

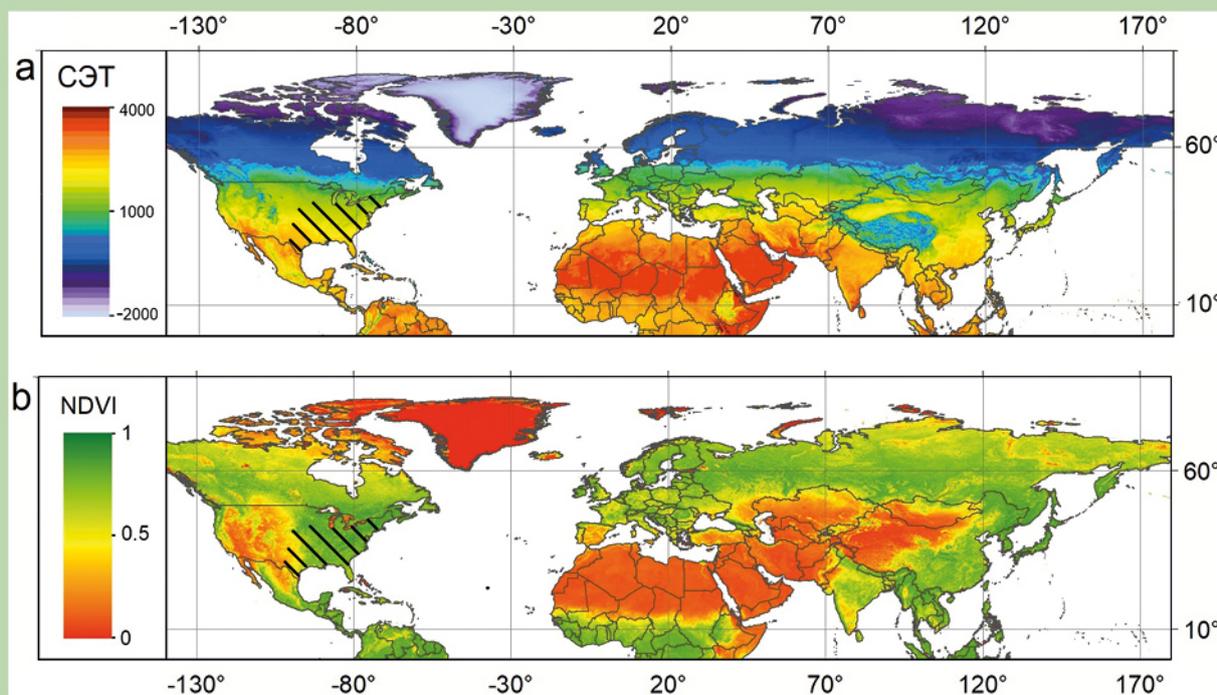


ISSN 1727-1320 (Print),
ISSN 2308-6459 (Online)

ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2021 TOM VOLUME 104 ВЫПУСК ISSUE 1



Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia

КАПУСТНАЯ МОЛЬ *PLUTELLA XYLOSTELLA*: ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, ВРЕДНОСНОСТЬ, КОНТРОЛЬ ЧИСЛЕННОСТИ

И.В. Андреева*, Е.И. Шаталова, А.В. Ходакова

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук,
п. Краснообск, Новосибирская обл.

*ответственный за переписку, e-mail: iva2008@ngs.ru

Обобщены данные по распространению, биологическим и физиологическим особенностям капустной моли *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) – опасного вредителя капустных культур. Описаны особенности повреждения растений фитофагом. Отмечены причины увеличения вредоносности и возрастания экономического значения капустной моли как в России, так и во всем мире. В частности, зафиксировано увеличение количества поколений, способных развиваться за вегетационный период и более ранние сроки появления вредителя в агроценозах, в том числе в условиях Сибирского региона. Приведены сведения о влиянии видовых и сортовых особенностей растений, энтомофагов и энтомопатогенов на численность фитофага. Указан ассортимент химических инсектицидов, рекомендованный для контроля численности капустной моли на территории России, зафиксировано возрастание резистентности к химическим препаратам и некоторым энтомопатогенам у популяций *P. xylostella* в разных регионах мира. Обобщение результатов полевых исследований позволило установить возможность использования феромонных ловушек в качестве метода, обладающего достаточно высокой точностью, для обнаружения и учета капустной моли. Определены перспективные направления в разработке новых эффективных и безопасных средств регуляции численности фитофага.

Ключевые слова: капустная моль, распространенность, вредоносность, резистентность, энтомопатогенные микроорганизмы, энтомофаги, феромониторинг, меры борьбы

Поступила в редакцию: 12.01.2021

Принята к печати: 15.03.2021

Капустная моль *Plutella xylostella* L. = *Plutella maculipennis* Curt. (Lepidoptera: Plutellidae) является типичным космополитом, распространена в Европе, Азии, в том числе Западной и Восточной Сибири, Африке, Америке, Австралии, Новой Зеландии, на Гавайских островах (Горбунов и др., 2008; Поддубная, 2016; Андреева, Шаталова, 2017; Shimabuku, Mau, 1997; Uthamasamy et al., 2011; Sow et al., 2013; Mohammad et al., 2014; Tanyi et al., 2018). Считается, что родиной фитофага является Средиземноморский регион. Другое возможное место происхождения капустной моли – Южная Африка, это предположение основано на разнообразии её паразитоидов и обилии в этом регионе местных видов растений из семейства капустных (Talekar, Shelton, 1993; Philips et al., 2014). Капустная моль повреждает все сорные и культурные виды растений семейства *Brassicaceae*, в частности, в ранне-весенний период первое поколение вредителя обычно развивается на гулявнике, сурепице, дикой редьке и других сорняках. С появлением всходов сельскохозяйственных культур капустная моль перемещается в агроценозы и заселяет все разновидности капусты, рапс, турнепс, редис, редьку, репы, горчицу и др. Круг повреждаемых фитофагом видов не ограничивается представителями семейства капустных, вредоносность капустной моли установлена также на нуте (сем. *Fabaceae*) и салате посевном (сем. *Asteraceae*) (Горбунов и др., 2008; Шпанев, 2015; Li et al., 2000; Shternshis et al., 2012; Fathipour et al., 2019).

Имаго капустной моли активны в сумерках и ночью, а в период массового размножения лет бабочек наблюдается

также и в дневное время. Бабочки обычно не поднимаются на высоту более 2-х метров, однако легко переносятся на большие расстояния воздушными потоками. Спаривание происходит в первые сутки их вылета из куколки (Talekar, Shelton, 1993), у 95% самок откладка яиц начинается с первого дня их жизни (Harcourt, 1957) и продолжается практически на протяжении всей их жизни. Продолжительность жизни самцов и самок составляет в среднем 12 и 16 дней соответственно (Philips et al., 2014), в лабораторных условиях до 20 дней (Патент № 2735251). Самка откладывает яйца по одному или группой от 2 до 8 шт., по некоторым данным до 50 шт., в основном на нижнюю поверхность листьев. Плодовитость одной самки варьирует от нескольких десятков до 300 яиц (Горбунов и др., 2008; Мисриева, 2012; Hardy, 1938; Philips et al., 2014). Эмбриональный период по данным различных источников может длиться от 2 до 20 суток в зависимости от температуры и в среднем составляет 3–6 дней (Горбунов и др., 2008; Hardy, 1938).

Личинки капустной моли проходят в своем развитии четыре возраста. Продолжительность развития личиночной стадии составляет от 10 до 24 дней (Горбунов и др., 2008; Hardy, 1938; Philips et al., 2014). Интересно, что пол капустной моли можно определить не только у взрослых особей, но еще и на стадии личинки – по цветовому отличию пятого сегмента брюшка гусеницы. Это обусловлено тем, что в данном сегменте у личинок самок и самцов расположены гонады (Stehr, 1987). Мужские гонады (семенники) светлые и поэтому у гусениц самцов, начиная

с третьего возраста, пятый сегмент брюшка значительно светлее остальных, у самок все сегменты одного цвета (Liu, Tabashnik, 1997). Окукливание личинок происходит на листьях или других частях кормовых растений, в рыхлом свободном шелковистом коконе. Стадия куколки длится в пределах от 5 до 22 дней. По мере развития куколка меняет цвет от желтого до коричневого и перед выходом бабочки становится почти черной (Горбунов и др., 2008; Hardy, 1938; Philips et al., 2014).

В целом, для капустной моли сумма тепла, необходимого для завершения полного цикла развития одного поколения, по разным источникам, варьирует в достаточно широком диапазоне – от 180 до 390–416 °С, нижний температурный порог развития составляет от 6,1 до 14 °С (Андреева, Шаталова, 2017; Постовалов, Григорьев, 2017; Marchioro, Foerster, 2011; Sow, 2013). Экспериментальным путем установлено, что уровень температуры 20 °С является оптимальным для выживаемости, сроков развития и плодовитости капустной моли (Saeed et al., 2019). Поскольку температурные условия являются основным регулирующим фактором динамики численности этого вредителя, в связи с этим, количество генераций, развивающихся за вегетационный период, варьирует от 1–3-х в северных областях до 20-ти в тропической зоне. Из-за растянутого периода лета бабочек и времени откладки яиц, на растениях, особенно во второй половине вегетации, обычно наблюдается одновременное присутствие разных фаз развития вредителя (Горбунов и др., 2008; Uthamasamy et al., 2011; Marchioro, Foerster, 2011; Andreeva et al., 2020). Зимует капустная моль на стадии куколки на растительных остатках (Горбунов и др., 2008), однако есть косвенные данные, что фитофаг может зимовать и на стадии имаго (Иванцова, 2007).

