растет с увеличением мощности источника освещения (Yothers, 1928; Parrott, Collins, 1935; Hamilton, Steiner, 1939), хотя спектральный состав излучения оказывает на вылов насекомого намного более сильное воздействие (Putman, 1963; Madsen, 1967; Приставка, 1969а). Так, сначала было обнаружено, что бабочки этого вида отдают предпочтение лучам синей и фиолетовой частей спектра (Peterson, Haeussler, 1928; Parrott, Collins, 1934), а затем после широкого тестирования различных источников света было показано, что для яблонной плодовой плодовой весьма привлекательны УФ газоразрядные излучатели, обеспечивающие световой поток диапазона 300–700 нм в видимой области при длине волны от 250 до 700 нм (Herms, 1929; Parrott, Collins, 1935; Eyer, 1937; Collins, Machado, 1943; Жигальцева и др., 1964; Жигальцева, Чернобровина, 1966; Madsen, 1967; Приставка, 1969а, б; Васильев, Приставка 1970). В использованных нами конструкциях ловушек были установлены маломощные светодиоды, обеспечивающие почти на 2 порядка меньший уровень УФ излучения. Учитывая данное обстоятельство, вполне ожидаемо было получить существенно более низкие в количественном отношении отловы имаго яблонной плодовой плодовой в сравнении с ловушками, снабженными гораздо более мощными лампами. С другой стороны, использование источников света с низким энергопотреблением значительно удешевляет производство и обслуживание ловушек, однако преимущество их этим обстоятельством не исчерпывается. Благодаря своей компактности такие ловушки легко размещаются в местах обитания объектов мониторинга, что, как известно,

делает их гораздо менее опасными для нецелевой энтомофауны (Niermann, Brehm, 2022). Этот вывод был успешно подтвержден результатами мониторинга численности кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis* (Hbn.) (Грушевая и др., 2019; Frolov et al., 2020; Фролов и др., 2021) и капустной моли (Захарова и др., 2022) ловушками, снабженными маломощными светодиодами, при их размещении в глубине посева/посадки сельскохозяйственной культуры на расстоянии не ближе 15 м от края поля, причем в последнем случае этими ловушками оперировали именно в окр. г. Санкт-Петербурга.

Факторам, влияющим на интенсивность лёта имаго яблонной плодовой моли, посвящен очень широкий круг исследований, проведенных в самых разных экологических условиях и с использованием разнообразных методических приемов. Полученные очень многими авторами результаты позволили установить, что ключевыми факторами, влияющими на поведенческую активность имаго яблонной плодовой моли, являются суточная ритмика насекомых, температура воздуха и естественная освещенность, в т. ч. отраженный от Луны свет, а кроме того скорость ветра, и в несколько меньшей степени относительная влажность воздуха и осадки (Collins, Nixon, 1930; Borden, 1931; Headlee, 1932; Worthley, 1932; Collins, 1934; Eyer, 1934, 1937; Cutright, 1937; Patterson, 1937; Collins, Machado, 1943; Zech, 1955; Parker, 1959; Putman, 1963; Лейватегия, 1963; Жигальцева и др., 1964; Жигальцева, Чернобровина, 1966; Приставко, 1969а, б; Васильев, Приставко, 1970; Скиржавичюс, Татьянскяйте, 1970а, б; Приставко, 1971; Batiste et al., 1973b, с; Приставко, Черный, 1974; Приставко и др., 1976; Castrovillo, Cardé, 1979; Riedl, Loher, 1980; Song, Riedl, 1985; Король, 1985; Sæthre, Hofsvang, 2005). Что касается периодичности лётной активности имаго яблонной плодовой моли, то она чаще всего оказывалась приуроченной к началу вечерних сумерек, т. е. лёт бабочек обычно начинается незадолго перед или же сразу после захода солнца, а с наступлением ночной темноты нередко значительно снижается. При этом, однако, было показано, что суточная динамика лёта бабочек способна очень сильно меняться в зависимости от условий обитания насекомых (Worthley, 1932; Eyer, 1937; Hamilton, Steiner, 1939; Zech, 1955; Жигальцева и др., 1964; Приставко, 1969а; Васильев, Приставко, 1970; Batiste, 1970; Wong et al., 1971; Приставко, Черный, 1974; Mani et al., 1974; Приставко и др., 1976; Keil et al., 2001a). Хотя отловы на свет дают несколько искаженную картину природного ритма активности насекомых из-за того, что привлекающее действие света в ловушке обнаруживает отрицательную связь с уровнем естественной освещенности (Madsen, 1967; Приставко, 1971; Приставко, Черный, 1974; Приставко, Жуков, 1991), не вызывает сомнений вывод о том, что приуроченность лётной активности яблонной плодовой моли к вечерним сумеркам является характерной чертой этого вида (Hutchins, 1940; Чернышев, 1961).

Общеизвестно, что сумерки именуют интервал времени, когда Солнце уже скрылось за линией горизонта, но все еще частично освещает небо благодаря рассеиванию света в атмосфере Земли. В зависимости от угла погружения солнечного диска под горизонтом различают три стадии вечерних сумерек, различающихся уровнем создаваемой в природе освещенности: гражданские, навигационные или

морские и астрономические. Нижнюю границу гражданских сумерек связывают с глубиной погружения Солнца под горизонт от 6 до 8°, причем гораздо чаще упоминается первая цифра (Розенберг, 1963). Во время гражданских сумерек освещенность сохраняется на максимальном уровне, благодаря чему людям для выполнения любых работ в этот период, включая чтение, не требуется дополнительного освещения, которое приходится включать при наступлении навигационных сумерек, во время которых на небе уже видно гораздо больше звезд, позволяющих определить свое местонахождение. В качестве границ навигационных сумерек обычно принимают углы погружения Солнца под горизонт 6° и 12°, а к моменту их завершения людям удается различить лишь линию горизонта. И, наконец, навигационные сумерки сменяются астрономическими, которые продолжаются вплоть до погружения Солнца под горизонт на 18°. В этот период условия освещения уже практически не отличаются от ночных и на небе видны все звезды, просто чуть более светлое небо препятствует астрономическим наблюдениям. Хотя природная освещенность в сумерках варьирует в зависимости от самых разных факторов (Koomen et al., 1952; Dave, Ramanathan, 1956; Nielsen, 1963; Hughes, 1964; Moore, Schilling, 1968; Roach, Gordon, 1973), в среднем уровни освещенности, соответствующие границам между стадиями сумерек, оцениваются 2.5 лк при погружении Солнца под горизонт на 6°, $6 \cdot 10^{-3}$ лк – на 12° и $6 \cdot 10^{-4}$ лк – на 18° (Розенберг, 1963).

Летом в условиях высоких широт вечерние гражданские сумерки могут переходить в утренние напрямую или же через заход на короткое время в стадию навигационных сумерек. Такое явление, когда вся, или же почти вся ночь состоит из гражданских сумерек, принято называть белыми ночами (Белые ночи, 2024). Хотя астрономически точного определения этого понятия не существует (Розенберг, 1963), считается, что белые ночи наблюдаются в Северном полушарии к северу от 59.5° с. ш., когда Солнце опускается под горизонт не ниже 7° (Белые ночи – словарь онлайн, 2024). Санкт-Петербург – самый северный из числа крупнейших городов мира, где белые ночи официально отмечают с 11 июня по 2 июля (Белые ночи, 2024). Учитывая, что границей гражданских сумерек некоторые авторы считают погруженность Солнца под горизонт до 8° (Розенберг, 1963), то при следовании такой точке зрения период белых ночей в С.-Петербурге будет иметь диапазон дат между 1 июня и 11 июля (расчеты выполнены на онлайн-калькуляторе “Azimuth and solar elevation angle”). Впрочем, в литературе можно обнаружить и гораздо более радикальные мнения, несомненно имеющие коммерческую подоплеку, а именно, что началом периода белых ночей в С.-Петербурге является 25–26 мая, а окончанием – 16–17 июля (Паршина, 2009; Белые ночи, 2024). В этом случае датировка белых ночей базируется на глубине погружения Солнца под горизонт до 9°, что, естественно, уже выходит за рамки разумных трактовок границ гражданских сумерек.

Так или иначе, описанные в литературе фазы вечерних сумерек основаны на перцепции окружающего мира человеком, тогда как в случае яблонной плодовой моли, очевидно, следует использовать подход, который бы соответствовал ощущениям насекомых, воспринимающих окружающую действительность совершенно не так, как люди (Глухов,

2013). Очевидно, что наметить границы между стадиями вечерних сумерек в том виде, как их воспринимает насекомое, вполне возможно, если провести серию наблюдений за ответными реакциями на высоко аттрактивные стимулы – как визуальные, так и ольфакторные в диапазоне постепенных изменений освещенности природной среды от светлых сумерек к темным. Ранее, в разделе «Материал и методы» данной статьи сообщалось, что в окр. г. Санкт-Петербурга до 8–9 июля имаго капустной моли чаще привлекались запахом СПА, а после – излучением УФ светодиодов слабой мощности (Захарова и др., 2022). Соответственно, вполне логичным было решение принять 9 июля в качестве даты завершения периода белых ночей с точки зрения бабочки, проявляющей сумеречную активность. С помощью онлайн-калькулятора “Azimuth and solar elevation angle” было определено, что в эту дату Солнце погружается под линию горизонта на глубину 7.7° , а датой, которой отмечается начало погружения Солнца на такую глубину, оказывается 03 июня. Иными словами, промежуток дат между 03 июня и 09 июля вполне подходит для того, чтобы его трактовать в качестве периода белых ночей с точки зрения сумеречного вида чешуекрылых.

Помимо Санкт-Петербурга, получившего символическое наименование «города белых ночей», данный природный феномен обнаруживается также на огромной территории России к северу от 59.5° с. ш., причем чем ближе к полярному кругу, тем период белых ночей становится продолжительнее (Лазаревич, 2006). За пределами России белые ночи наблюдаются также в Финляндии и на большей части территорий Швеции, Норвегии и Дании (Белые ночи, 2024).

Особенности проявления фототаксиса у насекомых в условиях белых ночей освещены в литературе очень слабо. Так, хотя фауна чешуекрылых Санкт-Петербурга и Ленинградской области, в т. ч. сем. Tortricidae, изучена очень неплохо (Фалькович, 1962; Державец и др., 1986; Львовский и др., 1994; Tsvetkov, 2006), нам неизвестны публикации, которые были бы посвящены детальному обсуждению особенностей сбора Lepidoptera, как, впрочем, и представителей других отрядов насекомых на свет во время белых ночей. Лишь в отдельных работах и только по избранным таксономическим группам чешуекрылых (Матов и др., 2005, 2017) можно найти упоминания об отлове на свет тех или иных видов бабочек. Учитывая, что в Финляндии уже много лет поддерживается разветвленная сеть светоловушек, обеспечивающих мониторинг насекомых (Väisänen, 1993; Leinonen et al., 2016), не вызывает удивления то обстоятельство, что работы, посвященные фототаксису насекомых в период белых ночей, выполнены почти исключительно в этой стране (Mikkola, 1972; Blomberg et al. 1976, 1978). Полученные здесь с помощью газоразрядных ламп результаты однозначно свидетельствуют о том, что в этот период сборы чешуекрылых на свет значительно снижаются в сравнении со следующими за белыми темными ночами, хотя до нулевой отметки все же не опускаются (Leinonen et al., 1998).

Яблонная плодовая жорка широко распространена на севере Европы, в т. ч. в Финляндии (Heikinheimo, 1971), Швеции (Subinprasert, 1987; Witzgall et al., 1999) и Норвегии (Sæthre, Edland, 2001; Hatteland et al., 2023), причем ожидается, что в условиях потепления климата вредная

деятельность этого насекомого будет здесь нарастать (Rafoss, Sæthre, 2003). Выполненные в Финляндии работы по мониторингу насекомых с помощью газоразрядных (в первую очередь люминесцентных) ламп показали, что имаго яблонной плодовой жорки в условиях белых ночей прилетают на свет гораздо слабее многих других видов чешуекрылых (Heikinheimo, 1971). Этот результат отлично согласуется с полученными нами данными. Действительно, в то время как в окрестностях г. Санкт-Петербурга примененные нами светодиодные ловушки в отличие от СПА совсем не привлекали имаго яблонной плодовой жорки, они достаточно активно отлавливали имаго капустной моли, правда во время белых ночей отлов последних на свет осуществлялся менее интенсивно, чем на СПА, однако в последующий период темных ночей ситуация менялась на противоположную (Захарова и др., 2022). Далее, проведенные в Финляндии исследования продемонстрировали, что и мощные газоразрядные лампы становятся практически неэффективными в отношении отлова яблонной плодовой жорки севернее 61° с. ш., причем не только из-за высокого уровня естественной освещенности, но и потому, что летная активность насекомого серьезно тормозится из-за падения температур воздуха ночью (Heikinheimo, 1971).

Выводы о широкой экологической пластичности (Шельдешова, 1967) и выдающейся способности яблонной плодовой жорки адаптироваться к локальным условиям окружающей среды (Riedl, Croft, 1978; Meraner et al., 2008; Rajac et al., 2011) основаны на результатах очень большого числа исследований, посвященных оценке эволюционного потенциала этого вида. Прежде всего многочисленными экспериментами и наблюдениями, главным образом с использованием метода выпуска и повторного вылова меченых имаго, было установлено, что большая часть особей в популяции вредителя ведет оседлый образ жизни, перемещаясь на сравнительно короткие расстояния в пределах 50–80 м (Siegler, Plank, 1921; Worthley, 1932; Van Leeuwen, 1940; Steiner, 1940; Wildbolz, Baggolini, 1959; Geier, 1963; Приставка, 1971; White et al., 1973). Этот вывод был позже убедительно подтвержден результатами анализа генетической структуры популяций яблонной плодовой жорки по модельным локусам (Franck et al., 2011; Margaritopoulos et al., 2012). С другой стороны, было показано, что некоторая, как правило, весьма небольшая часть популяции способна совершать перелеты на гораздо большие расстояния (Borden, 1931; Steiner, 1940; Howell, Clift, 1974; Voigt, 1999) вплоть до 8–11 км (Mani, Wildbolz, 1977; Schumacher et al., 1997b). При этом оказалось, что склонность к миграциям у яблонной плодовой жорки наследственно обусловлена, а ее проявление контролируется компромиссом затрат энергии на мобильность и жизнеспособность (Schumacher et al., 1997a; Keil et al., 2001b; Gu et al., 2006). Что касается изучения генетической структуры популяций вредителя, то ее исследовали достаточно подробно с использованием самых разных методов: анализа аллозимов (Pashley, Bush, 1979; Vuès, Toubon, 1992; Vuès et al., 1995), митохондриальной ДНК (Meraner et al., 2008; Li et al., 2015; Kuyulu, Genç, 2020), случайной амплификации полиморфной ДНК (RAPD) (Khaghaninia et al., 2011; Zada et al., 2019), полиморфизма длин амплифицированных фрагментов (Timm et al., 2006; Thaler et al., 2008), вариации микросателлитных маркеров (Franck et al., 2007; Fuentes-Contreras et al., 2008;

Chen, Dorn, 2010; Gund et al., 2012; Voudouris et al., 2012; Men et al., 2013; Shi et al., 2013; Basoalto et al., 2020; Cichón et al., 2021; Dolatti, Hossienpour, 2021) и мононуклеотидного полиморфизма (SNP) (Balaško et al., 2022). Так, по результатам изучения структуры ряда локусов митохондриальной ДНК были получены доказательства сложной эволюционной судьбы яблонной плодовой гни, оказавшейся, видимо, в эпоху плейстоцена разделенной на две географически изолированные клады, которые затем вступили во вторичный контакт. С началом одомашнивания яблони в голоцене яблонная плодовая гни широко расселилась по планете, причем первоначально пространственно разделенные гаплотипы оказались полностью перемешанными, что безусловно способствовало значительному ускорению микроэволюционных процессов (Meraner et al., 2008; Thaler et al., 2008). Таким образом на глобальном уровне в ареале сохраняется значительная однородность популяционной структуры вредителя (Franck et al. 2007; Fuentes-Contreras et al., 2008; Gund et al., 2012; Voudouris et al., 2012; Balaško et al., 2022; Basoalto et al., 2020), обеспечивающая генетическое единство вида, чему помимо естественного расселения насекомых (Timm et al. 2006) способствует пассивное их распространение как в результате местной хозяйственной деятельности, так и благодаря межрегиональным экономическим связям (Fuentes-Contreras et al., 2008; Franck et al. 2007; Li et al., 2015; Cichón et al., 2021). С другой стороны накоплены многочисленные свидетельства проявления существенной генетической дифференциации занимающих соседние территории популяций (Timm et al., 2006; Chen, Dorn, 2010; Zada et al., 2019; Cichón et al., 2021), которая обеспечивает приспособленность к локальным условиям и которая способна очень быстро формироваться и прогрессировать (Franck, Timm, 2010; Men et al., 2013; Cichón et al., 2021).

Несмотря на то, что одним из наиболее мощных факторов отбора в популяциях яблонной плодовой гни стал инсектицидный пресс (Boivin et al., 2004; Thaler et al., 2008; Franck et al., 2007; Franck, Timm, 2010), основными факторами, обуславливающими эволюционные изменения в популяциях яблонной плодовой гни, безусловно остаются географические, климатические и экологические условия, в которых обитают насекомые, а ограниченность обмена генами между соседними популяциями существенно ускоряет процесс фиксации генных частот (Thaler et al., 2008; Franck, Timm, 2010). Что касается условий окружающей среды, порождающих адаптивные изменения в популяциях яблонной плодовой гни, то еще Г. Г. Шельдешовой (1965, 1967) было установлено, что таковые генерируются в результате приспособления насекомых к сезонному ритму климата и периодичности плодоношения яблони, причем свидетельства справедливости этого вывода продолжают накапливаться и поныне (Riedl, Croft, 1978; Riedl, 1983; Черный, 1981; Сароян, 1991; Azizyan et al., 2002; Rafoss, Sæthre, 2003). Более того, оказалось, что в локальных популяциях вредителя могут происходить даже адаптивные изменения температурных порогов жизнедеятельности и развития активных стадий жизненного цикла, что с точки зрения Г. Г. Шельдешовой (1967) является весьма неожиданным обстоятельством. Так, обитающие в Норвегии (59–61° с. ш.) популяции, в отличие от распространенных южнее, характеризуются значительно более

низкими температурными порогами лётной активности имаго (10 °C против 15 °C) (Sæthre, Hofsvang, 2005), а также более низким порогом развития яиц (Sæthre, Hofsvang, 2002). Кроме того, неоднократно удавалось выявлять дифференциацию популяций яблонной плодовой гни, вызванную адаптацией к развитию на разных видах растений-хозяев (Phillips, Barnes, 1975; Barnes, 1991; Chen, Dorn, 2010; Dolatti, Hossienpour, 2021), однако такая диверсификация наблюдается далеко не везде и не всегда, поскольку процесс формирования пищевой специализации определяется взаимодействиями широкого спектра экологических факторов (Timm et al., 2006; Basoalto et al., 2020).

