

<https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2023-15-3-623-636><http://zoobank.org/References/D82BEC20-40D2-4AA8-A99E-6B2C7688EE99>

УДК УДК 632.76:595.763.79:635.21:632.938

Роль факторов иммунитета картофеля в формировании трофических реакций *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, 1858

Н. В. Мацишина[✉], М. В. Ермак, П. В. Фисенко, И. В. Ким, О. А. Собко, А. А. Гисюк

ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», ул. Воложенина, д. 306, 692539, п. Тимирязевский, г. Уссурийск, Россия

Сведения об авторах

Мацишина Наталия Валериевна

E-mail: mnathalie134@gmail.com

SPIN-код: 7734-6656

Scopus Author ID: 57218616526

ORCID: 0000-0002-0165-1716

Ермак Марина Владимировна

E-mail: ermackmarine@yandex.ru

SPIN-код: 1508-8155

Scopus Author ID: 57218616526

ORCID: 0000-0002-3727-8634

Фисенко Пётр Викторович

E-mail: phisenko@bk.ru

SPIN-код: 9916-1382

Scopus Author ID: 26532574300

ORCID: 0000-0003-1727-4641

Ким Ирина Вячеславовна

E-mail: kimira-80@mail.ru

SPIN-код: 4991-4382

Scopus Author ID: 57218836965

ORCID: 0000-0002-0656-0645

Собко Ольга Абдуралиевна

E-mail: o.eyvazova@gmail.com

SPIN-код: 8082-5318

Scopus Author ID: 57218617568

ORCID: 0000-0002-4383-3390

Гисюк Александр Александрович

E-mail: gisyk@mail.ru

SPIN-код: 9628-8853

Scopus Author ID: 57224898164

ORCID: 0000-0001-6764-997x

Аннотация. Сорты с групповой и комплексной устойчивостью к вредным организмам должны характеризоваться иммуногенетическими механизмами. Целью работы стало изучить влияние факторов иммунитета (толщина листовой пластинки, количество трихом) сортов картофеля на пищевые предпочтения и уровень стресса картофельной коровки. Опыты выполнялись на личинках и имаго картофельной коровки *Henosepilachna vigintioctomaculata*. В ходе исследования имаго картофельной коровки избирали для питания сорта Смак, Казачок и Дачный, Belmonda не избирался для питания. Максимальный вес куколок отмечен на Смаке (54,38 мг) и Юбиляре (41,5 мг), минимальный на Belmonda (12,28 мг). Наибольший уровень стресса демонстрировали личинки, питающиеся на Belmonda, Queen Anne, Lilly, наименьший — на Смаке. В результате исследований установлено, что сорт и его морфогенетическая особенность являются основными сдерживающими факторами при выборе насекомым источника питания и среды обитания.

Права: © Авторы (2023). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Ключевые слова: картофельная коровка, наживочное питание, толщина листовой пластины, трихомы, иммунитет, Приморский край

Role of potato immune factors in the trophic responses of *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, 1858

N. V. Matsishina[✉], M. V. Ermak, P. V. Fisenko, I. V. Kim, O. A. Sobko, A. A. Gisyuk

FSBSI “Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East A. K. Chaiki”, 30b, Vologenin str., 692539, Prymorsky Territory, v. Timiryazevsky, Ussuriysk, Russia

Authors

Natalya V. Matsishina

E-mail: mnathalie134@gmail.com

SPIN: 7734-6656

Scopus Author ID: 57218616526

ORCID: 0000-0002-0165-1716

Marina V. Ermak

E-mail: ermackmarine@yandex.ru

SPIN: 1508-8155

Scopus Author ID: 57218616526

ORCID: 0000-0002-3727-8634

Petr V. Fisenko

E-mail: phisenko@bk.ru

SPIN: 9916-1382

Scopus Author ID: 26532574300

ORCID: 0000-0003-1727-4641

Irina V. Kim

E-mail: kimira-80@mail.ru

SPIN: 4991-4382

Scopus Author ID: 57218836965

ORCID: 0000-0002-0656-0645

Olga A. Sobko

E-mail: o.eyvazova@gmail.com

SPIN: 8082-5318

Scopus Author ID: 57218617568

ORCID: 0000-0002-4383-3390

Alexander A. Gisyuk

E-mail: gisyk@mail.ru

SPIN: 9628-8853

Scopus Author ID: 57224898164

ORCID: 0000-0001-6764-997x

Copyright: © The Authors (2023).
Published by Herzen State Pedagogical
University of Russia. Open access under
CC BY-NC License 4.0.

Abstract. Varieties with group and complex resistance to harmful organisms should be characterized by immunogenetic mechanisms that perform a barrier function in the development of plants by biotrophs as a source of nutrition and habitat. The aim of the work was to study the influence of immunity factors (lamina thickness, number of trichomes) of potato varieties on food preferences and stress level of the potato ladybug. The experiments were carried out on larvae and adults of the potato ladybird *Henosepilachna vigintioctomaculata*. We studied the influence of potato varietal characteristics on the voracity of potato ladybug larvae as well as trophic reactions of the potato ladybug to potato varieties. In the course of the study, the imago of the potato ladybug chose Smak, Kazachok and Dachny varieties for feeding. Belmonda was not chosen by any beetle; nutrition was not noted on the leaves. The smallest number of adult potato ladybirds was recorded on Red Lady, Labella, Sante, Lilly and Yubilyar varieties. The study of fattening nutrition showed that the maximum weight of pupae was noted for Smak (54.38 mg) and Yubilyar (41.5 mg). The minimum weight was for Belmonda (12.28 mg). The highest level of stress was demonstrated by larvae feeding on plants of Belmonda, Queen Anne, Lilly, Dachny, Kazachok, Yubilyar and Avgustin varieties, while the smallest — on Smak. As a result of the research, it was found that the variety and its morphogenetic feature are the main limiting factors when choosing a food source and habitat for insects.

Keywords: potato ladybird, fattening nutrition, leaf plate thickness, trichomes, immunity, Primorsky Region

Введение

Иммунитет растений как важнейший биоценотический фактор определяет в экосистемах количественные и качественные потоки вещества и энергии по цепям питания. С функционированием иммуногенетической системы растений связано становление всех категорий пищевой специализации консументов (Hou et al. 2011; Ji 2022). Сорты с устойчивостью к вредным насекомым должны обладать выполняющими барьерную функцию иммуногенетическими механизмами, представляющими собой разнообразные генетически детерминированные морфологические,

морфофизиологические, ростовые, органо-генетические, физиолого-биохимические, молекулярно-генетические свойства растений (Ausubel 2005; Jones, Dangl 2006).

В последнее время в агробиоценозах отмечено повышение численности и вредности ряда видов насекомых-фитофагов, фитопатогенов и сорных растений, что приводит к резкому ухудшению их состояния на фоне общего обеднения биоразнообразия (Hamuel 2015) и требует поиска и обоснования новых методологических, методических и технологических подходов при построении защитных мероприятий (Павлюшин и др. 2016; Haney et al. 2014; Zhou, Zhang 2020).

Для серьезного вредителя картофеля колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) установлено, что низкая привлекательность отдельных сортов картофеля обусловлена плотными, грубыми листьями с сильной опушенностью, высоким содержанием аскорбиновой кислоты, глутатиона, фенольных соединений, демисина, а также белков (Pelletier et al. 2011). Наиболее выраженные реакции у колорадского жука вызывает присутствие водорастворимых углеводов (сахарозы) в массовой доле 2,5–10%. На личинок сахароза действует более активно, чем другие углеводы. Хорошими стимуляторами процессов питания колорадского жука являются аминокислоты L-аланин, L-аминомасляная кислота и L-серин, причем молекулярная масса последнего не должна превышать 125. Из липидов активизацию питания вызывают только лецитин и фосфатидил L-серин (Ashouri et al. 2001).