Вред наносят личинки всех возрастов. Гусеницы первого возраста сразу после выхода из яиц проникают внутрь ткани листа (минируют листья), где питаются parenхимой в течение 2–3 дней. Затем, перелиняв на второй возраст, они переходят к открытому питанию, выгрызая мякоть листа в виде «окошек» различной формы и величины, оставляя нетронутыми жилки и эпидермис одной стороны. В результате нетронутый при питании гусениц эпидермис высыхает и «выкрашивается», образуя сквозные отверстия. Кроме листьев, гусеницы старших возрастов повреждают точку роста, бутоны и соцветия, молодые стручки и семена, и даже стебли (Горбунов и др., 2008; Шпанев, 2015). В годы вспышек размножения личинки капустной моли способны повреждать растения полностью. По мнению ряда ученых и служб фитосанитарного контроля России в последние годы вредоносность капустной моли возросла сразу на несколько порядков и на сегодняшний день этот фитофаг считается одним из самых опасных вредителей капустных культур на территории страны (Андреева, Шаталова, 2017). За рубежом в разных частях света капустная моль также признана исключительно опасным видом. Согласно проведенным исследованиям, борьба с этим вредителем на овощных фермах, производящих капустные культуры, обходится фермерам во всем мире в 1 млрд долларов в год (Marchioro, Foerster, 2011).

Экономический порог вредоносности (ЭПВ) для капустной моли варьирует в зависимости от вида и фазы

развития повреждаемой культуры. В большинстве отечественных источников указывается, что для капусты в фазу розетки листьев ЭПВ составляет 2–5 гусениц на растении при заселении более 10% растений, в фазы завязывания и рыхлого кочана этот показатель составляет 2–10 гусениц на одно растение при заселении не менее 10–25% (Спиченко и др., 1985; Штерншис и др., 2012). Есть расчеты экономического порога вредоносности моли на рапсе: в период всходов 2–3 гусеницы на растение при заселении 10% растений (Выступова, 2019) или 10–15% повреждения листовой поверхности (Горбунов, Цветкова, 2001).

Необходимо отметить, что состав и численность энтомофауны капустных культур, в том числе и капустной моли, в разных регионах России, как и во всем мире, постепенно претерпевает существенные изменения, что обусловлено изменениями погодно-климатических условий, структуры и количества посевных площадей, занятых этими культурами, разнообразия возделываемых сортов и гибридов, интенсивного использования инсектицидов (Marchioro, Foerster, 2011; Santos, 2011; Sow et al., 2013; Mohammad et al., 2014; Andreeva et al., 2020). В частности, одной из основных причин возрастания вредоносности капустной моли является увеличение посевных площадей рапса в России, в том числе в Западной Сибири в 11,7 раз за период 2001–2015 гг. (Нурлыгаянов, Филимонов, 2018; Андреева и др., 2019). Другой фактор, влияющий на изменение фитосанитарной ситуации в агроценозах капустных культур – формирование резистентных популяций к действию химических инсектицидов у разных видов вредителей. Приобретенная устойчивость к инсектицидам – одна из причин увеличения численности и вредоносности *P. xylostella*, что зафиксировано в разных регионах мира (Коваленков, Тюрина, 2016; Андреева, Шаталова, 2017; Santos, 2011; Richardson et al., 2020).

В условиях Западной Сибири изучением вредителей капусты и разработкой мероприятий по биологической регуляции их численности занимались с конца 70-х годов прошлого века сибирские ученые – М.В. Штерншис, Л.А. Осинцева, Л.Н. Спиченко, Л.А. Крупко, И.В. Андреева, О.Г. Томилова, Л.А. Овчинникова, Е.И. Шаталова и др. Анализ многолетней динамики численности вредителей, охватывающий более чем 40-летний период наблюдений и экспериментов, позволяет проследить изменения, происходящие в энтомофауне агроценозов капустного поля. Так, в работах Л.Н. Спиченко с соавторами показано, что в 1977–1978 гг. из чешуекрылых вредителей на капусте преобладала капустная совка, а капустная моль имела второстепенное значение (Спиченко и др., 1980). По данным Л.А. Осинцевой в период 1982–1995 гг. в девяти годах из десяти отмечали развитие капустной моли, однако при этом средне-сезонная численность гусениц варьировала от 4 до 60 экз. на 100 растений, за исключением 1988 года, когда этот показатель достигал 165 особей (Осинцева, 1998). В вегетационные периоды 1992–1994 гг. на производственных посадках белокочанной капусты численность капустной моли превышала ЭПВ только в 1992 г. (Томилова, Штерншис, 1994). В конце XX – начале XXI века высокая численность капустной моли была зафиксирована в 1998 и 2000 гг., достигая 115 и 250 особей на 100 растений соответственно (Овчинникова 2002),

а также в 2002, 2008, 2009 гг. (Шаталова, Андреева, 2010; Shternshis et al., 2012; Андреева и др., 2013). За последние 6 лет (2015–2020 гг.) вспышки размножения этого вредителя в Новосибирской области на посадках капусты и посевах рапса наблюдались в четырех вегетационных периодах, а аномальными по численности моли были 2015 и 2019 гг., во время которых даже на фоне применения инсектицидов количество гусениц на отдельных сортах и гибридах капусты достигало 6,2 особи на одно растение при 100%-м заселении растений (Андреева, Шаталова, 2017; Andreeva et al., 2020).

Аналогичная ситуация складывается и в других регионах страны, например, в Ленинградской области, в 2007 г. на капусте количество гусениц вредителя достигало 8 особей на растение при заселенности посадок до 88%. Очередная вспышка массового размножения моли на полях капусты и рапса в Северо-Западном регионе отмечена также в 2013–2014 гг. (Шпанев, 2015). В эти же годы в Центрально-Черноземной зоне России капустная моль заселила до 80% посевов рапса, а в Липецкой, Самарской, Белгородской областях в общей сложности вредителем было уничтожено 16,9 тыс. га посевов этой культуры. В последние годы география вспышек размножения капустной моли продолжала расширяться. В 2015 г. массовое развитие фитофага отмечено в Омской, Томской, Тюменской областях, на юге Новосибирской области, Алтайском и Красноярском краях (Поддубная, 2016).

Нарастание численности и повсеместное распространение капустной моли с 2014 года привело к массовому размножению вредителя в 2016 году на посевах рапса в Белоруссии (Запрудский, Будевич, 2019). В Северном Казахстане в связи с увеличением площадей рапса отмечено, что капустная моль стала ежегодным вредителем, хотя ранее она имела практическое значение 1 раз в 7–10 лет (Внимание!!! Капустная моль!).

Статус экономически значимого вредителя имеет капустная моль в тропических регионах мира – Индии, Бразилии, Малайзии, Сенегале (Uthamasamy et al., 2011; Sow et al., 2013; Mohammad et al., 2014; Marchioro, Foerster, 2016). Таким образом, по литературным данным и результатам собственных исследований, проведенных в условиях Сибири, наблюдается увеличение численности по сезонам и количества лет с массовым размножением *P. xylostella*, и как следствие этого усиление ее вредоносности (Штерншиш и др. 2012; Андреева и др. 2013; 2017; Shternshis et al., 2012; Andreeva et al., 2020).

Претерпевают изменения и сроки появления капустной моли в агроценозах, а также периоды ее вредоносности в течение вегетационных сезонов. Например, в Сибирском регионе в конце прошлого – начале нынешнего века появление первых личинок капустной моли отмечали во второй – третьей декадах июня, а пики численности приходились на первую – третью декаду июля в зависимости от особенностей вегетационного периода. Период вредоносности моли ограничивался июнем–августом, при этом фитофаг развивался в 2–3-х поколениях (Горбунов и др., 2008). В последние годы отмечается более раннее появление капустной моли на полях – вылет имаго происходит в мае, и уже в начале июня можно обнаружить первых гусениц. Увеличивается количество поколений вредителя,

способных развиваться в условиях Сибирского региона. Так, в 2015 году зафиксировано развитие 4-х полных и частично 5-го поколения моли, в этом сезоне наличие гусениц и имаго вредителя на поздних гибридах капусты отмечали даже в начале октября (Андреева, Шаталова, 2017). Аномальным не только по численности, но и по срокам появления вредителя был 2019 г., когда наиболее вредоносными были не только второе (обычное для данного фитофага), но и первое поколение капустной моли.

