

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ
ПОВРЕЖДЕННОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОРОГ ВРЕДНОСТИ
ПОПУЛЯЦИЙ ПАУТИННОГО КЛЕЩА НА ЗЕМЛЯНИКЕЕ.К. ПОНОМАРЕНКО, С.Я. ПОПОВ¹, А.А. БАЙКОВ², М.С. ГИНС²

(¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
² Федеральный научный центр овощеводства)

Паутинные клещи рода Tetranychus повсеместно являются одними из значимых вредителей, повреждающих садовую землянику и множество других сельскохозяйственных культур. Одно из важных решений проблем управления популяциями вредителя – уметь идентифицировать пороги вредности этого вредителя, вызывающего при питании изменение окраски листьев растений.

Поскольку визуально весьма трудно определить степень повреждения листа паутинными клещами, авторы исследования обратились к обоснованному ими ранее инструментальному методу оценки поврежденности с помощью показателя относительной скорости электронного транспорта (rETR) на основе регистрации флуоресценции хлорофилла в листе. Были рассчитаны инструментальные пороги вредности вредителя: экономический уровень поврежденности (ЭУП) и экономический порог вредности (ЭПВ).

Исследования проведены в лаборатории на листьях земляники вазонной культуры при температуре воздуха $22 \pm 2^\circ\text{C}$, относительной влажности воздуха $75 \pm 10\%$, фотопериоде (L : D) 16:8 ч, а также на экспериментальном участке промышленной плантации земляники ЗАО «Совхоз им. Ленина» Московской области на фоне регистрации динамики численности особей на листьях. Одновременно с помощью флуориметра JUNIOR-PAM (Heinz Walz, Германия) измеряли динамику флуоресценции хлорофилла в листьях контрольных (без клещей) и опытных (поврежденных клещами) вариантов.

В результате на двух сортах промышленной земляники получили диапазон варьирования числового физиологического показателя, выражаемого через соотношение $rETR_{\max}$ между опытным и контрольным вариантами, равный 1,4–2,0 усл. ед., который соответствовал экономическому уровню поврежденности (ЭУП) листьев земляники. Последний показатель оказался сопоставимым с тем же показателем, полученным в лабораторных условиях, – 1,6. Экономический порог вредности (ЭПВ), сигнализирующий о начале истребительных обработок, если аргументированно предполагается, что численность вредителя достигнет или превысит значения ЭУП, также выражаемый через соотношение $rETR_{\max}$ между опытным и контрольным вариантами, оказался равным 1,1–1,2 усл. ед.

Авторы рекомендуют использовать предлагаемые инструментальные критерии вредности атлантического паутинного клеща на землянике. Мы полагаем, что этот подход можно использовать и в отношении других видов паутинных клещей, а также сосущих насекомых.

Ключевые слова: паутинный клещ, Tetranychidae, экономический уровень поврежденности, экономический порог вредности, флуориметр, флуоресценция хлорофилла, относительная скорость электронного транспорта (rETR), земляника.

Введение

В условиях Московской области атлантический паутинный клещ (*Tetranychus atlanticus* McGregor, 1941 (sensu Mitrofanov et al., 1987), Acari: Tetranychidae), которого нередко сводят в синоним туркестанского паутинного клеща (*Tetranychus turkestanii* Ugarov et Nikolski, 1937), является одним из основных вредителей земляники, регулярно приводящим к вспышкам массового размножения [6, 8, 9]. Он заселяет обширнейшую территорию России и часть Западной Европы [7, 9]. В связи с этим весьма важно оценивать характер и степень вредоносности этого вредителя.

Размножаясь в большом количестве, особи паутинных клещей приводят к потере хлорофилла и снижению фотосинтетической активности листьев повреждаемых растений [17, 18, 25, 28]. В листьях земляники, поврежденных паутинным клещом, наблюдаются следующие изменения фотосинтетического аппарата: трансформация структуры хлоропластов, уменьшение концентрации хлорофилла, частичное ингибирование фотосинтеза и проводимости устьиц, сокращение устьичной (в дневное время) транспирации и увеличение кутикулярной (в ночное время) транспирации. Повреждения приводят к преждевременному старению листьев и снижению в них содержания азота [14, 18]. Повреждение клеток происходит до проявления повреждения. Основным местом повреждения при питании паутинного клеща может быть пул пластохинонов (QA), который играет важную роль в переносе электронов во время фотосинтеза [15].

