

На правах рукописи

Касем Абделрхман Элсаид Саад

Совершенствование способов выкармливания хищного клопа *Podisus maculiventris* Say для биологической защиты растений

Шифр и наименование специальности:
06.01.07 Защита растений

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург, Пушкин
2020

Работа выполнена на кафедре защиты и карантина растений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО СПбГАУ).

- Научный руководитель: **Анисимов Анатолий Иванович**,
доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры защиты и карантина растений
ФГБОУ ВО СПбГАУ
- Официальные оппоненты: **Резник Сергей Яковлевич**,
доктор биологических наук,
главный научный сотрудник лаборатории экспери-
ментальной энтомологии и теоретических основ
биометода ФГБУН «Зоологический институт Рос-
сийской академии наук»
Раздобурдин Виктор Алексеевич,
кандидат биологических наук,
научный сотрудник лаборатории сельскохозяй-
ственной энтомологии ФГБНУ «Всероссийский
научно-исследовательский институт защиты расте-
ний»
- Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Федеральный научный центр биоло-
гической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР)

Защита состоится «___» _____ 2021 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 006.015.01 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ФГБНУ ВИЗР) по адресу: 196608, Санкт-Петербург – Пушкин, ш. Подбельского, д. 3, тел./факс (812) 470-51-10, e-mail: info@vizr.spb.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ ВИЗР и на сайте института vizr.spb.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор биологических наук Гусева Ольга Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В связи с увеличивающимся спросом на биологические средства защиты растений, особенно после введения в силу на территории Российской Федерации закона об органическом сельском хозяйстве, важной отличительной чертой современных технологий массового разведения энтомофагов является высокий и стабильный выход конечного продукта с единицы производственной площади при минимальных затратах. Затраты на выкармливание энтомофагов при массовом разведении - один из основных факторов себестоимости получаемой продукции. Поэтому технология их разведения должна быть максимально сбалансированной по качеству и стоимости.

В полной мере это относится к хищному клопу подизусу, интерес к использованию которого для борьбы с колорадским жуком в открытом грунте и с вредными чешуекрылыми в теплицах в последнее время сильно возрос (Агасьева и др., 2013; Нефедова, 2018; Козлова и др., 2019).

Степень разработанности темы исследования.

Несмотря на то, что особенности разведения хищного клопа подизуса достаточно широко описаны в русскоязычной литературе (Гусев, Шмепер, 1979; Заяц, 1981; Гусев и др., 1982; 1989; Филиппов и др., 1984, 1986, 1987; Филиппов, 1987; Зискинд, 1984; Данилкина, 1987; Коваль, 1989; Агасьева и др., 2013; Нефедова, 2018) и на других языках (Warren, Wallis, 1971; Orr et al., 1986; Yu, 1987; Biever, Chauvin, 1992; De Clercq, Degheele, 1993; Pfannenstiel et al., 1995; De Clercq et al., 1998; 2013; Lemos et al., 2003; Torres et al., 2006), постоянно открываются новые возможности для усовершенствования технологии его выкармливания. Появляются новые виды корма, более оправданные экономически. Меняется круг объектов и растений, нуждающихся в биологической защите. Расширяется сфера применения энтомофага.

Цель работы: повышение эффективности разведения хищного клопа подизуса путем выявления экономически более выгодных диет и адаптации хищника к питанию непривычным кормом.

Задачи. 1. Оценить основные показатели развития и репродуктивного потенциала хищного клопа подизуса при его выкармливании личинками представителей трех семейств двукрылых (львинки, комары-звонцы, падальные мухи) или, на поздних стадиях развития, бабочками чешуекрылых (зерновая моль).

2. Оценить возможности замены личинок большой вощинной моли тлей для выкармливания нимф подизуса на ранних стадиях развития.

3. Провести сравнение биологической и экономической эффективности разведения хищного клопа подизуса при использовании разных вариантов жертв и их сочетаний.

4. Оценить генетическую гетерогенность лабораторной популяции подизуса и провести его селекцию на приспособленность к питанию злаковой тлей на ранних стадиях развития, а также селектированной линии по приспособленности к питанию злаковой тлей и бабочками зерновой моли.

5. Сравнить биологическую эффективность линии подизуса, адаптированной к разведению по технологии, включающей в качестве корма злаковую тлю, с лабораторной популяцией хищника в борьбе с личинками колорадского жука.

Научная новизна. Впервые показана возможность питания нимф подизуса двумя видами тлей (злаковой – *Schizaphis graminum* Rond. и виковой – *Megoura viciae* Buckt.) до 4-го возраста, а также возможность разведения подизуса на личинках зеленой падальной мухи – *Lucilia sericata* Meigen, звонца обыкновенного – *Chironomus plumosus* L. и черной львинки – *Hermetia illucens* L. по полному циклу развития. Впервые показана возможность выкармливания подизуса на поздних стадиях развития нимф и взрослых клопов бабочками зерновой моли – *Sitotroga cerealella* Oliv., и возможность полного цикла размножения, включающего использование злаковой тли для выкармливания нимф подизуса до 3-его возраста, а также дальнейшего выкармливания нимф и взрослых клопов имаго зерновой моли. Показана генетическая гетерогенность лабораторной популяции подизуса по наследственным факторам, определяющим приспособленности к питанию злаковой тлей на ранних стадиях развития нимф.

Теоретическая и практическая значимость. На примере подизуса показана возможность использования селекционно-генетического метода для адаптации хищных клопов к разведению на необычной диете без ухудшения практически значимых свойств, что расширяет возможности использования этого хищного клопа для биологической защиты растений.

Выявлены варианты экономически более выгодных по сравнению с гусеницами галлерии диет для выкармливания хищного клопа подизуса: личинками зеленой падальной мухи по всему циклу развития (дешевле в 12 раз) и кормления имаго клопа бабочками зерновой моли (дешевле в 6.1 раза). Предложены варианты еще менее дорогостоящих диет, предполагающих выкармливание нимф личинками большого мучного хрущака или зеленой падальной мухи, а имаго – бабочками зерновой моли (дешевле соответственно в 36 и 100 раз).

Методология и методы исследований. Работа направлена на поиск и выявление отдельных видов насекомых и способов их использования для выкармливания хищного клопа *P. maculiventris*, применяемого в биологической защите растений. Разведение насекомых и эксперименты проводили в лабораторных условиях. Оценивали 12 показателей развития и репродуктивного потенциала хищных клопов при использовании каждой из 20-ти испытанных для кормления подизуса диет. Сравнение проводили по эффективности размножения и затратам на выкармливание хищных клопов за одно поколение.

Выявление генетической гетерогенности лабораторной популяции подизуса по наследственным факторам, определяющим возможность адаптации к необычной диете, проводили по результатам ответа на отбор, а отбор, методом индивидуальной селекции.

Для оценки достоверности наблюдаемых различий использовали критерии t-Стьюдента и хи-квадрат.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Выявление экономически выгодных диет для массового разведения хищного клопа *P. maculiventris*, как агента биологической защиты растений.

2. Способность генетической адаптации лабораторной популяции *P. maculiventris* к выкармливанию на непривычных диетах.

Достоверность полученных научных результатов. Научные результаты

выполненной работы обладают высокой степенью достоверности, что обеспечивается глубиной исследования основных концепций отечественных и зарубежных ученых по вопросам изучаемой проблемы. Основные выводы и заключения по работе основываются на большом экспериментальном материале. Результаты экспериментов проанализированы с помощью адекватных методов статистического анализа.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертации были доложены на: the 14th International Symposium on «Biocontrol and Biotechnology» (Saint Petersburg, 2016); на научных конференциях: «Роль молодых учёных в решении актуальных задач АПК» (Санкт-Петербург, 2016, 2019); «Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем» (Краснодар, 2016, 2018).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 9 научных работ, в том числе 3 – в изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ и Международную базу Scopus.

Организация исследований и личный вклад соискателя. Научные исследования выполнены в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО СПбГАУ 2016–2020 гг. по теме: «Развитие высокопродуктивного и экологически чистого сельского хозяйства, разработка и внедрение систем рационального применения удобрений, мелиорантов, средств защиты растений, создание безопасных и качественных продуктов питания и кормов» (раздел: «Современные технологии биологического контроля численности вредных организмов на важнейших с.-х. культурах»).