На численность и, как следствие, на вредоносность фитофага, влияют не только различные абиотические факторы, но и факторы биотической природы, а также воздействия антропогенного характера. Например, были выявлены различия по заселенности вредителями посадок капусты, в том числе капустной молью, при разных технологиях возделывания культуры. Так, при традиционной (рассадной) технологии выращивания капусты численность капустной моли была более чем в 4 раза больше, чем при безрассадной (Асякин, 2015).

Из биотических факторов, оказывающих существенное влияние на динамику численности членистоногих-консументов, наиболее значимыми являются качественные показатели растений-продуцентов и естественные враги фитофагов. Исследования, проведенные в разных регионах России и за рубежом, указывают на то, что виды и сорта кормового ресурса влияют на выживаемость и численность вредителей капусты (Иванова, 1987; Егорова, 2007; Андреева и др., 2013; Попова, Хоанг, 2015; Verkerk, Wright, 1996; Schuler et al., 2003; Chandrashekar et al., 2005; Harvey et al., 2007; Gols et al., 2008; Shimabuku et al., 1997; Shternshis et al., 2012; Fathipour et al., 2019). Так, в условиях Европейской части нашей страны для развития капустной моли более предпочитаемыми были белокочанная, цветная и брюссельская, в меньшей степени – кормовая и краснокочанная разновидности культуры (Иванова, 1987). По наблюдениям, проведенным в условиях Сибирского региона, одной из основных предпочитаемых разновидностей капусты для этого фитофага была краснокочанная (Андреева и др., 2013).

Различия результатов исследований по взаимодействию насекомого с растением-хозяином, проведенных в разных географических регионах, обусловлены, вероятно, не только влиянием разновидностей как кормового ресурса, но и сортовыми особенностями капустных культур (Иванова, 1987; Попова, Хоанг, 2015; Fathipour et al., 2019). Среди факторов, определяющих привлекательность сортов капусты для откладки яиц и дальнейшего развития личинок капустной моли, имеют значение морфо-анатомические особенности строения листа, особенности архитектоники растений, биохимический состав, а также скорость роста отдельных органов растений. Так, быстрорастущие сорта капусты с характерным плотным расположением покровных листьев в зоне конуса нарастания в период отрождения гусениц моли будут наиболее устойчивыми к этому вредителю по сравнению с сортами с менее плотно прикрытым покровными листьями конусом нарастания (Вилкова и др., 2004; Асякин, 2005). Имаго капустной моли также реагируют на химические сигналы (глюкозинолаты, такие как синигрин, синальбин и глюкохейролин) для обнаружения растения-хозяина,

распознавания и стимуляции откладки яиц (Munig et al., 2015).

Биохимический состав растений-хозяев напрямую влияет на выживаемость и развитие фитофагов. Так, растения семейства Brassicaceae характеризуются наличием серосодержащих вторичных метаболитов, известных как глюкозинолаты, которые играют ключевую роль в защите растения от фитофагов (Despres et al., 2007). У капустных культур глюкозинолаты обычно присутствуют вместе с мирозиназой и получили название «горчично-масляная бомба» (Halkier, Gershenson, 2006). Эти два соединения изолированы в растении друг от друга, но при повреждении растительной ткани фитофагами они образуют изотиоцианаты, токсичные, в частности для гусениц капустной моли (Li, 2000). Уровень глюкозинолатов может существенно отличаться у разных видов и сортов, что и обуславливает степень их устойчивости к вредителям.

В то же время личинки *P. xylostella* обладают защитным механизмом для детоксикации глюкозинолатов и их токсичных продуктов гидролиза с помощью фермента сульфатазы в среднем кишечнике. Фермент активно предотвращает образование токсинов путем преобразования глюкозинолатов в десульфоглюкозинолаты, а не в более токсичные нитрилы и изотиоцианаты. Этот механизм позволяет *P. xylostella* питаться на широком спектре растений семейства Brassicaceae (Hopkins et al., 2009; Chen et al., 2020). С другой стороны, установлено, что активность пищеварительных ферментов капустной моли (протеазы, амилаза и ферменты, гидролизующие гликозиды) существенно подавляется при питании устойчивыми сортами капустных культур. Исследователи связывают это явление с экспрессией ингибиторов ферментов, что в настоящий момент активно исследуется (Fathipour et al., 2020).

Естественные природные враги капустной моли представлены широким видовым составом энтомопатогенных организмов и энтомофагов. У капустной моли выявлены заболевания различной этиологии. Вирусы гранулеза капустной моли были обнаружены в Японии, Индии, Китае, на Тайване и др. странах (Sarfranz et al., 2005). Смертность гусениц от кенийского штамма GVs в полевых экспериментах составляла от 82 до 90% в зависимости от возраста личинок (Grzywacz et al., 2001). Несколько изолятов вируса гранулеза PlxyGV были генетически охарактеризованы и в настоящее время полная последовательность генома PlxyGV-Япон доступна для сравнения с новыми изолятами. На примере южноафриканского штамма PlxyGV-SA показано, что вирус вызывает гибель личинок преимущественно младших возрастов, что необходимо учитывать при использовании вирусных препаратов в полевых условиях (Abdulkadir et al., 2015). В Китае был выделен вирус ядерного полиэдроза этого фитофага (Kariuki, McIntosh, 1999). В недавних исследованиях иранских ученых полулетальная концентрация ВЯП для личинок 2-го возраста капустной моли составляла $3,8 \times 10^4$ полиэдров/мл (Kalantari et al., 2019).

Бактерии *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) считаются самыми распространенными патогенами чешуекрылых вредителей, в практике защиты растений наиболее востребованы препараты на основе нескольких подвидов этой бактерии. Так, в нашей стране уже несколько десятков

лет используются биопрепараты Лепидоцид (Bt subsp. *kurstaki*) и Битоксибациллин (Bt subsp. *thuringiensis*), что создает предпосылки появления резистентных популяций вредителей (Калмыкова и др., 2016). Еще в конце прошлого столетия были выявлены популяции капустной моли, проявляющие устойчивость к Bt subsp. *kurstaki* (препарат Dipel) и Bt sp. *aizawai* (Tabashnik et al. 1993; Sarfranz et al., 2005) и высказывались предложения разумного использования бактериальных препаратов. В РФ для контроля численности чешуекрылых насекомых не применяют Bt subsp. *aizawai*, в связи с чем, разработка нового биопрепарата на основе данного подвида является актуальным направлением исследований для расширения ассортимента биологических средств защиты растений. В наших опытах экспериментальный штамм Bt subsp. *aizawai* проявлял высокую активность в отношении личинок капустной моли и некоторых других чешуекрылых фитофагов – существенная гибель гусениц *P. xylostella* 3-го возраста наступала уже через 1 сутки после заражения, ЛК₅₀ при этом составляла $4,25 \times 10^7$ спор / мл, на 2-е сутки, как правило, наблюдали 100%-ю гибель вредителя (Андреева и др., 2019).

Среди энтомопатогенных грибов, поражающих капустную моль, были отмечены энтомофторовые – *Zoophthora radicans*, аскомицеты – *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces farinosus* и др. (Sarfranz et al., 2005). Наибольшее значение из них имеют энтомофторовые грибы, способные при благоприятных условиях вызывать эпизоотии в популяциях вредителя (Vickers et al., 2004). Так, во время массового размножения капустной моли в условиях Сибири в 2019 г. развитие эпизоотии энтомофтороза во второй половине вегетационного периода привело к существенному снижению численности фитофага (Андреева et al., 2020), и в начале следующего сезона капустная моль не имела практического значения. В своих исследованиях Xia с соавт. (2013) подробно изучили протекание инфекционного процесса у личинок капустной моли при заражении оригинальными штаммами грибов *B. bassiana*, *M. anisopliae* и *Isaria fumosorosea*. Не смотря на схожие гистопатологические изменения, наблюдались и различия в действии разных видов грибов, проявляющиеся в варьировании симптомов и скорости протекания микозов. Наиболее активным в отношении вредителя оказался штамм *B. bassiana*. В других экспериментах установлена высокая активность *M. anisopliae* против капустной моли, при этом была выявлена зависимость эффективности от дозы инокулята, а также отмечено, что восприимчивость гусениц к грибному патогену была выше у популяций фитофага, чувствительных Bt-инфекции (Batta, 2018). Эффективность энтомопатогенных грибов против фитофагов связана не только с живыми структурами патогенов, но и их метаболитами. В частности, показана возможность использования бассианолида (bassianolide), продуцируемого *Lecanicillium lecanii*, для снижения численности *P. xylostella* (Ravindran et al., 2018).