На юге российского Дальнего Востока не менее серьезным вредителем картофеля является двадцативосьмипятнистая картофельная коровка (*Henosepilachna vigintioctomaculata* Motsch.) (Ермак, Маццишина 2022; Ермак и др. 2022), чьи пищевые реакции ряд исследователей считает сходными с таковыми колорадского жука (Иванова, Фасулати 2017). Однако механизмы взаимодействия в системе «картофель – картофельная коровка» до сих пор изучены недостаточно. Поэтому целью настоящей работы является выявление влияния факторов иммунитета разных сортов картофеля на пищевые предпочтения и уровень стресса картофельной коровки.

Материалы и методы

Исследования выполнены в 2019–2022 гг. в лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки». В качестве модельных объектов были выбраны 13 сортов картофеля традиционной селекции, исследованные ранее на устойчивость к картофельной коровке (Matsishina et al. 2022).

Опыты выполнялись на личинках и имаго (Маццишина и др. 2021). Взрослые особи были собраны в разных местах по всему Приморскому краю (Россия). Для внедрения в культуру инсектария насекомых собирали в естественных местообитаниях: на липе *Tilia amurensis*, черемухе *Padus asiatica*, картофеле *Solanum tuberosum*, томате *Solanum lycopersicum* и баклажане *Solanum melongena*, отобрав десять имаго разных полов в разных точках изучаемого региона. Отбирались также яйцекладки и личинки младших возрастов. Первый сбор насекомых был проведен в 2019 г., получено восемь лабораторных поколений. В 2020 и 2021 гг. в культуру вводили имаго, собранные в природе, чтобы сохранить полиморфизм линий. Использовали стандартные методы содержания и разведения культур насекомых, направленные на оптимизацию параметров среды, плотности содержания и кормовой обеспеченности (Злотин 1989). При создании лабораторной популяции учитывали параметры минимальной смертности, минимальной изменчивости форм и максимальной плодовитости. Для создания экологического оптимума культура была стабилизирована, что исключало неконтролируемые факторы и временной дрейф. Также была исключена динамика суточных и сезонных температур и влажности, близкая к естественной. Насекомых выращивали при температуре $25 \pm 1,05^\circ\text{C}$ и относительной влажности $85 \pm 2,25\%$, при $16 \pm 1,25$ часов света в день в тканевых изоляторах. Изоляторы размещали на стойках, подключенных к реле времени. Стеллажи были укомплектованы лампами для выращивания растений Quantum line ver. 1 (lm281b + pro 3000K + SMD 5050, 660 нм) (Samsung, Япония). Постоянная температура поддерживалась сплит-системой Rovex RS-07MST1 / RS-07MST1 Aux Air, Китай). Аэрацию как элемент микроклимата обеспечивал аэратор AceLine TFSL-6 (Китай). Уровень влажности контролировали с помощью POLARIS PUN 9105 IQ (Китай). В лаборатории насекомых воспитывали на листьях

сорта картофеля Смак, выращиваемого на почве в условиях культуральной комнаты при $25 \pm 1,05^\circ\text{C}$ и относительной влажности $85 \pm 2,25\%$, при $16 \pm 1,25$ ч. световом дне. Насекомые содержались в режиме маточника, в стеклянных садках объемом 3 л, закрытых крышкой из бязи. На дно сосуда помещался сложенный гармошкой фильтр из фильтровальной бумаги плотностью 115 гр/м^2 . Количество насекомых в одном садке — 10 штук, при соотношении полов $7\text{♀}:3\text{♂}$ (Мацишина и др. 2021).

В первой части эксперимента изучали влияние сортовых особенностей картофеля (определение железистого опушения листьев и толщины листа) на прожорливость личинок II-IV возраста картофельной коровки. Дизайн эксперимента — по Чуликова, Малюга (Чуликова, Малюга 2014). Использовали закрытые чашки Петри диаметром 90 мм. В чашки помещали кружки фильтровальной бумаги, поверх которых размещали 10 долей листа картофеля и по 5 экземпляров голодных (после пятидневного поста) личинок. Повторность опыта 3-кратная. Для корма использовали листья верхнего и среднего яруса растений картофеля, выращенных в условиях фона естественного заселения картофельной коровкой (43.849977, 131.959170). Площадь листовой поверхности измеряли до начала и после кормления фитофага с помощью приложения для смартфонов Petiole. LeafArea (Дорофеева, Бонецкая 2020). Съеденную площадь листьев рассчитывали на одну особь (Вилкова и др. 1987). Толщину листа измеряли с помощью программного пакета Nis Elements, визуализируя изображение при помощи стереомикроскопа Nikon SMZ25.

Во второй части эксперимента изучали трофические реакции картофельной коровки на сорта картофеля. Дизайн эксперимента — по Капусткину (Капусткин 2008). Использовались эксикаторы диаметром 500 мм. Внутри эксикаторов на фильтровальной бумаге, размеченной на равные по ширине сектора, размещали листья изучаемых сортов, по одному образцу

в каждый сектор. Листья брались с растений, выращенных в условиях фона естественного заселения картофельной коровкой. С растений каждого сорта было взято по три листа, срезанных с верхнего и среднего яруса кустов. В центр круга в эксикатор помещалась банка емкостью 0,25 л, без крышки, в которой находились подопытные имаго в количестве 20 экз. Это давало возможность насекомым самим избирать необходимый корм и исключало ошибку с возможным подсаживанием. Группа жуков, используемая в одном опыте, была получена от одной когорты. Использовались не питавшиеся молодые жуки, окрылившиеся в лабораторных условиях. Продолжительность эксперимента — сутки с момента заселения изоляторов. За этот период коровок, избравших тот или иной образец растений или не избравших ни один из них, подсчитывали через 1, 2, 3 и 24 часа после закладки опыта.

Нажировочное питание изучали по Вилковой и др. (Вилкова и др. 2003). Отбирались только активные отродившиеся личинки из лабораторной колонии со скоростью отрождения, близкой к 100%, и без симптомов заболеваний. При закладке опыта личинок первого возраста в количестве 10 штук помещали в стеклянную емкость объемом 80 мл, содержащую от одного до пяти листьев одного сорта картофеля. Количество листьев варьировалось в зависимости от скорости развития личинок и нормы потребления пищи. В садки также помещалась фильтровальная бумага, которую заменяли по мере загрязнения или каждые 2 дня. Емкости были покрыты хлопчатобумажной тканью и расставлены на полках в лаборатории. Наблюдения проводили до окукливания, после чего взвешивали куколки в первые несколько часов. Эксперимент проводился в трех повторностях.

В третьей части эксперимента определяли уровень стресса, вызываемого у картофельной коровки питанием на сортах картофеля, который определяли по изменению уровня адреналина в теле личинок.

Для количественного определения содержания адреналина у картофельной коровки пользовались методом Ронина (Ронин, Старобинец 1989), модифицированным для работы с личинками и имаго насекомых (Вилкова 1993). Навеску личинок (4–5 особей общей массой 400–500 мг) гомогенизировали в пятидесяти кратном (по отношению к точно известной массе насекомых) объеме дистиллированной воды. Полученный гомогенат центрифугировали 25 мин при 8000 g и температуре +4°C. К 1 мл супернатанта прибавляли 4 мл 10%-ного раствора карбоната натрия, 0,5 мл раствора Фолина, разбавленного в 10 раз дистиллированной водой, и тщательно перемешивали. Через 1–2 мин полученную смесь разбавляли 10%-ным раствором карбоната натрия, доводя ее суммарный объем до 10 мл, а затем фотометрировали при 650 нм на спектрофотометре СФ-26 против контроля, содержащего вместо экстракта тел личинок картофельной коровки 1 мл дистиллированной воды. Расчет содержания адреналина в пробах производили с помощью калибровочного графика, построенного при использовании в качестве стандарта аптечного раствора адреналина, концентрация которого равна 0,4 мг/мл, и выражали в миллиграмм-процентах (мг%) по отношению к сырой массе тел личинок картофельной коровки (Шпирная и др. 2006).

Статистическую обработку данных проводили в PAST v.4.03 (Hammer et al. 2001). Стандартное отклонение ($\pm SD$) и стандартную ошибку ($\pm SE$) выражали посредством блочной диаграммы, на которой горизонтальные линии представляют собой медиану, а прямоугольники — межквартирный размах (IQR) и планки погрешностей $\pm 1,5 \times IQR$. Кроме того, рассчитывалась корреляция по Спирмену, а также использовался метод Уорда (Murtagh, Legendre 2014).