Экспериментальная работа выполнялась соискателем самостоятельно.

Личный вклад соискателя состоит в определении целей и задач исследования, поиске источников информации, выборе объекта и предмета исследования. Теоретические и практически значимые положения, рекомендации и выводы, содержащиеся в диссертации, являются результатом самостоятельного исследования соискателя.

Объем и структура диссертации. Рукопись состоит из введения, 4-х глав, заключения, практических рекомендаций, списка цитируемой литературы, включающего 183 источника, среди которых 95 на иностранных языках. Текстовая часть работы содержит 178 страниц, включая 33 таблицы и 45 рисунков, 5 приложений, включая 35 рисунков и копию акта, о применении подизуса в теплицах.

Благодарности. Искренне благодарю своего руководителя, доктора биологических наук, профессора кафедры защиты и карантина растений СПбГАУ, Анисимова Анатолия Ивановича; заведующего лабораторией Биологической защиты растений ВИЗР к.б.н. Н.А. Белякову, ведущих научных сотрудников этой лаборатории к.б.н. Е.Г. Козлову и к.б.н. Л.П. Красавину, научного сотрудника Ю.Б. Поликарпову и других сотрудников лаборатории биологической защиты растений ВИЗР, за помощь при освоении методик разведения насекомых и полезные советы при написании диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Дана общая характеристика работы: обоснована степень изученности темы, определены цель и задачи исследований, предложены методология и методы исследований, показаны научная новизна, теоретическая и практическая

значимость полученных результатов, сформулированы выносимые на защиту положения, приведены сведения о достоверности, апробации и публикации материалов исследований, декларирована степень личного участия автора в выполнении работы, обозначены объем и структура диссертации.

Глава 1. Перспективы использования хищного клопа *Podisus maculiventris* для борьбы с вредными насекомыми

В главе дается краткая биологическая характеристика основного объекта исследований, проводится анализ предшествующих исследований по вопросам: использования подизуса для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур и возможности его массового разведения в искусственных условиях.

Глава 2. Материал и методы исследований

Описываются методы лабораторного разведения использованных в экспериментах видов насекомых, методики оценки и сравнения пищевых диет для подизуса, методические особенности выявления генетической гетерогенности лабораторной популяции подизуса на приспособленность к необычным диетам и методы оценки хищнической активности подизуса, из селективируемой линии, в отношении личинок колорадского жука. В качестве эталонного (привычного) корма использовали гусениц большой вошинной моли - *Galleria mellonella* L.

Коэффициент размножения (КР) считали по формуле: $КР = ВН \times ПИ \times ЖЯ \times 0.5$ где: ВН – выживаемость нимф, в долях единиц; ПИ – плодовитость имаго, число яиц; ЖЯ – жизнеспособность яиц, в долях единиц (Анисимов, 2020).

При экономической оценке стоимости корма, затрачиваемого в процессе разведения подизуса, мы использовали КР для расчета коэффициента увеличения числа нимф 1-ого возраста (КУ), которое нужно взять в исходном поколении, чтобы в следующем поколении получить то же количество нимф 1-ого возраста, как и в контроле, по формуле: $КУ = КР_k / КР_o$, где: КУ – коэффициент увеличения объема исходного материала, раз; $КР_k$ – коэффициент размножения в контроле (гусеницы галлерии), число; $КР_o$ – коэффициент размножения в опыте (испытываемый корм и режим кормления), число.

Стоимость получения одной пары клопов (СР) и их содержания на протяжении всей жизни считали по формуле: $СР = ((РН \times ВН) / 5 \times (КН_1 \times СКН_1 + КН_2 \times СКН_2) \times ВКН + ЖИ \times ВКИ \times СКИ) \times 2$, где: РН – продолжительность развития нимф, суток; ВН – выживаемость нимф, в долях единиц; $КН_1$ – число стадий нимф при их кормлении жертвой № 1; $КН_2$ – число стадий нимф при их кормлении жертвой № 2; $СКН_1$ – стоимость 1 грамма жертвы № 1, рублей; $СКН_2$ – стоимость 1 грамма жертвы № 2, рублей; ВКН – вес корма, предлагаемого 1-ой нимфе для питания на сутки, грамм; ЖИ – продолжительность жизни имаго, суток; ВКИ – вес корма, предлагаемого 1-му имаго для питания на сутки, грамм; СКИ – стоимость 1 грамма жертвы для кормления имаго, рублей (Анисимов, 2020).

Для сравнения экономических показателей использования разных вариантов диет СР умножали на КУ, что позволило иметь показатель стоимости получения одинакового количества особей следующего поколения в разных вариантах.

Глава 3. Испытание некоторых видов насекомых в качестве корма для нимф и имаго подизуса

Описываются и обсуждаются результаты экспериментов, проведенных в

период с 2015 по 2019 годы, по оценке возможностей использования личинок 3-х видов двукрылых насекомых, живых бабочек ситотроги, а также 3-х видов тлей, для кормления подизуса в различных вариантах и сочетаниях, в частности, с гусеницами галлерии, которых использовали в качестве контроля (эталона).

3.1 Личинки двукрылых. Личинки двукрылых являются гораздо более дешевым кормом, чем гусеницы галлерии (Гусев и др., 1989). Эксперименты по их использованию в качестве корма для подизуса проводили в 2-х вариантах: выкармливание на протяжении всего цикла развития и только на стадии нимф, тогда как имаго хищника кормили гусеницами галлерии. Результаты показали, что больше всего (примерно на 80 %) снижается число яйцекладок и общая плодовитость имаго подизуса при его кормлении личинками черной львинки и звонца обыкновенного на протяжении всей жизни, а в последнем случае удлиняется период до начала откладки яиц. На величину порядка 60% снижается средний объем яйцекладок и выживаемость нимф при питании личинками черной львинки. Примерно на 50%, по сравнению с контролем, увеличивается продолжительность развития самцов при питании личинками звонца обыкновенного, и снижается их продолжительность жизни при питании личинками черной львинки и т.д. (рис. 1).