Выяснили, что при малой плотности клещевого поражения, когда уровень повреждения листовой пластинки невелик, оводненность листьев в большей степени зависит от активности питания клеща, нежели от площади повреждения листа; наблюдаемое снижение суммарного содержания антиоксидантов и одновременное увеличение светосуммы высокотемпературной полосы термолюминесценции может свидетельствовать о деградации мембранных липидов в результате окислительного стресса [13]. Также изучено изменение люминесцентных характеристик и суммарного содержания антиоксидантов в листьях садовой земляники (*Fragaria × ananassa* Duch.) сорта Ред Гонтлет при поражении их атлантическим паутинным клещом [1]. На ранней стадии повреждения растений клещом содержание хлорофилла не менялось, но при этом снижалось суммарное содержание антиоксидантов и происходила деградация мембранных липидов в результате окислительного стресса. Наблюдаемая кинетика нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла объяснялась слабым разобщающим действием клещевого повреждения на тилакоидные мембраны с частичным увеличением их проницаемости [1].

Характер повреждения растений паутинными клещами исследовался разными методами. Пороги вредоносности широко распространенных видов паутинных клещей на разных культурах были весьма контрастными. Например, на сое за экономический уровень поврежденности обыкновенного паутинного клеща (*Tetranychus urticae* Koch) (EIL – economic injury level) в условиях Бразилии принимали 13% хлороза поверхности листа [29]. На той же культуре EIL оценивали как проявление начальных симптомов в виде желтой окраски, при этом было подсчитано, что в условиях Бразилии плотность популяции обыкновенного паутинного клеща (из расчета 1 клещ на 1 см² вызывала сокращение 1 стручка на растение, две зерновки в стручке, снижение урожайности с 1 га на 4,2 кг [24]. Земляника как сельскохозяйственная культура была признана чрезвычайно выносливой к повреждениям паутинного клеща. В специальном эксперименте в условиях штата Нью-Йорк (США) исследователи не смогли обнаружить влияние плотности популяции обыкновенного паутинного клеща (*T. urticae*) при 10 особях на листовую пластинку на урожайность. Исследователи предположили, что для определения EIL пороговые значения вредителя могут быть повышены по крайней мере до 10, чтобы химическая обработка оказалась оправданной [19].

В отечественных ранних исследованиях поврежденность листьев растений традиционно оценивалась в баллах поврежденности. Согласно исследованиям С.Я. Попова (2003) [8] за 2 балла принимали поврежденность листовой пластинки тройчатого листа земляники в пределах 6–25%, за 3 балла – 26–50%, за 4 балла – 51–75%, за 5 баллов – свыше 75%. Им же было высказано мнение о том, что при численности 30 постэмбриональных особей паутинного клеща на листовую пластинку земляники степень поврежденности листьев не превышала трех баллов, и это практически не уменьшало урожайность этой толерантной культуры [8]. Степень поврежденности листьев, соответствующая 4 и 5 баллам, проявлялась при численности паутинных клещей около 40 постэмбриональных особей в расчете на 1 листовую пластинку [8]. Данный экспериментально полученный показатель, зафиксированный в период роста плодов земляники, мог служить своего рода эталоном при измерении физиологических показателей поврежденности листьев земляники. Однако все это относилось к визуальным способам оценки поврежденности растений паутинными клещами.

Заслуживают внимания разработанная спектральная классификация плотности популяции клеща и класса плотности популяции клеща и использование спектроскопии видимого/ближнего инфракрасного отражения (VNIR) для обнаружения повреждения обыкновенного паутинного клеща (*T. urticae*) (Acari: Tetranychidae) на землянике [20]. Широко развиваются технологии удаленного мониторинга [31]. Например, заявлен метод обработки изображений, сделанных камерой, для определения уровня повреждений огурца в теплице, вызванных обыкновенным паутинным клещом (*T. urticae*), при разной численности особей [30].

Среди классических инструментальных методов оценки поврежденности все более широко распространяется метод флуоресценции хлорофилла [1, 16, 21, 22, 23]. Это обусловлено тем, что наблюдаемые симптомы повреждения листьев паутинными клещами на начальном этапе повреждения могут быть неспецифичными, а методы биохимического анализа и термолюминесценции приводят к разрушению образца, являясь при этом трудоемкими и дорогими [13]. При регистрации флуоресценции хлорофилла образец не разрушается, поэтому данный метод может применяться для диагностики физиологического состояния растений в различных условиях [3, 12]. Однако вплоть до наших исследований интерпретация показателей флуоресценции хлорофилла в отношении оценки вредоносности паутинных клещей рода *Tetranychus* была достаточно пестрой и противоречивой.