Результаты и обсуждение

Иммунитет растений к вредителям обеспечивается общей защитно-восстано-

вительной системой растений, в которой основная роль отводится к так называемому конституциональному иммунитету (Metspalu et al. 2000). В свою очередь, насекомые-фитофаги весьма требовательны к поступлению энергетических ресурсов с пищей. Это положение, имеющее общебиологическое значение, было обосновано И. Д. Шапиро и Н. А. Вилковой в 60-70-х годах. Одно из доказательств — результаты сравнительных исследований активности основных групп гидролитических ферментов пищеварительного тракта насекомых-фитофагов (Yarullina et al. 2016). Сопряженная эволюция фитофагов с кормовыми растениями привела к перестройке органов чувств, системы пищеварения, выделения, накопления резервов, придала соответствующую направленность метаболизму фитофагов разных видов. Адаптация фитофагов эволюционно была направлена на морфофизиологические приспособления к постоянной смене пластических и энергетических ресурсов пищи. Фитофагам всё время приходилось и приходится преодолевать барьеры иммунной системы растений — тканевый и метаболический (Doughari 2015).

Согласно исследованиям, проведенные О. В. Ивановой и С. Р. Фасулати (Иванова, Фасулати 2015), можно предположить, что защитные признаки у разных форм картофеля сводятся к двум основным типам фенотипической структуры их иммунногенетической системы, свойственным соответственно сортам ранней и среднепоздней групп спелости. В наших исследованиях изучались генотипы различных групп спелости, но наибольшей сопротивляемостью к вредителю обладали сорта раннего срока созревания. Так, при сравнительной оценке (рис. 1) предпочтения имаго коровок тринадцати разных сортов картофеля по среднемноголетним данным были получены следующие результаты: сорта Смак (среднепоздний) (30% имаго, избравших данный сорт), Казачок (среднепоздний) (12%) и Дачный (среднепоздний) (16%) избирались фитофагом в наиболь-

шей степени, при этом процент площади листьев, съеденных через 24 часа для этих сортов был максимальным (95,5%, 22,5% и 32,5% соответственно; $df = 13$, $F = 0,7844$, $p\text{-value} = 0,6797$). Сорт Belmonda (ранний) не избирался ни одним жуком, питания на листьях не отмечено. Наименьшее количество имаго картофельной коровки зафиксировано на сортах Red Lady, Labella, Sante, Lilly, Юбиляр (раннеспелые и среднеранние) ($df = 13$, $F = 0,4679$, $p\text{-value} = 0,8092$). Поскольку для полученных результатов p -значение значительно превышает 5%-ный уровень значимости, мы можем говорить о равенстве дисперсий в исследованных совокупностях, что косвенно свидетельствует о наличии у не привлекательных для питания сортов картофеля специфических барьеров устойчивости.

Проведенное исследование нажировочного питания показало, что максимальный вес куколок отмечен для сортов

Смак (54,38 мг) и Юбиляр (41,5 мг) (рис. 2). Минимальный — для сорта Belmonda (12,28 мг). На остальных сортах наблюдалось равномерное распределение веса (Matsishina, Fisenko, Ermak et al. 2022; Мацишина, Шайбекова, Богинская и др. 2019).

Таким образом, особи картофельной коровки выбирают для питания сорта, максимально пригодные для размножения и прохождения онтогенеза, по-видимому, богатые сахарами и аминокислотами и не оказывающие стрессового действия на организм, что доказывается слабой корреляционной связью (r Спирмена = 0,12175) в паре показателей «вес куколки — пищевая привлекательность».

При изучении влияния растений картофеля различных сортов на картофельную коровку о физиологическом состоянии группы особей, питавшихся на листьях картофеля, судили по содержанию адреналина (рис. 3). Наибольший уровень стресса де-

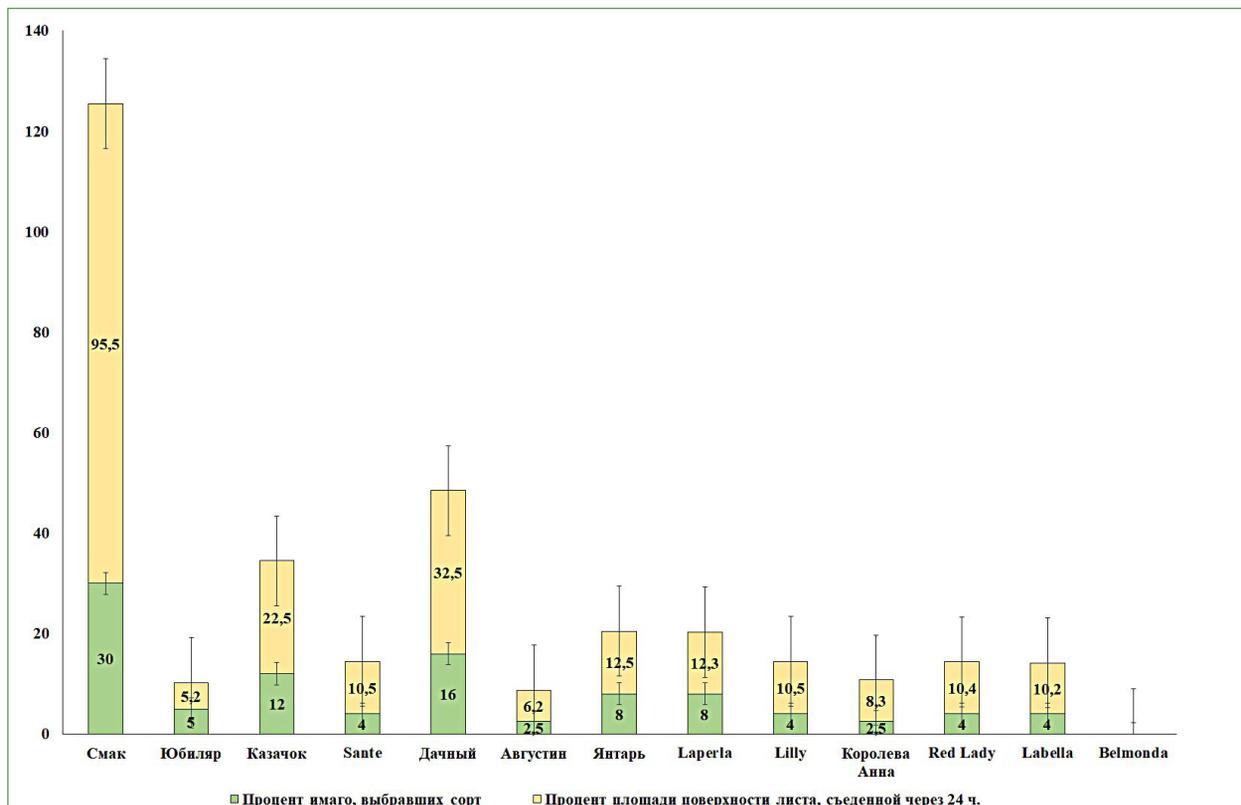


Рис. 1. Пищевая привлекательность листьев различных сортов картофеля для картофельной коровки при свободном выборе корма в условиях лабораторного опыта (2019–2023 гг.)