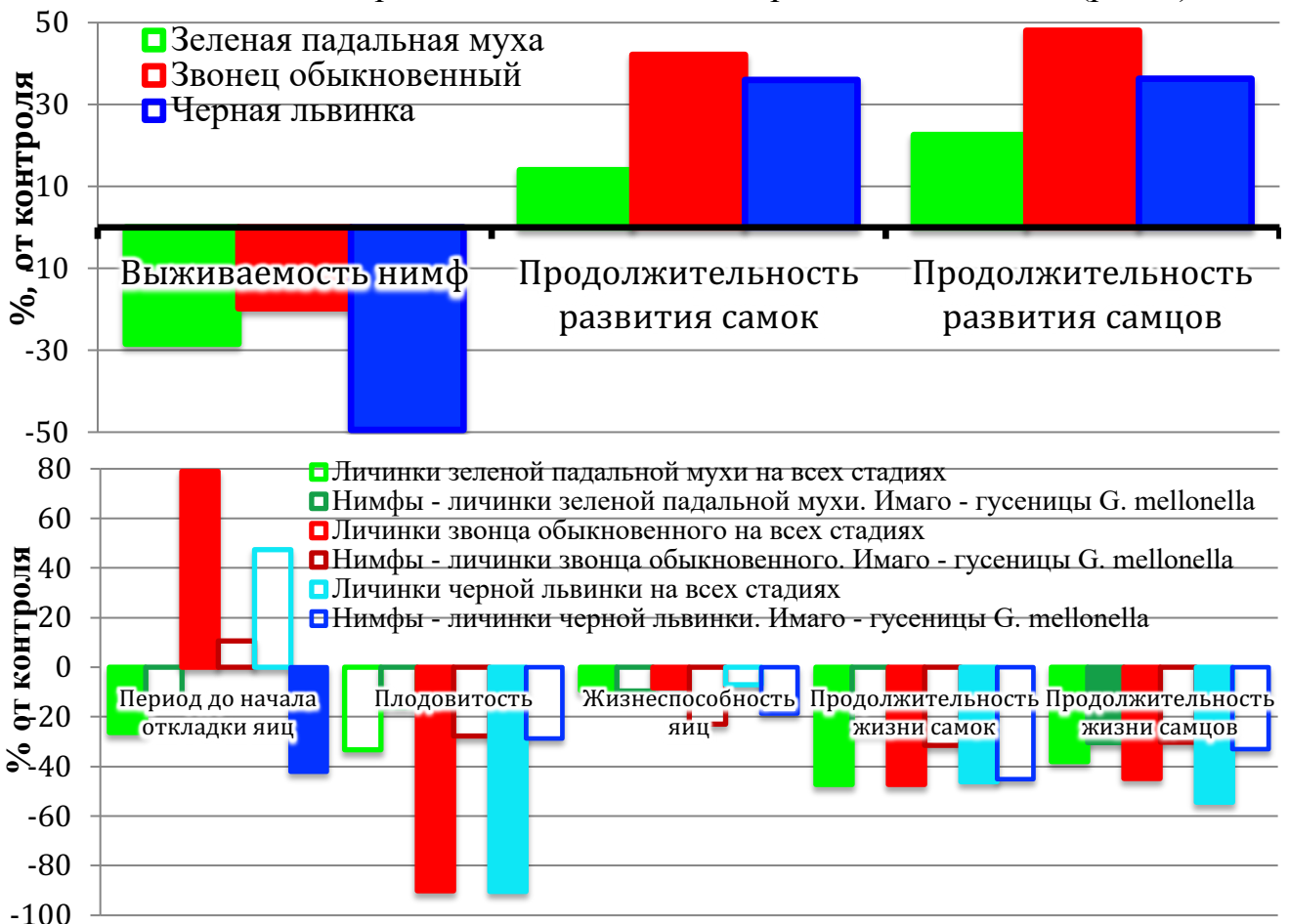


Рисунок 1. Изменения основных показателей развития и репродуктивного потенциала хищного клопа подизуса при его кормлении личинками трех видов двукрылых насекомых или *G. mellonella* (заливкой обозначено достоверное отличие от контроля, $p < 0,05$ по t-критерию Стьюдента)

Положительным фактом является достоверное сокращение преовипозиционного периода при питании нимф подизуса личинками черной львинки, а имаго – личинками *G. mellonella* и личинками зеленой падальной мухи.

Перевод имаго подизуса на питание гусеницами галлерии снимает негативные эффекты непривычных диет, из личинок двукрылых насекомых. Хотя продолжительность жизни имаго подизуса остается несколько сниженной, но на общей плодовитости это сказывается не сильно (не достоверно). По сравнению с контролем достоверно снижается жизнеспособность яиц (на 7-23%), что имеет гораздо меньшее практическое значение, т.к. основные затраты приходятся на кормление нимф и имаго подизуса.

В целом, результаты этой серии экспериментов показали, что для разведения подизуса из 3-х испытанных видов двукрылых насекомых лучше всего подходят личинки зеленой падальной мухи, при использовании которых коэффициент размножения снижается не так сильно, как в других вариантах. Тем не менее, во всех вариантах удается получить жизнеспособных имаго следующего поколения, что открывает возможность для генетической адаптации подизуса к питанию этими видами жертв.

3.2 Тли на ранних стадиях развития подизуса. Тлей разводят практически во всех биологических лабораториях, которые занимаются биологической борьбой с вредителями растений в теплицах. Поэтому, при положительном результате, их рационально использовать и для разведения подизуса. До начала наших экспериментов было известно, что при выкармливании нимф подизуса только тлей (бахчевой или персиковой) они не могут полностью закончить развитие до стадии имаго (Овсянко, Ляшова, 1998; De Clercq et al., 2003), поэтому мы ограничились их испытанием для кормления нимф хищного клопа на ранних стадиях развития.

Результаты проведенных экспериментов показали, что использование тлей в процессе разведения подизуса приводит к ухудшению большинства показателей развития (продолжительность развития нимф, масса тела и продолжительность жизни имаго) и репродуктивного потенциала (выживаемость нимф, плодовитость имаго, жизнеспособность яиц и др.) хищного клопа, по сравнению с гусеницами галлерии, но в разной степени в зависимости от вида тли и продолжительности их использования в качестве единственного корма. Так, выкармливание тлями нимф подизуса до 4-ого возраста включительно, для массового производства хищника мало приемлемо. Снижение репродуктивного потенциала составляет 79 %, 84 % и 94 % для злаковой, персиковой и виковой тлей, соответственно.

При выкармливании нимф подизуса тлями до 3-его возраста включительно, репродуктивный потенциал также снижается, но менее сильно (рис. 2). Лучшим, из трех исследованных видов, по влиянию на биологические показатели подизуса следует считать злаковую тлю. При кормлении нимф подизуса злаковой тлей до 3-его возраста включительно выживаемость нимф снижается на 20.6 %, а продолжительности их развития увеличивается на 20–25 %. Остальные, важные для массового разведения хищного клопа показатели развития (продолжительность жизни имаго) и репродуктивного потенциала (плодовитость), существенно не меняются, или меняются незначительно.

3.3 Имаго зерновой моли на поздних стадиях развития подизуса. Имаго ситотроги уже испытывали в криоконсервированном виде при создании искусственных сред для выкармливания подизуса (Хлистовский и др., 1985). Они представляют очень дешевый материал, т.к. являются отходом в технологии массового

разведения трихограммы. Эксперименты проводили в 6-ти вариантах. Бабочек ситотроги брали в возрасте 2-х и 4-х дней и предлагали их в качестве корма нимфам подизуса, начиная с 4-го или 5-го возраста (до этого нимф выкармливали гусеницами галлерии) или ситотрогой кормили только взрослых клопов (рис. 3).

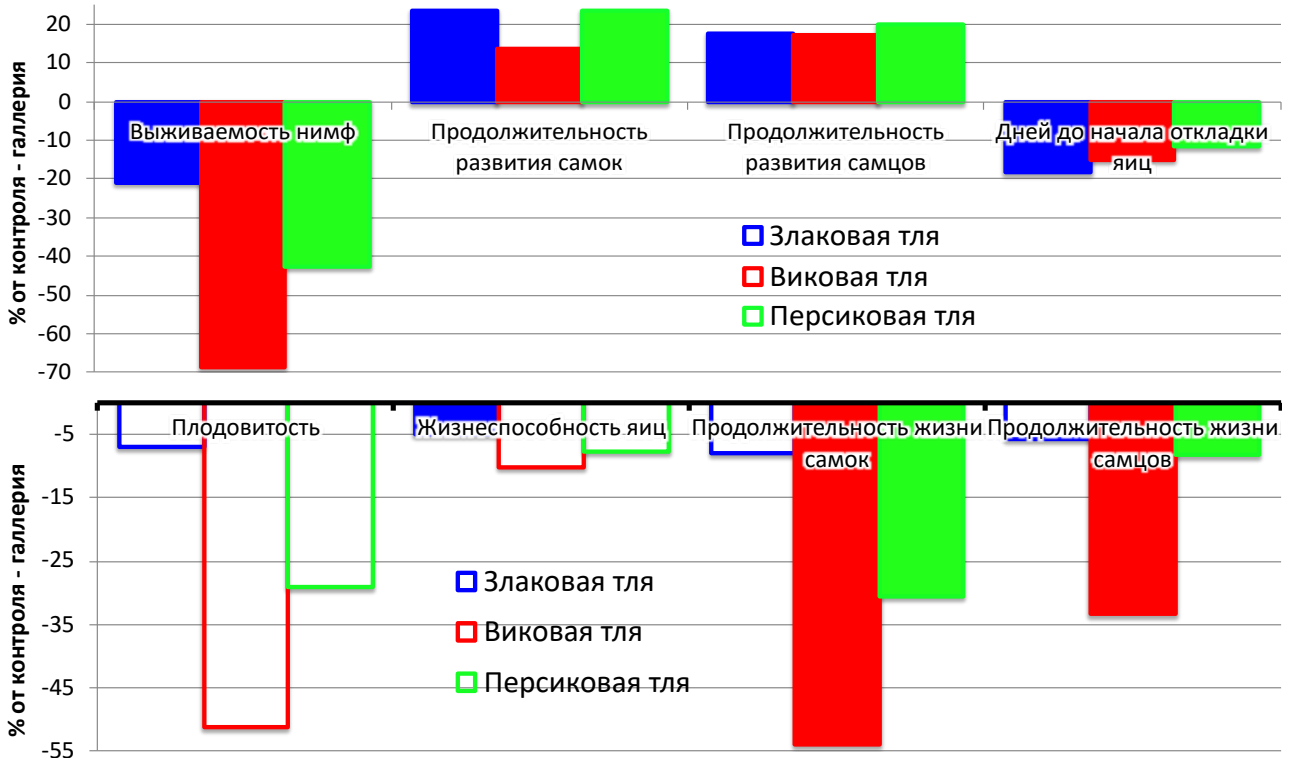


Рисунок 2. Изменение основных показателей развития и репродуктивного потенциала (% от контроля) подизуса при кормлении нимф 3-мя видами тлей до 3-его возраста включительно (обозначения как на рисунке 1).