Свет представляет собой один из самых надежных экологических сигналов для биологических объектов, включая насекомых (Мазохин-Поршняков, 1960; Prokopy, Owens, 1983; Чернышев, 1996; Warrant, Nilsson, 2006; Tierney et al., 2017), которые в процессе эволюции приобрели крайне эффективные и разнообразные, в т. ч. сложно устроенные органы зрения, способные различать цвета, включая УФ часть спектра, и поляризованный свет (Van Der Kooi et al., 2021; Warrant, Somanathan, 2022). Поэтому используя в качестве ориентиров для навигации солнечный компас, поляризационную картину и цветовой градиент неба, насекомые способны беспрепятственно перемещаться в нужных им направлениях в самых разнообразных средах обитания (Mensel, 1979; Грибакин, 1981; Briscoe, Chittka, 2001; Labhart, Meyer, 2002; Homberg, 2004; Sakura et al., 2008; Homberg et al., 2011; Warrant, Dacke, 2011; Blake et al., 2019; Yadav, Shein-Idelson, 2021; Freas, Spetch, 2023). Изучению морфофизиологических особенностей зрительного аппарата яблонной плодовой гни и других представителей сем. Tortricidae посвящен целый ряд публикаций (Приставка и др., 1975; Hämmerle, Kolb, 1987; Jakobsson et al., 2017; Satoh et al., 2017; Crook et al., 2022; Martín-Gabarrella et al., 2023; Yang et al., 2024). В итоге было установлено, что имаго всех изучавшихся видов семейства обладают трихроматическим зрением, основанном на воспринимающих УФ, синие и зеленые лучи фоторецепторах, а также способны ощущать поляризованный свет (Satoh et al., 2017; Jakobsson et al., 2017; Crook et al., 2022; Martín-Gabarrella et al., 2023).

Исключительно важная роль УФ излучения в навигации насекомых была осознана уже давно, ведь оно практически не отражается наземными предметами, за исключением водной поверхности, в связи с чем может служить универсальным индикатором открытого пространства (Мазохин-Поршняков, 1960; Mensel, 1979; Чернышев, 1996). Что касается положительного фототаксиса, т. е. лёта насекомых на свет, то по поводу его природы было высказано немало гипотез (Buddenbrock, 1917; Loeb, 1918; Robinson, 1952; Verheijen, 1958; Мазохин-Поршняков, 1960; Горностаев, 1984; Чернышев, 1996; Nowinszky, 2003; Hironaka, Hariyama, 2014; Fabian et al., 2024). И хотя ни одна из них так и не получила абсолютно убедительных доказательств, очевидно, что феномен фототаксиса у насекомых представляет собой сложное многоступенчатое явление, которое базируется на имеющих глубокий адаптивный смысл поведенческих механизмах, обеспечивающих ориентирование насекомых в пространстве (Чернышев, 1996). После ознакомления с публикациями авторитетных специалистов по вопросам навигации и

фототаксиса насекомых (Wehner, 1984; Riley, Reynolds, 1986; Nowinszky, 2004; Heinze et al., 2018; Freas, Spetch, 2023) справедливость данного утверждения становится совершенно очевидной.

Собственно, теперь можно вернуться к обсуждению полученных нами результатов, а именно к изменчивости реакций фототаксиса у имаго яблонной плодовой моли в ареале, когда бабочки с одной стороны довольно активно привлекаются светодиодными излучателями слабого свечения в условиях Краснодарского края, а с другой в окр. г. Санкт-Петербурга – нет. В свете сказанного выше становится понятным, что в условиях высоких широт, где наблюдается феномен белых ночей, обладающая сумеречной активностью яблонная плодовая моль вынуждена приспосабливаться к более высокому уровню естественной освещенности, что достигается, очевидно, путем существенного понижения чувствительности зрения имаго к УФ излучению. Неизбежность выработки такой адаптации обусловлена необходимостью сохранения насекомым функциональности навигационной системы, в основе которой лежит ориентация по коротковолновому свечению ночного неба. В качестве доказательства возможности приспособления насекомых к высокой естественной освещенности вспомним пример успешной адаптации к обитанию в условиях городской среды с ее высоким уровнем ночного освещения у горностаевой бересклетовой моли *Yponomeuta cagnagella* (Hbn.) благодаря снижению чувствительности имаго к свету (Altermatt, Ebert, 2016). Поскольку проблемой воздействия антропогенного светового загрязнения на поведение насекомых интересуются в мире все более и более активно, примеров адаптивных изменений насекомых в ответ на этот вызов накапливается все больше (Tierney et al., 2017; Owens, Lewis, 2018; Falcón et al., 2020; Жуковская и др., 2022).

Становлению адаптации к высокой естественной освещенности у обитающих в высоких широтах имаго яблонной плодовой моли, очевидно, способствовали свойственный этому виду низкий в сравнении с другими чешуекрылыми уровень привлекательности света и преобладание в популяциях особей с оседлым образом жизни, о чем ранее уже сообщалось. Косвенно подтверждает важность последнего обстоятельства ситуация с мощным положительным фототаксисом у имаго капустной моли, которые, в отличие от яблонной плодовой моли, очень активно летят на свет в окр. г. Санкт-Петербурга (Захарова и др., 2022). Этот объект, как и яблонная плодовая моль, также способен к быстрым эволюционным изменениям, в т. ч. к формированию резистентности к инсектицидам (Sarfraz, Keddie, 2005; Furlong et al., 2013; Vanazeer et al., 2022; Mubashir, Seram, 2022), однако в отличие от яблонной плодовой моли характеризуется очень высокой миграционной активностью (Talekar, Shelton, 1993; Chapman et al., 2002; Hopkinson, Soroka, 2010; Fu et al., 2014; Chen et al., 2021).

Далее вспомним, что отсутствие положительного фототаксиса у имаго яблонной плодовой моли в наших опытах, проведенных в окр. г. Санкт-Петербурга, было обнаружено не только во время белых ночей, но и в последующий период, когда ночи становятся темными, т. е. отсутствие лёта на свет проявляется на протяжении всего сезона. Иными словами снижение чувствительности к УФ излучению имаго вредителя в окр. Санкт-Петербурга демонстрируют

независимо от условий естественной освещенности, так что по всей видимости эта адаптация жестко закреплена генетически. С биологической точки зрения целесообразность такого решения вполне очевидна, ведь до недавнего времени в регионе могла завершать свое развитие лишь одна генерация в сезоне, причем лёт имаго перезимовавшего поколения большей частью здесь происходит как раз в период белых ночей. В текущих условиях потепления климата вредитель оказался способен в среднем один раз за 4–5 лет формировать второе поколение в сезоне (Овсянникова и др., 2013; Овсянникова, Гричанов, 2019). Этот вывод подтверждают приведенные в статье 4-летние данные по динамике отлова имаго яблонной плодовой моли, представленные на рис. 2, ибо только в 2021 г. (в отличие от остальных 3 лет испытаний) наблюдался мощный всплеск отлова имаго яблонной плодовой моли в августе. Известно, что у обитающих в условиях ограниченных тепловых ресурсов популяций яблонной плодовой моли генетически закреплена моновольтинность как раз и формируется по аналогичной схеме (Шельдешова, 1965; Саулич, Волкович, 1996). Впрочем, подчеркнем, что хотя наша гипотеза о генетической закреплённости сниженной реакции у имаго яблонной плодовой моли из окр. Санкт-Петербурга на УФ свет и выглядит вполне логичной, она, конечно, нуждается в соответствующей экспериментальной проверке.

Так или иначе, представленные в нашей статье материалы несут информацию, весьма полезную для оценки перспектив применения УФ светодиодных излучателей для защиты сада от яблонной плодовой моли, особенно в свете возрожденного в мире интереса к использованию светоловушек для борьбы с вредными видами чешуекрылых, в первую очередь представителями сем. Tortricidae (Rhains, 2024). Так, в недавней статье Ф. Эрлера и Ф. Тосуна (Erler, Tosun, 2023) сообщается о том, что с помощью новых моделей светодиодных ловушек удалось отловить значительное количество имаго яблонной плодовой моли, из которых примерно половина оказалась самками, существенно снизить поврежденность плодов в двух садах Турции, причем защитный эффект оказался якобы даже выше, чем в случае использования химических инсектицидов! В то же время, оценивая возможные перспективы применения УФ светодиодов как средства борьбы с яблонной плодовой моли, необходимо помнить о богатом и в целом не слишком позитивном опыте использования газоразрядных ламп для защиты сада. Более того, не вызывает сомнений, что эффективность применения светодиодного излучения против яблонной плодовой моли будет существенно варьировать в зональном аспекте, а также, что этот вредитель, как и в случае с химическими пестицидами, будет эволюционировать в направлении формирования резистентности к фототаксическому действию света, хотя и неизвестно пока с какой скоростью.

Известно, что в плане управления поведением вредных насекомых, и соответственно, для осуществления их мониторинга или подавления численности весьма перспективными представляются комбинации светодиодов и семиохемиков (Frolov, 2022; Gross, Franco, 2022; Nieri et al., 2022). Так, в литературе все больше появляется публикаций, в которых сообщается о значительном, нередко суперрадикальном приросте отловов насекомых, причем весьма разнящихся в таксономическом плане, благодаря

комбинированию семиохемиков и световых излучателей как приманок (Gentry, Davis, 1973; Mann et al., 2009; Duehl et al., 2011; McQuate, 2014; Miyatake et al., 2016; Rice et al., 2017; Otieno et al., 2018; Pezhman, Saeidi, 2018; da Silva et al., 2019; Rondoni et al., 2022; Фролов и др., 2024). При этом гораздо реже встречаются работы, в которых сообщается об отсутствии прироста вылова объекта в результате сочетания в ловушках световых и запаховых стимулов (Sambaraju, Phillips, 2008; Zhukovskaya et al., 2024), и практически совсем отсутствуют публикации, свидетельствующие об антагонистическом характере такого взаимодействия. Соответственно, учитывая фрагментарность изученности интеракции световых и химических сигналов по их привлекательности для насекомых, накопленный в литературе материал пока не позволяет составить сколько-нибудь целостного представления о закономерностях формирования поведенческих реакций насекомых при одновременном воздействии на них семиохемиков и света (Frolov, 2022).

Тем не менее, принимая во внимание вполне реальную возможность достижения эффекта синергии, подбору тех или иных аттрактантов для интеграции уделяется все больше внимания, в т. ч. и применительно к защите сада от яблонной плодожорки (Knight et al., 2019a; Preti et al., 2021a, c). К сожалению, простая бинарная комбинация СПА+УФ излучение в ловушках оказалась неспособной стимулировать рост аттракции имаго яблонной плодожорки. Первые опыты в этом отношении были проведены на северо-западе США (штат Вашингтон) с использованием ловушек, снабженных лампами черного света и СПА, которые не смогли обеспечить прироста вылова бабочек, хотя зафиксировали пусть и небольшое, но явное увеличение доли самок в отловах (Nathaway, 1981). Любопытно, что очень схожие результаты были получены нами в окр. С.-Петербурга, хотя применялись кардинально отличающиеся по мощности и спектру излучения источники света. И наконец, для отлова яблонной плодожорки в условиях Чили были испытаны три разные конструкции ловушек, снабженных как СПА, так и СПА и УФ светодиодными излучателями совместно. Полученные здесь результаты также не выявили статистически достоверного роста вылова как самцов, так и самок вредителя ловушками, оснащенными комбинированными (Свет+СПА) приманками (Venegas Larenas, 2022).

Однако, с другой стороны опытами, недавно проведенными в американском штате Вашингтон, было показано, что при использовании в ловушках комбинаций УФ светодиодных излучателей малой мощности, СПА и смесей семиохемиков растительного происхождения удастся достичь 2–12-кратного прироста аттрактивности, причем не только для имаго яблонной плодожорки, но и других вредных видов сем. Tortricidae (восточной плодожорки *Grapholita molesta* (Busck), скошеннополосой

Choristoneura rosaceana (Har.) и почковой *Spilonota ocellana* (Den. et Shiff.) листоверток). При этом самостоятельно, т. е. без комбинирования с семиохемиками, примененные в ловушках светодиоды были совершенно неспособны к аттракции (Knight et al., 2023). Таким образом, не вызывает сомнений правомерность вывода о том, что именно добавление в композитную приманку семиохемиков растительного происхождения (в качестве таковых в опытах с яблонной плодожоркой авторы работы использовали две коммерческие композиции – Pherocon CMDA Combo-P и Pherocon Megalure CM Dual 4K) обеспечило существенный прирост уловистости ловушек в опытах А. Найта с коллегами (Knight et al., 2023). Соответственно, дальнейшие усилия по усовершенствованию ловушек, предназначенных как для мониторинга, так и борьбы с яблонной плодожоркой, следует, по всей видимости, направить на подбор состава семиохемиков, способных обеспечивать максимально возможную супераддитивность их комбинации с УФ светодиодами низкой интенсивности свечения. Учитывая, что представленные в нашей статье данные свидетельствуют о весьма существенной вариативности поведенческих реакций имаго разных популяций яблонной плодожорки по отношению к УФ излучению и комбинации сигналов СПА+Свет, важность оценки взаимодействия аттрактивных свойств светодиодов и семиохемиков на стабильность их реализации в как можно более широком диапазоне экологических сред не вызывает сомнений, ведь разные популяции одного и того же вида могут существенно различаться по своим репродуктивным тактикам (Фролов и др., 2021). Конечно, имея в виду низкий уровень аттрактивности УФ светового излучения для имаго яблонной плодожорки в условиях высоких широт, нельзя исключить, что здесь для отлова имаго вредителя с помощью комбинаций семиохемиков и УФ излучения возникнет желание использовать не маломощные, а сверхяркие светодиоды высокой мощности, однако снабженные ими светоловушки неизбежно будут проявлять свойственные им недостатки, а именно громоздкость и способность наносить определенный ущерб нецелевой энтомофауне (Овсянникова и др., 2020).

В заключении отметим, что представленная в нашей статье информация убедительно свидетельствует о том, что при организации борьбы с яблонной плодожоркой следует иметь в виду возможность обнаружения довольно неожиданных на первый взгляд адаптаций насекомых к локальным условиям. Также подчеркнем, что помимо прикладного значения статья имеет и теоретическую ценность, в т. ч. при изучении поведения сумеречно активных видов насекомых в условиях высоких широт, поскольку здесь демонстрируется оригинальный алгоритм периодизации белых ночей, основанный на учете перцепции энтомологического объекта.

Благодарности

Авторы благодарны широкому кругу лиц, оказавших активное содействие выполнению данной работы, и в первую очередь А. А. Мильцыну (ВИЗР), А. В. Шлявас (ВИР) и М. Е. Малышу (х. Слободка Краснодарского края).

Библиографический список (References)

- Балыкина ЕБ, Трикоз НН, Ягодинская ЛП (2015) Вредители плодовых культур. Симферополь: Ариал. 268 с.
- Бараненко ТЮ, Медведева ЛМ (2018) Яблонная плодовая жорка, меры борьбы с ней. *АПК России* 25(2):199–203
- Белые ночи – Википедия (2024) https://ru.wikipedia.org/wiki/Белые_ночи (06.07.2024)
- Белые ночи – словарь онлайн (2024) https://bse.slovaronline.com/4206-BELYE_NOCHI (06.07.2024)
- Болдырев МИ, Каширская НЯ (2009) Яблонная плодовая жорка: прогнозирование, сигнализация, меры борьбы. *Защита и карантин растений* 2:70–83
- Бондарчук ЕЮ, Асатурова АМ, Томашевич НС, Цыгичко АА, Гырнец ЕА (2020) Биологический контроль численности яблонной плодовой жорки на основе энтомопатогенных микроорганизмов (обзор). *Достижения науки и техники АПК* 34(11):53–66. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11108>
- Васильев ВП, Лившиц ИЗ (1984) Вредители плодовых культур. М.: Колос. 399 с.
- Васильев ВП, Приставка ВП (1970) К изучению динамики лёта и численности бабочек яблонной плодовой жорки – *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) с применением светоловушек. *Вестник зоологии* 6:63–69
- Вендило НВ, Плетнев ВА, Лебедева КВ (2009) Применение феромонов для защиты плодовых садов от вредных насекомых. *Агрохимия* 8:72–84
- Глунов ВВ (2013) С точки зрения насекомого. *Наука из первых рук* 2(50):96–109
- Горностаев ГН (1984) Введение в этологию насекомых-фотоксенов (лёт насекомых на искусственные источники света). *Труды Всесоюзного энтомологического общества* 66:101–167
- Грибакин ФГ (1981) Механизмы фоторецепции насекомых. Л.: Наука, 214 с.
- Грушевая ИВ, Конончук АГ, Малыш СМ, Мильцын АА, Фролов АН (2019) Светодиодная ловушка для мониторинга кукурузного мотылька *Ostrinia nubilalis*: испытания в Краснодарском крае. *Вестник защиты растений* 4(102):49–54. <http://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-4-102-49-54>
- Данилевский АС, Кузнецов ВИ (1968) Листовертки Tortricidae, триба плодовой жорки Laspeyresini. Л.: Наука. 636 с.
- Державец ЮА, Иванов АИ, Миронов ВГ, Мищенко ОА, Прасолов ВН, Синев СЮ (1986) Список чешуекрылых (Macrolepidoptera) Ленинградской области. *Труды Всесоюзного энтомологического общества* 67:186–270
- Долженко ВИ, Буркова ЛА, Долженко ТВ (2018) Применение синтетического полового феромона Шин-Етсу МД СТТ, Д. *Защита и карантин растений* 5:23–24
- Долженко ВИ, Лаптиев АБ (2021) Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность. *Плодородие* 3(120):71–75. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13>
- Жаворонкова ТН, Иванова ТВ (2008) Фитосанитарное состояние садовых участков Приладожской зоны Ленинградской области. *Вестник защиты растений* 4:38–48
- Жигальцева МИ, Чернобровина СМ (1966) О применении ультрафиолетового источника излучения в борьбе с вредными насекомыми. *Зоологический журнал* 45(3):375–382
- Жигальцева МИ, Чернобровина СМ, Гнилюк СИ (1964) Исследования эффективности установок с различными излучателями для привлечения и уничтожения яблонной плодовой жорки (*Carpocapsa pomonella* L.). *Известия Академии наук Молдавской ССР* 5:79–90
- Жуковская МИ, Северина ИЮ, Новикова ЕС (2022) Световое антропогенное загрязнение: действие на насекомых. *Биосфера* 14(2):126–136. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i2.669>
- Захарова ЮА, Фролов АН, Артемьева АМ (2022) Мониторинг капустной моли *Plutella xylostella* (L.) на коллекции капусты в окрестностях Санкт-Петербурга. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции* 183(4):219–228. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-219-228>
- Зейналов АС (2017) Эффективный мониторинг – ключевой элемент в регулировании численности и вредности яблонной плодовой жорки *Laspeyresia pomonella* L. *Плодоводство и ягодоводство России* 49:125–128
- Исмаилов ВЯ, Пачкин АА, Садковский ВТ, Соколов ЮГ (2012) Перспективы применения сверхъярких светодиодов в ловушках насекомых. Материалы Международной научно-практической конференции «Современные мировые тенденции в производстве и применении биологических и экологически малоопасных средств защиты растений». 224–228
- Король ТС (1985) Временная организация поведенческих и физиологических ритмов яблонной плодовой жорки *Laspeyresia pomonella* L. *Автореф. дисс. ... к.б.н.* М. 22 с.
- Коротченко О (2014) Светодиодные светильники – шаг в будущее. <http://www.diy.ru/post/6240> (06.07.2024)
- Кубано-Приазовская низменность (2022) https://ru.wikipedia.org/wiki/Кубано-Приазовская_низменность (06.07.2024)
- Лазаревич К (2006) Чередование дня и ночи в полярных и приполярных широтах по месяцам. <https://geo.1sept.ru/article.php?ID=200600817> (06.07.2024)
- Лейватегия ЛК (1963) Биология яблонной плодовой жорки (*Laspeyresia pomonella* L.) и меры борьбы с ней. *Автореф. дисс. ... к.б.н.* Тарту. 28 с.
- Львовский АЛ (1994) Чешуекрылые насекомые (Insecta, Lepidoptera) в пределах Санкт-Петербурга. *Известия Харьковского энтомологического общества* 2(1):5–48
- Мазохин-Поршняков ГА (1960) Почему насекомые летят на свет. *Энтомологическое обозрение* 39(1):52–58
- Матов АЮ, Безбородкин АВ, Валерский ОВ (2005) Новые и редкие виды совков (Lepidoptera: Noctuidae s. l.) для Санкт-Петербурга и Ленинградской области. *Эверсманния* 3–4:77–90
- Матов АЮ, Безбородкин АВ, Храмов БА, Киселёв АА, Цветков ЕВ, Валерский ОВ (2017) Новые и редкие чешуекрылые (Lepidoptera: Macrolepidoptera) фауны Ленинградской области и Санкт-Петербурга. *Эверсманния* 51–52:88–90
- Мильцын АА, Грушевая ИВ, Конончук ИВ, Малыш ЮМ, Токарев ЮС, Фролов АН (2020) Световая ловушка для