Fig. 1. Nutritional attractiveness of leaves of various potato varieties for a potato ladybird with a free choice of food in a laboratory experiment (2019–2023)

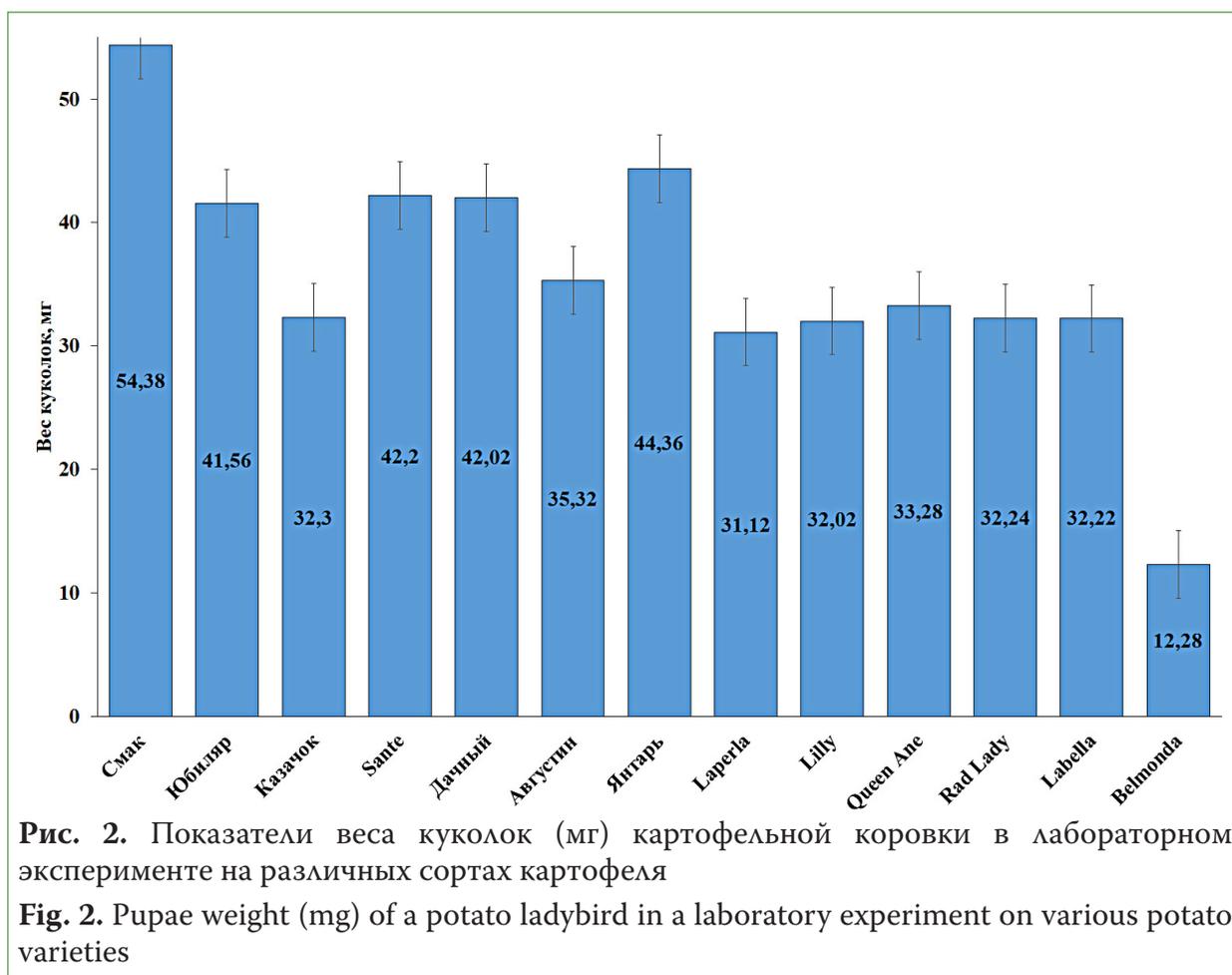


Рис. 2. Показатели веса куколок (мг) картофельной коровки в лабораторном эксперименте на различных сортах картофеля

Fig. 2. Pupae weight (mg) of a potato ladybird in a laboratory experiment on various potato varieties

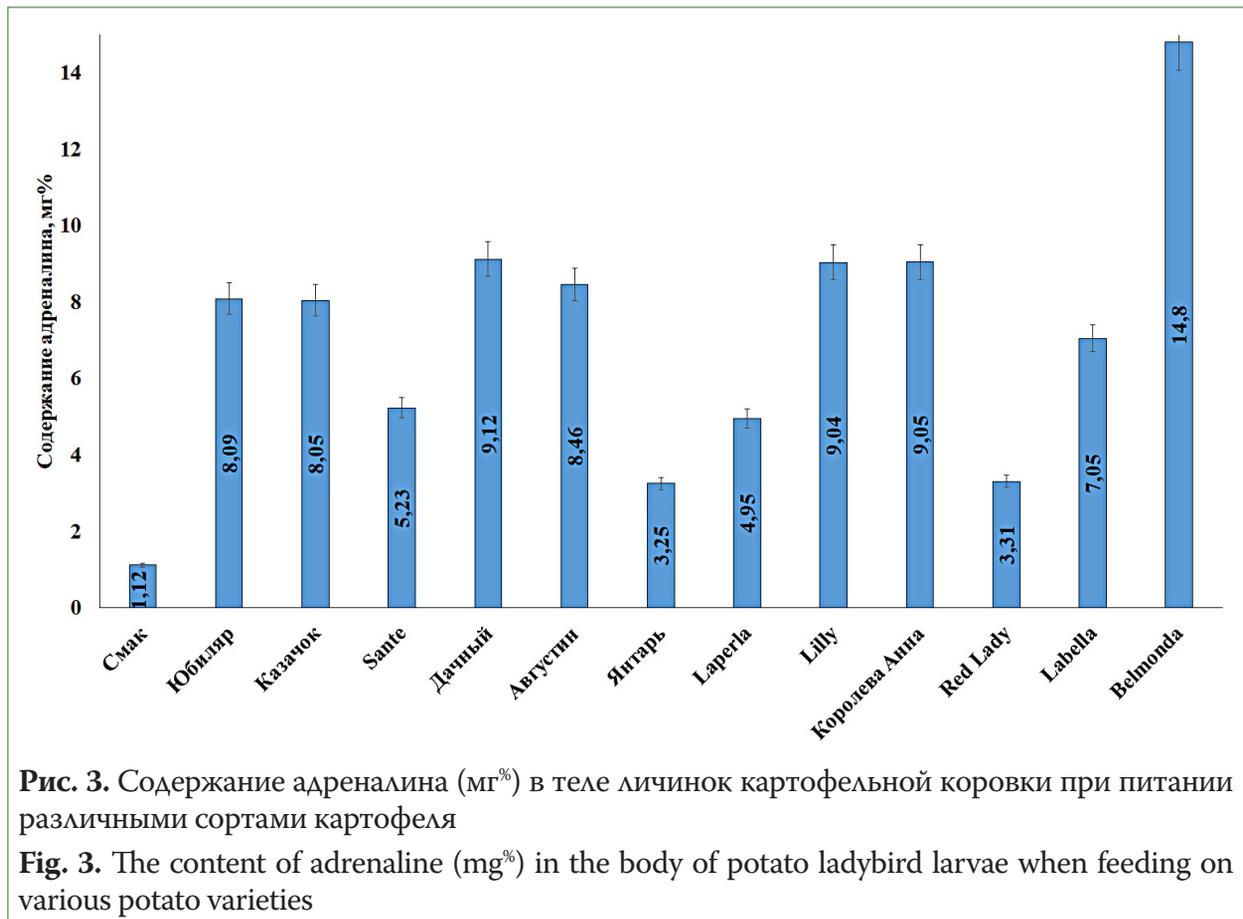
монстрировали личинки, питающиеся на растениях сортов Belmonda, Queen Anne, Lilly, Дачный, Казачок, Юбиляр и Августин. Наименьший — при питании на сорте Смак. Для сорта Belmonda содержание адреналина незначительно превышало аналогичный показатель для *Solanum demissum* (внешний контроль) и составило 14,8 мг%.

Известно, что адреналин выделяется в гемолимфу в состоянии стресса, оказывая определенный физиологический эффект на нервную систему, чем способствует смене периода гиперактивности состоянием прострации. Одновременно с этим, адреналин насекомых участвует в регуляции углеводного обмена, контролируя распад гликогена через образование циклического аденозин-3',5'-фосфата в мышцах, жировом теле, а также уровень свободной трегалозы в гемолимфе насекомого (Вилкова 1993). Проведенный анализ показал, что между показателями «уровень адрена-

лина» и «нажировочное питание» корреляция отсутствует (табл. 1).