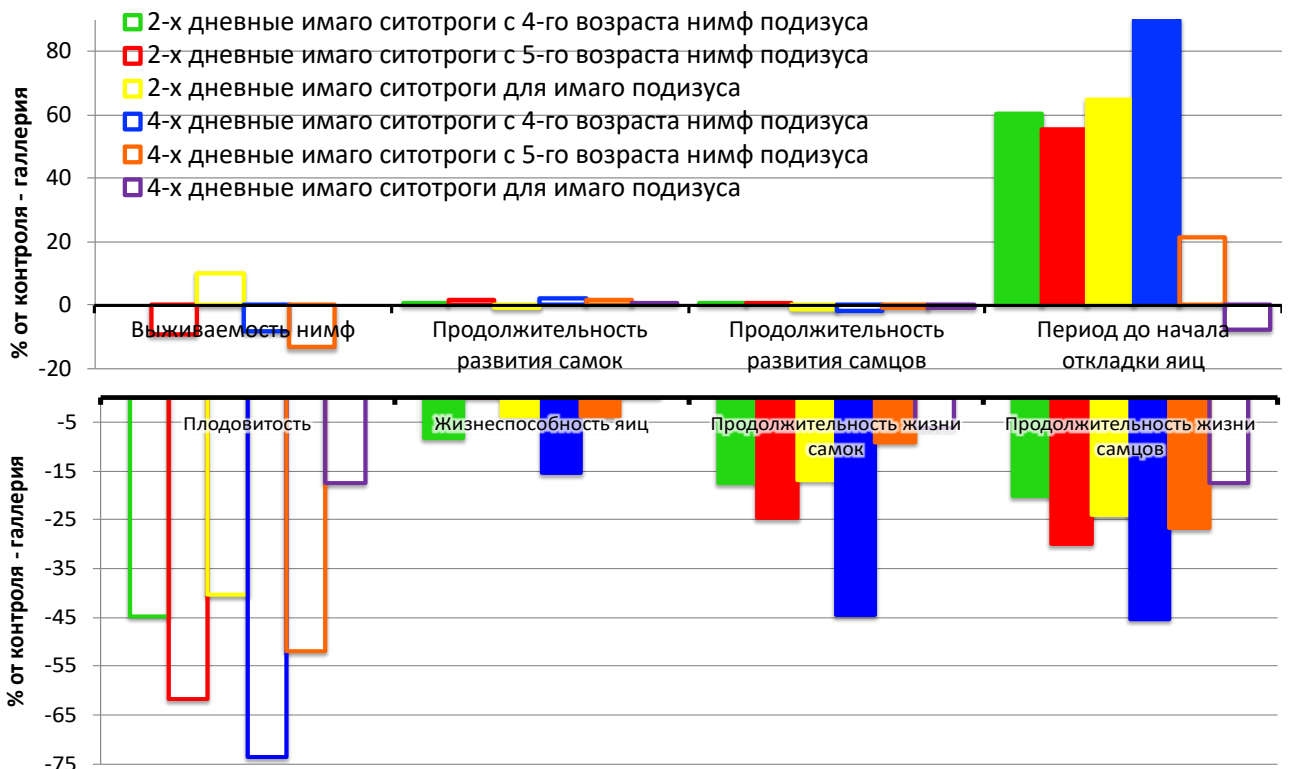


Рисунок 3. Изменения основных показателей развития и репродуктивного потенциала хищного клопа подизуса при разных режимах его кормления живыми бабочками зерновой моли (обозначения как на рисунке 1)

Как видно из представленных материалов, выживаемость нимф хищного клопа при использовании бабочек ситотроги во всех исследованных вариантах весьма высока и достоверно не отличается от контроля. Продолжительность развития нимф также не затрагивается. Это является положительным фактом, позволяющим надеяться на успешное использование живых бабочек ситотроги при массовом разведении *P. maculiventris*.

Из рисунка 3 видно, что использование бабочек ситотроги в качестве корма для последних стадий развития нимф подизуса вполне допустимо, а для кормления имаго это справедливо еще в большей степени. Естественно, что по сравнению с почти идеальным кормом, который представляют для подизуса гусеницы галлерии, при использовании имаго ситотроги отдельные показатели его репродуктивного потенциала изменяются в худшую сторону, но не так сильно, как это наблюдается в случае использования совсем непривычного корма, как тли и личинки двукрылых. Так, выживаемость нимф подизуса, продолжительность их развития и объем первой яйцекладки не изменяются по сравнению с контролем при всех исследованных режимах питания. Масса тела молодых самок и самцов снижается, но не сильно (примерно на 20%). Гораздо в большей степени ухудшается показатель, характеризующий продолжительность периода до начала откладки яиц у имаго (он удлиняется на 60–90%), за исключением варианта, когда четырехдневными бабочками ситотроги кормили только имаго подизуса.

Плодовитость взрослых клопов во всех опытных вариантах по отношению к контролю снижается. В меньшей степени это касается использования бабочек ситотроги четырехдневного возраста только для кормления имаго хищного клопа (снижение на 17.1% по сравнению с контролем не достоверно). В этом же варианте достоверно не изменяется ни продолжительность жизни имаго, ни жизнеспособность откладываемых ими яиц. Поэтому, кормление имаго подизуса живыми бабочками ситотроги четырехдневного возраста представляется наиболее перспективным способом их использования при массовом разведении хищного клопа.

3.4 Злаковая тля и имаго зерновой моли. Чтобы оценить возможность полного отказа от использования гусениц галлерии при массовом разведении хищного клопа подизуса был испытан вариант диеты, состоящий из злаковой тли для питания нимф до 3-его возраста и имаго ситотроги на остальных стадиях. Использовали линию подизуса, которую на протяжении нескольких поколений адаптировали к разведению на злаковой тле (рис. 4).

Из рисунка 4 видно, что выживаемость нимф подизуса при использовании «тлево-ситотрожной» диеты достоверно снижается на величину, соответствующую аддитивному эффекту использования злаковой тли для выкармливания нимф подизуса до 3-его возраста и 4-х дневных имаго ситотроги, начиная с 4-ого возраста, который по расчетам должен составить 28.3%. Достоверно увеличивается продолжительность развития на нимфальной стадии как самок, так и самцов подизуса.

По сравнению с контролем, снижается масса тела окрылившихся имаго, но не сильно. Снижение негативного влияния «тлево-ситотрожной» диеты по отношению к ожидаемому при аддитивном эффекте «тлевой» и «ситотрожной» диет в этом случае является положительным эффектом. Несомненно положительными являются: отсутствие влияния «тлево-ситотрожной» диеты на преовипозицион-

ный период, на продолжительность жизни самок и число яйцекладок, а также небольшое снижение общей плодовитости (примерно в 3 раза меньше, чем ожидалось при аддитивном эффекте) и жизнеспособности яиц.