Из других патогенов отмечено заражение капустной моли некоторыми видами микроспоридий, включая неидентифицированные изоляты группы *Nosema/Vairimorpha*, а также *Nosema (Vairimorpha) imperfecta* (Canning et al., 1999). В работах Kermani с соавт. (2014) показана зависимость эффективности микроспоридий рода *Nosema* от

количества спор и температуры. Так, при заражении личинок 2-го возраста *P. xylostella* наибольшая гибель особей (92%) была получена в варианте с использованием концентрации 10^5 спор/мл при температуре 35°C, при 30 и 20°C смертность насекомых составляла около 50%, а наименьшая гибель была отмечена при 25°C (26%). Влияние температурного фактора на протекание инвазионного процесса и эффективность микроспоридий имеет большое практическое значение, т.к. позволяет установить оптимальные условия, при которых целесообразно использовать *Nosema* sp. в комплексе защитных мероприятий от капустной моли. Предпринимались попытки использования *Steinernema carpocapsae* W. против этого вида вредителя, но эффективность нематод была не высока, однако при совместном применении с бактериями *Vt* subsp. *kurstaki* она увеличивалась (Baug et al., 1998). В лабораторных условиях при заражении личинок капустной моли изолятом *S. carpocapsae*, предоставленным для исследований компанией Koppert, гибель особей достигала 88–100% в зависимости от дозы нематод и времени экспозиции (Zolfagharian et al., 2014).

Видовой состав насекомых и других животных, отмеченных в качестве энтомофагов вредителя, включает не менее 135 представителей (Delvare, 2004; Sarfraz et al., 2005). Среди хищников, питающихся разными фазами развития капустной моли, обнаружены некоторые муравьи, мухи-тахины, клопы, жуки, пауки и птицы (Sarfraz et al., 2005; Vieira et al., 2016). Однако большинство исследователей отмечают ведущую роль в регуляции численности капустной моли паразитических видов отряда Hymenoptera. Наиболее значимые из них относятся к семействам Ichneumonidae (*Diadromus* sp., *Diadegma insulare*, *D. fenestrata*, *D. leontinae* и др.), Braconidae (*Microplitis plutellae*, *Cotesia plutellae*), Eulophidae (*Oomyzus sokolowskii*). Так, Marchioro и Foerster (2016) по результатам исследований, проведенным в Южной Бразилии, отмечают, что комплекс паразитоидов (*Diadegma leontinae*, *Apanteles piceotrichosus*, *Siphona* sp. и др.) был основным фактором, влияющим на популяционную динамику *P. xylostella*, снижая численность вредителя на 48%. В условиях Молдавии, северо-восточной Румынии, капустная моль не вызывает значительных экономических потерь, так как рост ее популяций в значительной степени ограничен действием сложного комплекса энтомофагов, состоящего из более чем 30 видов паразитоидов, заселяющих в среднем до 60–70%, иногда более 90% особей вредителя в популяции (Mustață G., Mustață M., 2007). В северо-западных провинциях Южной Африки численность капустной моли успешно контролируется естественными врагами, если на полях не применяют инсектициды. В общей сложности в этих провинциях были обнаружены 3 вида яйцеедов, 8 личиночных, 4 личиночно-куколичных и 6 куколичных паразитоидов, кроме того, были идентифицированы 12 видов гиперпаразитов (Kfir et al., 2011).

В условиях Сибирского региона наиболее эффективными и распространенными паразитами капустной моли являются виды рода *Diadegma* spp. По данным сибирских ученых, изучавших энтомофагов капустной моли в конце прошлого столетия, заселенность гусениц *Diadegma* sp. в конце второго поколения вредителя обычно достигала

50–56%, а в конце лета увеличивалась до 75–85% (Горбунов и др., 2008). Однако, более поздние наблюдения, проведенные на посадках капусты, свидетельствуют о том, что число паразитированных особей капустной моли в середине и в конце вегетационного периода существенно снижалось по сравнению с заселением энтомофагом двух первых поколений вредителя, что вероятно связано с интенсивным использованием химических инсектицидов (Андреева, Шаталова, 2017; Andreeva et al., 2020).

Имеются сведения о влиянии энтомопатогенных организмов на энтомофагов капустной моли. Так, штамм HD1 *Bacillus thuringiensis* оказался токсичным для молодых личинок капустной моли, которые погибали вместе с *Diadegma* sp., паразитировавших на гусеницах короткое время (не более 2-х дней). При воздействии бактерий на личинок моли, заселенных энтомофагом более длительное время, паразит завершал свое развитие. В этом случае наличие HD1 не влияло на генерацию F1 *Diadegma* sp., достоверных различий по длительности развития личиночной и куколичной стадий, соотношению полов, продолжительности жизни взрослых особей и проценте паразитизма между взрослыми из HD1-инфицированных и неинфицированных личинок не обнаружено (Monerrat, Bordat, 2017). В других исследованиях показано, что *B. thuringiensis* var. *kurstaki* (serotype H-3a3b, strain Z-52) вызывает гибель личинок *Diadegma insulare* опосредованно, убивая восприимчивых хозяев, в которых они развиваются (Ebrahimi et al., 2012). Также выявлено, что заражение личинок *P. xylostella* энтомофторовым грибом *Zoophthora radicans* приводило к 100%-й гибели энтомофагов *Diadegma semiclausum* и *Cotesia plutellae*, паразитирующих в хозяине не более 4-х дней, при более поздних сроках развития паразитоидов в теле гусениц процент их смертности от грибковой инфекции уменьшался (Furlong, Pell, 2000).

На примере капустной моли проведены исследования и в рамках трехчленной системы «растение-субстрат – фитофаг – энтомопатоген (энтомофаг)». В частности, восприимчивость капустной моли к биопрепарату Лепидоцид существенно менялась в зависимости от разновидности и сорта капусты. Так, биологическая эффективность препарата против гусениц этого фитофага на белокочанной капусте сорта Подарок (как менее предпочитаемой для данного вредителя разновидности) на 3–7 сутки после обработки была выше на 20–24% по сравнению с краснокочанной капустой сорта Марс (Андреева и др., 2013). В экспериментах с чистыми культурами установлено, что изотиоцианаты, выделенные из капустных культур, подавляли рост энтомопатогенных грибов *Tolypocladium cylindrosporum*, *T. cylindrosporum* и *M. anisopliae*, однако при моделировании полевых условий (внесение энтомопатогенов в почву с растущими растениями сем. Brassicaceae) отрицательного действия вторичных метаболитов на грибы не обнаруживали (Klingen et al., 2002).

Против капустной моли используется широкий ассортимент химических инсектицидов на основе действующих веществ, относящихся к различным химическим классам – пиретроиды, неоникотиноиды, фосфорорганические вещества, препараты на основе ингибиторов синтеза хитина (Справочник пестицидов..., 2021). Однако

многочисленными научными исследованиями, подтвержденными на практике, доказано появление популяций *P. xylostella*, резистентных ко многим химическим препаратам (Коваленков, Тюрина, 2016; Поддубная, 2016; Santos, 2011; Richardson et al., 2020; Andreeva et al., 2020). Эксперименты по определению эффективности более 10 химических инсектицидов с различным действующим веществом, проведенные на сибирских популяциях капустной моли, показали, что все испытанные препараты эффективны только против гусениц младших возрастов и частично уничтожают или стерилизуют бабочек. Препараты не действуют на куколок, яйца и гусениц старших возрастов. Отмечено, что системные препараты действуют замедленно – гусеницы начинают погибать только через 12 часов (диметоат, имидаклоприд, тиаметоксам) и за это время успевают повредить более 50% листовой поверхности. При использовании любого контактного препарата скорость действия варьировала от 30 минут (лямбда-цигалотрин и малатион) до 4.5 часов (эсфенвалерат), поврежденность растений в этих вариантах составила не более 7% (Поддубная, 2016).

В условиях Краснодарского края в полевых экспериментах на посевах рапса ярового сортов Галант и Руян установлена высокая эффективность химических инсектицидов Лямдекс, КЭ, Данадим Эксперт, КЭ, Кинмикс, КЭ, Фуфанон Эксперт, ВЭ, Пиринекс Супер, КЭ и биологически активной композиции, включающей препараты Пиримифосметил и Альфа-циперметрин против капустной моли. Наибольшая эффективность была получена при использовании инсектицида Пиринекс супер (1л/га) и биологически активной композиции (1.3 л/га), обеспечивших гибель личинок фитофага на уровне 92.5–97.5 и 97.5–100% соответственно (Семеренко, 2019).

В целом, большинство рекомендаций по борьбе с капустной молью в настоящее время, как на рапсе, так и на капусте, сводятся к комбинированному применению инсектицидов различного спектра действия. Так, в начале вегетационного периода при появлении первого поколения вредителя целесообразно использовать контактно-кишечные препараты с репеллентным эффектом, в частности на основе пиретроидов, в дальнейшем рекомендуется проводить обработки баковыми смесями препаратов с разными принципами действия (контактно-кишечные и системные с добавлением поверхностно активных веществ) с периодичностью 5–7 дней. Кратность обработок определяется численностью вредителя в условиях конкретного агроценоза (Капустная моль – меры борьбы; Капустная моль (рекомендации)). Предлагается и биологизированная защита рапса от капустной моли, включающая комплекс предупредительных и истребительных мероприятий. В частности, в качестве профилактических мер рекомендуется нанесение на растительные остатки биопрепаратов-редуцентов (грибов *Trichoderma*) и энтомопатогенных биопрепаратов, поскольку входящие в их состав микроорганизмы заселяют уходящих на зимовку насекомых, что в дальнейшем снижает численность вредителя. В начале нового вегетационного периода при появлении имаго капустной моли рекомендуется проводить обработки энтомопатогенными препаратами каждые 10–15 дней. При массовом размножении фитофага крайней мерой для

усиления биозащиты является применение инсектицидов системного действия. Не исключено использование насекомых-энтомофагов – *Horogenes fenestralis*, *H. armillata*, *Apanteles vestalis*, *A. fuliginosus*, *Trichogramma evanescens* (Сафроновская).