Это привело нас к необходимости провести подобный анализ для отраженных в другом исследовании данных о смертности особей картофельной коровки при питании изучаемыми сортами (Matsishina et al. 2022). Как видно из рисунка 4, наблюдается слабая положительная связь между уровнем адреналина и смертностью личинок при питании сортами картофеля, однако, лишь влиянием стресса полученные данные объяснить нельзя. По всей видимости, смертность также зависит и от уровня гликоалкалоидов, и от активности ингибиторов протеаз в изучаемых сортах, что требует дополнительного исследования. Кроме того, измерения опущенности и толщины листовой пластинки показали, что прожорливость имаго слабо коррелирует с толщиной листа, но не связана с опущением.

На представленной дендрограмме по методу Уорда (рис. 5) видно, что все изучаемые



сорта картофеля по совокупности факторов (толщина листовой пластинки, количество трихом, прожорливость имаго) разделяются на три кластера, где Смак и Belmonda являются образцами, имеющими наибольшие различия; причем коэффициент корреляции с показателем прожорливости составляет 0,8099. В целом, по нашему мнению, метод Уорда достаточно удобен и нагляден для анализа меры разброса значений случайной величины (дисперсии) и связей между изучаемыми параметрами.

Видовой стереотип пищевого поведения складывается из согласованных последовательно возникающих реакций и действий (этапов), продолжительность

которых определяется иммуногенетическими свойствами растений (Jiang et al. 2022). В нашем исследовании наибольшее влияние на пищевую активность фитофага оказала толщина листовой пластины. При выборе пищи насекомое опирается на хеморецепцию, решающим фактором при свободном поиске пищевого ресурса становится наличие или отсутствие в нем специфических метаболитов, обладающих аттрактантным или репеллентным действием. Кроме того, вещества, попавшие в организм насекомого с пищей, оказывают прямое воздействие на него. Таким образом, необходимо говорить о комплексе факторов, влияющих на пищевые предпо-

Таблица 1
Корреляционный анализ исследуемых параметров по методу Спирмена (R), $p \leq 0,01$
Table 1
The correlation analysis of the studied parameters by Spearman's method (R), $p \leq 0.01$

R/R ²	The level of adrenaline (mg%)
Mortality	0.9345/ 0.8733
Pupa weight	-0.7619/0.5805

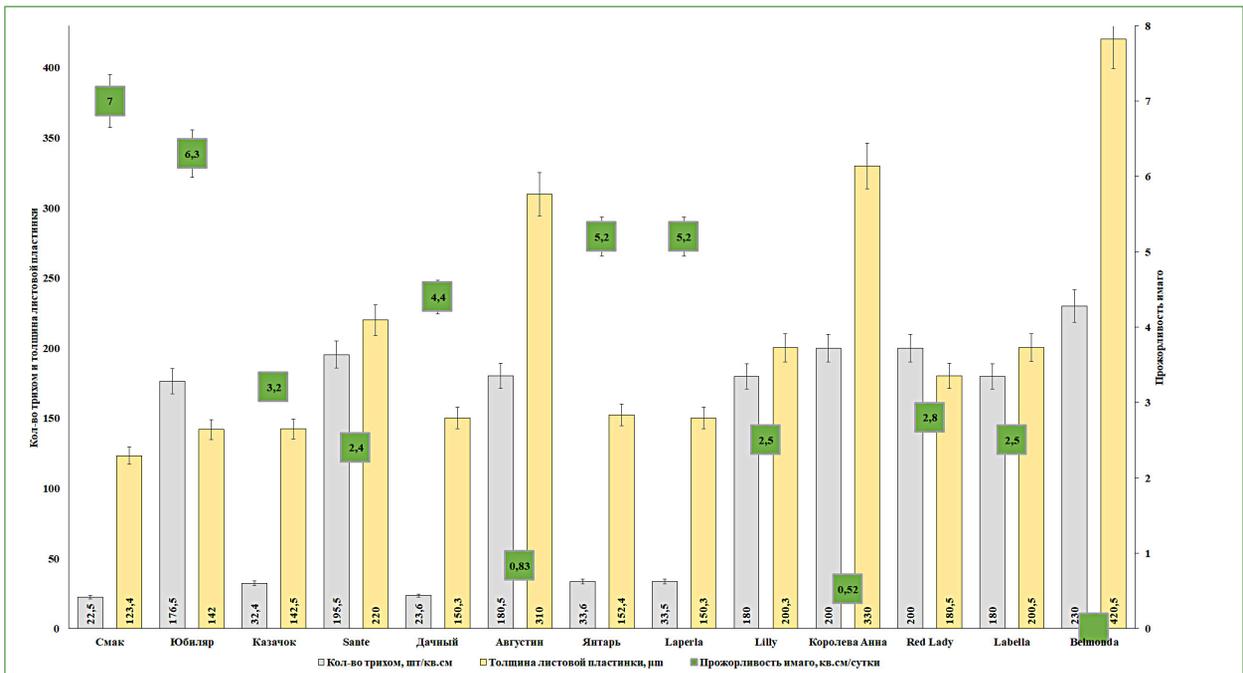


Рис. 4. Влияние опушенности и толщины листовой пластинки картофеля на прожорливость личинок картофельной коровки

Fig. 4. Influence of pubescence and thickness of the potato leaf on the voracity of potato ladybird larvae

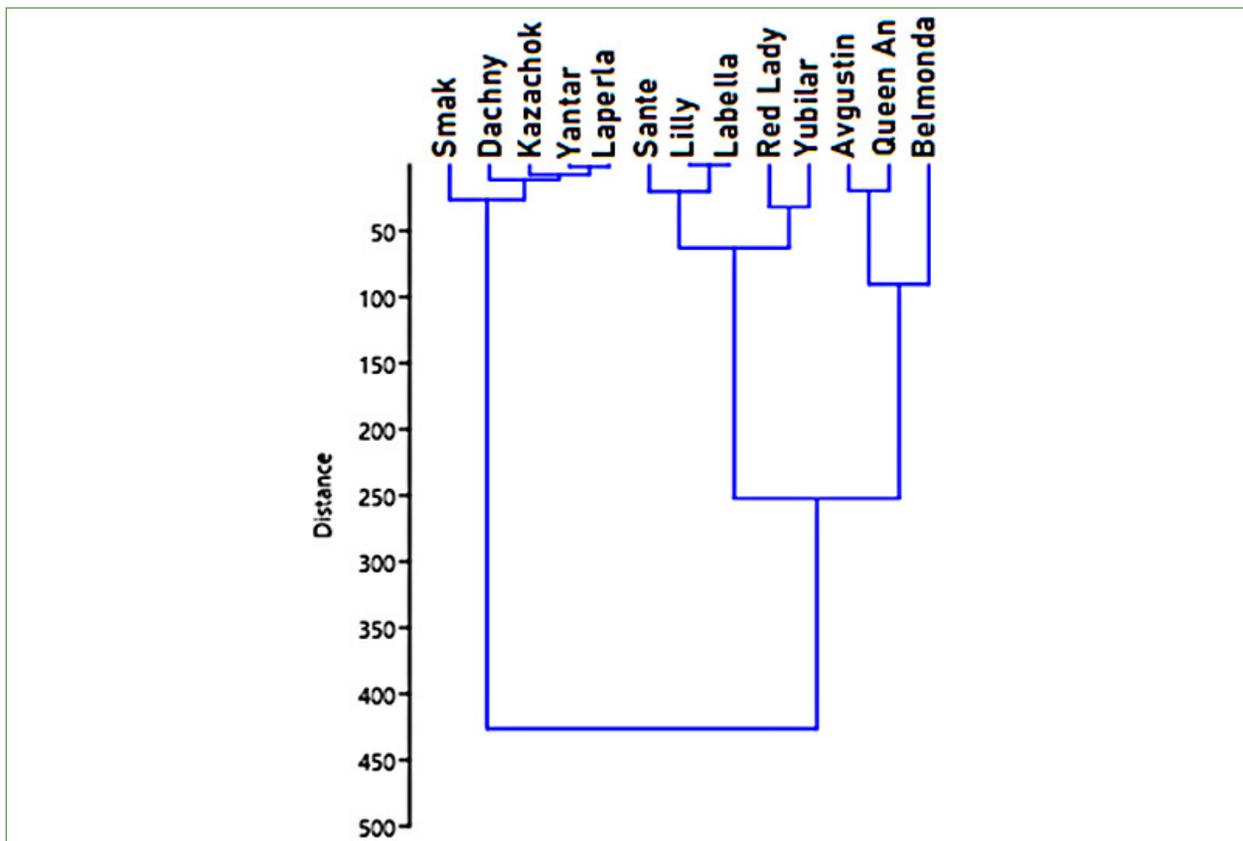


Рис. 5. Дендрограмма меры разброса значений для показателей влияния опушенности и толщины листовой пластинки картофеля на прожорливость личинок картофельной коровки