- мониторинга насекомых. Патент на полезную модель RU 195732 U1
- Николаева ЗВ, Крюкова АВ (2010) Многолетняя динамика численности яблонной плодовой гнили в садах Северо-Запада России. *Агро XXI* 7–9:25–26
- Ниязов ОД, Яковук ВА, Васильева ЛА, Балахнина ИВ (2012) Эффективность метода дезориентации в яблоневых садах. Материалы Международной научно-практической конференции «Современные мировые тенденции в производстве и применении биологических и экологически малоопасных средств защиты растений». 235–240
- Овсянникова ЕИ, Гричанов ИЯ (2019) Фенология яблонной плодовой гнили подтверждает потепление климата. *Защита и карантин растений* 5:28–29
- Овсянникова ЕИ, Гричанов ИЯ, Кремнева ОЮ, Пачкин АА (2020) Апробация светодиодных ловушек. *Защита и карантин растений* 7:29–32. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3590503>
- Овсянникова ЕИ, Смирнов СН, Гричанов ИЯ (2013) К фенологии яблонной плодовой гнили в Северо-Западном регионе в современных условиях. *Вестник защиты растений* 4:72
- Павловск (Санкт-Петербург) (2024) [https://ru.wikipedia.org/wiki/Павловск_\(Санкт-Петербург\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Павловск_(Санкт-Петербург)) (06.07.2024)
- Паршина ЕА (2009) Белые ночи в Санкт-Петербурге. https://www.hellopiter.ru/The_white_nights.html (12.07.2024)
- Пастарнак ИН, Пачкин АА, Пушня МВ, Ниязов ОД, Ермоленко СА, Падалка СД, Исмаилов ВЯ (2014) Включение метода автодиссеминации в систему экологизированной защиты яблони от яблонной плодовой гнили (*Cydia pomonella* L.). Материалы Международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем». 224–228
- Пачкин АА, Кремнева ОЮ (2019) Средства мониторинга и снижения численности вредных видов. Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием. 135–136
- Погода в Краснодарском крае по месяцам (2024) <https://travelask.ru/questions/772718-pogoda-v-krasnodarskom-kraye-po-mesyatsam?ysclid=lty2tyba7i483382443> (06.07.2024)
- Приставко ВП (1969а) К методике изучения динамики численности и плотности популяций насекомых, летящих на ультрафиолетовое излучение. *Вестник зоологии* 6:87–91
- Приставко ВП (1969б) Оценка влияния некоторых абиотических факторов на отлов бабочек яблонной плодовой гнили светоловушками с источниками ультрафиолетового излучения. *Зоологический журнал* 48(8):1177–1184
- Приставко ВП (1970а) Автоматическая регистрирующая светоловушка. *Защита растений* 7:41
- Приставко ВП (1970б) Светоловушка в саду – средство борьбы или учета? *Защита растений* 9:18
- Приставко ВП (1970в) Опыт применения светоловушек в комбинации с половыми аттрактантами бабочек яблонной плодовой гнили. *Научные доклады высшей школы. Биологические науки* 10:101–103
- Приставко ВП (1971) Суточная активность лёта и дальность миграций бабочек яблонной плодовой гнили (*Laspeyresia pomonella*) в степной и лесостепной зонах Украины. *Зоологический журнал* 50(1):67–71
- Приставко ВП, Ерицян ДА (1970) Легкая светоловушка. *Защита растений* 11:36
- Приставко ВП, Жуков НМ (1991) Феромониторинг яблонной плодовой гнили: современное состояние и пути решения актуальных проблем. *Сборник научных трудов Белорусского научно-исследовательского института защиты растений* 16:22–39
- Приставко ВП, Петрунук ВЛ, Петрунук НП (1976) Динамика численности и активность лёта бабочек садовых листоверток в лесостепи Украины. *Экология* 3:97–99
- Приставко ВП, Петрунук ВЛ, Чайка ВН (1975) Поведенческие и электрофизиологические реакции бабочек яблонной плодовой гнили *Laspeyresia pomonella* L. на оптические излучения различного спектрального состава. В кн.: Приставко ВП (ред) Поведение насекомых как основа для разработки мер борьбы с вредителями сельского и лесного хозяйства. Киев: Наукова Думка. 117–123
- Приставко ВП, Черный АМ (1974) Влияние температуры воздуха на суточный ритм и активность бабочек яблонной плодовой гнили. *Экология* 2:63–66
- Розенберг ГВ (1963) Сумерки. М.: Физматгиз. 380 с.
- Рябчинская ТА, Колесова ДА, Саранцева НА, Харченко ГЛ, Бобрешова ИЮ (2015) Использование синтетических половых феромонов для снижения плотности популяции вредных чешуекрылых. *Агробиология* 10:75–89
- Сароян ЛК (1991) Исследование генетической детерминации моновольтинизма в популяции яблонной плодовой гнили Араратской долины. *Автореф. дисс. ... к.б.н.* Ереван. 28 с.
- Саулич АХ, Волкович ТВ (1996) Моновольтинизм у насекомых и его регуляция. *Энтомологическое обозрение* 75(2):244–258
- Скиркявичюс А, Татъянскяйте Л (1970а) Суточный ритм активности имаго яблонной плодовой гнили (*Carpocapsa pomonella* L.). *Acta Entomologica Lituanica* 1:99–104
- Скиркявичюс А, Татъянскяйте Л (1970б) Особенности поведения самцов и самок яблонной плодовой гнили (*Carpocapsa pomonella* L.) во II половине суток. *Acta Entomologica Lituanica* 1:105–119
- Сухорученко ГИ (2001) Резистентность вредных организмов к пестицидам – проблема защиты растений второй половины XX столетия в странах СНГ. *Вестник защиты растений* 1:18–37
- Третьяков НН (2012) Защита яблони от вредителей в центральном регионе России. М.: МСХА им. К.А. Тимирязева. 265 с.
- Фалькович МИ (1962) Листовертки (Lepidoptera, Tortricidae) Ленинградской области. *Труды Зоологического института АН СССР* 31:49–80
- Фролов АН, Грушевая ИВ, Конончук АГ (2021) Современные типы ловушек для мониторинга чешуекрылых на примере кукурузного мотылька. Монография. СПб.: Научно-технологические. 120 с.
- Фролов АН, Конончук АГ, Грушевая ИВ, Мильцын АА, Каракотов СД, Стулов СВ, Вендило НВ (2024) Половой феромон и ультрафиолетовое излучение: взаимодействие аттрактантных свойств для имаго хлопковой совки

- Helicoverpa armigera* (Hbn.) (Lepidoptera, Noctuidae). *Энтомологическое обозрение* 103(1):29–51. <https://doi.org/10.31857/S0367144524010026>
- Фролов АН, Мильцын АА, Захарова ЮА, Грушевая ИВ, Конончук АГ, Токарев ЮС (2020) Светоферомонная ловушка для летающих насекомых. Патент на полезную модель RU 201632 U1
- Шлявас АВ (2017) Коллекция генетических ресурсов яблони (*Malus* Mill.) ФГБНУ ФИЦ Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. *Сборник научных трудов государственного Никитского ботанического сада* 144(1):79–83
- Шельдешова ГГ (1965) Географическая изменчивость фотопериодической реакции и сезонного развития яблонной плодовой гнили *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae). *Труды Зоологического института АН СССР* 36:5–25
- Шельдешова ГГ (1967) Экологические факторы, определяющие ареал яблонной плодовой гнили *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) в северном и южном полушариях. *Энтомологическое обозрение* 46(3):583–605
- Цветкова ВП, Поддубная ЕН, Исмаилов ВЯ, Журавлев СВ (2008) Феромониторинг яблонной плодовой гнили – основа защитных мероприятий в садах западной Сибири. *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета* 1:12–22
- Черный АМ (1981) Экологическая оценка популяций яблонной плодовой гнили *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) на Украине в связи с обоснованием генетического метода борьбы. *Энтомологическое обозрение* 60(1):43–49
- Чернышев ВБ (1961) Время лёта различных насекомых на свет. *Зоологический журнал* 40(7):1009–1018
- Чернышев ВБ (1996) Экология насекомых. М.: Издательство МГУ. 304 с.
- Язловецкий ИГ, Якимчук АП (2009) Устойчивость садовых популяций яблонной плодовой гнили к основным классам инсектицидов. *Информационный бюллетень ВПРС МОББ* 40:181–182
- Яковук ВА, Балахнина ИВ, Дорошенко ТН, Яковук ВМ (2020) Сезонная динамика лёта яблонной плодовой гнили (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera, Tortricidae) в Краснодарском крае по данным феромониторинга. *Энтомологическое обозрение* 99(2):264–270. <https://doi.org/10.31857/S0367144520020021>
- Adams CG, McGhee PS, Schenker JH, Gut LJ, Miller JR (2017a) Line-trapping of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae): a novel approach to improving the precision of capture numbers in traps monitoring pest density. *J Econ Entomol* 110(4):1508–1511. <https://doi.org/10.1093/jeet/tox147>
- Adams CG, Schenker JH, McGhee PS, Gut LJ, Brunner JF, Miller JR (2017b) Maximizing information yield from pheromone-baited monitoring traps: estimating plume reach, trapping radius, and absolute density of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in Michigan apple. *J Econ Entomol* 110(2):305–318. <https://doi.org/10.1093/jeet/tow258>
- Afonin AN, Greene SL, Dzyubenko NI, Frolov AN (eds) (2008) Interactive agricultural ecological atlas of Russia and neighboring countries, economic plants and their diseases, pests and weeds. <http://www.agroatlas.ru> (06.07.2024)
- Agasyeva IS, Ismailov VY, Nastasiy AS, Nefedova MV (2022) Development of ways to control codling moth with the help of biological products and methods. *Int J Ecosyst Ecol Sci* 12(3):95–100. <https://doi.org/10.31407/ijeec12.312>
- Ahirwar MK, Vaishampayan S, Vishwakarma D, Tiwari H (2023) Comparative analysis of UV and UVLED light traps for pest control: a cost-efficiency perspective. *Int J Plant Soil Sci* 35(22):923–934. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i224203>
- Ahmad T, Hassan S, Stephan D (2024). Efficacy of entomopathogenic fungi against codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *N Z J Botany* 1–16. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2023.2299363>
- Alaphilippe A, Capowiez Y, Severac G, Simon S, Saudreau M, Caruso S, Vergnani S (2016) Codling moth exclusion netting: an overview of French and Italian experiences. *IOBC WPRS Bull* 112:31–35
- Altermatt F, Ebert D (2016) Reduced flight-to-light behaviour of moth populations exposed to long-term urban light pollution. *Biol Lett* 12(4):20160111. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0111>
- Anton S, Jacquín-Joly E (2022) Semiochemicals and insect control. In: Fauvergue X, Rusch A, Barret M, Bardin M, Jacquín-Joly E, Malausa T, Lannou C (eds) Extended biocontrol. Dordrecht: Springer. 197–204
- Asser-Kaiser S, Fritsch E, Undorf-Spahn K, Kienzle J, Eberle KE, Gund NA, Reineke A, Zebitz CPW, Heckel DG, Huber J, Jehle JA (2007) Rapid emergence of baculovirus resistance in codling moth due to dominant, sex-linked inheritance. *Science* 317(5846):1916–1918. <https://doi.org/10.1126/science.1146542>
- Azimuth and solar elevation angle. <https://planetcalc.com/320> (06.07.2024)
- Azizyan A, Gasparyan S, Akopyan A, Ter-Hovhannesian A (2002) Modeling of codling moth populations at various climatic zones in Armenia. *Acta Hort* 584:193–200. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.584.23>
- Baiamonte I, Raffo A, Nardo N, Moneta E, Peparario M, D’Aloise A, Kelderer M, Casera C, Paoletti F (2016) Effect of the use of anti-hail nets on codling moth (*Cydia pomonella*) and organoleptic quality of apple (cv. Braeburn) grown in Alto Adige Region (northern Italy). *J Sci Food Agric* 96(6):2025–2032. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7313>
- Balaško MK, Bažok R, Mikac KM, Benítez HA, Suazo MJ, Viana JP, Lemic D, Živković IP (2022) Population genetic structure and geometric morphology of codling moth populations from different management systems. *Agronomy* 12(6):1278. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061278>
- Banazeer A, Afzal MBS, Hassan S, Ijaz M, Shad SA, Serrão JE (2022) Status of insecticide resistance in *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae) from 1997 to 2019: cross-resistance, genetics, biological costs, underlying mechanisms, and implications for management. *Phytoparasitica* 50:465–485. <https://doi.org/10.1007/s12600-021-00959-z>
- Bantis F, Smirnakou S, Ouzounis T, Koukounaras A, Ntagkas N, Radoglou K (2018) Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of

- light-emitting diodes (LEDs). *Sci Hortic* 235:437–451. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058>
- Barnes M, Wargo M, Baldwin R (1965) New low intensity ultraviolet light trap for detection of codling moth activity. *Calif Agric* 19(10):6–7
- Barnes MM (1991) Codling moth occurrence, host race formation, and damage. In: van der Geest LPS, Evenhuis HH (eds) *Tortricid pests: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam: Elsevier Press. 313–328
- Barros-Parada W, Knight AL, Basoalto E, Fuentes-Contreras E (2013) An evaluation of orange and clear traps with pear ester to monitor codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in apple orchards. *Cienc Investig Agrar* 40(2):307–315
- Basoalto A, Ramirez CC, Lavandero B, Devotto L, Curkovic T, Franck P, Fuentes-Contreras E (2020) Population genetic structure of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), in different localities and host plants in Chile. *Insects* 11(5):285. <https://doi.org/10.3390/insects11050285>
- Bassi A, Rison JL, Wiles JA (2009) Chlorantraniliprole (DPX-E2Y45, Rynaxypyr®, Coragen®), a new diamide insecticide for control of codling moth (*Cydia pomonella*), Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) and European grapevine moth (*Lobesia botrana*). *Nova Gorica* 4(5):39–45
- Batiste WC (1970) A timing sex-pheromone trap with special reference to codling moth collections. *J Econ Entomol* 63(3):915–918. <https://doi.org/10.1093/jee/63.3.915>
- Batiste WC, Berlowitz A, Olson WH, DeTar JE, Joos IL (1973a) Codling moth: estimating time of first egg hatch in the field – a supplement to sex-attractant traps in integrated control. *Environ Entomol* 2(3):387–392. <https://doi.org/10.1093/ee/2.3.387>
- Batiste WC, Olson WH, Berlowitz A (1973b) Codling moth: diel periodicity of catch in synthetic sex attractant vs. female-baited traps. *Environ Entomol* 2(4):673–676. <https://doi.org/10.1093/ee/2.4.673>
- Batiste WC, Olson WH, Berlowitz A (1973c) Codling moth: influence of temperature and daylight intensity on periodicity of daily flight in the field. *J Econ Entomol* 66(4):883–892. <https://doi.org/10.1093/jee/66.4.883>
- Beers EH, Stuckling DM, Prokopy RJ, Avila J (2003) Ecology and management of apple arthropod pests. In: Ferree DC, Warrington IJ (eds) *Apples: botany, production and uses*. Wallingford: CABI Publishing. 489–514
- 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>
- Beroza M, Bierl BA, Moffitt HR (1974) Sex pheromones: (E, E)-8, 10-dodecadien-1-ol in the codling moth. *Science* 183(4120):89–90. <https://doi.org/10.1126/science.183.4120.89>
- Bessho M, Shimizu K (2012) Latest trends in LED lighting. *Electron Commun Jpn* 95(1):1–7. <https://doi.org/10.1002/ecj.10394>
- Biganski S, Kienzle J, Zimmer J, Esenova G, Maisel H, Benduhn B, Jehle JA (2024) “OekoapfelForward”: new strategies for codling moth resistance management and fungicide reduction in organic apple production. Proc. 21st Int. Conf. Organic Fruit-Growing, Filderstadt. 78–81
- Blake AJ, Go MC, Hahn GS, Grey H, Couture S, Gries G (2019) Polarization of foliar reflectance: novel host plant cue for insect herbivores. *Proc R Soc B* 286(1915):20192198. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.2198>
- Bloem S, Carpenter J, McCluskey A, Fugger R, Arthur S, Wood S (2007) Suppression of the codling moth *Cydia pomonella* in British Columbia, Canada using an area-wide integrated approach with an SIT component. In: Vreysen MJB, Robinson AS, Hendrichs J (eds) *Area-wide control of insect pests: from research to field implementation*. Dordrecht: Springer. 591–601
- 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>
- Blomberg O, Itämies J, Kuusela K (1978) The influence of weather factors on insect catches in traps equipped with different lamps in northern Finland. *Ann Zool Fenn* 44(2):56–62
- Boivin T, Bouvier JC, Beslay D, Suphanor B (2004) Variability in diapause propensity within populations of a temperate insect species: interactions between insecticide resistance genes and photoperiodism. *Biol J Linn Soc* 83(3):341–351. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2004.00392.x>
- Boivin T, Chabert D, Hières C, Bouvier JC, Beslay D, Sauphanor B (2001) Pleiotropy of insecticide resistance in the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomol Exp Appl* 99(3):381–386. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2001.00838.x>
- Borden AD (1931) Some field observations on codling moth behavior. *J Econ Entomol* 24(6):1137–1145. <https://doi.org/10.1093/jee/24.6.1137>
- Bosch D, Rodríguez MA, Avilla J (2018) Monitoring resistance of *Cydia pomonella* (L.) Spanish field populations to new chemical insecticides and the mechanisms involved. *Pest Manage Sci* 74(4):933–943. <https://doi.org/10.1002/ps.4791>
- Bourget CM (2008) An introduction to light-emitting diodes. *HortScience* 43(7):1944–1946. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1944>
- Bouvier JC, Buès R, Boivin T, Boudinhon L, Beslay D, Sauphanor B (2001) Deltamethrin resistance in the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae): inheritance and number of genes involved. *Heredity* 87(4):456–462. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2540.2001.00928.x>
- Brehm G (2017) A new LED lamp for the collection of nocturnal Lepidoptera and a spectral comparison of light-trapping lamps. *Nota Lepidopterol* 40(1):87–108. <https://doi.org/10.3897/nl.40.11887>
- Briscoe A, Chittka L (2001) The evolution of color vision in insects. *Annu Rev Entomol* 46:471–510. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.471>
- Brunner JF, Dunley JE, Beers EH, Jones VP (2005) Building a multi-tactic biologically intensive pest management system for Washington orchards. In: Felsot AS, Racke KD (eds) *Crop protection products for organic agriculture: environmental, health, and efficacy assessment*. Washington DC: American Chemical Society. 131–143. <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0947.ch009>
- Buddenbrock W von (1917) Die Lichtkompaßbewegung bei den Insekten, insbesondere den Schmetterlingsraupen. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der

- Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse. 8:1–26
- Buès R, Toubon JF (1992) Polymorphisme enzymatique dans différentes populations de *Cydia pomonella* L. (Lep. Tortricidae). *Acta Oecol* 13(5):583–591
- Buès R, Toubon JF, Poitout HS (1995) Variabilité écophysiological et enzymatique de *Cydia pomonella* L en fonction de l'origine géographique et de la plante hôte. *Agronomie* 15(3–4):221–231
- Burkett DA, Butler JF, Kline DL (1998) Field evaluation of colored light-emitting diodes as attractants for woodland mosquitoes and other Diptera in north central Florida. *J Am Mosq Control Assoc* 14(2):186–195
- Bush MR, Abdel-All YA, Rock GC (1993) Parathion resistance and esterase activity in codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from North Carolina. *J Econ Entomol* 86(3):660–666. <https://doi.org/10.1093/jee/86.3.660>
- Butt BA, McGovern TP, Beroza M, Hathaway DO (1974) Codling moth: cage and field evaluations of traps baited with a synthetic sex attractant. *J Econ Entomol* 67(1):37–40. <https://doi.org/10.1093/jee/67.1.37>
- Cardé RT (2021) Mating disruption with pheromones for control of moth pests in area-wide management programmes. In: Hendrichs J, Pereira R, Vreysen MJB (eds) Area-wide integrated pest management: development and field application. Boca Raton USA & Abingdon UK: CRC Press. 779–794
- Cartier L (2015) Economic benefits of using sterile insect technique and mating disruption to control codling moth. *Int J Biol* 7(9):14–25. <https://doi.org/10.5539/ias.v7n9p14>
- Castroville PJ, Cardé RT (1979) Environmental regulation of female calling and male pheromone response periodicities in the codling moth (*Laspeyresia pomonella*). *J Insect Physiol* 25(8):659–667. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(79\)90116-1](https://doi.org/10.1016/0022-1910(79)90116-1)
- Chapman JW, Reynolds DR, Smith AD, Riley JR, Pedgley DE, Woivod IP (2002) High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the UK: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecol Entomol* 27(6):641–650. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2002.00472.x>
- Charmillot PJ, Hofer D, Pasquier D (2000) Attract and kill: a new method for control of the codling moth *Cydia pomonella*. *Entomol Exp Appl* 94(2):211–216. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00621.x>
- Chen MH, Dorn S (2010) Microsatellites reveal genetic differentiation among populations in an insect species with high genetic variability in dispersal, the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Bull Entomol Res* 100(1):75–85. <https://doi.org/10.1017/S0007485309006786>
- Chen MZ, Cao LJ, Li BY, Chen JC, Gong YJ, Yang Q, Schmidt TL, Yue L, Zhu JY, Li H, Chen XX (2021) Migration trajectories of the diamondback moth *Plutella xylostella* in China inferred from population genomic variation. *Pest Manage Sci* 77(4):1683–1693. <https://doi.org/10.1002/ps.6188>
- Chen T, Chu C, Henneberry TJ, Umeda K (2004) Monitoring and trapping insects on poinsettia with yellow sticky card traps equipped with light-emitting diodes. *HortTechnology* 14(3):337–341. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.14.3.0337>
- Chouinard G, Firlej A, Cormier D (2016) Going beyond sprays and killing agents: exclusion, sterilization and disruption for insect pest control in pome and stone fruit orchards. *Sci Hortic* 208:13–27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.014>
- Chouinard G, Veilleux J, Pelletier F, Larose M, Phillion V, Cormier D (2017) Impact of exclusion netting row covers on arthropod presence and crop damage to 'Honeycrisp' apple trees in North America: a five-year study. *Crop Prot* 98:248–254. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.04.008>
- Chu CC, Che TY, Simmons AM, Jackson CG, Alexander PA, Henneberry TJ (2003) Development of light-emitting diode (LED) traps for whiteflies and other insects. *IOBC WPRS Bull* 26(10):27–32
- Chu CC, Simmons AM, Chen TY, Alexander PJ, Henneberry TJ (2004) Lime green light-emitting diode equipped yellow sticky card traps for monitoring whiteflies, aphids and fungus gnats in greenhouses. *Insect Sci* 11(2):125–133. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2004.tb00186.x>
- Cichón LI, Soleño J, Garrido SA, Guiñazú N, Montagna CM, Franck P, Olivares J, Musleh S, Rodríguez MA, Fuentes-Contreras E (2021) Genetic structure of *Cydia pomonella* populations in Argentina and Chile implies isolating barriers exist between populations. *J Appl Entomol* 145(9):911–921. <https://doi.org/10.1111/jen.12921>
- Cohnstaedt LEE, Gillen JI, Munstermann LE (2008) Light-emitting diode technology improves insect trapping. *J Am Mosq Control Assoc* 24(2):331–334. <https://doi.org/10.2987%2F5619.1>
- Collins DL (1934) Iris-pigment migration and its relation to behaviour in the codling moth. *J Exp Zool* 69(2):165–197. <https://doi.org/10.1002/jez.1400690202>
- Collins DL, Machado W (1943) Reactions of the codling moth to artificial light and the use of light traps in its control. *J Econ Entomol* 36(6):885–893. <https://doi.org/10.1093/jee/36.6.885>
- Collins DL, Nixon MW (1930) Responses to light of the bud moth and leaf roller. *Bull New York State Agric Exp Sta* 583:1–32
- Comeau A, Roelofs WL (1973) Sex attraction specificity in the Tortricidae. *Entomol Exp Appl* 16(2):191–200. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1973.tb00265.x>
- Coracini M, Bengtsson M, Liblikas I, Witzgall P (2004) Attraction of codling moth males to apple volatiles. *Entomol Exp Appl* 110(1):1–10. <https://doi.org/10.1111/j.0013-8703.2004.00124.x>
- Crook DJ, Chiesa SG, Warden ML, Nadel H, Ioriatti C, Furtado M (2022) Electrophysiologically determined spectral responses in *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *J Econ Entomol* 115(5):1499–1504. <https://doi.org/10.1093/jee/toac124>
- Cross JV, Solomon MG, Chandler D, Jarrett P, Richardson PN, Winstanley D, Bathon H, Huber J, Keller B, Langenbruch GA, Zimmermann G. (1999) Biocontrol of pests of apples and pears in Northern and Central Europe: 1. Microbial agents and nematodes. *Biocontrol Sci Technol* 9(2):125–149. <https://doi.org/10.1080/095831599292721>
- Culver DJ, Barnes MM (1977) Contribution to the use of the synthetic pheromone in monitoring codling moth

- populations. *J Econ Entomol* 70(4):489–492. <https://doi.org/10.1093/jee/70.4.489>
- Cutright CR (1937) Codling moth biology and control investigations. *Ohio Agric Exp Sta* 583:1–45
- Czaja K, Góralczyk K, Struciński P, Hernik A, Korcz W, Minorczyk M, Łyczewska M, Ludwicki JK (2015) Biopesticides – towards increased consumer safety in the European Union. *Pest Manage Sci* 71(1):3–6. <https://doi.org/10.1002/ps.3829>
- da Silva AA, Rebêlo JMM, Carneiro BF, Castro MPP, de Sousa de Almeida M, Ponte IS, Aguiar JVC, Silva FS (2019) Exploiting the synergistic effect of kairomones and light-emitting diodes on the attraction of phlebotomine sand flies to light traps in Brazil. *J Med Entomol* 56(5):1441–1445. <https://doi.org/10.1093/jme/tjz073>
- Dave JV, Ramanathan KR (1956) On the intensity and polarisation of the light from the sky during twilight. *Proc Indian Acad Sci A* 43(2):67–78
- De Waal JY, Addison MF, Malan, AP (2017) Potential of *Heterorhabditis zealandica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) for the control of codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in semi-field trials under South African conditions. *Int J Pest Manage* 64(2):102–109. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1342149>
- De Waal JY, Malan AP, Addison MF (2011) Evaluating mulches together with *Heterorhabditis zealandica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) for the control of diapausing codling moth larvae, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Biocontrol Sci Technol* 21(3):255–270. <https://doi.org/10.1080/09583157.2010.540749>
- Descoins C, Henrick CA (1972) Stereoselective synthesis of a sex attractant of codling moth. *Tetrahedron Lett* 13(30):2999–3002
- DiGiacomo G, Nelson SG, Jacobson J, Klodd A, Hutchison WD (2023) Hail netting: an economically competitive IPM alternative to insecticides for Midwest apple production. *Front Insect Sci* 3:1266426. <https://doi.org/10.3389/finsec.2023.1266426>
- Doerr MD, Brunner JF, Granger KR (2012) Incorporating organophosphate alternative insecticides into codling moth management programs in Washington apple orchards. *J Integr Pest Manage* 3(2):E1–4. <https://doi.org/10.1603/IPM09001>
- Dolatti L, Hossienpour S (2021) Host adaptation in *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) using microsatellite DNA markers. *J Crop Prot* 10(2):401–409
- Duehl AJ, Cohnstaedt LW, Arbogast RT, Teal PEA (2011) Evaluating light attraction to increase trap efficiency for *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J Econ Entomol* 104(4):1430–1435. <https://doi.org/10.1603/EC10458>
- El-Ghany NM (2019) Semiochemicals for controlling insect pests. *J Plant Prot Res* 59(1):1–11. <https://doi.org/10.24425/jppr.2019.126036>
- El-Sayed AM, Suckling DM, Byers JA, Jang EB, Wearing CH (2009) Potential of “lure and kill” in long-term pest management and eradication of invasive species. *J Econ Entomol* 102(3):815–835. <https://doi.org/10.1603/029.102.0301>
- El-Sayed AM, Suckling DM, Wearing CH, Byers JA (2006) Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *J Econ Entomol* 99(5):1550–1564. <https://doi.org/10.1093/jee/99.5.1550>
- EPPO Global Data Base (2022) *Cydia pomonella* (CARPPO). Last updated: 2022-12-14. <https://gd.eppo.int/taxon/CARPPO/distribution> (06.07.2024)
- Epsky ND, Morrill WL, Mankin RW (2008) Traps for capturing insects. In: Capinera JL (ed) Encyclopedia of entomology. Second Edition. Berlin, Heidelberg: Springer Science & Business Media. 3887–3901
- Erler F, Tosun HS (2023) Mass-trapping the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), using newly designed light trap reduces fruit damage in apple orchards. *J Plant Dis Prot* 130:795–807. <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00735-7>
- Eyer JR (1934) Further observations on limiting factors in codling moth bait and light trap attractiveness. *J Econ Entomol* 27(3):722–723
- Eyer JR (1937) Ten-years' experiments with codling moth bait traps, light traps, and trap bands. *Bull New Mexico Agric Exp Sta* 253:1–67
- Fabian ST, Sondhi Y, Allen PE, Theobald JC, Lin HT (2024) Why flying insects gather at artificial light. *Nat Commun* 15(1):689. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-44785-3>
- Falcón J, Torriglia A, Attia D, Viénot F, Gronfier C, Behar-Cohen F, Martinsons C, Hicks D (2020) Exposure to artificial light at night and the consequences for flora, fauna, and ecosystems. *Front Neurosci* 14:602796. <https://doi.org/10.3389/finins.2020.602796>
- Fan J, Jehle JA, Rucker A, Nielsen AL (2022) First evidence of CpGV resistance of codling moth in the USA. *Insects* 13(6):533. <https://doi.org/10.3390/insects13060533>
- Flesch P (2006) Light and light sources: high-intensity discharge lamps. Berlin: Springer. 344 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32685-4>
- Folta KM, Koss LL, McMorro R, Kim HH, Kenitz JD, Wheeler R, Sager JC (2005) Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research. *BMC Plant Biol* 5:17. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-5-17>
- Franck P, Reyes M, Olivares J, Sauphanor B (2007) Genetic architecture in codling moth populations: comparison between microsatellite and insecticide resistance markers. *Mol Ecol* 16(17):3554–3564. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03410.x>
- Franck P, Ricci B, Klein EK, Olivares J, Simon S, Cornuet JM, Lavigne C (2011) Genetic inferences about the population dynamics of codling moth females at a local scale. *Genetica* 139:949–960. <https://doi.org/10.1007/s10709-011-9598-5>
- Franck P, Timm AE (2010) Population genetic structure of *Cydia pomonella*: a review and case study comparing spatiotemporal variation. *J Appl Entomol* 134(3):191–200. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01426.x>
- Frank KD (1988) Impact of outdoor lighting on moths: an assessment. *J Lepid Soc* 42(2):63–93
- Freas CA, Spetch ML (2023) Varieties of visual navigation in insects. *Anim Cogn* 26(1):319–342. <https://doi.org/10.1007/s10071-022-01720-7>
- Frewin AJ, Adams C, Judd G, Hazell J (2022) Wind tunnel and field evaluation of trapping efficiency of semiochemical baited camera-traps for capturing codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J Econ Entomol* 115(6):2004–2012. <https://doi.org/10.1093/jee/toac132>

- Fritsch E, Undorf-Spahn K, Kienzle J, Zebitz C, Hüber J (2005) Apfelwickler-Granulovirus: Erste Hinweise auf Unterschiede in der Empfindlichkeit lokaler Apfelwickler- Populationen. *Nachr Dtsch Pflanzenschutzd* 57:29–34
- Frolov AN (2022) Controlling the behavior of harmful insects: light and chemical signals and their combined action. *Entomol Rev* 102(6):782–819. <https://doi.org/10.1134/S0013873822060033>
- Frolov AN, Grushevaya IV, Kononchuk AG (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>
- Fu X, Xing Z, Liu Z, Ali A, Wu K (2014) Migration of diamondback moth, *Plutella xylostella*, across the Bohai Sea in northern China. *Crop Prot* 64:143–149. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.021>
- Fuentes-Contreras E, Espinoza JL, Lavandero B, Ramírez CC (2008) Population genetic structure of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from apple orchards in central Chile. *J Econ Entomol* 101(1):190–198. <https://doi.org/10.1093/jee/101.1.190>
- Furlong MJ, Wright DJ, Dossall LM (2013) Diamondback moth ecology and management: problems, progress and prospects. *Annu Rev Entomol* 58:517–541. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>
- Gebhardt MM, Eberle KE, Radtke P, Jehle JA (2014) Baculovirus resistance in codling moth is virus isolate-dependent and the consequence of a mutation in viral gene pe38. *Proc Natl Acad Sci USA* 111(44):15711–15716. <https://doi.org/10.1073/pnas.1411089111>
- Geier PW (1960) Physiological age of codling moth females (*Cydia pomonella* (L.)) caught in bait and light traps. *Nature* 185(4714):709. <https://doi.org/10.1038/185709a0>
- Geier PW (1963) The life history of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), in the Australian capital territory. *Aust J Zool* 11(3):323–367. <https://doi.org/10.1071/ZO9630323>
- Gentry CR, Davis DR (1973) Weather: influence on catches of adult cabbage loopers in traps baited with BL only or with BL plus synthetic sex pheromone. *Environ Entomol* 2(6):1074–1077. <https://doi.org/10.1093/ee/2.6.1074>
- Gregg PC, Del Socorro AP, Landolt PJ (2018) Advances in attract-and-kill for agricultural pests: beyond pheromones. *Annu Rev Entomol* 63:453–470. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035040>
- Gross J, Franco JC (2022) Novel trends on semiochemicals and semiophysicals for insect science and management. *Entomol Gen* 42(2):163–165. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2022/1535>
- Groves JR (1955) A comparison of bait and light traps for catching codling moths, *Cydia pomonella* (L.). Forty Second Report East Malling Research Station. 146–148
- Gu H, Hughes J, Dorn S (2006) Trade-off between mobility and fitness in *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae). *Ecol Entomol* 31(1):68–74. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6946.2006.00761.x>
- Gümüşsoy A, Yüksel E, Özer G, İmren M, Canhilal R, Amer M, Dababat AA (2022) Identification and biocontrol potential of entomopathogenic nematodes and their endosymbiotic bacteria in apple orchards against the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Insects* 13(12):1085. <https://doi.org/10.3390/insects13121085>
- Gund NA, Wagner A, Timm AE, Schulze-Bopp S, Jehle JA, Johannesen J, Reineke A (2012) Genetic analysis of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) populations with different levels of sensitivity towards the *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV). *Genetica* 140(4–6):235–247. <https://doi.org/10.1007/s10709-012-9675-4>
- Guo S, Ge X, Zou Y, Zhou Y, Wang T, Zong S (2021) Projecting the global potential distribution of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) under historical and RCP4.5 climate scenarios. *J Insect Sci* 21(2):15. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab024>
- Hamilton DW, Steiner LF (1939) Light traps and codling moth control. *J Econ Entomol* 32(6):867–872. <https://doi.org/10.1093/jee/32.6.867>
- Hämmerle B, Kolb G (1987) Structure of the dorsal eye region of the moth, *Adoxophyes reticulana* Hb (Lepidoptera: Tortricidae). *Int J Insect Morphol Embryol* 16(2):121–129. [https://doi.org/10.1016/0020-7322\(87\)90012-2](https://doi.org/10.1016/0020-7322(87)90012-2)
- Harcourt DG (1954) The biology and ecology of the diamondback moth, *Plutella maculipennis*, Curtis, in Eastern Ontario. *PhD thesis*, 107 pp.
- Harcourt DG (1957) Biology of the diamondback moth, *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera: Plutellidae), in Eastern Ontario. II. Life-history, behaviour, and host relationships. *Can Entomol* 89(12):554–564. <https://doi.org/10.4039/Ent89554-12>
- Hartley D, Davies AR, Laude G, Pell JK, Reed A, Guzman Franco AW, Fitzgerald JD, James C, Jay C, Solomon MG, Avilla J, Bosch D, Hall DR, Farman DI (2005) Auto-dissemination of a fungal pathogen for codling moth control in apple. The British Crop Production Council International Congress – Crop Science & Technology, Session 4B Biological Control of Pests in Field Crops. 321–326
- Hathaway DO (1981) Codling moth: field evaluation of blacklight and sex attractant traps. Agricultural Research Service, USDA. *Advances in Agricultural Technology, Western Series*, 19. 4 p.
- Hatteland BA, De Andrade Moral R, Jaastad G, Myren G, Bjotveit E, Sekse IL, Westrum K, Trandem N (2023) Pesticide use, arthropod fauna and fruit damage in apple orchards in a Nordic climate. *Pest Manage Sci* 79(12):5292–5303. <https://doi.org/10.1002/ps.7738>
- Headlee TJ (1932) Further studies of the effects of electromagnetic waves on insects. *J Econ Entomol* 25(2):276–288. <https://doi.org/10.1093/jee/25.2.276>
- Heikinheimo O (1971) On the phenology and light trapping of the codling moth (*Laspeyresia pomonella* L., Lep., Tortricidae). *Acta Entomol Fenn* 28:33–40
- Heinze S, Narendra A, Cheung A (2018) Principles of insect path integration. *Curr Biol* 28(17):R1043–R1058. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.04.058>
- Herms WB (1929) A field test of the effect of artificial light on the behavior of the codling moth *Carpocapsa pomonella* Linn. *J Econ Entomol* 22(1):78–88. <https://doi.org/10.1093/jee/22.1.78>
- Herms WB (1932) Deterrent effect of artificial light on the codling moth. *Hilgardia* 7(7):263–280. <https://doi.org/10.3733/hilg.v07n07p263>