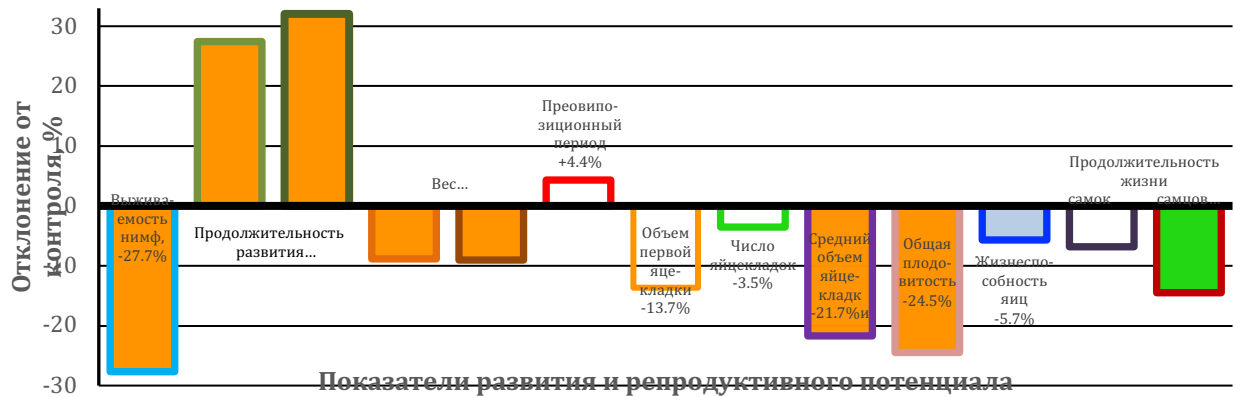


Рисунок 4. Изменения показателей развития и репродукции хищного клопа подизуса при кормлении его нимф злаковой тлей до 3-его возраста и имаго ситотроги на остальных стадиях относительно контроля (оранжевой заливкой обозначены значения отличающиеся от контроля с вероятностью > 0.999, зеленой - > 0.99, голубой - > 0.95; при вероятности отличий < 0.95 – без заливки)

Проявление явно положительного влияния такой двухкомпонентной диеты на ряд показателей развития и репродуктивного потенциала, помимо влияния комплексного питания на полифага, может быть следствием либо селекционного процесса адаптации использованной линии подизуса на приспособленность к питанию злаковой тлей, либо отбора более жизнеспособных особей в период развития нимф.

3.5 Сравнение вариантов диет для массового разведения *Podisus maculiventris*. Для сравнения диет по биологическим показателям были рассчитаны коэффициенты размножения подизуса и их изменения относительно контроля (рис. 5). Видно, что вполне приемлемыми вариантами является кормление имаго подизуса бабочками зерновой моли, а нимф злаковой тлей до 3-его возраста.

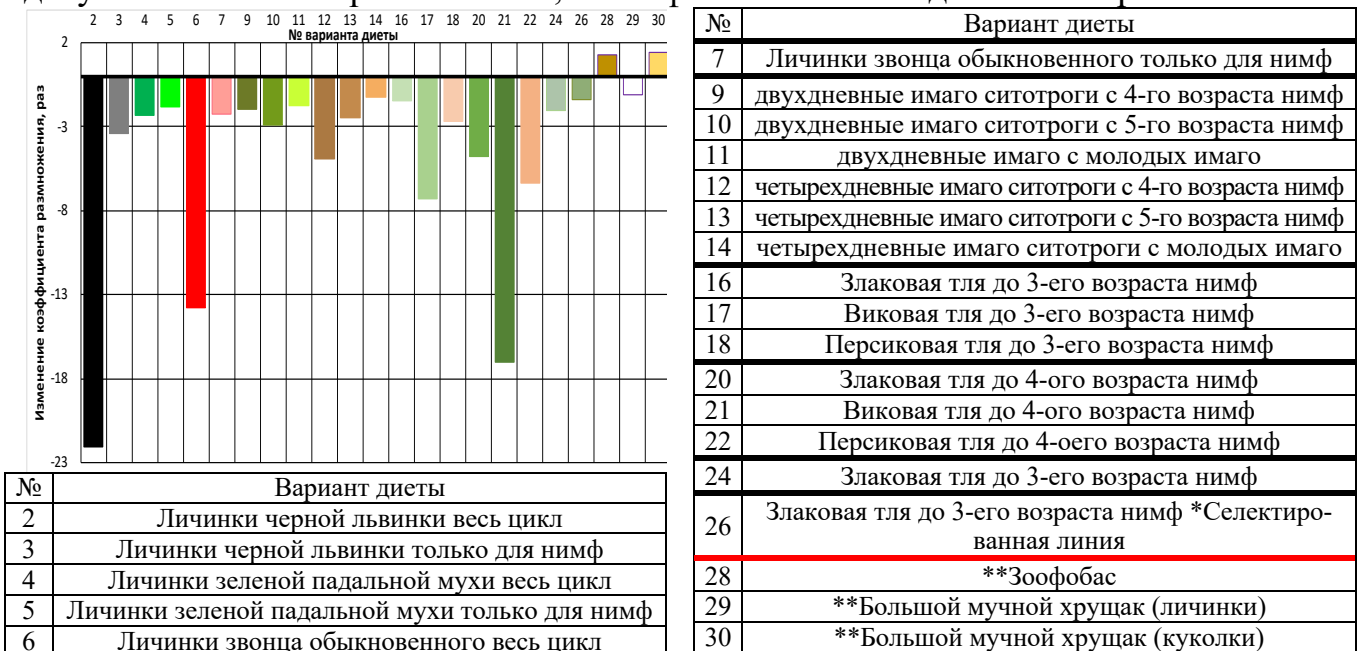


Рисунок 5. Изменения коэффициента размножения подизуса относительно контроля (гусеницы галлерии) при использовании разных диет для выкармливания его нимф и имаго; * - линия подизуса, селектированная на приспособленность к питанию злаковой тлей на ранних стадиях развития (см. 4); ** - по данным Нефедовой М.В. (2018).

Практически не приемлемым представляется использование личинок черной львинки и звонца обыкновенного на протяжении всего цикла развития подизуса, а также кормление нимф персиковой тлей до 4-ого возраста, а виковой тлей даже до 3-его. Все остальные испытанные варианты диет занимают промежуточное положение. К ним, вероятно, возможна адаптация хищника.

Для оценки экономических показателей мы собрали информацию о стоимости большинства использованных и проанализированных видов жертв на рынке Российской Федерации и рассчитали затраты на корм при размножении подизуса на разных диетах (рис. 6) по полному циклу развития. Преференции отдельных диет сильно изменились.

Так, куколки большого мучного хрущака (лучшие по КР) перешли в разряд мало приемлемых, т.к. их стоимость более, чем в 10 раз превышает стоимость личинок этого же вида и в 1.6 раза стоимость гусениц галлерии. Из трех видов корма, взятых для сравнения из работы Нефедовой, наиболее выгодным оказалось использование личинок большого мучного хрущака. По сравнению с использованием гусениц галлерии, затраты на выкармливание снижаются в 5.6 раза. К тому же, могут снизиться и затраты на уход за нимфами.

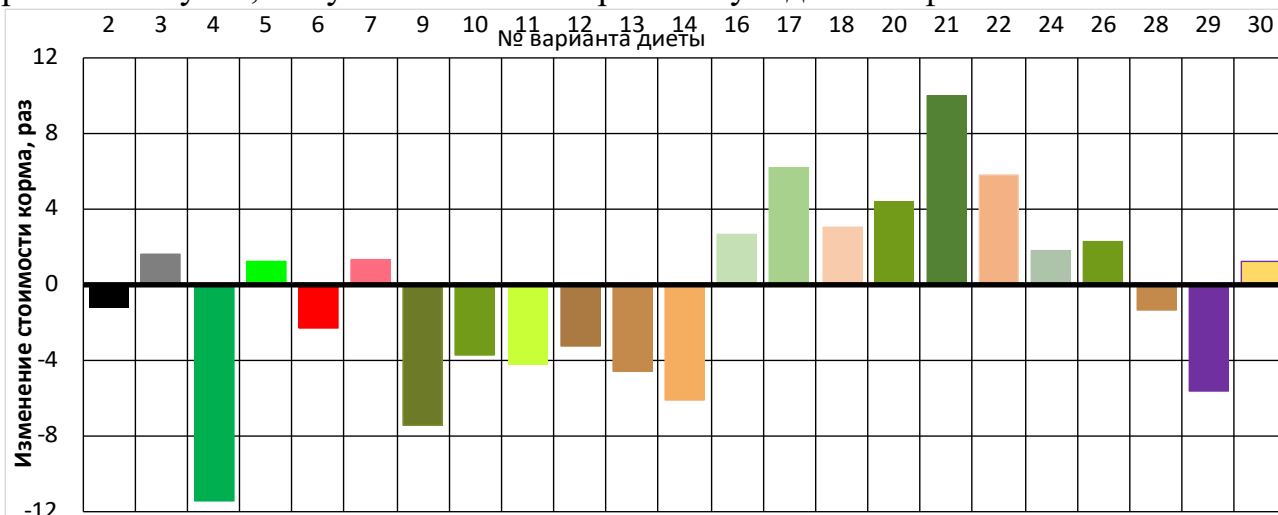


Рисунок 6. Изменения стоимости выкармливания нимф и имаго подизуса на разных диетах относительно контроля - гусеницы галлерии (№№ диет как на рисунке 5)