Fig. 5. Dendrogram representing the value scatter for the influence of pubescence and thickness of the potato leaf blade on the voracity of potato ladybug larvae

чения насекомых в трофических системах, о роли кормовых растений как важнейшего фактора, определяющего основу жизнедеятельности консументов первого порядка (van Dam et al. 2003). Питание — наиболее древняя связь животных организмов с окружающей средой, поэтому адаптации к пище наиболее глубоки и многообразны (Nietupski et al. 2022). Насекомые, благодаря своим специфическим особенностям, должны быть отнесены к организмам с высоким уровнем энергетических затрат (Woolery, Jacobs 2011). Малые объемы тела, быстрая реакция на изменение условий среды и в соответствии с этим быстрая переориентация, хорошо развитые локомоторные функции и высокая степень подвижности, высокие темпы роста и развития, высокий потенциал размножения, широкий диапазон адаптации к условиям существования делают их высокотребовательными к поступлению ресурсов. Поскольку адаптационный процесс в своей основе энергетический, то уровень поступления энергии определяет характер реакций организма на воздействие любых факторов среды. Таким образом, пища не может быть отнесена к разряду модификационных факторов (Trumble et al. 1993).

Полученные нами данные свидетельствуют о глубоком воздействии качества пищи (сортовых особенностей картофеля) на жизнеспособность картофельной коровки и в значительной степени разъясняют причины депрессивного состояния вредителя при питании на растениях устойчивых сортов. Питание на растениях неустойчивых сортов, биополимеры которых легко гидролизуются пищевыми ферментами вредителя, обеспечивает фитофагу наиболее выгодный в энергетическом отношении уровень обмена (Zvereva

et al. 2010). В результате существенно повышается резистентность всей популяции к экстремальным условиям, что служит базисом для увеличения общего уровня численности вредителя и расширения его ареала (Labandeira, Prevec 2014). Иначе говоря, на неустойчивых сортах картофельная коровка получает не только поддерживающее, но и высокопродуктивное питание.

Заключение

В результате исследований установлено, что сорт и его морфогенетическая особенность являются основными сдерживающими факторами при выборе насекомым источника питания и среды обитания. Найдена обратная положительная корреляционная связь между иммунным фактором растения определенного генотипа и выбором пищи картофельной коровкой. Установлено, что толщина листовой пластинки растения оказывает наибольшее влияние на прожорливость фитофага. Сорта Августин, Дачный, Казачок, Юбиляр, Belmonda, Queen Anne, Lilly проявили себя как образцы с максимальным иммунным барьером против картофельной коровки. При свободном поиске пищи коровка выбирает растения с наименьшим проявлением иммунного фактора. Таким образом, наличие в агроэкосистеме сортов картофеля с различными факторами устойчивости влияют на пространственное распределение фитофага, вынуждая его концентрироваться на неустойчивых сортах.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках государственного задания FNGW-2022-0007.

Funding

The study was carried out as part of state-commissioned assignment No. FNGW-2022-0007.

Литература

- Вилкова, Н. А. (ред.). (1993) *Методические рекомендации по изучению и оценке форм картофеля на устойчивость к колорадскому жуку*. М.: ВИЗР, 47 с.
- Вилкова, Н. А., Асякин, Б. П., Нефедова, Л. И. и др. (2003) *Методы оценки сельскохозяйственных культур на групповую устойчивость к вредителям*. СПб.: ВИЗР, 112 с.
- Вилкова, Н. А., Шапиро, Н. Д., Шустер, М. М. (сост.). (1987) *Методические рекомендации по оценке устойчивости картофеля к колорадскому жуку*. М.: ВАСХНИЛ, 31 с.

- Дорофеева, М. М., Бонецкая, С. А. (2020) Сравнительный анализ некоторых классических и современных методик определения площади листовой поверхности. *Растительные ресурсы*, т. 56, № 2, с. 182–192. <https://doi.org/10.31857/S0033994620020041>
- Ермак, М. В., Мацишина, Н. В. (2022) Картофельная коровка *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.): систематика, морфология и её вредоносность (литературный обзор). *Овощи России*, № 6, с. 97–103. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-97-103>
- Ермак, М. В., Мацишина, Н. В., Фисенко, П. В. (2022) Двадцативосьмипятнистая картофельная коровка *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.) в Приморском крае: история вредителя (литературный обзор). *Овощи России*, № 5, с. 94–97. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-5-94-97>
- Злотин, А. З. (1989) *Техническая энтомология*. Киев: Наукова думка, 183 с.
- Иванова, О. В., Фасулати, С. Р. (2015) Устойчивость картофеля к колорадскому жуку и специфика ее структуры у сортов различных групп спелости. *Защита и карантин растений*, № 6, с. 40–43.
- Иванова, О. В., Фасулати, С. Р. (2017) Пищевая специализация насекомых-фитофагов пасленовых растений и устойчивость картофеля к доминантным вредителям. В кн.: С. А. Белокобыльский (ред.). *XV Съезд Русского энтомологического общества*. Новосибирск: Грамонд, с. 219–220.
- Капусткин, Д. В. (2008) Изучение трофических реакций имаго северной популяции колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say на виды и сорта пасленовых растений. *Вестник защиты растений*, № 2, с. 52–57.
- Мацишина, Н. В., Шайбекова, А. С., Богинская, Н. Г. и др. (2019) Предварительная оценка сортов картофеля отечественной и зарубежной селекции на устойчивость к картофельной двадцативосьмиточечной коровке *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motsch. в Приморском крае. *Овощи России*, № 6, с. 116–119. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-116-119>
- Мацишина, Н. В., Фисенко, П. В., Ермак, М. В. и др. (2021) Пища как фактор плодовитости, продолжительности развития и изменения морфометрических показателей у *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motschulsky). *Овощи России*, № 5, с. 81–88. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-81-88>
- Павлюшин, В. А., Вилкова, Н. А., Сухорученко, Г. И., Нефедова, Л. И. (2016) Формирование агроэкосистем и становление сообществ вредных биотрофов. *Вестник защиты растений*, № 2 (88), с. 5–15.
- Ронин, Б. С., Старобинец, Г. М. (1989) *Руководство к практическим занятиям по методикам клинических лабораторных исследований*. М.: Наука, 312 с.
- Чуликова, Н. С., Малюга, А. А. (2014) Влияние сортовых особенностей картофеля на прожорливость колорадского жука. *Вестник защиты растений*, № 3, с. 50–53.
- Шпирная, И. А., Ибрагимов, Р. И., Шевченко, Н. Д. (2006) Протеолитическая активность экстракта личинок колорадского жука. В кн.: *Биология — наука XXI века. 10-я Пушкинская школьно-конференция молодых ученых (Пушино, 17–21 апреля 2006 г)*. Пушино: Экспресс, с. 103.
- Ashouri, A., Michaud, D., Cloutier, C. (2001) Unexpected effects of different potato resistance factors to the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on the potato aphid (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, vol. 30, pp. 524–532.
- Ausubel, F. (2005) Are innate immune signaling pathways in plants and animals conserved? *Nature Immunology*, vol. 6, pp. 973–979 <https://doi.org/10.1038/ni1253>
- Doughari, J. H. (2015) An overview of plant immunity. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, vol. 6, no. 11, article 322. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000322>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaentologia Electronica*, vol. 4, no. 1, article 4.
- Hamuel, J. D. (2015) An overview of plant immunity. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, vol. 6, no. 11, article 322. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7471.1000322>
- Haney, C. H., Urbach, J. M., Ausubel, F. M. (2014) Innate immunity in plants and animals. *The Biochemist*, vol. 36, no. 5, pp. 40–44. <https://doi.org/10.1042/BIO03605040>
- Hou, S., Yang, Y., Wu, D., Zhang, C. (2011) Plant immunity: evolutionary insights from PBS1, Pto, and RIN4. *Plant Signaling and Behavior*, vol. 6, no. 6, pp. 794–799. <https://doi.org/10.4161/psb.6.6.15143>
- Ji, L., Yang, X., Qi, F. (2022) Distinct responses to pathogenic and symbiotic microorganisms: The role of plant immunity. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 23, no.18, article 10427. <https://doi.org/10.3390/ijms231810427>
- Jiang, W., Cheng, Q., Lu, C. et al. (2022) Different host plants distinctly influence the adaptability of myzus persicae (Hemiptera: Aphididae). *Agriculture*, vol. 12, no. 12, article 2162. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122162>