Феромониторинг считается относительно нетрудоемким и обладающим достаточно высокой точностью методом обнаружения и учета насекомых-вредителей. В последние годы на базе опытных участков Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВНИИЗР, Воронеж) и Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур имени В.С. Пустовойта (Краснодарский край) прошли трехлетние испытания феромонов капустной моли, синтезированные специалистами АО «Щелково Агрохим». Во время экспериментов была отработана концентрация действующих веществ, подобран наиболее эффективный вид феромонного испарителя, позволяющего четко проследить динамику лёта бабочек капустной моли (Семеренко, Бушнева, 2018; Бобрешова и др., 2020). Результаты экспериментов, как утверждают разработчики феромона, полученные в 2-х регионах страны, достаточно сильно различаются, в связи с чем, единый критерий оценки экономического порога вредоносности, общего для регионов, возделывающих рапс, определить не представляется возможным, то есть для каждого региона он, по всей видимости, будет индивидуальным. Однако, в целом, препарат показал высокую надёжность и селективность и по предварительным данным, ориентировочное значение ЭПВ капустной моли составляет 30–50 особей/ловушку/неделю. С другой стороны, с помощью феромониторинга можно безошибочно проследить динамику развития численности вредителя на протяжении всего периода вегетации, а также спрогнозировать сроки проведения химических обработок. С 2018 года компания «Щёлково Агрохим» начала реализацию этих ловушек в России (Абрамович, 2020).

За рубежом исследования по феромониторингу капустной моли также касаются изучения эффективности различных смесей феромонов и готовых коммерческих продуктов, а также добавок к основной феромонной смеси на разных географических популяциях *P. xylostella* (Evenden, Gries, 2010; Miluch et al., 2014), использования комбинаций феромонов с химическими инсектицидами (Mitchell, 2002), изучения влияния конструкций диспенсеров, скорости высвобождения феромонов и продуктов их разложения на привлекательность смеси феромонов для самцов фитофага (Miluch et al., 2014), а также определения оптимального месторасположения, высоты установки и количества ловушек на единицу площади посевов и посадок капустных культур (Syed et al., 2019).

В целом, исследования, посвященные капустной моли, охватывают значительный временной период наблюдений и экспериментов. Большой опыт в этом плане накоплен зарубежными исследователями, что отражено многочисленными публикациями в иностранной литературе. Увеличение вредоносности этого фитофага в различных регионах нашей страны, обусловленное изменением погодноклиматических условий, значительным расширением площадей, занятых капустными культурами, появлением резистентных к химическим инсектицидам популяций

вредителя, требует разработки новых эффективных и безопасных средств регуляции численности этого фитофага. Большой потенциал в этом направлении видится в изучении природных врагов капустной моли: высокоэффективных паразитических насекомых и энтомопатогенных организмов, в частности, различных подвидов бактерии *Bacillus thuringiensis*, не реализованных в настоящее время

в качестве основы биопрепаратов в Российской Федерации. Важной составляющей в системе защиты капустных культур от этого опасного фитофага является отработка приемов феромониторинга, позволяющих более точно определять численность вредителя и оптимальные сроки проведения защитных мероприятий.

Библиографический список (References)

- Абрамович Н (2020) Феромониторинг – экологичная защита рапса. *BETARENAgro*. 4(12):46–49. <https://betaren.ru/upload/iblock/412/41249d0614d0501d7ef7f20a8cebc7f6.pdf>
- Андреева ИВ, Шаталова ЕИ, Штерншис МВ, Шульгина ОА и др (2013) Роль кормового ресурса в численности фитофагов капусты и их биоконтроле. *Сибирский экологический журнал* 3:439–446
- Андреева ИВ, Шаталова ЕИ (2017) Сезонное развитие капустной моли и ее энтомофагов в Западной Сибири. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки* 3:42–48
- Андреева ИВ, Ашмарина ЛФ, Шаталова ЕИ (2019) Особенности изменения фитосанитарного состояния кормовых культур в условиях Западной Сибири. *Достижения науки и техники АПК* 10:26–30. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11006
- Андреева ИВ, Шаталова ЕИ, Калмыкова ГВ, Акулова НИ и др (2019) Восприимчивость разных видов чешуекрылых насекомых к штамму *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai*. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки* 49(6):44–52. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-6-5>
- Андреева ИВ, Шаталова ЕИ, Ульянова ЕГ (2020) Способ разведения капустной моли *Plutella xylostella* L. Патент на изобретение RUS 2735251
- Асякин БП (2005) Параметры механизмов иммунитета овощных культур. Иммуногенетические методы повышения сопротивляемости агроценозов к стрессовым воздействиям биогенного характера. Научно обоснованные параметры конструирования сортов сельскохозяйственных культур. М.- СПб. 32–37
- Асякин БП (2015) Биологическое обоснование защиты капусты, возделываемой по безрассадной технологии, от комплекса вредных организмов. *Вестник защиты растений* 2(84):48–52
- Бобрешова ИЮ, Рябчинская ТА, Стулов СВ, Пятнова ЮБ и др (2020) Метод феромониторинга капустной моли (*Plutella xylostella* L.) – опасного вредителя рапса. *Агрохимия* 7:68–75
- Вилкова НА, Нефедова ЛИ, Асякин БП, Фасулати СР и др (2004) Научно-обоснованные параметры конструирования устойчивых к вредителям сортов сельскохозяйственных культур. СПб.: ВИЗР. 76 с.
- Внимание!!! Капустная моль! Сетевое издание «АгроИнфо» URL: <https://agroinfo.kz/vnimanie-kapustnaya-mol/> (21.02.2021).
- Выступова М (2019) Капустная моль минирует рапс. <http://tomsk-novosti.ru/kapustnaya-mol-miniruet-raps/> (12.01.2021)
- Горбунов НН, Цветкова ВП (2001) Фитосанитарный контроль за вредителями и сорняками сельскохозяйственных культур в Сибири: учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский ГАУ. 146 с.
- Горбунов НН, Цветкова ВП, Штундюк АВ, Васильковская ЛН (2008) Вредители овощных и плодово-ягодных культур в Сибири: учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский ГАУ. 240 с.
- Егорова НФ (2007) Совершенствование элементов интегрированной защиты белокочанной капусты и рапса от основных вредителей: *Автореф. дисс. ... к.б.н.* М. 22 с.
- Запрудский А, Будревич А (2019) Рекомендации для агрономов. Капустная моль в посевах рапса. *Ж. Белорусское сельское хозяйство*. <https://agriculture.by/news/apk-belarusi/rekomendacii-dlja-agronomov.-kapustnajamol-v-posevah-rapsa> (12.01.2021)
- Иванова ОВ (1987) Об иммунитете капусты к капустной моли и капустной белянке. *Бюллетень Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений* 68:59–65
- Иванцова ЕА (2007) Паразиты капустной моли в горчичных агроценозах Нижнего Поволжья. *Защита и карантин растений*. <https://cyberleninka.ru/article/n/parazity-kapustnoy-moli-v-gorchichnyh-agrotsenozah-nizhnego-povolzhya> (14.01.2021)
- Калмыкова ГВ, Горобей ИМ, Осипова ГМ (2016) Перспективы использования *Bacillus thuringiensis* как биологического агента защиты растений. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки* 4:12–19.
- Капустная моль – меры борьбы. Сетевое сообщество «Direct.Farm». URL: https://direct.farm/?view=post__543 (21.02.2021)
- Капустная моль (рекомендации). Сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. URL: <https://mshp.gov.by/information/materials/kart-ov/plant-growing/b3c1a14fd2edde9c.html> (21.02.2021)
- Коваленков ВГ, Тюрина НМ (2016) Резистентность в популяциях вредных насекомых и клещей к инсектоакарицидам и возможности ее реверсии. Материалы Международной научно-практической конференции «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем». 73–78
- Мисриева БУ (2012) Биотические факторы, регулирующие численность популяции капустной моли на семенниках капусты в Дагестане. *Защита и карантин растений* 7:43–44
- Нурлыгаянов РБ, Филимонов АЛ (2018) Производство семян ярового рапса в Западной Сибири. *МСХ* 4:20–22. <https://cyberleninka.ru/article/n/proizvodstvo-semyan-yarovogo-rapsa-v-zapadnoy-sibiri> (11.09.2019).
- Овчинникова ЛА (2002) Совершенствование микробиологической защиты капусты от чешуекрылых вредителей. *Автореф. дисс. ... к.с.-х.н.* Новосибирск. 18 с.
- Осинцева ЛА (1998) Экологически безопасная система регулирования численности листогрызущих насекомых