Среди исследованных нами вариантов диет в разряд мало приемлемых попадают все варианты, где используются гусеницы галлерии, но после других жертв. Это варианты 3, 5 и 7, с кормлением имаго подизуса галлерией, и выкармливанием нимф личинками черной львинки, зеленой падальной мухи и звонца обыкновенного, соответственно. При этих диетах затраты на выкармливание клопов должны еще увеличиться за счет более продолжительного ухода за нимфами.

К мало приемлемым также относятся все варианты с использованием тлей (16-26), даже в процессе выкармливания адаптированной к ним линии и в сочетании с бабочками ситотроги. К тому же должны появиться дополнительные затраты на уход за нимфами.

Несмотря на снижение КР в 2.3 раза, в число предпочтительных, с экономической точки зрения, попадает вариант 4, с выкармливанием подизуса личинками зеленой падальной мухи на протяжении всего цикла развития. При этом затраты на корм для нимф и имаго подизуса снижаются почти в 12 раз, что определяется

гораздо более низкой стоимостью. Это заключение соответствует оценкам экономики разведения подизуса, сделанными Г.В. Гусевым с соавторами (1989) в конце 80-х годов прошлого века в СССР, на основании использования личинок комнатной (*Musca domestica* L.) и весенней мясной (*Protophormia terraenovae* R.-D.) мух.

На наш взгляд, особый интерес представляет вариант 14 – использование четырехдневных бабочек ситотроги для кормления имаго подизуса в период получения яйцекладок. Несмотря на то, что для выкармливания нимф использовался один из наиболее дорогих кормов – гусеницы галлерии, общие затраты на корм, для получения следующего поколения по сравнению с контролем снижаются в 6.1 раза, и несколько дешевле разведения на личинках большого мучного хрущака по полному циклу. При этом средняя продолжительность генерации не увеличивается, т.е. дополнительных затрат на процесс разведения хищного клопа не будет.

Основываясь на результатах оценки показателей развития и репродуктивного потенциала подизуса в этом варианте и данных по выкармливанию нимф личинками зеленой падальной мухи, ориентировочные затраты на корм для подизуса на такой двухкомпонентной диете должны быть в 100 раз меньше, чем при использовании гусениц галлерии. Однако, в связи с увеличением продолжительности генерации (на 15.3%, что можно уменьшить путем генетической адаптации, см. главу 4) требует корректировки стоимости разведения для конкретных условий производства энтомофага.

Итак, несмотря на то, что полная экономическая оценка стоимости подизуса, как и любого другого энтомофага, может быть проведена только в условиях его массового производства на биофабриках, проведенные исследования по оценке 12-ти показателей развития и репродуктивного потенциала хищного клопа подизуса на 4-х видах жертв, а также на 16-ти диетах, состоящих из двух видов жертв, используемых для питания клопов на ранних или поздних стадиях развития нимф и имаго, позволили провести первичный скрининг этих кормов по показателям стоимости и временных затрат на массовое разведение хищного клопа с целью его использования в биологической защите растений.

Проведенный скрининг позволяет существенно сократить круг жертв и диет для дальнейшей их проверки в отношении пригодности для длительного разведения хищного клопа подизуса в производственных условиях.

Глава 4. Селекция подизуса на приспособленность к питанию злаковой тлей и испытание селектированной линии

С целью повышения приспособленности подизуса к разведению на диете, включающей злаковую тлю, провели эксперимента по оценке генетической гетерогенности лабораторной популяции по этому признаку (табл. 1). В исходном поколении была взята выборка из лабораторной популяции в количестве 41-ой синхронно отродившейся нимфы 1-го возраста. До 4-ого возраста включительно их кормили злаковой тлей, а затем гусеницами галлерии. Продолжительность развития нимф варьировала от 26-ти до 36-ти суток. Для получения следующего поколения (F1) были заложены 2 семьи: «быстрые», родители которых развивались по 26 суток, и «медленные», родители которых развивались более 30-ти суток.

Из таблицы 1 видно, что выживаемость потомков «быстрых» родителей

выше, чем у «медленных» (почти в 4 раза). Это доказывает существование генетической гетерогенности по приспособленности к питанию злаковой тлей на ранних стадиях развития нимф в лабораторной популяции подизуса. Также видно, что отбор по сокращению продолжительности развития подизуса на «тлевой» диете начался весьма успешно. Как самки, так и самцы в F2 селективируемой линии развивались на «тлевой» диете гораздо быстрее, чем не адаптированные клопы, из лабораторной популяции, но еще медленнее, чем только на гусеницах галлерии.

Таблица 1. Выживаемость и продолжительность развития нимф подизуса при их выкармливании злаковой тлей в первых поколениях отбора на приспособленность к разведению на этой диете

| Поколение | Вариант | Исследовано нимф | Выживаемость нимф, % ± SE | Развитие нимф | | | |
|-----------------|---------|------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | | пол | суток ± SE | | |
| Р (исходное) | Б | 41 | 78.0 ± 6.46 <i>cd</i> | самка | 26 | | |
| | | | | самец | 26 | | |
| | М | | | самка | 34 | | |
| | | | | самец | 33 | | |
| | КГ | 26 | 96.2 ± 5.14 <i>ab</i> | самки | 23.3 ± 1.14 <i>hijk</i> | | |
| | | | | самцы | 24.0 ± 0.78 <i>ijk</i> | | |
| F1 | Б | 27 | 63.0 ± 9.23 <i>de</i> | самка | 30 | | |
| | | М | 24 | 16.7 ± 7.61 <i>f</i> | - | - | |
| | КТ | | 26 | 46.2 ± 9.78 <i>e</i> | самки | 31.4 ± 0.88 <i>l</i> | |
| | | самцы | | | 29.7 ± 1.46 <i>l</i> | | |
| | КГ | 26 | 100 – 3.70 <i>a</i> | самки | 23.8 ± 0.44 <i>ij</i> | | |
| | | | | самцы | 23.2 ± 0.44 <i>i</i> | | |
| F2 | Б | 61 | 57.4 ± 6.33 <i>e</i> | самки | 22.5 ± 0.52 <i>hi</i> | | |
| | | | | самцы | 21.3 ± 0.46 <i>h</i> | | |
| | КТ | | | 57 | 50.8 ± 6.62 <i>e</i> | самки | 25.3 ± 0.47 <i>k</i> |
| | | | | | | самцы | 25.4 ± 0.67 <i>jk</i> |
| | КГ | 76 | 84.2 ± 4.18 <i>bc</i> | самки | 17.5 ± 0.59 <i>g</i> | | |
| | | | | самцы | 18.0 ± 0.42 <i>g</i> | | |

Обозначения: Б («быстрые») – особи подизуса быстрее остальных завершившие развитие на стадии нимфы, М («медленные») – особи подизуса дольше остальных развивавшиеся на стадии нимфы, КГ – (контроль галлерия) выкармливание подизуса только гусеницами галлерии, КТ (контроль тля) – выкармливание нимф подизуса злаковой тлей до 3-его или 4-ого (в F1) возраста включительно, а на остальных этапах развития – гусеницами галлерии; одинаковыми буквами обозначены достоверно не различающиеся значения отдельного показателя ($p > 0,05$ по t-критерию Стьюдента).