В предварительных исследованиях выбора показателя степени повреждения листьев земляники паутинными клещами нами использовались три параметра: величина $Y(II)$ (действительный квантовый выход фотохимических реакций в ФС II на свету), величина NPQ (нефотохимическое тушение флуоресценции) и величина $rETR$ (относительная скорость электронного транспорта). В рамках этих исследований выяснили, что величина максимальной относительной скорости электронного транспорта ($rETR_{max}$) более чувствительна к повреждению, чем остальные названные величины. На ее использовании мы и остановились [4, 5, 10].

Материал и методика исследований

Объектом исследований являлся атлантический паутинный клещ *Tetranychus atlanticus* McGregor, 1941 (sensu Mitrofanov et al., 1987) (Acari: Tetranychidae) [2], обитающий на травянистых растениях на большой территории России, в том числе заселяющий плантации земляники садовой ЗАО «Совхоз им. Ленина» Ленинского района Московской области.

Исследования степени поврежденности листьев земляники садовой паутинным клещом с целью оценки на основе инструментального физиологического критерия

проводили в заданных лабораторных условиях и на выделенном весной экспериментальном участке размером 20 × 30 м промышленной плантации земляники в полевых условиях на территории ЗАО «Совхоз им. Ленина» Ленинского района Московской области; здесь же фиксировали и динамику численности популяции паутиного клеща.

В лабораторных условиях (температура воздуха – 22 ± 2 °С, относительная влажность воздуха – $75 \pm 10\%$, фотопериод (L: D) – 16:8 ч) растения земляники выращивали в пластиковых контейнерах на удобренном почвенно-торфяном субстрате. Растения земляники сорта Царица с полностью раскрывшимися листовыми пластинками заселяли половозрелыми самками атлантического паутиного клеща из расчета 1 самка/листовая пластинка. Динамику численности особей паутиного клеща регистрировали один раз в каждые 3 дня [10]. Оценку реакции земляники на поврежденность со стороны паутиных клещей проводили на основе определения флуоресценции хлорофилла. В качестве инструментального критерия использовали величину относительной скорости электронного транспорта (rETR), которая показала большую чувствительность по сравнению с другими подобными показателями: действительным квантовым выходом фотохимических реакций в ФС II на свету (Y(II)) и нефотохимическим тушением флуоресценции (NPQ) [4, 5, 10].

Измерения флуоресценции хлорофилла в листьях осуществляли с помощью РАМ-флуориметра модели JUNIOR-PAM [4]. Ее величины легли в основу инструментального критерия экономического уровня поврежденности (ЭУП) (economical injury level – EIL) и экономического порога вредоносности (ЭПВ) (economical threshold – ET).

Отметим, что первый показатель показывает экономически значимую степень повреждения, а второй служит показателем, сигнализирующим о начале истребительных обработок, если аргументированно предполагается, что численность вредителя достигнет или превысит значения ЭУП [11, 27, 26].

Несмотря на то, что EIL можно рассчитывать, включая в формулу расчета стоимостные характеристики [24], мы остановились на степени повреждения листьев, соответствующей 4 и 5 баллам, которая проявляется при численности паутиных клещей около 40 постэмбриональных особей в расчете на 1 листовую пластинку тройчатого листа земляники [8].

В полевых условиях сезонную динамику численности паутиных клещей и степень поврежденности листьев с их стороны фиксировали на сортах садовой земляники Ред Гонтлет и Хоней в 2014–2015 гг. Погодные условия в указанные вегетационные сезоны являлись благоприятными для развития и размножения паутиных клещей на землянике.

Отбор поврежденных и неповрежденных одновозрастных полностью сформированных листьев земляники осуществляли еженедельно, начиная с третьей декады мая, когда завершался рост новых весенних листьев. Флуоресцентные показатели измеряли на приборе JUNIOR-PAM (Heinz Walz, Германия) и производили расчет величины относительной скорости электронного транспорта (rETR) на указанных двух категориях листьев согласно работе К. Максвелла и Дж.Н. Джонсона (Maxwell K., Johnson G.N., 2000) [23]. При этом тестируемые образцы предварительно адаптировали к темноте в течение 30 мин. В те же дни под бинокулярным микроскопом подсчитывали плотность популяции паутиных клещей в среднем на 50 листьях. При этом регистрировали все возрастные стадии паутиного клеща, постэмбриональных особей, повреждающих растение-хозяина, суммировали.