- Hermes WB (1947) Some problems in the use of artificial light in crop protection. *Hilgardia* 17(10):359–375
- Hironaka M, Hariyama T (2014) Diverse mechanisms of insect orientation to light. *Jpn J Appl Entomol Zool* 58(2):93–109. <https://doi.org/10.1303/jjaez.2014.93>
- Homberg U (2004) In search of the sky compass in the insect brain. *Naturwissenschaften* 91:199–208. <https://doi.org/10.1007/s00114-004-0525-9>
- Homberg U, Heinze S, Pfeiffer K, Kinoshita M, El Jundi B (2011) Central neural coding of sky polarization in insects. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 366(1565):680–687. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0199>
- Hopkinson RF, Soroka JJ (2010) Air trajectory model applied to an in-depth diagnosis of potential diamondback moth infestations on the Canadian Prairies. *Agric For Meteorol* 150(1):1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.07.015>
- Horner RM, Lo PL, Rogers DJ, Walker JTS, Suckling DM (2020) Combined effects of mating disruption, insecticides, and the sterile insect technique on *Cydia pomonella* in New Zealand. *Insects* 11(12):837. <https://doi.org/10.3390/insects11120837>
- Howell JF, Clift AE (1974) The dispersal of sterilized codling moths released in the Wenatchee Valley, Washington. *Environ Entomol* 3(1):75–81. <https://doi.org/10.1093/ee/3.1.75>
- Howse P, Armsworth C, Baxter I (2007) Autodissemination of semiochemicals and pesticides: a new concept compatible with the sterile insect technique. In: Vreysen MJB, Robinson AS, Hendrichs J (eds) Area-wide control of insect pests: from research to field implementation. Dordrecht: Springer. 275–281
- Hsiao HS (1973) Flight paths of night-flying moths to light. *J Insect Physiol* 19(10):1971–1976. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(73\)90191-1](https://doi.org/10.1016/0022-1910(73)90191-1)
- Hughes JV (1964) Sky brightness as a function of altitude. *Appl Opt* 3(10):1135–1138. <https://doi.org/10.1364/AO.3.001135>
- Hussain B, Ahmad B, Bilal S (2015) Monitoring and mass trapping of the codling moth, *Cydia pomonella*, by the use of pheromone baited traps in Kargil, Ladakh, India. *Int J Fruit Sci* 15(1):1–9. <https://doi.org/10.1080/15538362.2013.819207>
- Hutchins RE (1940) Insect activity at a light trap during various periods of the night. *J Econ Entomol* 33(4):654–657. <https://doi.org/10.1093/jee/33.4.654>
- Idier M, Siegwart M, Barrès B, Maugin S, Olivares J, Gauffre B (2023) Genetic characterization of multiple insecticide resistances in *Cydia pomonella* (L.) using RNAseq. *Entomol Gen* 43(3):545–554. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2023/2029>
- Infusino M, Brehm G, Di Marco C, Scalercio S (2017) Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for sampling the diversity of macro-moths (Lepidoptera). *Eur J Entomol* 114:25. <https://doi.org/10.14411/eje.2017.004>
- Jaffe BD, Guédot C, Landolt PJ (2018) Mass-trapping codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), using a kairomone lure reduces fruit damage in commercial apple orchards. *J Econ Entomol* 111(4):1983–1986. <https://doi.org/10.1093/jee/toy111>
- Jakobsson J, Henze MJ, Svensson GP, Lind O, Anderbrant O (2017) Visual cues of oviposition sites and spectral sensitivity of *Cydia strobilella* L. *J Insect Physiol* 101:161–168. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.06.006>
- Jarfas J, Viola M (1981) The impact of meteorological factors onto the light-attraction of codling moth. *Acta Phytopathol Acad Sci Hung* 16(3/4):399–404
- Jehle JA, Schulze-Bopp S, Undorf-Spahn K, Fritsch E (2017) Evidence for a second type of resistance against *Cydia pomonella* granulovirus in field populations of codling moths. *Appl Environ Microbiol* 83(2):e02330-16. <https://doi.org/10.1128/AEM.02330-16>
- Jha PK, Zhang N, Rijal JP, Parker LE, Ostojica S, Pathak TB (2024) Climate change impacts on insect pests for high value specialty crops in California. *Sci Total Environ* 906:167605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167605>
- Jiang D, Chen S, Hao M, Fu J, Ding F (2018) Mapping the potential global codling moth (*Cydia pomonella* L.) distribution based on a machine learning method. *Sci Rep* 8:13093. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31478-3>
- Joshi NK, Hull LA, Krawczyk G, Rajotte EG (2008) Field results of mating disruption technologies for the control of codling moth, *Cydia pomonella* (L.), and oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck) in Pennsylvania apple orchards. *Asp Appl Biol* 84:153
- Joshi NK, Hull LA, Rajotte EG, Krawczyk G, Bohnenblust E (2011) Evaluating sex-pheromone- and kairomone-based lures for attracting codling moth adults in mating disruption versus conventionally managed apple orchards in Pennsylvania. *Pest Manage Sci* 67(10):1332–1337. <https://doi.org/10.1002/ps.2194>
- Ju D, Mota-Sanchez D, Fuentes-Contreras E, Zhang YL, Wang XQ, Yang XQ (2021) Insecticide resistance in the *Cydia pomonella* (L.): global status, mechanisms, and research directions. *Pestic Biochem Physiol* 178:104925. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104925>
- Judd GJR, Gardiner MGT (2005) Towards eradication of codling moth in British Columbia by complimentary actions of mating disruption, tree banding and sterile insect technique: five-year study in organic orchards. *Crop Prot* 24(8):718–733. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.12.009>
- Kadoić Balaško M, Bažok R, Mikac KM, Lemic D, Pajač Živković I (2020) Pest management challenges and control practices in codling moth: a review. *Insects* 11(1):38. <https://doi.org/10.3390/insects11010038>
- Kamali H, Koliaei R, Taghadosi M (2017) Codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lep.: Tortricidae) control by mating disruption method by synthetic pheromones in Khorasan Razavi Province. *J Iran Plant Prot Res* 30(4):646–653. <https://doi.org/10.22067/jpp.v30i4.50725>
- Kashirskaya N, Kuzin A, Kochkina A, Kirina I (2022) Results of “Shin-Etsu” pheromone application on immune cultivars in the apple protection system to control of codling moth. *BIO Web Conf* 47:05009. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224705009>
- Keil S, Gu H, Dorn S (2001a) Diel patterns of locomotor activity in *Cydia pomonella*: age and sex related differences and effects of insect hormone mimics. *Physiol Entomol* 26(4):306–314. <https://doi.org/10.1046/j.0307-6962.2001.00247.x>
- Keil S, Gu HN, Dorn S (2001b) Response of *Cydia pomonella* to selection on mobility: laboratory evaluation and field

- verification. *Ecol Entomol* 26(5):495–501. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2001.00346.x>
- Khaghaninia S, Mohammadi SA, Sarafrazi AM, Nejad KHI (2011) Population variation of codling moth *Cydia pomonella* (Lep.; Tortricidae) based on molecular data from northwestern Iran. *Turk J Zool* 35(4):571–578. <https://doi.org/10.3906/zoo-0911-98>
- Kim K, Huang Q, Lei C (2019) Advances in insect phototaxis and application to pest management: a review. *Pest Manage Sci* 75:3135–3143. <https://doi.org/10.1002/ps.5536>
- Knight A, Cichon L, Lago J, Fuentes-Contreras E, Barros-Parada W, Hull L, Krawczyk G, Zoller B, Hansen R, Hilton R, Basoalto E (2014) Monitoring oriental fruit moth and codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with combinations of pheromones and kairomones. *J Appl Entomol* 138(10):783–794. <https://doi.org/10.1111/jen.12138>
- Knight AL (2008) Codling moth areawide integrated pest management. In: Koul O, Cuperus G, Elliott N (eds) *Areawide pest management: theory and implementation*. Wallingford: CABI. 159–190
- Knight AL (2010a) Cross-resistance between azinphosmethyl and acetamiprid in populations of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), from Washington State. *Pest Manage Sci* 66(8):865–874. <https://doi.org/10.1002/ps.1955>
- Knight AL (2010b) Increased catch of female codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in kairomone-baited clear delta traps. *Environ Entomol* 39(2):583–590. <https://doi.org/10.1603/EN09023>
- Knight AL, Fisher J (2006) Increased catch of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in semiochemical-baited orange plastic delta-shaped traps. *Environ Entomol* 35(6):1597–1602. <https://doi.org/10.1093/ee/35.6.1597>
- Knight AL, Hawkins L, McNamara K, Hilton R (2009) Monitoring and managing codling moth clearly and precisely. *Good Fruit Grower* 60(5):26–27
- Knight AL, Larson D, Christianson B (2002) Flight tunnel and field evaluations of sticky traps for monitoring codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in sex pheromone-treated orchards. *J Entomol Soc B C* 99:107–116
- Knight AL, Light DM (2005) Developing action thresholds for codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with pear ester- and codlemone-baited traps in apple orchards treated with sex pheromone mating disruption. *Can Entomol* 137(6):739–747. <https://doi.org/10.4039/n05-040>
- Knight AL, Light DM (2012) Monitoring codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in sex pheromone-treated orchards with (E)-4, 8-dimethyl-1, 3, 7-nonatriene or pear ester in combination with codlemone and acetic acid. *Environ Entomol* 41(2):407–414. <https://doi.org/10.1603/EN11310>
- Knight AL, Light DM, Trimble RM (2011) Identifying (E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatriene plus acetic acid as a new lure for male and female codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ Entomol* 40(2):420–430. <https://doi.org/10.1603/EN10283>
- Knight AL, Miliczky E (2003) Influence of trap colour on the capture of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae), honeybees, and non-target flies. *J Entomol Soc B C* 100:65–70
- Knight AL, Mujica V, Larsson Herrera S, Tasin M (2019a) Addition of terpenoids to pear ester plus acetic acid increases catches of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J Appl Entomol* 143(8):813–821. <https://doi.org/10.1111/jen.12646>
- Knight AL, Mujica V, Larsson Herrera S, Tasin M (2019b) Monitoring codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with a four-component volatile blend compared to a sex pheromone-based blend. *J Appl Entomol* 143(9):942–947. <https://doi.org/10.1111/jen.12682>
- Knight AL, 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. *J Appl Entomol* 147(9):843–856. <https://doi.org/10.1111/jen.13176>
- Knight AL, Preti M, Basoalto E, Mujica VM, Favaro R, Angeli S (2022) Combining female removal with mating disruption for management of *Cydia pomonella* in apple. *Entomol Gen* 42(2):309–321. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2021/1316>
- Komala G, Manda RR, Seram D (2021) Role of semiochemicals in integrated pest management. *Int J Entomol Res* 6(2):247–253
- Koomen MJ, Lock C, Packer DM, Scolnik R, Tousey R, Hulburt EO (1952) Measurements of the brightness of the twilight sky. *J Opt Soc Am* 42(5):353–356. <https://doi.org/10.1364/JOSA.42.000353>
- Kot I (2010) Monitoring of codling moth (*Cydia pomonella* L.) in apple orchards using two methods. *J Plant Prot Res* 50(2):220–223
- Kovanci OB (2017) Comparison of the costs of mating disruption with traditional insecticide applications for control of codling moth in apple orchards in Turkey. *Sci Pap B Hortic* 61:455–460
- Kumar S, Neven LG, Zhu H, Zhang R (2015) Assessing the global risk of establishment of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) using CLIMEX and MaxEnt Niche Models. *J Econ Entomol* 108(4):1708–1719. <https://doi.org/10.1093/jee/108.4.1708>
- Kutinkova H, Dzhuvinov V, Palagacheva N, Staneva I, Gandev S, Kornov G, Lingren B (2022) Sustainable control of codling moth, *Cydia pomonella* L. in some apple orchards of Bulgaria. *J BioPest* 15(1):15–19.
- Kuyulu A, Genç H (2020) Genetic diversity of codling moth *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) populations in Turkey. *Turk J Zool* 44(5):462–471. <https://doi.org/10.3906/zoo-2006-4>
- Labhart T, Meyer EP (2002) Neural mechanisms in insect navigation: polarization compass and odometer. *Curr Opin Neurobiol* 12(6):707–714. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00384-7](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00384-7)
- Lacey LA, Granatstein D, Arthurs SP, Headrick H, Fritts R (2006) Use of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae) in conjunction with mulches for control of overwintering codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J Entomol Sci* 41(2):107–119. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-41.2.107>
- Lacey LA, Unruh TR (2005) Biological control of codling moth (*Cydia pomonella*, Lepidoptera: Tortricidae) and its role in integrated pest management, with emphasis on entomopathogens. *Vedalia* 12(1):33–60