Уже в F3 продолжительность развития как самок, так и самцов в селективируемой линии возросла по сравнению с исходной – в 3.6 раз, сравнялась с контролем и до F6 оставалась на его уровне. Вместе с тем, отличие по выживаемости нимф, питавшихся злаковой тлей, от контроля продолжало оставаться достоверным.

В следующих 4-х поколениях отбора выживаемость не увеличивалась, а в F10 опустилась до критической величины 8% (рис. 7). При этом выжил только один самец, что создало реальную угрозу потери селективируемой линии. И хотя высокая плодовитость подизуса позволила получить достаточно потомков от одной пары клопов, было решено смягчить условия отбора и перевести нимф селективируемых насекомых на питание злаковой тлей только до третьего возраста включительно. Использование этого приема привело к резкому увеличению выживаемости нимф хищных клопов в селективируемой линии. В F12 выживаемость

нимф подизуса достигла 70% и достоверно не отличалась от контрольной. Целе-направленную селекцию прекратили. Линия поддерживается в лаборатории по технологии массового разведения.

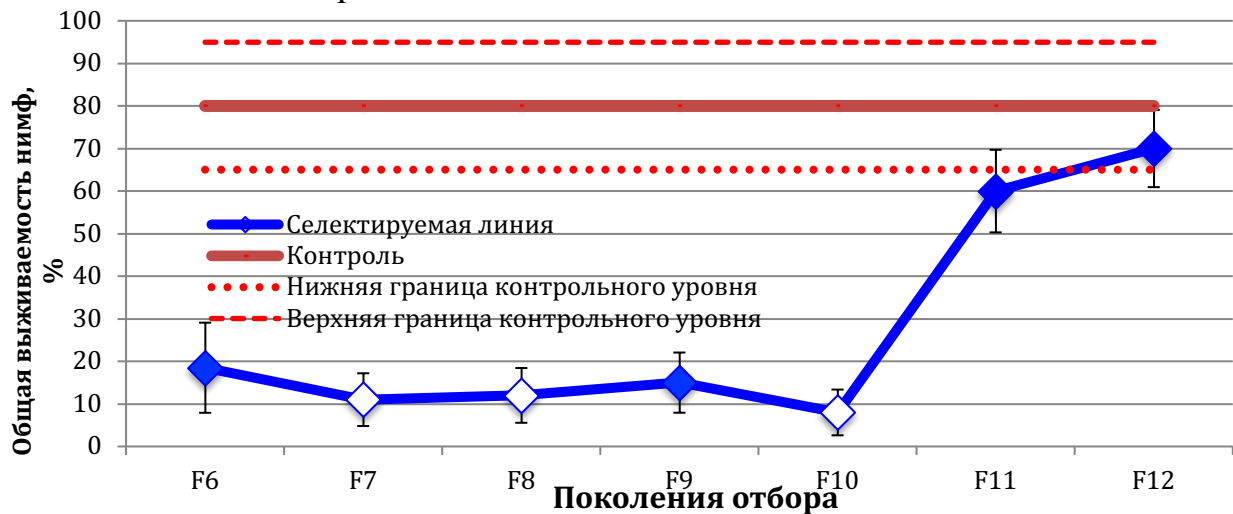


Рисунок 7. Динамика выживаемости нимф подизуса в последних поколениях отбора на приспособленности к выкармливанию злаковой тлей (планками погрешностей обозначены доверительные интервалы для вероятности 0,95; заливкой обозначены значения, достоверно отличающиеся от контроля - $p > 0,05$ по t-критерию Стьюдента)

Попытка выявления генетической гетерогенности в линии, селектированной на приспособленности к частичному питанию злаковой тлей, к питанию этой тлей до 3-его возраста при дальнейшем переводе на питание бабочками ситотроги, успехом не увенчалась. Это значит, что ступенчатая селекция, в данном случае, будет не эффективна, исходный материал для отбора нужно брать из лабораторной популяции подизуса.

Несмотря на то, что экономическая оценка показала малую пригодность линии, отселектированной на приспособленность молодых нимф подизуса питаться злаковой тлей, результаты проделанной работы показали принципиальную возможность генетической адаптации подизуса к разведению на необычном корме, например, нимф, на личинках зеленой падальной мухи, а имаго, на бабочках ситотроги.

Рекомендации по использованию селектируемых линий энтомофагов традиционно вызывает опасения специалистов по биологической защите растений в плане возможного ухудшения их биологических и хозяйственных характеристик из-за усиления инбридинга. Поэтому, селектированные линии должны тщательно проверяться и испытываться по хозяйственно ценным признакам, которыми для подизуса являются прожорливость и хищническая активность.

Сравнение эффективности селектированной на приспособленность к злаковой тле линии подизуса в отношении уничтожения личинок колорадского жука с лабораторной популяцией хищного клопа проводили в садках размером 50x50x50 см, куда помещали по 2–3 сосуда с водой, в которых находились срезанные листья картофеля, с личинками колорадского жука 3-его возраста (8-12 особей на сосуд), и одной нимфой подизуса 4-го возраста. На растениях ежедневно учитывали число живых личинок колорадского жука. Сравнительное испытание хищнической активности селектированной линии подизуса в отношении личинок колорадского жука

провели в 3-х повторностях.

Результаты (рис. 8) показали, что, несмотря на длительную (9 поколений) индивидуальную семейную селекцию подизуса, хищническая активность его нимф в отношении личинок колорадского жука не изменилась. Хищные клопы из отселектированной линии, выкармливаемые злаковой тлей до 3-его возраста, могут использоваться для борьбы с вредными насекомыми с той же эффективностью, как и подизус из лабораторной популяции, выкармливаемый только гусеницами галлерии.

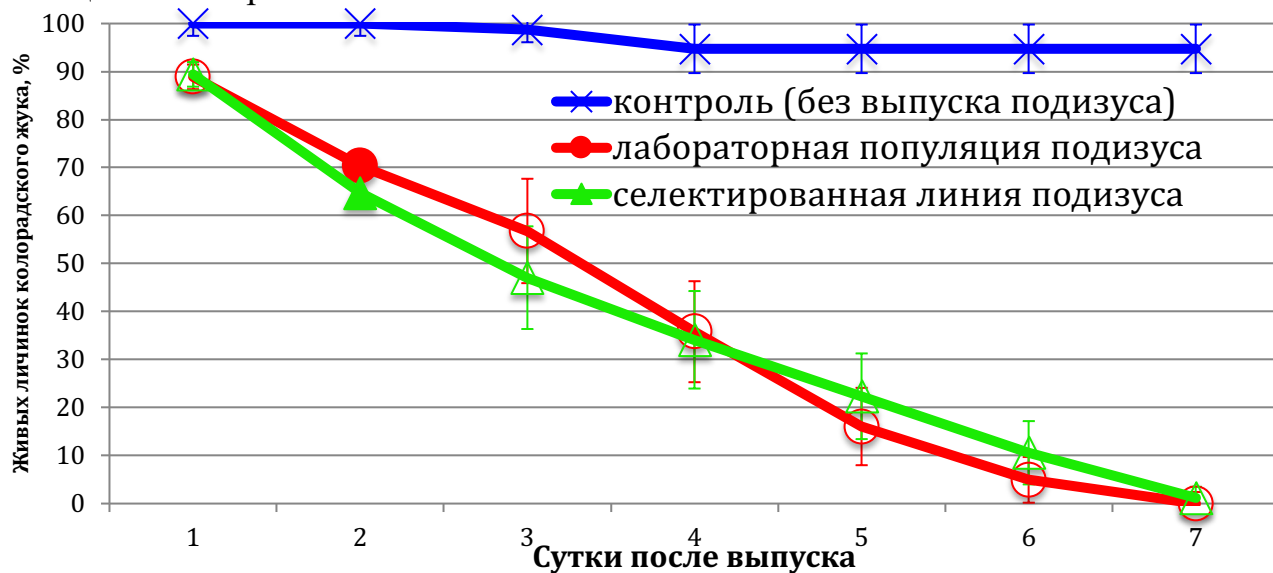


Рисунок 8. Динамика изменения численности живых личинок колорадского жука в присутствии нимф подизуса из селектируемой линии и лабораторной популяции (обозначения как на рисунке 7)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе выполнения экспериментальной работы результаты позволили сделать следующие выводы:

1. Выкармливание подизуса (*Podisus maculiventris* Say) на протяжении всего жизненного цикла личинками звонца обыкновенного (*Chironomus plumosus* L.) и черной львинки (*Hermetia illucens* L.) возможно, но приводит к резкому ухудшению показателей развития и репродуктивного потенциала хищного клопа (выживаемость нимф на 20% и 49%, продолжительность их развития на 48% и 36%, преовипозиционного периода на 79% и 47%, продолжительности жизни имаго на 47% и 54%, соответственно, а плодовитости на 90%) по сравнению с выкармливанием гусеницами большой вощинной моли (*Galleria mellonella* L.), что делает эти виды кормов мало пригодными для массового размножения энтомофага. Перевод взрослых клопов на кормление гусеницами галлерии улучшает показатели их репродуктивного потенциала, а преовипозиционный период сокращается.