Результаты и их обсуждение

Результаты наших исследований, включающие в себя динамику численности паутиных клещей на землянике и динамику rETR в лабораторных и полевых условиях, частично изложены в работах [4, 5, 10]. Однако в них не указаны измеренные величины

относительной скорости электронного транспорта (гЕТР), на основе которых можно осуществить расчеты экономического уровня поврежденности (ЭУП) и экономического порога вредоносности (ЭПВ). В связи с этим нами вновь представлены рисунки, частично изложенные ранее [10], однако теперь в них введены величины гЕТР по мере нарастания численности паутинных клещей и степени поврежденности листьев земляники садовой.

В лабораторных условиях были получены следующие значения гЕТР (рис. 1).

Величина максимальной относительной скорости электронного транспорта (гЕТР_{max}), зафиксированная на поврежденных паутинным клещом листьях земляники сорта Царица с 5 по 12 июля при численности от 6,2 до 18,5 постэмбриональных особей клеща на листовую пластинку, составила 15,9 усл. ед., тогда как на неповрежденных листьях (контроль) – 10,3 усл. ед. Тогда показатель соотношения гЕТР_{max} опытного и контрольного вариантов составит 1,54.

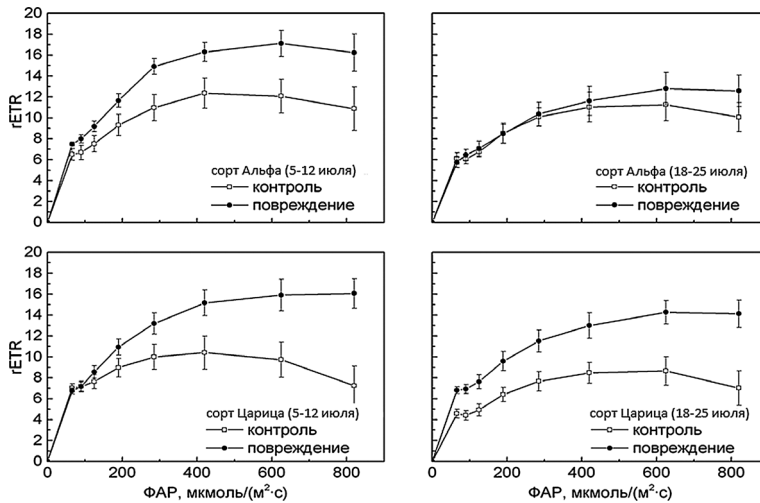


Рис. 1. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта (гЕТР) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР)

На листьях земляники с 18 по 25 июля при численности от 31,5 до 40,4 постэмбриональных особей клеща на листовую пластинку гЕТР_{max} на поврежденных листьях составила 14,1 усл. ед., тогда как в контроле – 8,7 усл. ед. Тогда показатель соотношения гЕТР_{max} опытного и контрольного вариантов соответствует 1,62. Отсюда следует, что экономический уровень поврежденности предварительно может быть принят равным указанному числу – 1,62. (Акцентируем внимание на том, что указанный ЭУП проявился при плотности колонии клещей 40 постэмбриональных особей на 1 листовую пластинку.)

Далее этот показатель флуоресценции был исследован в полевых условиях на экспериментальном участке промышленной плантации земляники ЗАО «Совхоз им. Ленина». Приведем данные динамики численности атлантического паутинного клеща в 2014 г. на сорте земляники Ред Гонтлет и в 2015 г. – на сорте Хоней. Одновременно предоставим измерения гЕТР начиная со второй декады июня указанных сезонов.

Перезимовавшие самки атлантического паутинного клеща традиционно для Московской области начинали реактивироваться и питаться на листьях земляники в третьей декаде апреля при наступлении максимальных дневных температур воздуха 13–14°C [7] (рис. 2). Самцы и самки нового поколения в массе отрождались в конце мая-середине июня. Благодаря этому далее происходило значительное увеличение их численности. Однако до второй декады июня ввиду невысоких температур, а также вертикального ярусного перераспределения клещей по растению плотность популяций паутинного

клеща повышалась незначительно, составив от 5 до 7,5 особей/листочек. С приходом более высоких температур максимальная численность фитофага в 2014 и 2015 гг. к середине июля достигала 39,8 и 40,6 постэмбриональных особей в расчете на листовую пластинку земляники в среднем соответственно (рис. 2). После достижения пика численность паутиных клещей равномерно снижалась. К середине третьей декады августа вследствие уменьшения фотопериода появлялись диапаузирующие самки, и популяции в целом завершали свою вредоносную деятельность на растениях.

Что касается повреждаемости листьев земляники со стороны атлантического паутинового клеща, то в весенний и раннелетний периоды в связи с низкой плотностью популяции симптомы повреждения практически отсутствуют. По мере размножения особей в вогнутых впадинах листьев, где концентрируются и питаются особи фитофага, проявляются некротические пятна, которые со временем увеличиваются и могут сливаться.