- Lee S, Orr MC, Seung J, Yang Y, Tian Z, Lee M, Tak JH, Lee S, Bai M (2024) Designing and evaluating a portable UV-LED vane trap to expedite arthropod biodiversity discovery. *Insects* 15(1):21. <https://doi.org/10.3390/insects15010021>
- Leinonen R, Pöyry J, Söderman G, Tuominen-Roto L (2016) Suomen Yöperhosseuranta (Nocturna) 1993–2012. Helsinki: Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja. 15:1–76. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/161221/SYKera_15_2016.pdf (06.07.2024)
- Leinonen R, Söderman G, Itämies J, Rytönen S, Rutanen I (1998) Intercalibration of different light-traps and bulbs used in moth monitoring in northern Europe. *Entomol Fenn* 9(1):37–51. <https://doi.org/10.33338/ef.83965>
- Li Y, Duan X, Qiao X, Li X, Wang K, Men Q, Chen M (2015) Mitochondrial DNA revealed the extent of genetic diversity and invasion origin of populations from two separate invaded areas of a newly invasive pest, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) in China. *Bull Entomol Res* 105(4):485–496. <https://doi.org/10.1017/S0007485315000334>
- Loeb J (1918) Forced movements, tropisms, and animal conduct. In: Loeb J, Morgan TH, Osterhout WJV (eds) Monographs on experimental biology, vol. 1. Philadelphia, London: J. B. Lippincott Company. 209 pp.
- Lösel PM, Penners G, Pottting RP, Ebbinghaus D, Elbert A, Scherkenbeck J (2003) Laboratory and field experiments towards the development of an attract and kill strategy for the control of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomol Exp Appl* 95(1):39–46. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00639.x>
- Madsen H, Sanborn R (1962) Black light traps: help determine flights of codling moths and other deciduous fruit pests. *Calif Agric* 16(2):12–13
- Madsen HF (1967) Codling moth attractants. *Pest Articles & News Summaries Sect A Insect Control* 13(4):333–344. <https://doi.org/10.1080/04345546709415228>
- Madsen HF, Vakenti JM (1973) Codling moth: use of Codlemone®-baited traps and visual detection of entries to determine need of sprays. *Environ Entomol* 2(4):677–680. <https://doi.org/10.1093/ee/2.4.677>
- Madsen HF, Vakenti JM, Peters FE (1976) Codling moth: suppression by male removal with sex pheromone traps in an isolated apple orchard. *J Econ Entomol* 69(5):597–599. <https://doi.org/10.1093/jee/69.5.597>
- Maitlen JC, McDonough LM, Moffitt HR, George DA (1976) Codling moth sex pheromone: baits for mass trapping and population survey. *Environ Entomol* 5(1):199–202. <https://doi.org/10.1093/ee/5.1.199>
- Mani E Wildbolz T (1977) The dispersal of male codling moths (*Laspeyresia pomonella* L.) in the Upper Rhine Valley. *Z Angew Entomol* 83(1–4):161–168. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1977.tb02386.x>
- Mani E, Riggerbach W, Mendik M (1974) Tagesrhythmus des Falterfangs und Beobachtungen über die Flugaktivität beim Apfelwickler (*Laspeyresia pomonella* L.). *Mitt Schweiz Entomol Ges* 47(1–2):39–48
- Manja K, Aoun M (2019) The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: a review. *Sci Hort* 246:110–122. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.050>
- Mann RS, Kaufman PE, Butler JF (2009) *Lutzomyia* spp. (Diptera: Psychodidae) response to olfactory attractant-and light emitting diode-modified Mosquito Magnet X (MM-X) traps. *J Med Entomol* 46(5):1052–1061. <https://doi.org/10.1603/033.046.0512>
- Mansour M (2010) Attract and kill for codling moth *Cydia pomonella* (Linnaeus)(Lepidoptera: Tortricidae) control in Syria. *J Appl Entomol* 134(3):234–242. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01393.x>
- Margaritopoulos JT, Voudouris CC, Olivares J, Sauphanor B, Mamuris Z, Tsitsipis JA, Franck P (2012) Dispersal ability in codling moth: mark–release–recapture experiments and kinship analysis. *Agric For Entomol* 14(4):399–407. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2012.00582.x>
- Marshall AT, Beers EH (2023) Net enclosures disrupt codling moth dispersal not establishment. *Agric For Entomol* 25(1):130–138. <https://doi.org/10.1111/afe.12537>
- Marshall GE, Hinton TE (1935) Light traps for codling moth control. *Agric Engng* 16(9):365–368,371
- Martin-Gabarrella A, Gemeno C, Belušić G (2023) Spectral sensitivity of retinal photoreceptors of tortricid moths is not tuned to diel activity period. *J Exp Biol* 226(15):jeb245461. <https://doi.org/10.1242/jeb.245461>
- McDonough LM, Moffitt HR (1974) Sex pheromone of the codling moth. *Science* 183(4128):978. <https://doi.org/10.1126/science.183.4128.978.b>
- McGhee PS, Epstein DL, Gut LJ (2011) Quantifying the benefits of areawide pheromone mating disruption programs that target codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Am Entomol* 57(2):94–100. <https://doi.org/10.1093/ae/57.2.94>
- McGhee PS, Gut LJ, Miller JR (2014) Aerosol emitters disrupt codling moth, *Cydia pomonella*, competitively. *Pest Manage Sci* 70(12):1859–1862. <https://doi.org/10.1002/ps.3732>
- McNally PS, Barnes MM (1980) Inherent characteristics of codling moth pheromone traps. *Environ Entomol* 9(5):538–541. <https://doi.org/10.1093/ee/9.5.538>
- McQuate GT (2014) Green light synergistically enhances male sweetpotato weevil response to sex pheromone. *Sci Rep* 4:4499. <https://doi.org/10.1038/srep04499>
- Men QL, Chen MH, Zhang YL, Feng JN (2013) Genetic structure and diversity of a newly invasive species, the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) in China. *Biol Invasions* 15:447–458. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0299-5>
- Mensel R (1979) Spectral sensitivity and color vision in invertebrates. In: Autrum H (ed) Comparative physiology and evolution of vision in invertebrates. Handbook of sensory physiology, vol. 7/6/6. Berlin, Heidelberg: Springer. 503–580. https://doi.org/10.1007/978-3-642-66999-6_9
- Meraner A, Brandstätter A, Thaler R, Aray B, Unterlechner M, Niederstätter H, Parson W, Zelger R, Dalla Via J, Dallinger R (2008) Molecular phylogeny and population structure of the codling moth (*Cydia pomonella*) in Central Europe: I. Ancient clade splitting revealed by mitochondrial haplotype markers. *Mol Phylogenet Evol* 48(3):825–837. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.05.026>
- Mikkola K (1972) Behavioural and electrophysiological responses of night-flying insects, especially Lepidoptera, to near-ultraviolet and visible light. *Ann Zool Fenn* 9(4):225–254

- Miletic N, Tamaš N, Graora D (2011) The control of codling moth (*Cydia pomonella* L.) in apple trees. *Žemdirbystė* 98(2):213–218
- Miller JR, Gut LJ (2015) Mating disruption for the 21st century: matching technology with mechanism. *Environ Entomol* 44(3):427–453. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv052>
- Mills NJ (2005) Selecting effective parasitoids for biological control introductions: codling moth as a case study. *Biol Control* 34(3):274–282. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.02.012>
- Mills NJ (2022) Classical biological control of codling moth in the Western United States. In: Van Driesche RG, Winston RL, Perring TM, Lopez VM (eds) Contributions of classical biological control to the U.S. food security, forestry, and biodiversity. Morgantown, West Virginia: USDA Forest Service. 73–80
- 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. *J Econ Entomol* 109(6):2551–2560. <https://doi.org/10.1093/jee/tow225>
- Mohebbi C, Shoemaker LH (1990) An extension of the median test to analysis of variance. *Commun Statist – Theory Meth* 19(3):1101–1117. <https://doi.org/10.1080/03610929008830249>
- Moore R.C., Schilling G.F. (1968) On the scattering of sunlight into planetary shadow cones. *J Quant Spectrosc Radiat Transfer* 8(1):39–49. [https://doi.org/10.1016/S0022-4073\(68\)80097-4](https://doi.org/10.1016/S0022-4073(68)80097-4)
- Mori BA, Evenden ML (2013) When mating disruption does not disrupt mating: fitness consequences of delayed mating in moths. *Entomol Exp Appl* 146(1):50–65. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01309.x>
- Mori K (1974) Simple synthesis of sex pheromones of codling moth and red bollworm moth by the coupling of Grignard reagents with allylic halides. *Tetrahedron* 30(20):3807–3810. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(01\)90668-4](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(01)90668-4)
- Mottier P (2010) LEDs for lighting applications. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons. 288 pp. <https://doi.org/10.1002/9780470612019>
- Mubashir S, Seram D (2022) Insecticidal resistance in diamondback moth (*Plutella xylostella*): a review. *Pharma Innov J* 11(7):958–962
- Murray M., Alston D. (2020) Codling moth in Utah orchards. <https://extension.usu.edu/pests/research/codling-moth-in-Utah-Orchards> (06.07.2024)
- Myers CT, Krawczyk G, Agnello AM (2009) Response of tortricid moths and non-target insects to pheromone trap color in commercial apple orchards. *J Entomol Sci* 44(1):69–77. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-44.1.69>
- Nakamoto Y, Kuba H (2004) The effectiveness of a green light emitting diode (LED) trap at capturing the West Indian sweet potato weevil, *Euscepes postfasciatus* (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae) in a sweet potato field. *Appl Entomol Zool* 39(3):491–495. <https://doi.org/10.1303/aez.2004.491>
- Naton E (1972) The efficiency of light-traps for the capture of tortricids frequent in orchards dependent on construction and light colour. *Z Angew Entomol* 71(3):270–277
- Nelson C, Esch E, Kimmie S, Tesche M, Philip H, Arthur S (2021) Putting the sterile insect technique into the modern integrated pest management toolbox to control the codling moth in Canada. In: Hendrichs J, Pereira R, Vreysen MJB (eds) Area-wide integrated pest management: development and field application. Boca Raton USA & Abingdon UK: CRC Press. 111–127
- Nelson S, DiGiacomo G, Klodd A, Jacobson J, Wimmer M, Hutchison W (2024) Hail netting for apples: study results (2021–2022). University Digital Conservancy. <https://hdl.handle.net/11299/261691> (12.07.2024)
- Nelson S, Klodd A, Hutchison W (2023) Hail netting excludes key insect pests and protects from fruit damage in a commercial Minnesota apple orchard. *J Econ Entomol* 116(6):2104–2115. <https://doi.org/10.1093/jee/toad197>
- Nielsen ET (1963) Illumination at twilight. *Oikos* 14(1):9–21. <https://doi.org/10.2307/3564956>
- Nieri R, Anfora G, Mazzoni V, Rossi Stacconi MV (2022) Semiochemicals, semiophysicals and their integration for the development of innovative multi-modal systems for agricultural pests' monitoring and control. *Entomol Gen* 42(2):167–183. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2021/1236>
- Niermann J, Brehm G (2022) The number of moths caught by light traps is affected more by microhabitat than the type of UV lamp used in a grassland habitat *Eur J Entomol* 119:36–42. <https://doi.org/10.14411/eje.2022.004>
- Nowinszky L (2003) The handbook of light trapping. Szombathely: Savaria University Press, Hungary. 276 pp.
- Nowinszky L (2004) Nocturnal illumination and night flying insects. *Appl Ecol Environ Res* 2(1):17–52
- Odendaal D, Addison MF, Malan AP (2016) Entomopathogenic nematodes for the control of the codling moth (*Cydia pomonella* L.) in field and laboratory trials. *J Helminthol* 90(5):615–623. <https://doi.org/10.1017/S0022149X15000887>
- Otieno JA, Stukenberg N, Weller J, Poehling HM (2018) Efficacy of LED-enhanced blue sticky traps combined with the synthetic lure Lurem-TR for trapping of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*). *J Pest Sci* 91(4):1301–1314. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1005-x>
- Owens AC, Lewis SM (2018) The impact of artificial light at night on nocturnal insects: a review and synthesis. *Ecol Evol* 8(22):11337–11358. <https://doi.org/10.1002/ece3.4557>
- Pajač I, Pejić I, Barić B (2011) Codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) – major pest in apple production: an overview of its biology, resistance, genetic structure and control strategies. *Agric Conspec Sci* 76(2):87–92
- Pajač Živković I, Jemrić T, Fruk M, Buhin J, Barić B (2016) Influence of different netting structures on codling moth and apple fruit damages in northwest Croatia. *Agric Conspec Sci* 81(2):99–102
- Park JH, Lee HS (2017) Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs). *Appl Biol Chem* 60:137–144. <https://doi.org/10.1007/s13765-017-0263-2>
- Parker RL (1959) Notes on oviposition behavior responses of the codling moth, *Carpocapsa pomonella* L., to air

- movement, temperature, and light. *J Kans Entomol Soc* 32(4):152–154
- Parrott PJ (1927) Progress report on light traps for insect control. New York Agricultural Experiment Station, Empire State Gas and Electric Association Cooperating. 12 pp.
- Parrott PJ, Collins DL (1934) Phototropic responses of the codling moth. *J Econ Entomol* 27(2):370–379. <https://doi.org/10.1093/jee/27.2.370>
- Parrott PJ, Collins DL (1935) Some further observations on the influence of artificial light upon codling moth infestations. *J Econ Entomol* 28(1):99–103. <https://doi.org/10.1093/jee/28.1.99a>
- Pashley DP, Bush GL (1979) The use of allozymes in studying insect movement with special reference to the codling moth, *Laspeyresia pomonella* (L.) (Olethreutidae). In: Rabb RL, Kennedy GG (eds) Movement of highly mobile insects: concepts and methodology in research. Raleigh: North Carolina State University Press. 333–341
- Paterson G, Perry GL, Walker JT, Suckling DM (2019) Peri-urban community attitudes towards codling moth trapping and suppression using the sterile insect technique in New Zealand. *Insects* 10(10):335. <https://doi.org/10.3390/insects10100335>
- Patterson DF (1937) Four years' experience with "electracide" light traps. Ontario Entomological Society Sixty-seventh Annual Report 1936. 57–61
- Peterson A, Haeussler GJ (1928) Response of the oriental peach moth and codling moth to colored lights. *Ann Entomol Soc Am* 21(3):353–379. <https://doi.org/10.1093/aesa/21.3.353>
- 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. *Not Sci Biol* 10(4):475–484. <https://doi.org/10.15835/nsb10410303>
- Phillips PA, Barnes MM (1975) Host race formation among sympatric apple, walnut, and plum populations of the codling moth, *Laspeyresia pomonella*. *Ann Entomol Soc Am* 68(6):1053–1060. <https://doi.org/10.1093/aesa/68.6.1053>
- Pickett JA, Wadhams LJ, Woodcock CM (1993) Exploiting behaviorally active phytochemicals in crop protection. In: Van Beek TA, Breteler H (eds) Phytochemistry and agriculture. Oxford: Clarendon Press. 62–75
- Pluciennik Z (2013) The control of codling moth (*Cydia pomonella* L.) population using mating disruption method. *J Hortic Res* 21(1):65–70. <https://doi.org/10.2478/johr-2013-0009>
- Preti M, Knight AL, Favaro R, Basoalto E, Tasin M, Angeli S (2021a) Comparison of new kairomone-based lures for *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in Italy and USA. *Insects* 12(1):72. <https://doi.org/10.3390/insects12010072>
- Preti M, Knight AL, Mujica MV, Basoalto E, Favaro R, Angeli S (2021b) Developing female removal for *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in organic pear in the USA and Italy. *J Appl Entomol* 145(9):856–868. <https://doi.org/10.1111/jen.12918>
- Preti M, Knight AL, Mujica MV, Basoalto E, Larsson Herrera S, Tasin M, Angeli S (2021c) Development of multi-component non-sex pheromone blends to monitor both sexes of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *J Appl Entomol* 145(8):822–830. <https://doi.org/10.1111/jen.12898>
- Pringle KL, Eyles DK, Brown L (2003) Trends in codling moth activity in apple orchards under mating disruption using pheromones in the Elgin area, Western Cape Province, South Africa. *Afr Entomol* 11(1):65–75
- Prokopy RJ, Owens ED (1983) Visual detection of plants by herbivorous insects. *Annu Rev Entomol* 28:337–364. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.28.010183.002005>
- Proverbs MD, Newton JR, Campbell CJ (1982) Codling moth: a pilot program of control by sterile insect release in British Columbia. *Can Entomol* 114(4):363–376. <https://doi.org/10.4039/Ent114363-4>
- Proverbs MD, Newton JR, Logan DM (1978) Suppression of codling moth, *Laspeyresia pomonella* (Lepidoptera: Olethreutidae), by release of sterile and partially sterile moths. *Can Entomol* 110(10):1095–1102. <https://doi.org/10.4039/Ent1101095-10>
- Pushnya MV, Ismailov VYa, Balakhnina IV, Rodionova EY, Snesareva EG, Komantsev AA (2021) Biocontrol of agricultural pests based on autodissemination of entomopathogenic nematodes of Steinernematidae family (Nematoda: Rhabditida). *Agricultural Biology* 56(3):523–536. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2021.3.523eng>
- Putman WL (1963) The codling moth, *Carpocapsa pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae): a review with special reference to Ontario. *Proc Entomol Soc Ontario* 93:22–60
- Rafoss T, Sæthre MG (2003) Spatial and temporal distribution of bioclimatic potential for the codling moth and the Colorado potato beetle in Norway: model predictions versus climate and field data from the 1990s. *Agric For Entomol* 5(1):75–86. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2003.00166.x>
- Reyes M, Barros-Parada W, Ramirez CC, Fuentes-Contreras E (2015) Organophosphate resistance and its main mechanism in populations of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from central Chile. *J Econ Entomol* 108(1):277–285. <https://doi.org/10.1093/jee/tou001>
- Reyes M, Franck P, Charmillot PJ, Ioriatti C, Olivares J, Pasqualini E, Sauphanor B (2007) Diversity of insecticide resistance mechanisms and spectrum in European populations of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Pest Manage Sci* 63(9):890–902. <https://doi.org/10.1002/ps.1421>
- Reyes M, Franck P, Olivares J, Margaritopoulos J, Knight A, Sauphanor B (2009) Worldwide variability of insecticide resistance mechanisms in the codling moth, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae). *Bull Entomol Res* 99(4):359–369. <https://doi.org/10.1017/S0007485308006366>
- Rhainds M (2024) Mass trapping lepidopteran pests with light traps, with focus on tortricid forest pests: what if? *Insects* 15(4):267. <https://doi.org/10.3390/insects15040267>
- Rice KB, Cullum JP, Wiman NG, Hilton R, Leskey TC (2017) *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) response to pyramid traps baited with attractive light and pheromonal stimuli. *Fla Entomol* 100(2):449–453. <https://doi.org/10.1653/024.100.0207>
- Riedl H (1980) The importance of pheromone trap density and trap maintenance for the development of standardized monitoring procedures for the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Can Entomol* 112(7):655–663. <https://doi.org/10.4039/Ent112655-7>