2. Выкармливание подизуса на протяжении всего жизненного цикла личинками зеленой падальной мухи (*Lucilia sericata* Meig.) приводит к достоверному снижению только: выживаемости нимф на 28%, продолжительности жизни самок на 47% и самцов на 38%, достоверно увеличивает продолжительность развития самок клопа на 14% и самцов на 23%. Преовипозиционный период и плодовитость достоверно не меняются, что выделяет этот вид корма, как явно более пригодный для массового размножения подизуса, по сравнению с личинками

двух других видов двукрылых.

3. Выкармливание нимф подизуса на последних стадиях развития живыми имаго зерновой моли (*Sitotroga cerealella* Oliv.) не влияет на их выживаемость и продолжительность развития, но приводит к снижению продолжительности жизни самок (на 18-44%) и самцов (на 20-45%) и увеличению преовипозиционного периода (на 55-90%). Однако, при кормлении взрослых клопов имаго зерновой моли четырехдневного возраста негативных эффектов не наблюдается, что делает этот корм приемлемым для массового разведения подизуса.

4. Замена гусениц галлерии злаковой – *Schizaphis graminum* Rond., виковой – *Megoura viciae* Buckt. или персиковой – *Myzodes persicae* Suls. тлей в качестве корма для нимф подизуса до 3-его и даже 4-ого возраста возможна, но не целесообразна в связи с резким снижением репродуктивного потенциала на 30%, 86% и 62% соответственно в первом случае и на 79%, 94% и 84% – во втором, а также увеличением продолжительности генерации хищного клопа на 4.1%, 8.2% и 8.4% соответственно в первом случае и на 28.5%, 38.3% и 27.4% – во втором.

5. Сравнение 4-х видов жертв, а также 16-ти диет, состоящих из двух видов жертв, используемых для выкармливания подизуса на ранних или поздних стадиях развития нимф и стадии имаго, по биологическим (коэффициент размножения, продолжительность генерации) и экономическим (стоимость корма) показателям позволило выявить более выгодные варианты диет, чем разведение хищного клопа на гусеницах большой вощинной моли. Так, стоимость корма при разведении подизуса на личинках зеленой падальной мухи меньше в 12 раз. Основной получаемой выгоды других диет является использование бабочек зерновой моли для кормления имаго подизуса. Если при этом нимф хищного клопа выкармливать гусеницами галлерии, продолжительность генерации не меняется, а затраты на корм сокращаются в 6.1 раза, если личинками большого мучного хрущака – примерно в 36 раз, а если личинками зеленой падальной мухи – в 100 раз. Правда, в случаях использования личинок зеленой падальной мухи продолжительность генерации может увеличиваться (примерно на 15%) и окончательное заключение о преимуществе таких диет можно будет сделать только после испытаний в конкретных условиях производства энтомофага.

В любом случае, проведенный скрининг кормов для подизуса позволил существенно сократить круг жертв и диет для дальнейшей их проверки в отношении пригодности для длительного разведения хищного клопа подизуса в производственных условиях.

6. На примере злаковой тли в лабораторной популяции подизуса выявлена генетическая гетерогенность по наследственным факторам, определяющим возможность адаптации к питанию непривычным кормом.

7. Индивидуальная селекция подизуса (9 поколений отбора) на приспособленность к питанию злаковой тлей на ранних стадиях развития не приводит к снижению хищнической активности его нимф в отношении личинок колорадского картофельного жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say).

Практические рекомендации

1. Для сокращения затрат на массовое разведение *Podisus maculiventris* целесообразно кормить имаго хищного клопа четырехдневными бабочками

ситотроги.

2. Для конкретных условий массового разведения подизуса целесообразно оценивать экономичность выкармливания нимф хищного клопа личинками зеленой падальной мухи, а имаго - четырехдневными бабочками ситотроги, как еще более дешёвой диетой.

3. Полученные результаты по биологической и экономической оценке эффективности разведения подизуса на разных диетах рекомендуется учитывать при совершенствовании существующих и разработке новых регламентов массового разведения хищного клопа для биологической защиты растений.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих изданиях:

Статьи в изданиях Scopus

1. **Kasem, A.S.** Performance of a generalist predator, *Podisus maculiventris* Say (Hemiptera: Pentatomidae) fed with adult grain moth *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Pyralidae) at late nymphal and adult stages / A.S. Kasem, A.I. Anisimov, E.G. Kozlova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 421, iss. 2. – P. 1–6. DOI:10.1088/1755-1315/421/2/022059

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ

2. Козлова, Е.Г. Использование трех видов тлей при разведении хищного клопа подизуса / Е.Г. Козлова, **А.Э.С. Касем**, А.И. Анисимов // Вестник защиты растений. – 2019. - № 3(101) - С. 50–57. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-3(101)-50-57

3. Анисимов, А.И. Испытание личинок трех видов двукрылых насекомых в качестве корма при разведении хищного клопа подизуса – *Podisus maculiventris* / А.И. Анисимов, **А.Э.С. Касем**, Е.Г. Козлова // Вестник защиты растений. – 2019. – № 4(102). – С. 66–71. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-66-71

Публикации в иных изданиях:

4. **Kasem, A.S.** Feeding the nymph instars of predatory bug *Podisus maculiventris* Say – by three species of aphids / A.S. Kasem, A.I. Anisimov, E.G. Kozlova // Роль молодых учёных в решении актуальных задач АПК: сборник науч. трудов международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов / СПбГАУ. – СПб., 2016. – С. 97–100.

5. Anisimov, A.I. Possibility to use aphids as available diet for some nymph instars of *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Asopinae) / A.I. Anisimov, **A.E.S. Kasem**, E.G. Kozlova // The 14th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology (Saint Petersburg – Pushkin, Russia, Nov. 6 -9, 2016): abstracts and program. – Saint Petersburg, P. 75–76.

6. **Kasem, A.E.S.** Development and reproductive potential of a generalist predator, *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Asopinae) feeding adult of grain moth / A.E.S. Kasem, A.I. Anisimov // The 14th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology (Saint Petersburg – Pushkin, Russia, Nov. 6 -9, 2016): abstracts and program. Saint Petersburg, – P. 35.

7. Анисимов, А.И. Использование трех видов тлей для выкармливания нимф подизуса до 3-его возраста / А.И. Анисимов, **А.Э.С. Касем**, Е.Г. Козлова // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем – материалы Междунар. науч.-практ. конф. с молодежной стратегической сессией «Кадры,

ресурсы, возможности, инновации» (Краснодар, 20-22 сентября 2016 г.). Вып. 9. – Краснодар: ВНИИБЗР. – 204–207.

8. **Касем, А.Э.С.** Развитие и репродуктивный потенциал хищного клопа подизуса при использовании имаго ситотроги в качестве корма на последних стадиях развития / А.Э.С. Касем, А.И. Анисимов, Е.Г. Козлова // Роль молодых учёных в решении актуальных задач АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных (1-2 марта 2018 года). – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2018. – С. 23–26.

9. Анисимов, А.И. Выкармливание хищного клопа подизуса – *Podisus maculiventris* Say личинками трех видов насекомых из отряда Diptera / А.И. Анисимов, Е.Г. Козлова, **А.Э.С. Касем** // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. Становление и перспективы развития органического земледелия в Российской Федерации: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 11-13 сент. 2018 г.). Вып. 10. – Краснодар: ВНИИБЗР. – С. 153–156.