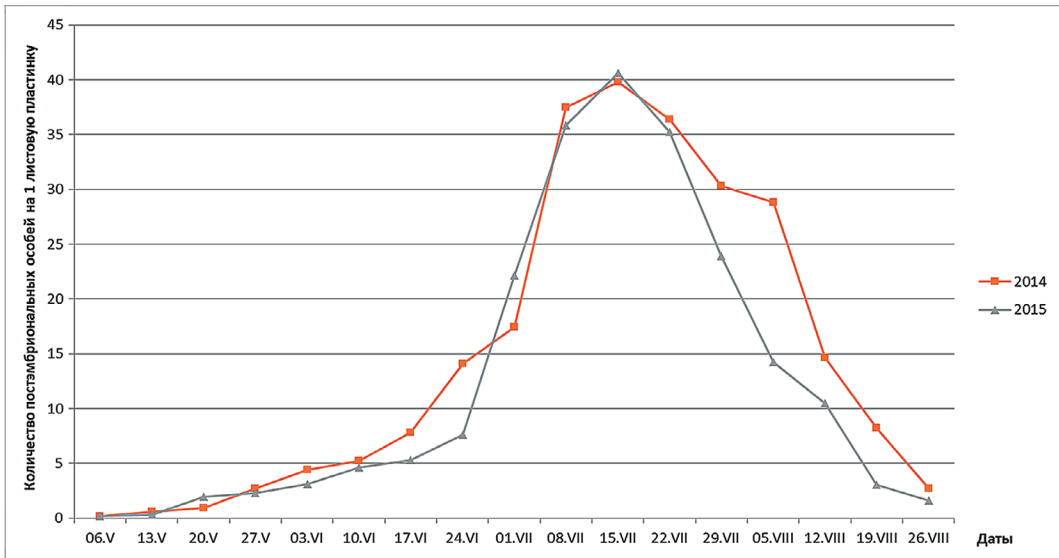


Рис. 2. Динамика численности атлантического паутинового клеща на плантациях земляники в 2014–2015 гг., ЗАО «Совхоз им. Ленина» Ленинского района Московской области

В 2014 г. флуоресцентные характеристики листьев, повреждаемых паутиным клещом, выражаемые через показатель гETR, измеряли с 11 июня по 23 июля. Как уже отмечалось, в качестве контроля использовали листья без наличия паутиных клещей и визуальных признаков повреждения.

На рисунках 3–7 приведены величины скорости электронного транспорта (гETR) в период проявления видимой вредоносности атлантического паутинового клеща на листьях земляники садовой сорта Ред Гонтлет в 2014 г.

Как следует из рисунка 3, максимальная относительная скорость электронного транспорта (гETR_{max}) на 11 июня 2014 г. при численности паутиных клещей, равной 5,2 постэмбриональных особей на листовую пластинку, на поврежденных листьях оказалась равной 21,8 усл. ед., тогда как на контрольных листьях – 19,2 усл. ед. Показатель соотношения гETR_{max} опытного и контрольного вариантов составил 1,13.

На 27 июня 2014 г. на поврежденных листьях при плотности популяции паутинового клеща, равной 14,6 постэмбриональных особей на листовую пластинку, этот показатель оказался равным 33,2 усл. ед., на контрольных листьях – 26,3 усл. ед. Соответственно показатель соотношения гETR_{max} опытного и контрольного вариантов оказался равным 1,26 (рис. 4).

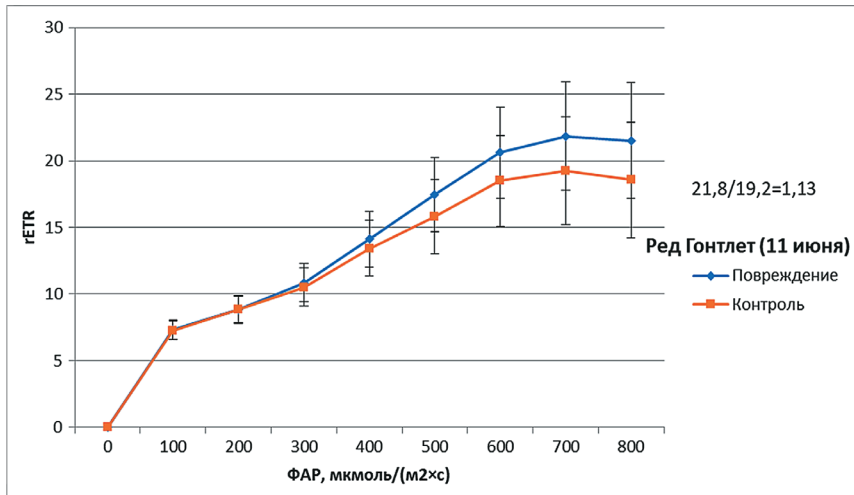


Рис. 3. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта (rETR) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 11 июня 2014 г.