- Jones, J. D., Dangl, J. L. (2006) The plant immune system. *Nature*, vol. 444, pp. 323–329. <https://doi.org/10.1038/nature05286>
- Labandeira, C. C., Prevec, R. (2014) Plant paleopathology and the roles of pathogens and insects. *International Journal of Paleopathology*, vol. 4, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.10.002>
- Matsishina, N. V., Fisenko, P. V., Ermak, M. V. et al. (2022) Traditional selection potato varieties and their resistance to the 28-punctata potato ladybug *henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) in the Southern Russian Far East. *Indian Journal of Agricultural Research*, vol. 56, no. 4, pp. 456–462. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-694>
- Metspalu, L., Hiiesaar, K., Kuusik, K. et al. (2000) Host-plant selection by Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) between three cultivars of potato (*Solanum tuberosum*). In: *Proceedings of International Conference Development of Friendly Plant Protection in the Baltic Region*. Tartu: [s. n.], pp. 132–135.
- Murtagh, F., Legendre, P. (2014) Ward's hierarchical clustering method: Clustering criterion and agglomerative algorithm. *Journal of Classification*, vol. 31, no. 3, pp. 274–295. <https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z>
- Nietupski, M., Ludwiczak, E., Olszewski, J. et al. (2022) Effect of aphid foraging on the intensity of photosynthesis and transpiration of selected crop plants in its early stages of growing. *Agronomy*, vol. 12, no. 10, article 2370. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102370>
- Pelletier, Y., Horgan, F. G., Pompon, J. (2011) Potato resistance to insects. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, vol. 5, no. 1, pp. 37–52.
- Trumble, J. T., Kolodny-Hirsch, D. M., Ting, I. P. (1993) Plant compensation for arthropod herbivory. *Annual Review of Entomology*, vol. 38, no. 1, pp. 93–119. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.000521>
- van Dam, N. M., Harvey, J. A., Wäckers, F. L. et al. (2003) Interactions between aboveground and belowground induced responses against phytophages. *Basic and Applied Ecology*, vol. 4, no. 1, pp. 63–77. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00133>
- Woolery, P. O., Jacobs, D. F. (2011) Photosynthetic assimilation and carbohydrate allocation of quercus rubra seedlings in response to simulated herbivory. *Annals of Forest Science*, vol. 68, no. 3, pp. 617–624. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0064-4>
- Yarullina, L. G., Akhatova, A. R., Kasimova, R. I. (2016) Hydrolytic enzymes and their proteinaceous inhibitors in regulation of plant–pathogen interactions. *Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 63, no. 2, pp. 193–203. <https://doi.org/10.1134/S1021443716020151>
- Zhou, J.-M., Zhang, Y. (2020) Plant immunity: Danger perception and signaling. *Cell*, vol. 181, no. 5, pp. 978–989. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.04.028>
- Zvereva, E. L., Lanta, V., Kozlov, M. V. (2010) Effects of sap-feeding insect herbivores on growth and reproduction of woody plants: A meta-analysis of experimental studies. *Oecologia*, vol. 163, no. 4, pp. 949–960. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1633-1>

References

- Ashouri, A., Michaud, D., Cloutier, C. (2001) Unexpected effects of different potato resistance factors to the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on the potato aphid (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, vol. 30, pp. 524–532. (In English)
- Ausubel, F. (2005) Are innate immune signaling pathways in plants and animals conserved? *Nature Immunology*, vol. 6, pp. 973–979. <https://doi.org/10.1038/ni1253> (In English)
- Chulikova, N. S., Malyuga, A. A. (2014) Vliyanie sortovykh osobennostej kartofelya na prozhorlivost' koloradskogo zhuka [Influence of varietal characteristics of potato on the voracity of Colorado potato beetle]. *Vestnik zashchity rastenij — Plant Protection News*, no. 3, pp. 50–53. (In Russian)
- Dorofeeva, M. M., Boneckaya, S. A. (2020) *Sravnitel'nyj analiz nekotorykh klassicheskikh i sovremennykh metodik opredeleniya ploshchadi listovoj poverkhnosti [Comparative analysis of some classical and modern techniques for determining leaf surface area]*. *Rastitel'nye resursy*, vol. 56, no. 2, pp. 182–192. <https://doi.org/10.31857/S0033994620020041> (In Russian)
- Doughari, J. H. (2015) An overview of plant immunity. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, vol. 6, no. 11, article 322. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000322> (In English)
- Ermak, M. V., Matsishina, N. V. (2022) Kartofel'naya korovka *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.): sistematika, morfologiya i ee vreditel'nost' (literaturnyj obzor) [Potato ladybird *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.): systematics, morphology and its harmfulness (literature review)]. *Ovoshchi Rossii — Vegetable Crops of Russia*, no. 6, pp. 97–103. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-6-97-103> (In Russian)