- в агроценозе капустного поля. *Автореф. дисс. ... д.б.н.* Новосибирск. 43 с.
- Поддубная Е (2016) Капустная моль – проблемный год или кризис систем борьбы? *Агротайм* 3(29) <http://agrotime.info/?p=6449> (17.02.2017)
- Попова ТА, Хоанг ЗЛ (2015) Гибриды и биопрепараты в защите капусты от чешуекрылых вредителей. *Картофель и овощи* 6:39–40
- Постовалов АА, Григорьев ЕВ (2017) Экологические особенности вредных организмов ярового рапса в Курганской области. Материалы конференции. *Актуальные проблемы экологии и природопользования* 123–128
- Сафроновская Г.М. Капустная моль на рапсе: как избежать вспышки развития вредителя? Веб-портал «ГлавАгроном» URL: <https://glavagronom.ru/articles/kapustnaya-mol-na-rapse-kak-izbezhat-vspyshki-razvitiya-vreditelya> (21.02.2021)
- Семеренко СА, Бушнева НА (2018) Применение феромонных ловушек на яровом рапсе для учёта численности капустной моли. *Масличные культуры* 4 (176):172–177 <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-feromonnyh-lovushek-na-yarovom-rapse-dlya-uchyota-chislennosti-kapustnoy-moli> (22.09.2020)
- Семеренко СА (2019) Феромониторинг капустной моли в посевах рапса ярового и поиск эффективных химических средств защиты от вредителя в условиях Западного Предкавказья. *Масличные культуры* 4(180):143–151 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/feromonitoring-kapustnoy-moli-v-posevah-rapsa-yarovogo-i-poisk-effektivnyh-himicheskikh-sredstv-zaschity-ot-vreditelya-v-usloviyah> (11.03.2021).
- Спиченко ЛН, Гулий ВВ, Крупко ЛА (1980) Применение бактериальных препаратов совместно с Вирин-ЭКС против листогрызущих чешуекрылых вредителей капусты. *Биологические методы борьбы с вредными организмами.* Новосибирск. 16–19
- Спиченко НН, Кривохижин ВИ, Штерншис МВ, Мищенко ВС (1985) Защита капусты от вредителей с минимальным применением ядохимикатов в Новосибирской области. Методические рекомендации. Новосибирск. 20 с
- Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2021. <https://www.agroxxi.ru/goshandbook> (18.02.2021)
- Томилова ОГ, Штерншис МВ (1994) Структурирование информации для экспертной системы «Интегрон» и ее проверка. Проблемы науки и производства в условиях аграрной реформы: Материалы научно-практической конференции Новосибирского ГАУ. 55–60
- Шаталова ЕИ, Андреева ИВ (2010) Динамика численности фитофагов в агроценозе капустного поля. Материалы Всероссийской конференции молодых ученых. Улан-Удэ (Россия). 14–16
- Шпанев АМ (2015) Массовое размножение капустной моли. *Защита и карантин растений* 9:40–42
- Штерншис МВ, Андреева ИВ, Шаталова ЕИ, Шульгина ОА (2012) Применение биопрепаратов для защиты капусты от фитофагов в Западной Сибири. Рекомендации. Новосибирск. 25 с
- Abdulkadir F, Knox C, Marsberg T, Hill M et al (2015) Genetic and biological characterisation of a novel *Plutella xylostella* granulovirus, PlxyGV-SA. *BioControl*. 60. <https://doi.org/10.1007/s10526-015-9666-3>
- Andreeva IV, Shatalova EI, Shternshis MV (2020) Environmental and anthropogenic factors influencing key cabbage Lepidopteran pests in the southwestern Siberia. *Вестник Томского государственного университета. Биология* 51:205–211. <http://doi.org/10.17223/19988591/51/11>
- Batta Y (2018) Biocontrol of Diamondback Moth Larvae Tolerant to Bt-toxin Dipel® by the Entomopathogenic Fungus *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin (Hypocreales, Ascomycota). *Agri Res & Tech: Open Access J.* 18(2). <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2018.18.556054>
- Baur ME, Kaya HK, Tabashnik BE, Chilcutt CF (1998) Suppression of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) with an entomopathogenic nematode (Rhabditida: Steinernematidae) and *Bacillus thuringiensis* Berliner. *J Econom Entomol* 91:1089–1095
- Canning EU, Curry A, Cheney S, Lafranchi-Tristem NJ et al (1999) *Vairimorpha imperfecta* n.sp., a microsporidian exhibiting an abortive octosporous sporogony in *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Parasitol* 119(3):273–286. <https://doi.org/10.1017/S0031182099004734>
- Chandrashekar K, Kumari A, Kalia V, Gujar G (2005) Baseline susceptibility of the American bollworm *Helicoverpa armigera* to *Bacillus thuringiensis* Berl. var. *kurstaki* and its endotoxins in India. *Current Sci* 88(1):167–177
- Chen W, Dong Y, Saqib HSA, Vasseur L et al (2020) Functions of duplicated glucosinolate sulfatases in the development and host adaptation of *Plutella xylostella*. *Insect Biochem Mol Biol* 119:103316.
- Delvare G (2004) The taxonomic status and role of Hymenoptera in biological control of DBM, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). In: Kirk AA, Bordat D, editors. Improving biocontrol of *Plutella xylostella*. Proceedings of the International Symposium. Montpellier, France. 17–49
- Despres L, David JP, Gallet C (2007). The evolutionary ecology of insect resistance to plant chemicals. *Trends Ecol Evol* 22(6):298–307
- Halkier BA, Gershenzon J (2006) Biology and biochemistry of glucosinolates. *Annu. Rev. Plant Biol* 57:303–333
- Harcourt DG (1957) Biology of the Diamondback Moth, *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera: Plutellidae), in Eastern Ontario. *Can Entomol* 89(12):554–564. <https://doi.org/10.4039/ent89554-12>
- Hardy JE (1938) *Plutella maculipennis*, Curt., its natural and biological Control in England. *Bull Entomol Res* 29(4):343–372. <https://doi.org/10.1017/s0007485300026274>
- Harvey JA, Gols R, Wagenaar R, Bezemer T (2007) Development of an insect herbivore and its pupal parasitoid reflect differences in direct plant defense. *J Chem Ecol* 33:1556–1569
- Hopkins RJ, van Dam NM, van Loon JJ (2009) Role of glucosinolates in insect-plant relationships and multitrophic interactions. *Annu Rev Entomol* 54:57–83
- Fathipour Y, Kianpour R, Bagheri A, Karimzadeh J et al (2019). Bottom-up effects of Brassica genotypes on performance of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Prot* 115:135–141