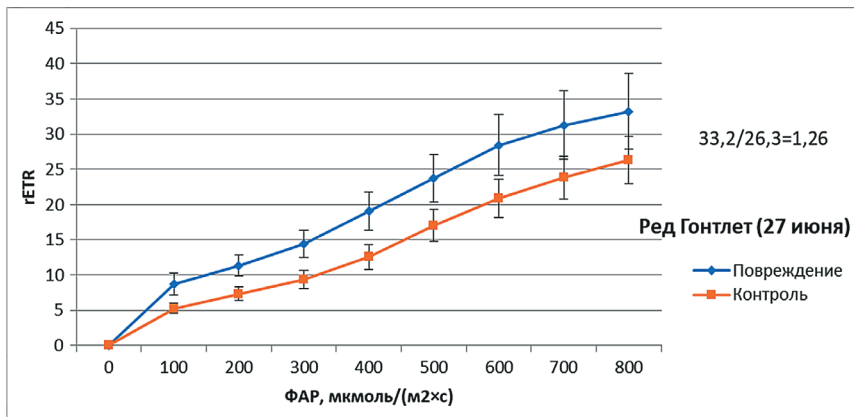


Рис. 4. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта (rETR) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 27 июня 2014 г.

На 9 июля 2014 г. вследствие отрастания новой летней волны листьев на поврежденных весенних листьях при плотности популяции *T. atlanticus*, равной 37,5 постэмбриональных особей на листовую пластинку, этот показатель составил 42,5 усл. ед., тогда как на контрольных новых листьях – 20,7 усл. ед. (рис. 5). Показатель соотношения $rETR_{\text{max}}$ опытного и контрольного вариантов составил 2,05.

На рисунке 6 представлены различия rETR на 16 июля 2014 г. На поврежденных листьях при численности клещей 39,8 постэмбриональных особей на листовую пластинку этот показатель оказался равным 36,6 усл. ед., на контрольных листьях – 26,0 усл. ед. Тогда показатель соотношения $rETR_{\text{max}}$ опытного и контрольного вариантов соответствует 1,41.

На рисунке 7 представлены различия rETR 23 июля 2014 г. На поврежденных листьях при плотности клещей 36,4 постэмбриональных особей на листовую пластинку $rETR_{\text{max}}$ достиг 37,3 усл. ед., на контрольных листьях – 26,3 усл. ед. Соответственно соотношение двух показателей оказалось равным 1,42.

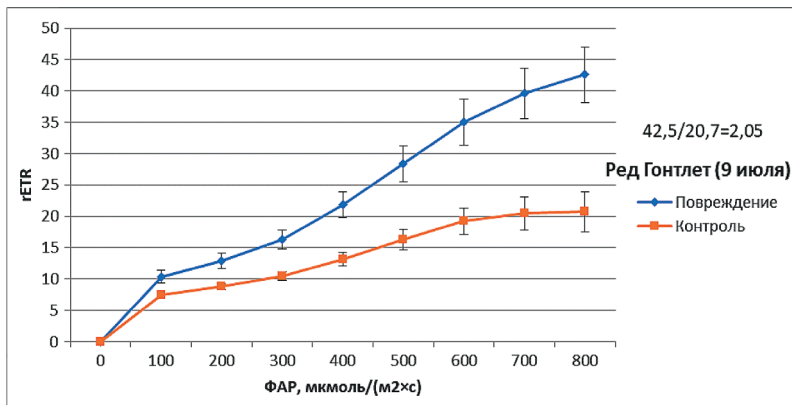


Рис. 5. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта (rETR) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 9 июля 2014 г.

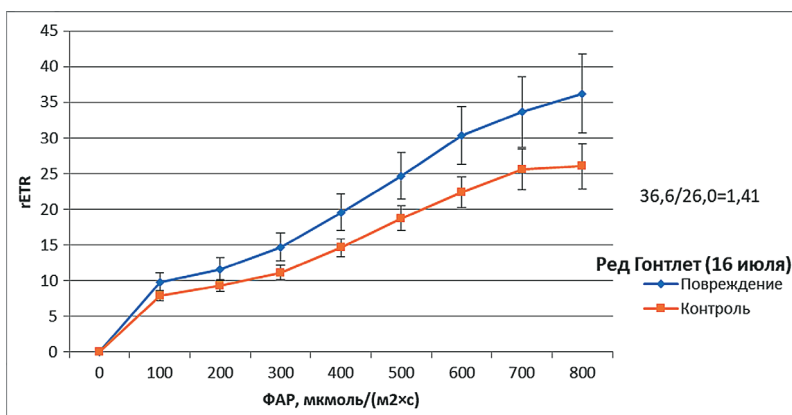


Рис. 6. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта (rETR) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 16 июля 2014 г.