- Ermak, M. V., Matsishina, N. V., Fisenko, P. V. (2022) Dvadsativot's mipyatnistaya kartofel'naya korovka *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.) v Primorskom krae: istoriya vreditelya (literaturnyj obzor) [Twenty-eight-spotted potato ladybird *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motsch.) in Primorsky Krai: history of the pest (literature review)]. *Ovoshchi Rossii — Vegetable Crops of Russia*, no. 5, pp. 94–97. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-5-94-97> (In Russian)
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, vol. 4, no. 1, article 4. (In English)
- Hamuel, J. D. (2015) An overview of plant immunity. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, vol. 6, no. 11, article 322. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7471.1000322> (In English)
- Haney, C. H., Urbach, J. M., Ausubel, F. M. (2014) Innate immunity in plants and animals. *The Biochemist*, vol. 36, no. 5, pp. 40–44. <https://doi.org/10.1042/BIO03605040> (In English)
- Hou, S., Yang, Y., Wu, D., Zhang, C. (2011) Plant immunity: evolutionary insights from PBS1, Pto, and RIN4. *Plant Signaling and Behavior*, vol. 6, no. 6, pp. 794–799. <https://doi.org/10.4161/psb.6.6.15143> (In English)
- Ivanova, O. V., Fasulati, S. R. (2015) Ustojchivost' kartofelya k koloradskomu zhuku i spetsifika ee struktury u sortov razlichnykh grupp spelosti [Potato resistance to Colorado potato beetle and specificity of its structure in varieties of different ripeness groups]. *Zashchita i karantin rastenij*, no. 6, pp. 40–43. (In Russian)
- Ivanova, O. V., Fasulati, S. R. (2017) Pishchevaya spetsializatsiya nasekomykh-fitofagov paslenovykh rastenij i ustojchivost' kartofelya k dominantnym vreditelyam [Food specialization of insect phytophages of solanaceous plants and resistance of potato to dominant pests]. In: S. A. Belokobyl'skij (ed.). *XV Sez'd Russkogo entomologicheskogo obshchestva [XV Congress of the Russian Entomological Society]*. Novosibirsk: Gramond Publ., pp. 219–220. (In Russian)
- Ji, L., Yang, X., Qi, F. (2022) Distinct responses to pathogenic and symbiotic microorganisms: The role of plant immunity. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 23, no.18, article 10427. <https://doi.org/10.3390/ijms231810427> (In English)
- Jiang, W., Cheng, Q., Lu, C. et al. (2022) Different host plants distinctly influence the adaptability of myzus persicae (Hemiptera: Aphididae). *Agriculture*, vol. 12, no. 12, article 2162. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122162> (In English)
- Jones, J. D., Dangl, J. L. (2006) The plant immune system. *Nature*, vol. 444, pp. 323–329. <https://doi.org/10.1038/nature05286> (In English)
- Kapustkin, D. V. (2008) Izuchenie troficheskikh reaksij imago severnoj populyatsii koloradskogo zhuka *Leptinotarsa decemlineata* Say na vidy i sorta paslenovykh rastenij [Study of trophic reactions of adults of the northern population of Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* Say to species and varieties of nightshade plants]. *Vestnik zashchity rastenij — Plant Protection News*, no. 2, pp. 52–57. (In Russian)
- Labandeira, C. C., Prevec, R. (2014) Plant paleopathology and the roles of pathogens and insects. *International Journal of Paleopathology*, vol. 4, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.10.002> (In English)
- Matsishina, N. V., Fisenko, P. V., Ermak, M. V. et al. (2021) Pishcha kak faktor plodovitosti, prodolzhitel'nosti razvitiya i izmeneniya morfometricheskikh pokazatelej u *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motschulsky). *Ovoshchi Rossii — Vegetable Crops of Russia*, no. 5, pp. 81–88. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-5-81-88> (In Russian)
- Matsishina, N. V., Fisenko, P. V., Ermak, M. V. et al. (2022) Traditional selection potato varieties and their resistance to the 28-punctata potato ladybug *henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) in the Southern Russian Far East. *Indian Journal of Agricultural Research*, vol. 56, no. 4, pp. 456–462. <https://doi.org/10.18805/IJARe.AF-694> (In English)
- Matsishina, N. V., Shajbekova, A. S., Boginskaya, N. G. et al. (2019) Predvaritel'naya otsenka sortov kartofelya otechestvennoj i zarubezhnoj seleksii na ustojchivost' k kartofel'noj dvadsativot's mitocheknoj korovke *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motch. v Primorskom krae [Preliminary evaluation of potato varieties of domestic and foreign selection for resistance to the potato twenty-eight-spot ladybird *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motch. in Primorsky Krai]. *Ovoshchi Rossii — Vegetable Crops of Russia*, no. 6, pp. 116–119. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-116-119> (In Russian)
- Metspalu, L., Hiisaar, K., Kuusik, K. et al. (2000) Host-plant selection by Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) between three cultivars of potato (*Solanum tuberosum*). In: *Proceedings of International Conference Development of Friendly Plant Protection in the Baltic Region*. Tartu: [s. n.], pp. 132–135. (In English)
- Murtagh, F., Legendre, P. (2014) Ward's hierarchical clustering method: Clustering criterion and agglomerative algorithm. *Journal of Classification*, vol. 31, no. 3, pp. 274–295. <https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z> (In English)

- Nietupski, M., Ludwiczak, E., Olszewski, J. et al. (2022) Effect of aphid foraging on the intensity of photosynthesis and transpiration of selected crop plants in its early stages of growing. *Agronomy*, vol. 12, no. 10, article 2370. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102370> (In English)
- Pavlyushin, V. A., Vilkova, N. A., Sukhoruchenko, G. I., Nefedova, L. I. (2016) Formirovanie agroekosistem i stanovlenie soobshchestv vrednykh biotrofov [Formation of agroecosystems and formation of communities of harmful biotrophs]. *Vestnik zashchity rastenij — Plant Protection News*, no. 2 (88), pp. 5–15. (In Russian)
- Pelletier, Y., Horgan, F. G., Pompon, J. (2011) Potato resistance to insects. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, vol. 5, no. 1, pp. 37–52. (In English)
- Ronin, B. S., Starobinec, G. M. (1989) *Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po metodikam klinicheskikh laboratornykh issledovaniy [Manual for practical classes on methods of clinical laboratory research]*. Moscow: Nauka Publ., 312 p. (In Russian)
- Shpirnaya, I. A., Ibragimov, R. I., Shevchenko, N. D. (2006) Proteoliticheskaya aktivnost' ekstrakta lichinok koloradskogo zhuka [Proteolytic activity of Colorado potato beetle larvae extract]. In: *Biologiya — nauka XXI veka. 10-ya Pushchinskaya shkola-konferentsiya molodykh uchenykh (Pushchino, 17–21 aprelya 2006 g) [Biology — science of the XXI century. 10th Pushchino School-Conference of Young Scientists (Pushchino, April 17–21, 2006)]*. Pushchino: ExPress Publ., p. 103. (In Russian)
- Trumble, J. T., Kolodny-Hirsch, D. M., Ting, I. P. (1993) Plant compensation for arthropod herbivory. *Annual Review of Entomology*, vol. 38, no. 1, pp. 93–119. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.000521> (In English)
- van Dam, N. M., Harvey, J. A., Wäckers, F. L. et al. (2003) Interactions between aboveground and belowground induced responses against phytophages. *Basic and Applied Ecology*, vol. 4, no. 1, pp. 63–77. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00133> (In English)
- Vilkova, N. A. (ed.). (1993) *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu i otsenke form kartofelya na ustojchivost' k koloradskomu zhuku [Methodical recommendations for the study and evaluation of potato forms for resistance to Colorado potato beetle]*. Moscow: All-Russian Institute of Plant Protection Publ., 47 p. (In Russian)
- Vilkova, N. A., Asyakin, B. P., Nefedova, L. I. et al. (2003) *Metody otsenki sel'skokhozyajstvennykh kul'tur na gruppovuyu ustojchivost' k vreditelyam [Methods of evaluation of agricultural crops for group resistance to pests]*. Saint Petersburg: Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences Publ., 112 p. (In Russian)
- Vilkova, N. A., Shapiro, N. D., Shuster, M. M. (comp.). (1987) *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ustojchivosti kartofelya k koloradskomu zhuku [Methodical recommendations on assessment of potato resistance to Colorado potato beetle]*. Moscow: Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences Publ., 31 p. (In Russian)
- Woolery, P. O., Jacobs, D. F. (2011) Photosynthetic assimilation and carbohydrate allocation of quercus rubra seedlings in response to simulated herbivory. *Annals of Forest Science*, vol. 68, no. 3, pp. 617–624. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0064-4> (In English)
- Yarullina, L. G., Akhatova, A. R., Kasimova, R. I. (2016) Hydrolytic enzymes and their proteinaceous inhibitors in regulation of plant–pathogen interactions. *Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 63, no. 2, pp. 193–203. <https://doi.org/10.1134/S1021443716020151> (In English)
- Zhou, J.-M., Zhang, Y. (2020) Plant immunity: Danger perception and signaling. *Cell*, vol. 181, no. 5, pp. 978–989. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.04.028> (In English)
- Zlotin, A. Z. (1989) *Tekhnicheskaya entomologiya [Technical Entomology]*. Kiev: Naukova Dumka Publ., 183 p. (In Russian)
- Zvereva, E. L., Lanta, V., Kozlov, M. V. (2010) Effects of sap-feeding insect herbivores on growth and reproduction of woody plants: A meta-analysis of experimental studies. *Oecologia*, vol. 163, no. 4, pp. 949–960. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1633-1> (In English)

Для цитирования: Мацишина, Н. В., Ермак, М. В., Фисенко, П. В., Ким, И. В., Собко, О. А., Гисюк, А. А. (2023) Роль факторов иммунитета картофеля в формировании трофических реакций *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, 1858. *Амурский зоологический журнал*, т. XV, № 3, с. 623–636. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2023-15-3-623-636>

Получена 4 июля 2023; прошла рецензирование 28 июля 2023; принята 31 июля 2023.

For citation: Matsishina, N. V., Ermak, M. V., Fisenko, P. V., Kim, I. V., Sobko, O. A., Gisyuk, A. A. (2023) Role of potato immune factors in the trophic responses of *Henosepilachna vigintioctomaculata* Motschulsky, 1858. *Amurian Zoological Journal*, vol. XV, no. 3, pp. 623–636. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2023-15-3-623-636>

Received 4 July 2023; reviewed 28 July 2023; accepted 31 July 2023.