- Fathipour Y, Kianpour R, Bagheri A, Karimzadeh J et al (2020) Targeting *Plutella xylostella* digestive enzymes by applying resistant Brassicaceae host cultivars. *J Crop Prot* 9(1):65–79
- Furlong MJ, Pell JK (2000) Conflicts between a Fungal Entomopathogen, *Zoophthora radicans*, and Two Larval Parasitoids of the Diamondback Moth. *J of Invert Pathol* 76(2):85–94. <https://doi.org/10.1006/jipa.2000.4943>
- Gols R, Bukovinsky N, van Dam N, Dicke M (2008) Performance of generalist and specialist herbivores and their endoparasitoids differs on cultivated and wild Brassica population. *J Chem Ecol* 34:132–143
- Grzywacz D, Parnell M, Kibata G, Oduor G (2001) The development of endemic baculoviruses of *Plutella xylostella* (diamondback moth, DBM) for control of DBM in East Africa. In: Endersby NM, Ridland PM, editors. The management of diamondback moth and other crucifer pests. Proceedings of the Fourth International Workshop. Melbourne, Australia: Department of Natural Resources and Environment. 179–183
- Ebrahimi M, Sahragard A, Talaei-Hassanloui R (2012) Effect of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* on survival and mortality of immature and mature stages of *Diadegma insulare* parasitizing *Plutella xylostella*. *Phytoparasitica* 40(4):393–401
- Evenden ML, Gries R (2010) Assessment of commercially available pheromone lures for monitoring diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in canola. *J Econ Entomol* 103(3):654–61. <https://doi.org/10.1603/ec09339>. PMID: 20568610
- Kalantari M, Fard Z, Marzban R (2019). Virulence Determination Nuclear Polyhedrosis Virus on Cotton Bollworm *Helicoverpa armigera* and Diamond Back Moth, *Plutella xylostella*. <https://www.researchgate.net/publication/336275956> (12.03.2021)
- Kariuki CW, McIntosh AH (1999) Infectivity studies of a new baculovirus isolate for the control of the diamondback moth (Plutellidae: Lepidoptera). *J Econ Entomol* 92:1093–1098
- Kermani N, Abu-hassan Z-A, Dieng H, Ismail NF et al (2014) Correction: Pathogenicity of *Nosema* sp. (Microsporidia) in the Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). PLoS ONE 9(1): 10.1371/annotation/4ba70a5b-bfd5-4335-9f1b-dd96afd9a6d5. <https://doi.org/10.1371/annotation/4ba70a5b-bfd5-4335-9f1b-dd96afd9a6d5>
- Kfir R, Srinivasan R, Shelton A, Collins HL (2011) Efficacy of *Plutella xylostella* parasitoids in South Africa and their use in biological control – a review. Proceedings of the 6th international workshop on management of the diamondback moth and other crucifer insect pests. AVRDC–The World Vegetable Center 87–92
- Klingen I, Hajek A, Meadow R, Renwick J (2002) Effect of brassicaceous plants on the survival and infectivity of insect pathogenic fungi. *BioControl* 48:411–425
- Li Q, Eigenbrode S, Stringam G, Thiagarajah M (2000) Feeding and growth of *Plutella xylostella* and *Spodoptera eridana* on *Brassica juncea* with varying glucosinolate concentrations and myrosinase activity. *J Chem Ecol* 26(10):2401–2410
- Liu YB, Tabashnik BE (1997) Visual determination of sex of diamondback moth larvae. *Can Entomol* 129(03):585–586 <https://doi.org/10.4039/ent129585-3>
- Marchioro CA, Foerster LA (2011) Development and survival of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a function of temperature: effect on the number of generations in tropical and subtropical regions. *Neotrop Entomol* 40(5):533–541 <http://doi.org/10.1590/S1519-566X2011000500003>
- Marchioro CA, Foerster LA (2016) Biotic factors are more important than abiotic factors in regulating the abundance of *Plutella xylostella* L., in Southern Brazil. *Rev Bras Entomol* 60:328–333
- Miluch CE, Dosdall LM, Evenden ML (2014) Factors Influencing Male *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) Capture Rates in Sex Pheromone-Baited Traps on Canola in Western Canada. *J Econ Entomol* 107(6):2067–76. <https://doi.org/10.1603/EC13371>
- Mitchell ER (2002) Promising new technology for managing diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in cabbage with pheromone. *J Environ Sci Health B* 37(3):277–290 <https://doi.org/10.1081/PFC-120003105>
- Mohammad FD, Fauziah I, Mohd Z, Fairuz K, Abu ZU, Syed AR, Ismail R, Mohd Hanysyam MN, Norazliza R (2014) Asymmetry effect of intercropping non host crops between cabbage and climatic factor on the population of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) and yield. *Agriculture, Forestry and Fisheries (AFF)?* 3(3):171–177. <https://doi.org/10.11648/j.aff.20140303.15>
- Monerrat RG, Bordat D (2017) Influence of HD1 on the developmental stages of *Diadegma* sp. parasitoid of diamondback moth. Proceedings of the VII International Workshop on Management of the Diamondback Moth and Other Crucifer Insect Pests. At: Bangalore, India. 314–316
- Munir S, Dosdall LM, O'Donovan JT (2015) Evolutionary ecology of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) and *Diadegma insulare* (Cresson) in North America: A review. *Annual Research & Review in Biology* 5(3): 189–206
- Mustață G, Mustață M (2007) *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) and its natural biological control in the region of Moldavia, Romania. *Analele Științifice ale Universității „Al. I. Cuza” Iași, s. Biologie animală*, Tom LIII. 149–158
- Philips CR, Fu Z, Kuhar TP, Shelton AM et al (2014) Natural History, Ecology, and Management of Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae), With Emphasis on the United States. *J Integr Pest Manag* 5(3):D1–D11 <https://doi.org/10.1603/IPM14012>
- Ravindran K, Sivaramakrishnan S, Hussain M, Dash C et al (2018) Investigation and molecular docking studies of Bassianolide from *Lecanicillium lecanii* against *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Comp Biochem Physiol. Part C: Toxicology & Pharmacology* 206:65–72
- Richardson EB, Troczka BJ, Gutbrod O, Davies TG et al (2020) Diamide resistance: 10 years of lessons from lepidopteran pests. *J Pest Sci* 93:911–928. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01220-y>
- Saeed S, Jaleel W, Naqqash MN, Saeed Q et al (2019) Fitness parameters of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera; Plutellidae) at four constant temperatures by using age-stage, two-sex life tables. *Saudi J Biol Sci* 26(7):1661–1667. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.08.02>
- Santos VC (2011) Insecticide Resistance in Populations of the Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), from the State of Pernambuco, Brazil.

- Neotrop Entomol* 40(2):264–270. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2011000200017>
- Sarfrac R, Keddie B, Dossall L (2005). Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. *Biocontrol Sci Technol* 15(8):763–789
- Schuler T, Potting R, Denholm I, Clark S (2003) Tritrophic choice experiments with *Bt*-plants, the diamondback moth and the parasitoid. *Transgenic Res* 12:351–361
- Shimabuku R, Mau R, Gusukuma-Minuto L (1997) Diamondback moth: Feeding preference among commercial varieties of head cabbage. The Management of Diamondback moth and other crucifer pests: Proceedings of the third International Workshop, Kuala Lumpur, Malaysia. 29:295–297
- Shternshis MV, Andreeva IV, Shatalova EI (2012) The influence of host plants on herbivore community composition on *Brassica* crops in Western Siberia. *ISRN Botany*. 6 p. <https://doi.org/10.5402/2012/682474>
- Sow G, Diarra K, Arvanitakis L, Bordat D (2013) The relationship between the diamondback moth, climatic factors, cabbage crops and natural enemies in a tropical area. *Folia Horti* 25(1):3–12. <https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0001>
- Stehr FW (1987) pp. 304–305 in *Immature Insects*. Kendall Munt Publishing Company, Dubuque, IA. 754 p.
- Syed I, Mutthuraju GP, Doddabasappa B, Sudarshan GK et al (2019) Standardization of height and density of pheromone traps for mass trapping diamond back moth, *Plutella xylostella* (L.) in cabbage. *J Entomol Zool Studi* 7(1):1049–1052
- Tabashnik BE, Finson N, Johnson MW, Moar WJ (1993) Resistance to toxins from *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* causes minimal cross-resistance to *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Appl Environ Microbiol* 59:1332–1335
- 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>
- Tanyi CB, Ngosong C, Ntonifor NN (2018) Effects of climate variability on insect pests of cabbage: adapting alternative planting dates and cropping pattern as control measures. *Chem Biol Technol Agric* 5(1):1–11 <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0140-1>
- Uthamasamy S, Kannan M, Senguttuvan K, Jayaprakash SA (2011) Status, damage potential and management of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in Tamil Nadu, India. In Proceedings of the Sixth International Workshop on Management of the Diamondback Moth and Other Crucifer Insect Pests, AVRDC-The World Vegetable Centre, Taiwan. 270–279
- Verkerk R, Wright D (1996) Multitrophic interactions and management of the diamondback moth: A review. *Bull Entomol Res* 86(3):205–216. <https://doi.org/10.1017/S0007485300052482>
- Vickers RA, Furlong MJ, White A, Pell JK (2004) Initiation of fungal epizootics in diamondback moth populations within a large field cage: Proof of concept of auto-dissimination. *Entomol Exp Appl* 111:7–17
- Vieira N, Truzzi C, Veiga A, Vacari AM et al (2016) Desenvolvimento ninfal de *Xylocoris afer* (Reuter, 1884) predando ovos de *Corcyra cephalonica* (Stainton, 1865) e *Plutella xylostella* (L., 1758). XXVI Congresso Brasileiro de Entomologia; IX Congresso Latino-americano de Entomologia At: Maceió, Alagoas, Brasil. 302 p.
- Xia J, Huang Z, Hu Q (2013). Histopathological study of *Plutella xylostella* infected by three entomopathogenic fungal species. *Advances in Entomology*. 01:15-19. <http://dx.doi.org/10.4236/ae.2013.1200>
- Zolfagharian M, Saeezadeh A, Abbasipour H, Jooyandeh A et al (2014). Efficacy of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* against the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in laboratory condition. *Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz* 48. <https://doi.org/10.1080/03235408.2014.893632>

Translation of Russian References

- Abramovich N (2020) [The pheromone monitoring – environmental protection rape]. *BETARENAgro*. 4(12):46–49 (In Russian)
- Andreeva IV, Shatalova EI, Shternshis MV, Shulgina OA et al (2013) [Role of food resource in the number of cabbage phytophages and their biocontrol]. *Sibirskiy Ekologicheskij Zhurnal* 3:439–446 (In Russian)
- Andreeva IV, Shatalova EI (2017) [Seasonal development of diamondback moth and its entomophages in western Siberia]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyastvennoy nauki* (3):42–48. (In Russian)
- Andreeva IV, Ashmarina LF, Shatalova EI (2019) [Peculiarities of changes in the phytosanitary status of forage crops in the conditions of Western Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* 10:26–30. doi: 10.24411/0235-2451-2019-11006 (In Russian)
- Andreeva IV, Shatalova EI, Kalmykova GV, Akulova NI et al [Susceptibility of different species of lepidoptera insects to strain *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai*]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyastvennoy nauki* 49(6):44–52. (In Russian) <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-6-5>
- Andreeva IV, Shatalova EI, Ulyanova EG (2020) [Method of breeding diamondback moth *Plutella xylostella* L]. Patent RUS 2735251
- Asyakin BP (2005) [Parameters of mechanisms of immunity of vegetable crops. Immunogenetic methods for increasing the resistance of agrocenoses to biogenic stress effects. Scientifically based parameters of designing agricultural crop varieties]. M.-St. Petersburg. 32–37 (In Russian)
- Asyakin BP (2015) [Biological grounds of protection of cabbage cultivated by non-seedling technology from complex of pest organisms]. *Vestnik zashchity rasteniy* 2(84):48–52 (In Russian)
- Bobreshova IJu, Ryabchinskaya TA, Stulov SV, Pyatnova JuB et al (2020) [Method of pheromone monitoring of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) is a dangerous pest of oilseed rape]. *Agrohimiya* 7:68–75 (In Russian)
- Vilkova NA, Nefedova LI, Asyakin BP, Fasulati SR et al (2004) [Scientifically-based parameters of designing pest-resistant varieties of agricultural crops]. St. Petersburg: VIZR. 76 p. (In Russian)