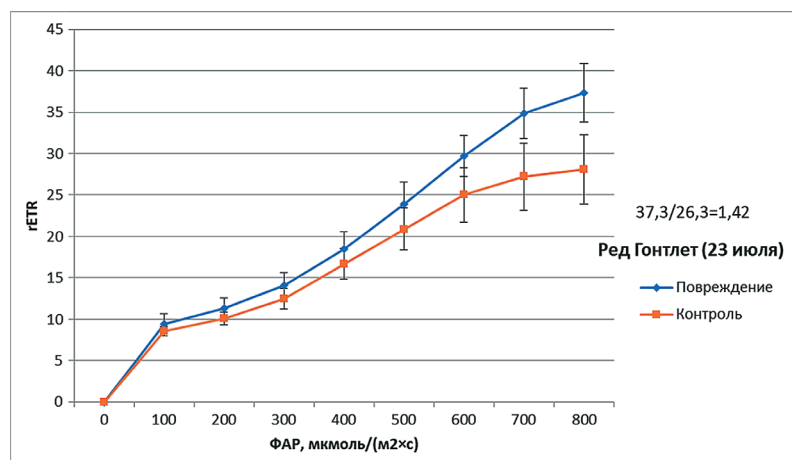


Рис. 7. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта (rETR) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 23 июля 2014 г.

В 2015 г. на экспериментальном участке промышленной плантации земляники ЗАО «Совхоз им. Ленина» на сорте Хоней также пик динамики численности популяции атлантического паутиного клеща пришелся на середину июля, а плотность популяции, приближенная к пороговому значению, отмечалась с 8 по 22 июля. По аналогии с 2014 г. по каждому учету, с 18 июня до 16 июля, приведены флуоресцентные характеристики повреждаемых вредителем и свободных от него листьев (рис. 8–13).

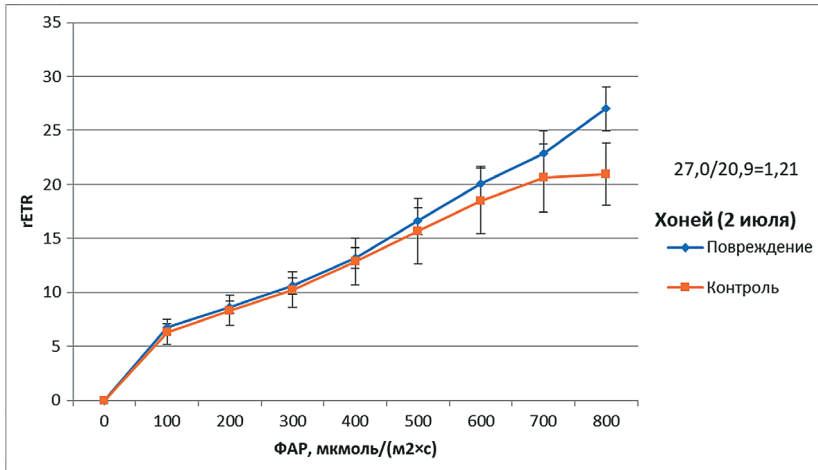


Рис. 8. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта (rETR) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 18 июня 2015 г.

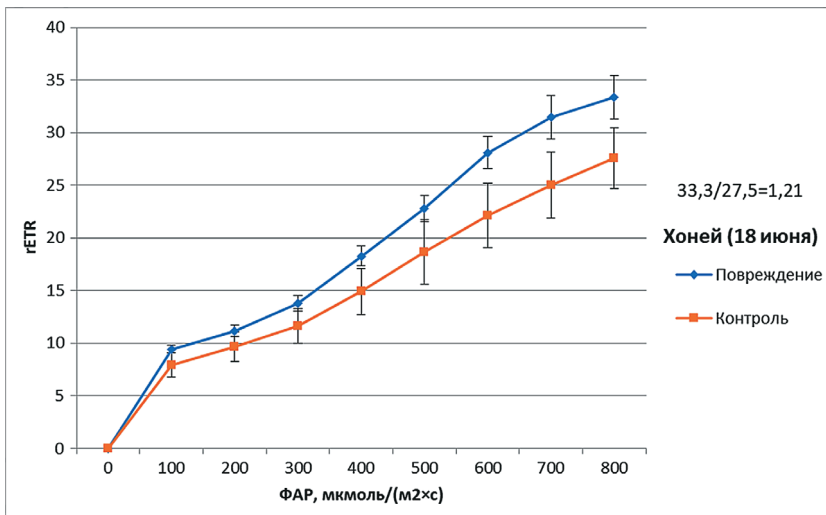


Рис. 9. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта (rETR) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 2 июля 2015 г.