- Riedl H (1983) Analysis of codling moth phenology in relation to latitude, climate and food availability. In: Brown VK, Hodek I (eds) Diapause and life cycle strategies in insects (Series Entomologica, 23). Springer Netherlands. 233–252
- Riedl H, Croft BA (1974) A study of pheromone trap catches in relation to codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) damage. *Can Entomol* 106(5):525–537. <https://doi.org/10.4039/Ent106525-5>
- Riedl H, Croft BA (1978) The effects of photoperiodic and effective temperatures on the seasonal phenology of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Can Entomol* 110(5):455–470. <https://doi.org/10.4039/Ent110455-5>
- Riedl H, Loher W (1980) Circadian control of oviposition in the codling moth, *Laspeyresia pomonella*, Lepidoptera: Olethreutidae. *Entomol Exp Appl* 27(1):38–49. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1980.tb02944.x>
- Riley JR, Reynolds DR (1986) Orientation at night by high-flying insects. In: Danthanarayana W (ed) Insect flight: dispersal and migration. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 71–87
- Roach FE, Gordon JL (1973) The light of the night sky. Dordrecht: Springer. 138 pp.
- Robinson HS (1952) On the behaviour of night-flying insects in the neighbourhood of a bright source of light. *Proc R Entomol Soc Lond* 27:13–21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1952.tb00139.x>
- Roelofs W, Comeau A, Hill A, Milicevic G (1971) Sex attractant of the codling moth: characterization with electroantennogram technique. *Science* 174(4006):297–299. <https://doi.org/10.1126/science.174.4006.297>
- Roelofs WL, Cardé RT (1977) Responses of Lepidoptera to synthetic sex pheromone chemicals and their analogues. *Annu Rev Entomol* 22:377–405. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.22.010177.002113>
- Rondoni G, Chierici E, Marchetti E, Nasi S, Ferrari R, Conti E (2022) Improved captures of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, using a novel multimodal trap. *Insects* 13(6):527. <https://doi.org/10.3390/insects13060527>
- Sæthre MG, Edland T (2001) Distribution of the codling moth, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) in southern Norway. *Norw J Entomol* 48(2):251–262
- Sæthre MG, Hofsvang T (2002) Effect of temperature on oviposition behavior, fecundity, and fertility in two northern European populations of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ Entomol* 31(5):804–815. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-31.5.804>
- Sæthre MG, Hofsvang T (2005) Diurnal flight activity of codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) males in relation to temperature and twilight. *Norw J Entomol* 52(2):75–90
- Sakura M, Lambrinos D, Labhart T (2008) Polarized skylight navigation in insects: model and electrophysiology of e-vector coding by neurons in the central complex. *J Neurophysiol* 99(2):667–682. <https://doi.org/10.1152/jn.00784.2007>
- Sambaraju KR, Phillips TW (2008) Responses of adult *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to light and combinations of attractants and light. *J Insect Behav* 21:422–439. <https://doi.org/10.1007/s10905-008-9140-5>
- Sarfraz M, Keddie BA (2005) Conserving the efficacy of insecticides against *Plutella xylostella* (L.) (Lep., Plutellidae). *J Appl Entomol* 129(3):149–157. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2005.00930.x>
- Satoh A, Stewart FJ, Koshitaka H, Akashi HD, Pirih P, Sato Y., Arikawa K (2017) Red-shift of spectral sensitivity due to screening pigment migration in the eyes of a moth, *Adoxophyes orana*. *Zool Lett* 3:14. <https://doi.org/10.1186/s40851-017-0075-6>
- Sauer AJ, Fritsch E, Undorf-Spahn K, Nguyen P, Marec F, Heckel DG, Jehle JA (2017a) Novel resistance to *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV) in codling moth shows autosomal and dominant inheritance and confers cross-resistance to different CpGV genome groups. *PLoS ONE* 12(6):e0179157. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179157>
- Sauer AJ, Schulze-Bopp S, Fritsch E, Undorf-Spahn K, Jehle JA (2017b) A third type of resistance to *Cydia pomonella* granulovirus in codling moths shows a mixed Z-linked and autosomal inheritance pattern. *Appl Environ Microbiol* 83(17):e01036–17. <https://doi.org/10.1128/AEM.01036-17>
- Sauphanor B, Brosse V, Bouvier JC, Speich P, Micoud A, Martinet C (2000) Monitoring resistance to diflubenzuron and deltamethrin in French codling moth populations (*Cydia pomonella*). *Pest Manage Sci* 56(1):74–82. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1526-4998\(200001\)56:1%3C74::AID-PS96%3E3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1526-4998(200001)56:1%3C74::AID-PS96%3E3.0.CO;2-C)
- Sauphanor B, Severac G, Maugin S, Toubon JF, Capowicz Y (2012) Exclusion netting may alter reproduction of the codling moth (*Cydia pomonella*) and prevent associated fruit damage to apple orchards. *Entomol Exp Appl* 145(2):134–142. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01320.x>
- Sawilowsky SS (1990) Nonparametric tests of interaction in experimental design. *Rev Educ Res* 60(1):91–126. <https://doi.org/10.3102/00346543060001091>
- Schmitt A, Bisutti IL, Ladurner E, Benuzzi M, Sauphanor B, Kienzle J, Zingg D, Undorf-Spahn K, Fritsch E, Huber J, Jehle JA (2013) The occurrence and distribution of resistance of codling moth to *Cydia pomonella* granulovirus in Europe. *J Appl Entomol* 137(9):641–649. <https://doi.org/10.1111/jen.12046>
- Schubert EF (2018) Light-emitting diodes. Third Edition. New York: E. Fred Schubert. 672 pp.
- Schumacher P, Weber DC, Hagger C, Dorn S (1997a) Heritability of flight distance for *Cydia pomonella*. *Entomol Exp Appl* 85(2):169–175. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1997.00247.x>
- Schumacher P, Weyeneth A, Weber DC, Dorn S (1997b) Long flights in *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) measured by a flight mill: influence of sex, mated status and age. *Physiol Entomol* 22(2):149–160. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1997.tb01152.x>
- Sharon R, Tomer M, Avraham A, Harari AR (2024) Females codling moths evade the mating disruption control tactic. Preprint. *Res Square* <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4396430/v1>
- Shi BC, Liu W, Wei SJ (2013) The complete mitochondrial genome of the codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Mitochondrial DNA* 24(1):37–39. <https://doi.org/10.3109/19401736.2012.716054>

- Shimoda M, Honda KI (2013) Insect reactions to light and its applications to pest management. *Appl Entomol Zool* 48:413–421. <https://doi.org/10.1007/s13355-013-0219-x>
- Shoemaker LH (1986) A nonparametric method for analysis of variance. *Commun Statist* 75(3):609–632. <https://doi.org/10.1080/03610918608812528>
- Siegler EH, Plank HK (1921) Life history of the codling moth in the Grand Valley of Colorado. *USDA Bull* 932:1–119
- Siegwart M, Maugin S, Besse S, Lopez-Ferber M, Hinsberger A, Gauffre B (2020) Le carpocapse des pommes résiste au virus de la granulose. *Phytoma Déf Vég* 738:45–50
- Sigsgaard L, Herz A, Korsgaard M, Wührer B (2017) Mass release of *Trichogramma evanescens* and *T. cacoeciae* can reduce damage by the apple codling moth *Cydia pomonella* in organic orchards under pheromone disruption. *Insects* 8(2):41. <https://doi.org/10.3390/insects8020041>
- Silva L, Bento A (2023) O bichado, *Cydia pomonella* L. em nogueira: bioecologia e avaliação de estratégias de proteção contra a praga. *Rev Ciênc Agr* 46(2):154–160. <https://doi.org/10.19084/rca.31326>
- Simmons GS, Bloem KA, Bloem S, Carpenter JE, Suckling DM, Dyck AV, Hendrichs J, Robinson AS (2021) Impact of moth suppression/eradication programmes using the sterile insect technique or inherited sterility. In: Dyck VA, Hendrichs J, Robinson AS (eds) Sterile insect technique: principles and practice in area-wide integrated pest management. Second Edition. Boca Raton USA & Abingdon UK: CRC Press. 1007–1054
- Skenderasi B, Mero G, Shahini E, Karapanci N, Shahini S (2023) Codling moth (*Cydia pomonella*) control using sex pheromones and environmentally friendly insecticides. *Sci Horiz* 26(5):99–107. <https://doi.org/10.48077/scihor5.2023.99>
- Slingerland MV (1902) Trap-lanterns or “moth catchers”. *Cornell Univ Agric Exp Sta Bull* 202:199–241
- Somsai AP, Oltean I, Gansca L, Oprean I, Raica P, Harsan E (2010) Control of two sympatric tortricids, *Cydia pomonella* and *Adoxophyes reticulana* (Lepidoptera: Tortricidae) by an experimental “attract and kill” formulation. *Bull UASVM Horticult* 67(1):453–457
- Song B, Yang L, Pan Y, Feng H, Lu Y (2024) Expansion of apple cultivation increases the abundance of codling moth (*Cydia pomonella*) in agricultural landscapes of China. *Pest Manage Sci* 80(7):3149–3159. <https://doi.org/10.1002/ps.8019>
- Song YH, Riedl H (1985) Effects of temperature and photoperiod on male moth activity in *Laspeyresia pomonella* (L.) in New York. *Korean J Plant Prot* 24(2):71–77
- Stará J, Kocourek F, Falta V (2008) Control of codling moth (*Cydia pomonella* L., Lepidoptera: Tortricidae) by the “attract and kill” strategy. *J Plant Dis Prot* 115(2):75–79. <https://doi.org/10.1007/BF03356242>
- Steiner LF (1940) Codling moth flight habits and their influence on results of experiments. *J Econ Entomol* 33(3):436–440. <https://doi.org/10.1093/jee/33.3.436>
- Stelinski LL, McGhee P, Grieshop M, Brunner J, Gut LJ (2008) Efficacy and mode of action of female-equivalent dispensers of pheromone for mating disruption of codling moth. *Agric For Entomol* 10(4):389–397. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2008.00393.x>
- Subinprasert S (1987) Natural enemies and their impact on overwintering codling moth populations (*Laspeyresia pomonella* L.) (Lep., Tortricidae) in south Sweden. *J Appl Entomol* 103(1–5):46–55. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1987.tb00959.x>
- Sürmeli M, Demirel N (2022) Controlling with mass trapping and determination of damage rates of codling moth, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) at good agricultural practices of walnut orchards in Hatay Province. *Int J Life Sci Biotechnol* 5(3):519–525. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.1124392>
- Suto J (2022) Codling moth monitoring with camera-equipped automated traps: a review. *Agriculture* 12(10):1721. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101721>
- Szpyrka E, Matyaszek A, Słowik-Borowiec M (2017) Dissipation of chlorantraniliprole, chlorpyrifos-methyl and indoxacarb – insecticides used to control codling moth (*Cydia pomonella* L.) and leafrollers (Tortricidae) in apples for production of baby food. *Environ Sci Pollut Res* 24:12128–12135. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8821-z>
- Talekar NS, Shelton AM (1993) Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annu Rev Entomol* 38(1):275–301. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.001423>
- Tasin M, Demaria D, Ryne C, Cesano A, Galliano A, Anfora G, Ioriatti C, Alma A (2008) Effect of anti-hail nets on *Cydia pomonella* behavior in apple orchards. *Entomol Exp Appl* 129(1):32–36. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00748.x>
- Thaler R, Brandstätter A, Meraner A, Chabicovski M, Parson W, Zelger R, Dalla Via J, Dallinger R (2008) Molecular phylogeny and population structure of the codling moth (*Cydia pomonella*) in Central Europe: II. AFLP analysis reflects human-aided local adaptation of a global pest species. *Mol Phylogenet Evol* 48(3):838–849. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.05.027>
- Thistlewood HM, Judd GJ (2019) Twenty-five years of research experience with the sterile insect technique and area-wide management of codling moth, *Cydia pomonella* (L.), in Canada. *Insects* 10(9):292. <https://doi.org/10.3390/insects10090292>
- Thomson D, Brunner J, Gut L, Judd G, Knight A (2001) Ten years implementing codling moth mating disruption in the orchards of Washington and British Columbia: starting right and managing for success! *IOBC WPRS Bull* 24(2):23–30
- Thomson D, Brunner J, Jenkins J, Gut L (2009) Commercial use of codling moth mating disruption: a success story despite the limitations. *IOBC WPRS Bull* 41:53–60
- Thorpe PT, Pryke JS, Samways MJ (2016) Review of ecological and conservation perspectives on future options for arthropod management in Cape Floristic Region pome fruit orchards. *Afr Entomol* 24(2):279–306. <https://doi.org/10.4001/003.024.0279>
- Tierney SM, Friedrich M, Humphreys WF, Jones TM, Warrant EJ, Weislo WT (2017) Consequences of evolutionary transitions in changing photic environments. *Austral Entomol* 56(1):23–46. <https://doi.org/10.1111/aen.12264>
- Timm AE, Geertsema H, Warnich L (2006) Gene flow among *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) geographic and host populations in South Africa. *J Econ Entomol* 99(2):341–348. <https://doi.org/10.1093/jee/99.2.341>

- Tiwari AK, Charitha K, Anu CN, Bhavana P, Kumar C (2024) Pheromone trapping: advancements and innovations in pest management technologies. *N Era Agric Mag* 2(8):180–189
- Tsvetkov EV (2006) Contribution to the butterfly fauna of Leningrad Province and Saint-Petersburg, NW Russia (Lepidoptera: Diurna). *Zoosyst Ross* 14(2):275–278. <https://doi.org/10.31610/zsr/2005.14.2.275>
- Väisänen R (1993) Valtakunnallinen yöperhosseuranta. *Baptria* 18:9–11
- van Deijk JR, Wever R, van der Heide SR, Boers J, van Deijl IHJ, van Grunsven RHA (2024) UV-LEDs outperform actinics for standalone moth monitoring. *J Insect Conserv* <https://doi.org/10.1007/s10841-024-00568-1>
- van der Kooij CJ, Stavenga DG, Arikawa K, Belušič G, Kelber A (2021) Evolution of insect color vision: from spectral sensitivity to visual ecology. *Annu Rev Entomol* 66:435–461. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-061720-071644>
- Van Leeuwen ER (1940) The activity of adult codling moths as indicated by captures of marked moths. *J Econ Entomol* 33(1):162–166. <https://doi.org/10.1093/jee/33.1.162>
- Venegas Larenas MI (2022) Utilización de luces LED UV para aumentar la captura de la polilla de la manzana (*Cydia pomonella*) en trampas con cebos atrayentes. *Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo*. Chile. 35 pp.
- Verheijen FJ (1958) The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals. *Arch Néerl Zool* 13(1):1–107
- Vickers RA, Rothschild GHL (1991) Use of sex pheromones for control of codling moth. In: van der Geest LPS, Evenhuis HH (eds) *Tortricid pests: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam: Elsevier Science Publishing. 339–354
- Vincent C, Mailloux M, Hagley EAC, Reissig WH, Coli WM, Hosmer TA (1990) Monitoring the codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) and the obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) with sticky and nonsticky traps. *J Econ Entomol* 83(2):434–440. <https://doi.org/10.1093/jee/83.2.434>
- Voigt E (1999) Observations on the flight activity of codling moth, *Cydia pomonella*. *IOBC WPRS Bull* 22(9):27–34
- Voudouris CC, Franck P, Olivares J, Sauphanor B, Mamuris Z, Tsitsipis JA, Margaritopoulos JT (2012) Comparing the genetic structure of codling moth *Cydia pomonella* (L.) from Greece and France: long distance gene-flow in a sedentary pest species. *Bull Entomol Res* 102(2):185–198. <https://doi.org/10.1017/S0007485311000563>
- Voudouris CC, Sauphanor B, Franck P, Reyes M, Mamuris Z, Tsitsipis JA, Vontas J, Margaritopoulos JT (2011) Insecticide resistance status of the codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) from Greece. *Pestic Biochem Physiol* 100(3):229–238. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.04.006>
- Vreysen MJB, Carpenter JE, Marec F (2010) Improvement of the sterile insect technique for codling moth *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera Tortricidae) to facilitate expansion of field application. *J Appl Entomol* 134(3):165–181. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01430.x>
- Walker JTS, Lo PL, Horner RM, Park NM, Hughes JG, Fraser TM (2013) Codling moth (*Cydia pomonella*) mating disruption outcomes in apple orchards. *N Z Plant Prot* 66:259–263. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2013.66.5642>
- Walker JTS, Suckling DM, Wearing CH (2017) Past, present, and future of integrated control of apple pests: the New Zealand experience. *Annu Rev Entomol* 62:231–248. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035626>
- Wang D, Yang G, Chen W (2021) Diel and circadian patterns of locomotor activity in the adults of diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Insects* 12(8):727. <https://doi.org/10.3390/insects12080727>
- Warrant E, Dacke M (2011) Vision and visual navigation in nocturnal insects. *Annu Rev Entomol* 56:239–254. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144852>
- Warrant E, Nilsson DE (eds) (2006) *Invertebrate Vision*. Cambridge, New York: Cambridge University Press. 570 pp.
- Warrant E, Somanathan H (2022) Colour vision in nocturnal insects. *Phil Trans R Soc Lond B* 377(1862):20210285. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0285>
- Wehner R (1984) Astronavigation in insects. *Annu Rev Entomol* 29:277–298. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.29.010184.001425>
- Welter SC (2009) Codling moth. In: Resh VH, Cardé RT (eds) *Encyclopedia of insects*. Second Edition. Amsterdam et al.: Academic Press. 174–175. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00059-X>
- Westgard PH, Graves KL (1976) Evaluation of pheromone baited traps in a pest management program on pears for codling moth control. *Can Entomol* 108(4):379–382. <https://doi.org/10.4039/Ent108379-4>
- White LD, Hut RB, Butt BA (1973) Field dispersal of laboratory-reared fertile female codling moths and population suppression by release of sterile males. *Environ Entomol* 2(1):66–69. <https://doi.org/10.1093/ee/2.1.66>
- Wildbolz T, Baggiolini M (1959) Über das Mass der Ausbreitung des Apfelwicklers während der Eiablageperiode. *Mitt Schweiz Entomol Ges* 32(2–3):241–257
- Witzgall P, Bäckman AC, Svensson M, Koch U, Rama F, El-Sayed A, Brauchli J, Arn H, Bengtsson M, Löfqvist J (1999) Behavioral observations of codling moth, *Cydia pomonella*, in orchards permeated with synthetic pheromone. *BioControl* 44:211–237. <https://doi.org/10.1023/A:1009976600272>
- Witzgall P, Kirsch P, Cork A (2010) Sex pheromones and their impact on pest management. *J Chem Ecol* 36:80–100. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9737-y>
- Witzgall P, Stelinski L, Gut L, Thomson D (2008) Codling moth management and chemical ecology. *Annu Rev Entomol* 53:503–522. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093323>
- Wong TTY, Cleveland ML, Ralston DF, Davis DG (1971) Time of sexual activity of codling moths in the field. *J Econ Entomol* 64(2):553–554. <https://doi.org/10.1093/jee/64.2.553a>
- Worthley HN (1932) Studies of codling moth flight. *J Econ Entomol* 25(3):559–565. <https://doi.org/10.1093/jee/25.3.559>
- Yadav P, Shein-Idelson M (2021) Polarization vision in invertebrates: beyond the boundaries of navigation. *Curr Opin Insect Sci* 48:50–56. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.09.005>
- Yağci M, Özdem A, Erdoğan FD, Ayan E (2021) Efficiency of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae and Steinernematidae) on the codling

- moth (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera: Tortricidae) under controlled conditions. *Egypt J Biol Pest Control* 31:75. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00399-1>
- Yalçın M (2023) Perspective Chapter: Pheromone-based techniques in sustainable pest management. In: Ali H, Noor Shah A, Bilal Tahir M, Fiaz S, Ali B (eds) *Insecticides – advances in insect control and sustainable pest management*. London, United Kingdom: IntechOpen. 164–176. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110862>
- Yang X, Li M, Fan F, An L, Li J, Wei G (2020) Brightness mediates oviposition in crepuscular moth, *Grapholita molesta*. *J Pest Sci* 93:1311–1319. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01255-1>
- Yang X, Lu Z, Ran H, Ma A, Liu W, Li J, Wei G (2022) Oviposition site selection in the crepuscular moth, *Grapholita molesta*: does light matter? *Entomol Exp Appl* 170(5):442–448. <https://doi.org/10.1111/eea.13156>
- Yang X, Ran H, Jiang Y, Lu Z, Wei G, Li J (2024) Fine structure of the compound eyes of the crepuscular moth *Grapholita molesta* (Busck 1916) (Lepidoptera: Tortricidae). *Front Physiol* 15:1343702. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1343702>
- Yang XQ, Zhang YL (2015) Investigation of insecticide-resistance status of *Cydia pomonella* in Chinese populations. *Bull Entomol Res* 105(3):316–325. <https://doi.org/10.1017/S0007485315000115>
- Yothers MA (1928) Are codling moths attracted to lights? *J Econ Entomol* 21(6):836–842. <https://doi.org/10.1093/jee/21.6.836>
- Zada H, Saljoqi AUR, Ali I, Ahmad B, Khan AW, Ahmad S (2019) Molecular characterization of codling moth *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Tortricidae) in Swat Valley Pakistan using randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) polymerase chain reaction. *Pakistan J Zool* 51(4):1547–1554. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.4.1547.1554>
- Zech E (1955) Die Flugzeiten des Apfelwicklers im Jahre 1954 und der Flugverlauf während der Abende und Nächte. *Nachr Dtsch Pflanzenschutzd* 9:29–33
- Zhao L, Hou P, Zhu G, Li M, Xie T, Liu Q (2015) Mapping the disjunct distribution of introduced codling moth *Cydia pomonella* in China. *Agric For Entomol* 17(2):214–222. <https://doi.org/10.1111/afe.12104>
- Zhou J, Long XM, Lu, HJ (2018) Spectrum optimization of light-emitting diode insecticide lamp based on partial discharge evaluation. *Meas* 124:72–80. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.073>
- Zhukovskaya MI, Grushevaya IV, Miltsen AA, Selitskaya OG, Shchenikova AV, Frolov AN, Tóth M (2024) To attract a moth: wind tunnel and field testing of plant odor and light stimuli and their combination for *Ostrinia nubilalis*. *Acta Phytopathol Entomol Hung* <https://doi.org/10.1556/038.2024.00197>
- Zichová T, Stará J, Kundu JK, Eberle KE, Jehle JA (2013) Resistance to *Cydia pomonella* granulovirus follows a geographically widely distributed inheritance type within Europe. *BioControl* 58:525–534. <https://doi.org/10.1007/s10526-013-9507-1>