- [Attention!!! Diamondback moth!] Net Edition “AgroInfo” (In Russian) URL: <https://agroinfo.kz/vnimanie-kapustnaya-mol/> (21.02.2021)
- Vystupova M (2019) [Cabbage moth mines rapeseed]. (In Russian) <http://tomsk-novosti.ru/kapustnaya-mol-miniruet-raps/>
- Gorbulov NN, Tsvetkova VP (2001) [Phytosanitary control of pests and weeds of agricultural crops in Siberia: a textbook]. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University. 146 p. (In Russian)
- Gorbulov NN, Tsvetkova VP, Shtundyuk AV, Vasilkovskaya LN (2008) [Pests of vegetable and fruit crops in Siberia: a textbook]. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University. 240 p. (In Russian)
- Egorova NF (2007) [Improving the elements of integrated protection of white cabbage and rapeseed from major pests]. *Abstr. PhD. Biol. Thesis*. Moscow. 22 p. (In Russian)
- Zaprudskiy A, Budrevich A (2019) [Recommendations for agronomists. Diamondback moth in rapeseed crops]. *Belorusskoe selskoe hozyaystvo*. (In Russian) <https://agriculture.by/news/apk-belarusi/rekomendacii-dlja-agronomov-kapustnaja-mol-v-posevah-rapsa>
- Ivanova OV (1987) [About the immunity of cabbage to diamondback moth and cabbage whitefish]. *Bulleten Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zashchity rasteniy*. 68:59–65. (In Russian)
- Ivantsova EA (2007) [Parasites of cabbage moth in mustard agrocenoses of the Lower Volga region]. *Zashchita i karantin rasteniy* (In Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/parazyty-kapustnoy-moli-v-gorchichnyh-agrotsenozah-nizhnego-povolzhya> (14.01.2021)
- Kalmykova GV, Gorobey IM, Osipova GM (2016) [Prospects for the use of *Bacillus thuringiensis* as a biological plant protection agent]. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki*. 4:12–19. (In Russian)
- [Diamondback moth – control measures]. Net community “Direct.Farm” (In Russian) URL: https://direct.farm/?view=post_543 (21.02.2021)
- [Diamondback moth (recommendations)]. Website of Ministry of agriculture and food of the Belarus Republic (In Russian) URL: <https://mshp.gov.by/information/materials/kart-ov-plant-growing/b3c1a14fd2edde9c.html> (21.02.2021)
- Kovalenkov VG, Tyurina NM (2016) [Resistance in populations of harmful insects and ticks to insecticides and the possibility of its reversal]. Materials of the International scientific and practical Conference “Biological plant protection—the basis for the stabilization of agroecosystems”. 73–78. (In Russian)
- Misrieva BU (2012) [Biotic factors regulating the population size of diamondback moth on cabbage testes in Dagestan]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 7:43–44. (In Russian)
- Nurlygayanov RB, Filimonov AL (2018) [Production of spring rapeseed seeds in Western Siberia]. *MSH* 4:20–22. <https://cyberleninka.ru/article/n/proizvodstvo-semyan-yarovogo-rapsa-v-zapadnoy-sibiri> (11.09.2019). (In Russian)
- Ovchinnikova LA (2002) [Improvement of microbiological protection of cabbage from lepidoptera pests]. *Abstr. PhD. Agr. Thesis*. Novosibirsk. 18 p. (In Russian)
- Osintseva LA (1998) [An environmentally safe system for regulating the number of leaf-eating insects in the agrocenosis of the cabbage field]. *Abstr. Dr. Biol. Thesis*. Novosibirsk. 43 p. (In Russian)
- Poddubnaya E (2016) [Diamondback moth – a problematic year or a crisis of control systems?]. *Agrotajm* 3(29). (In Russian) <http://agrotajm.info/?p=6449>
- Popova TA, Hoang ZL (2015) [Hybrids and biologics in the protection of cabbage from lepidoptera pests]. *Kartofel i ovoshchi* 6:39–40. (In Russian)
- Postovalov AA, Grigoryev EV (2017) [Ecological features of harmful organisms of spring rapeseed in the Kurgan region]. Materials of the conference. Current problems of ecology and nature management. 123–128 (In Russian)
- Safronovskaya G.M. [Diamondback moth on rapeseed: how to avoid an outbreak of pest?]. Web portal “GlavAgronom” (In Russian) URL: <https://glavagronom.ru/articles/kapustnaya-mol-na-rapse-kak-izbezhat-vspyshki-razvitiya-vreditelya> (21.02.2021)
- Semerenco SA, Bushneva NA (2018) [Application of pheromone traps on spring rape to account for the number of diamondback moths]. *Maslichnye kultury*. 4 (176):172–177 (In Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-feromonnyh-lovushkek-na-yarovom-rapse-dlya-uchyotachislennosti-kapustnoy-moli> (22.09.2020)
- Semerenco SA (2019) [Pheromonitoring of cabbage moth in spring rapeseed crops and search for effective chemical means of protection against the pest in the conditions of the Western Ciscaucasia]. *Maslichnye kultury* 4(180):143–151 (In Russian) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/feromonitoring-kapustnoy-moli-v-posevah-rapsa-yarovogo-i-poisk-effektivnyh-himicheskikh-sredstv-zashchity-ot-vreditelya-v-usloviyah> (11.03.2021).
- Spichenko LN, Guliy VV, Krupko LA (1980) [The use of bacterial preparations in conjunction with Virin-EX against leaf-eating lepidoptera pests of cabbage]. *Biologicheskie metody borby s vrednymi organizmami*. Novosibirsk. 16–19 (In Russian)
- Spichenko NN, Krivohizhin VI, Shternshis MV, Mishchenko VS (1985) [Protection of cabbage from pests with minimal use of pesticides in the Novosibirsk region. Methodological recommendations]. Novosibirsk. 20 p. (In Russian)
- Handbook of Pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation, 2020. (In Russian) <https://www.agrox.ru/goshandbook>
- Tomilova OG, Shternshis MV (1994) [Structuring of information for the Integron expert system and its verification]. Problems of science and production in the conditions of agrarian reform: Materials of the scientific and practical conference Novosibirsk State Agrarian University. 55–60 (In Russian)
- Shatalova EI, Andreeva IV (2010) [Dynamics of the number of phytophages in the agrocenosis of the cabbage field]. Materials of the All-Russian Conference of Young Scientists. Ulan-ude (Russia). 14–16 (In Russian)
- Shpanev AM (2015) [Mass reproduction of the diamondback moth]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 9:40–42 (In Russian)
- Shternshis MV, Andreeva IV, Shatalova EI, Shulgina OA (2012) [The use of biological products to protect cabbage from phytophages in Western Siberia. Recommendations]. Novosibirsk. 25 p. (In Russian)

THE DIAMONDBACK MOTH *PLUTELLA XYLOSTELLA*:
ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL ASPECTS, HARMFULNESS, POPULATION CONTROL

I.V. Andreeva*, E.I. Shatalova, A.V. Khodakova

*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences,
Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia*

**corresponding author, e-mail: iva2008@ngs.ru*

Data on prevalence, biological and physiological characteristics of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) are presented. Pest damage is described. Reasons causing increase in harmfulness and economic importance of the insect are noted. An increase in the number of generations able to develop during growing season and earlier pest emergence are recorded under conditions of Siberian region. Factors contributing to the insect density dynamics, including plant species and variety, entomophagous arthropods and entomopathogenic microorganisms, have been considered. Range of chemical insecticides recommended for diamondback moth management in Russian Federation has been indicated. An increase in resistance to chemicals and certain entomopathogens in *P. xylostella* populations in different regions of the world has been recorded. Possibility of pheromone traps exploitation for efficient pest detection and monitoring has been established. Perspectives of novel efficient and safe means of pest density regulation have been defined.

Keywords: diamondback moth, prevalence, harmfulness, resistance, entomopathogenous microorganisms, entomophagous arthropods, pheromone monitoring, control measures

Received: 12.01.2021

Accepted: 15.03.2021