Translation of Russian References

- Balykina EB, Tricoz NN, Yagodinskaya LP (2015) Pests of fruit crops. Simferopol: Arial. 268 pp. (In Russian)
- Baranenko TY, Medvedeva LM (2018) Apple worm and the measures to control it. *APK Rossii* 25(2):199–203 (In Russian)
- Boldyrev MI, Kashirskaya NY (2009) The codling moth: forecasting, signaling, control measures. *Zashchita i Karantin Rasteniy* 2:70–83 (In Russian)
- Bondarchuk EY, Asaturova AM, Tomashevich NS, Tsygichko AA, Gyrnets EA (2020) Biological control of the codling moth abundance based on entomopathogenic microorganisms (review). *Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK* 34(11):53–66. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11108> (In Russian)
- Chernii AM (1981) Ecological characteristics of the codling moth *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) populations in the Ukraine with respect to the genetic control. *Entomologicheskoe Obozrenie* 60(1):43–49 (In Russian)
- Chernyshev WB (1996) Ecology of insects. Moscow: Izdatel'stvo MGU. 304 pp. (In Russian)
- Chernyshev WB (1961) The time of flight of different insects to light. *Zoologicheskii Zhurnal* 40(7):1009–1018 (In Russian)
- Danilevsky AS, Kuznetsov VI (1968) Leafrollers Tortricidae, tribe the fruitworms Laspeyresiini. Leningrad: Nauka. 636 pp. (In Russian)
- Derzhavets YA, Ivanov AI, Mironov VG, Mishchenko OA, Prasolov VN, Sinev SY (1986) List of Lepidoptera (Macrolepidoptera) of the Leningrad Region. *Trudy Vsesoyuznogo Entomologicheskogo Obshchestva* 67:186–270 (In Russian)
- Dolzhenko VI, Burkova LA, Dolzhenko TV (2018) The use of synthetic sex pheromone Shin-Etsu MD STT, D. *Zashchita i Karantin Rasteniy* 5:23–24 (In Russian)
- Dolzhenko VI, Laptiev AB (2021) Modern range of plant protection means: biological efficiency and safety. *Plodorodie* 3(120):71–75. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13> (In Russian)
- Fal'kovich MI (1962) Leafroller moths (Lepidoptera, Tortricidae) of the Leningrad Region. *Trudy Zoologicheskogo Instituta AN SSSR* 31:49–80 (In Russian)
- Frolov AN, Grushevaya IV, Kononchuk AG (2021) Modern types of traps for monitoring Lepidoptera on the example of the European corn borer. Monograph. St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii. 120 pp. (In Russian)
- Frolov AN, Kononchuk AG, Grushevaya IV, Miltsen AA, Karakotov SD, Stulov SV, Vendilo NV (2024) Sex pheromone and ultraviolet radiation: interaction of attraction effects for cotton earworm, *Helicoverpa armigera* (Hbn.) (Lepidoptera, Noctuidae) adults. *Entomologicheskoe Obozrenie* 103(1):29–51. <https://doi.org/10.31857/S0367144524010026> (In Russian)
- Frolov AN, Miltsyn AA, Zakharova YA, Grushevaya IV, Kononchuk AG, Tokarev YS (2020) Light pheromone trap for flying insects. Utility model Patent RU 201632 U1 (In Russian)
- Glupov VV (2013) From an insect's point of view. *Nauka iz Pervykh Ruk* 2(50):96–109 (In Russian)

- Gornostaev GN (1984) Introduction to the ethology of photoxene insects (insect flight to artificial light sources). *Trudy Vsesoyuznogo Entomologicheskogo Obshchestva* 66:101–167 (In Russian)
- Gribakin FG (1981) Mechanisms of insect photoreception. Leningrad: Nauka, 214 pp. (In Russian)
- Grushevaya IV, Kononchuk AG, Malysh SM, Miltsyn AA, Frolov AN (2019) LED trap for monitoring of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*: the results of trials in Krasnodar Territory. *Plant Protection News* 4(102):49–54. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-4-102-49-54> (In Russian)
- Ismailov VY, Pachkin AA, Sadkovsky VT, Sokolov YG (2012) The perspectives of high brightness light emitted diode (L.E.D) application in insect traps. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sovremennye mirovye tendentsii v proizvodstve i primeneniі biologicheskikh i ekologicheskikh maloopasnykh sredstv zashchity rasteniy”*. 224–228 (In Russian)
- Korol' TS (1985) Temporary organization of behavioral and physiological rhythms of the codling moth *Laspeyresia pomonella* L. *Thesis of the dissertation for the degree of Candidate of Biology*. Moscow. 22 pp. (In Russian)
- Korotchenko O (2014) LED lamps – a step into the future. <http://www.diy.ru/post/6240> (06.07.2024) (In Russian)
- Kuban-Azov Lowland (2022) https://ru.wikipedia.org/wiki/Кубано-Приазовская_низменность (07.06.2024) (In Russian)
- L'vovsky AL (1994) Butterflies and moths (Insecta, Lepidoptera) within the borders of St.-Petersburg. *Izvestiya Khar'kovskogo Entomologicheskogo Obshchestva* 2(1):5–48 (In Russian)
- Lazarevich K (2006) Alternation of day and night in polar and circumpolar latitudes by month. <https://geo.1sept.ru/article.php?ID=200600817> (06.07.2024) (In Russian)
- Leivategia LC (1963) Biology of the codling moth (*Laspeyresia pomonella* L) and measures to control it. *Thesis of the dissertation for the degree of Candidate of Biology*. Tartu. 28 pp. (In Russian)
- Mazokhin-Porshnyakov GA (1960) Why insects fly to light by night. *Entomologicheskoe Obozrenie* 39(1):52–58 (In Russian)
- Matov AY, Bezborodkin AV, Khramov BA, Kiselev AA, Tsvetkov EV, Valerskiy OV (2017) New and rare moths (Lepidoptera: Macrolepidoptera) of the fauna of Leningrad Province and Saint-Petersburg city. *Eversmannia* 51–52:88–90 (In Russian)
- Matov AY, Bezborodkin AV, Valerskiy OV (2005) New and rare species of owl moths (Lepidoptera: Noctuidae s. l.) for Sankt-Petersburg and the Leningrad Area. *Eversmannia* 3–4:77–90 (In Russian)
- Miltsyn AA, Grushevaya IV, Kononchuk IV, Malysh YM, Tokarev YS, Frolov AN (2020) Light trap for insect monitoring. Utility model Patent RU 195732 U1 (In Russian)
- Nikolaeva ZV, Kryukova AV (2010) Perennial dynamics of the codling moth in gardens of the Russian North-West. *Agro XXI* 7–9:25–26 (In Russian)
- Niyazov OD, Yakovuk VA, Vasilyeva LA, Balakhnina IV (2012) Efficiency of the disorientation method in the apple-tree gardens. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sovremennye mirovye tendentsii v proizvodstve i primeneniі biologicheskikh i ekologicheskikh maloopasnykh sredstv zashchity rasteniy”*. 235–240 (In Russian)
- Ovsyannikova EI, Grichanov IY (2019) The phenology of the codling moth confirms the warming of the climate. *Zashchita i Karantin Rasteniy* 5:28–29 (In Russian)
- Ovsyannikova EI, Grichanov IY, Kremneva OY, Pachkin AA (2020) Approbation of LED traps. *Zashchita i Karantin Rasteniy* 7:29–32. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3590503> (In Russian)
- Ovsyannikova EI, Smirnov SN, Grichanov IY (2013) On the phenology of *Cydia pomonella* in the North-Western Russia in modern conditions. *Plant Protection News* 4:72 (In Russian)
- Pachkin AA, Kremneva OY (2019) Tools for monitoring and population density reducing of harmful species. *Materialy vtoroy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. 135–136 (In Russian)
- Parshina EA (2009) White Nights in St. Petersburg. [https://www.hellopiter.ru/The white nights.html](https://www.hellopiter.ru/The%20white%20nights.html) (12.07.2024) (In Russian)
- Pastarnak IN, Pachkin AA, Pushnya MV, Niyazov OD, Ermolenko SA, Padalka SD, Ismailov VY (2014) Including the autodissemination method into the system of ecologized apple tree protection against codling moth (*Cydia pomonella* L.). *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Biologicheskaya zashchita rasteniy – osnova stabilizatsii agroecosystem»*. 224–228 (In Russian)
- Pavlovsk (Saint Petersburg) (2024) [https://ru.wikipedia.org/wiki/Павловск_\(Санкт-Петербург\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Павловск_(Санкт-Петербург)) (07.06.2024) (In Russian)
- Pristavko VP (1969a) On the methods for studying the dynamics of population quantity and density of insects flying to ultra-violet radiation. *Vestnik Zoologii* 6:87–91 (In Russian)
- Pristavko VP (1969b) Evaluation of some abiotic factors influencing captures of the codling moths by black-light traps. *Zoologicheskii Zhurnal* 48(8):1177–1184 (In Russian)
- Pristavko VP (1970a) Automatic recording light trap. *Zashchita rasteniy* 7:41 (In Russian)
- Pristavko VP (1970b) Light traps in the garden – a means of control or monitoring? *Zashchita Rasteniy* 9:18 (In Russian)
- Pristavko VP (1970c) Experience of using light traps in combination with sexual attractants of codling moth adults. *Nauchnye Doklady Vysshej Shkoly. Biologicheskie Nauki* 10:101–103 (In Russian)
- Pristavko VP (1971) Daily flight activity and migration range of the codling moth (*Laspeyresia pomonella*) in the steppe and forest-steppe zones of Ukraine. *Zoologicheskii Zhurnal* 50(1):67–71 (In Russian)
- Pristavko VP, Cherniy AM (1974) The effect of air temperature on the diurnal rhythm and activity of the codling moth adults. *Ekologiya* 2:63–66 (In Russian)
- Pristavko VP, Petrunek VL, Petrunek NP (1976) The population dynamics and flight activity of garden leafroller moths in the forest-steppe zone of Ukraine. *Ekologiya* 3:97–99 (In Russian)
- Pristavko VP, Petrunek VL, Chayka VN (1975) Codling moth (*Laspeyresia pomonella* L.) behaviour and

- electrophysiological reactions to the optical radiation of different wave length. In: Povedenie nasekomykh kak osnova dlya razrabotki mer borby s vreditel'nyimi selskogo i lesnogo khozyaisyva. Kiev: Naukova Dumka. 117–123 (In Russian)
- Pristavko VP, Yeritsyan DA (1970) A lightweight light trap. *Zashchita Rasteniy* 11:36 (In Russian)
- Pristavko VP, Zhukov NM (1991) Pheromonitoring of the codling moth: the current state and ways to solve urgent problems. *Sbornik Nauchnyh Trudov Belorusskogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Zashchity Rasteniy* 16:22–39 (In Russian)
- Rosenberg GW (1963) Twilight. M.: Physmatgiz. 380 pp. (In Russian)
- Ryabchinskaya TA, Kolesova DA, Sarantseva NA, Kharchenko GL, Bobreshova IY (2015) The use of synthetic sex pheromones for decrease the density population of harmful Lepidoptera. *Agrokhimiya* 10:75–89 (In Russian)
- Saroyan LK (1991) A study of the genetic determination of monovoltinism in the population of the codling moth from Ararat Valley. *Thesis of the dissertation for the degree of Candidate of Biology*. Yerevan. 28 pp. (In Russian)
- Saulich AK, Volkovich TV (1996) Monovoltinism and its regulation in insects. *Entomologicheskoe Obozrenie* 75(2):244–258 (In Russian)
- Sheldesheva GG (1965) Geographical variability of the photoperiodic reaction and seasonal development of the codling moth *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae). *Trudy Zoologicheskogo Instituta AN SSSR* 36:5–25 (In Russian)
- Sheldesheva GG (1967) Ecological factors determining the distribution of the codling moth *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) in the northern and southern Hemispheres. *Entomologicheskoe Obozrenie* 46(3):583–605 (In Russian)
- Shlyavas AV (2017) Collection of genetic resources of the apple tree (*Malus* Mill.) of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov. *Sbornik Nauchnyh Trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo Botanicheskogo Sada* 144(1):79–83 (In Russian)
- Skirkevičius A, Tatjanskaitė L (1970a) Day activity rhythm of imago forms of *Carpocapsa pomonella* L., a pest of apple-trees. *Acta Entomologica Lituanica* 1:99–104 (In Russian)
- Skirkevičius A, Tatjanskaitė L (1970b) The peculiarities in the behaviour of males and females of *Carpocapsa pomonella* L. in the second half of the day. *Acta Entomologica Lituanica* 1:105–119 (In Russian)
- Sukhorutshenko GI (2001) Pesticide resistance in pests as a major problem of plant protection in the latter half of the 20th century in CIS countries. *Plant Protection News* 1:18–37 (In Russian)
- Tretyakov NN (2012) Protection of apple trees from pests in the central region of Russia. M.: MSHA im. K.A. Timiryazeva. 265 pp. (In Russian)
- Tsvetkova VP, Poddubnaya EN, Ismailov VY, Zhuravlev SV (2008) Pheromonitoring of the codling moth as the basis of pest control in gardens of western Siberia. *Vestnik Novosibirskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta* 1:12–22 (In Russian)
- Vasiliev VP, Livshits IZ (1984) Pests of fruit crops. Moscow: Kolos. 399 pp. (In Russian)
- Vasiliev VP, Pristavko VP (1970) A light-trap study of *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) flight dynamics and population quantity. *Vestnik Zoologii* 6:63–69 (In Russian)
- Vendilo NV, Pletnev VA, Lebedeva KV (2009) Use of pheromones for protecting fruit orchards from insect pests. *Agrokhimiya* 8:72–84 (In Russian)
- Weather in the Krasnodar Territory by month (2024) <https://travelask.ru/questions/772718-pogoda-v-krasnodarskom-krae-po-mesyatsam?ysclid=lty2tyba7i483382443> (06.07.2024) (In Russian)
- White Nights – Dictionary online (2024) https://bse.slovaronline.com/4206-BELYE_NOCHI (06.07.2024) (In Russian)
- White Nights – Wikipedia (2024) https://ru.wikipedia.org/wiki/Белые_ночи (07.06.2024) (In Russian)
- Yakovuk VA, Balakhnina IV, Doroshenko TN, Yakovuk VM (2020) Seasonal dynamics of the codling moth *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) flight in the Krasnodar Territory based on the pheromonitoring data. *Entomologicheskoe Obozrenie* 99(2):264–270. <https://doi.org/10.31857/S0367144520020021> (In Russian)
- Yazlovetsky IG, Yakimchuk AP (2009) The resistance of orchard populations of the codling moth to the main classes of insecticides. *Informacionnyi Byulleten VPRS MOBB* 40:181–182 (In Russian)
- Zakharova YA, Frolov AN, Artemyeva AM (2022) Monitoring of the diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) on a cabbage collection in the vicinity of St. Petersburg. *Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding* 183(4):219–228. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-219-228> (In Russian)
- Zeynalov AS (2017) Effective monitoring is a key element in the regulation of the number and harmfulness of codling moth *Laspeyresia pomonella* L. *Plodovodstvo i Yagodovodstvo Rossii* 49:125–128 (In Russian)
- Zhavoronkova TN, Ivanova TV (2008) Phytosanitary situation in garden-plots of the Ladoga zone of Leningrad Region. *Plant Protection News* 4:38–48 (In Russian)
- Zhigaltseva MI, Chernobrovina SM (1966) On the application of ultraviolet ray sources to control insect pests. *Zoologicheskii Zhurnal* 45(3):375–382 (In Russian)
- Zhigaltseva MI, Chernobrovina SM, Gnilyuk SI (1964) Studies of the effectiveness of installations with various light emitters for attracting and elimination the codling moth (*Carpocapsa pomonella* L.). *Izvestiya Akademii Nauk Moldavskoy SSR* 5:79–90 (In Russian)
- Zhukovskaya MI, Severina IY, Novikova ES (2022) Anthropogenic light pollution: impact on insects. *Biosfera* 14(2):126–136. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i2.669> (In Russian)

THROUGH TWILIGHT TO THE LIGHT: A NEW SIGHT OF VARIABILITY IN CODLING MOTH BEHAVIORAL REACTIONS

A.N. Frolov*, Yu.A. Zakharova, S.M. Malyshev

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

**corresponding author; e-mail: afrolov@vizr.spb.ru*

The codling moth, *Cydia pomonella* (L.) is the most dangerous pest of orchard crops in the world. The aim of the paper is to evaluate the attractiveness of low-power UV LEDs for the codling moth, including their interactions with the synthetic sex pheromone bait, under a highly variable level of natural illumination during the season at dusk in St. Petersburg as compared to the south of Russia. Traps of two designs (adhesive Delta and container funnel-shaped Unitrap) were placed in orchards located in town Pavlovsk (St. Petersburg) and farmstead Slobodka (Krasnodar Area). The LED efficiency was significantly different in these two locations: in the former, the moths were not attracted by UV, whereas in the latter, light trapping was quite active. A positive phototaxis reaction of moths in St. Petersburg was absent both during the White Nights and in the subsequent period, i.e. independently of illumination level at dusk. In both locations, no increase in the catch of codling moth adults with pheromone traps was recorded after they were supplemented with UV LEDs. Moreover, when Delta traps were used in Slobodka, a highly reliable antagonism of light vs pheromone bait was observed. The results are discussed using extensive literature data on insect phototaxis, codling moth behavior, its ecological plasticity and the ability to adapt to local habitats, which allows assessing the prospects for further research. In addition, an original algorithm is demonstrated for calculating the beginning and end of White Nights period for entomological objects which is of interest in terms of conducting research with insects at high latitudes.

Keywords: trap, LED, phototaxis, synthetic sex attractant, attraction, interaction, White Nights

Submitted: 11.07.2024

Accepted: 11.09.2024