На рисунке 8 представлены скорости электронного транспорта на 18 июня. На эту дату плотность популяции атлантического паутиного клеща составила 5,3 постмбриональных особей в расчете на листовую пластинку.

Показатель $rETR_{max}$ на поврежденных листьях составил 33,3 усл. ед., на контрольных листьях – 27,5 усл. ед. Показатель соотношения $rETR_{max}$ опытного

и контрольного вариантов оказался равным 1,21. Последний показатель сопоставим с таковыми в 2014 г., пришедшимися на сорте Ред Гонтлет, на 11 июня и 27 июня.

На рисунке 9 представлены величины $rETR$ на 2 июля 2015 г. В варианте с поврежденными листьями земляники скорость электронного транспорта ($rETR_{max}$) при численности постэмбриональных особей 22,1 в расчете на листовую пластинку составила 27,0 усл. ед., тогда как в контрольном варианте – 20,9 усл. ед. Соответственно соотношение этих двух величин в опытном и контрольном варианте оказалось равным 1,21.

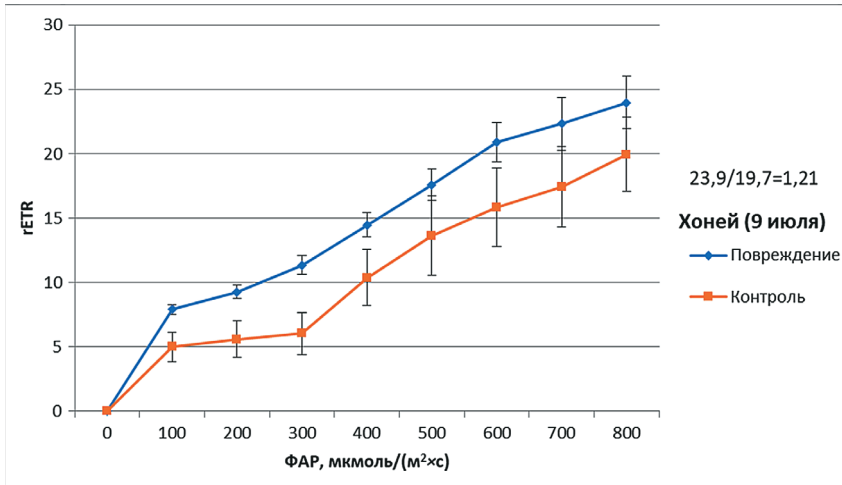


Рис. 10. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта ($rETR$) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 9 июля 2015 г.

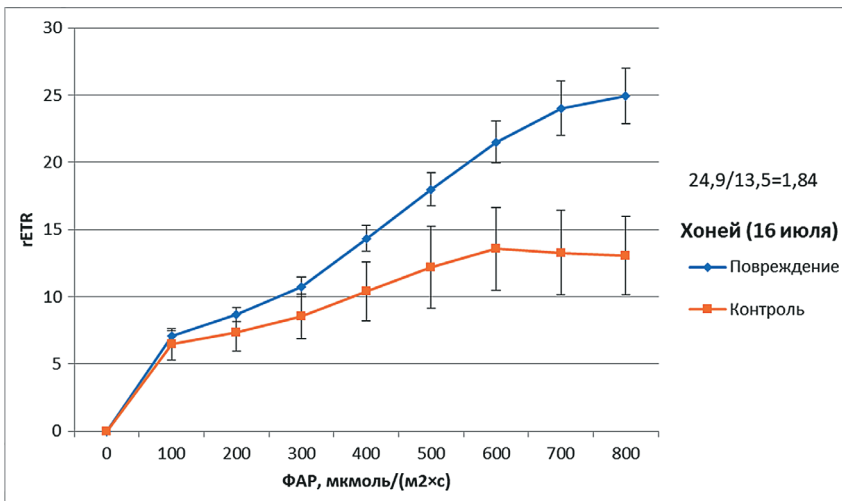


Рис. 11. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта ($rETR$) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) землянике 16 июля 2015 г.

На рисунке 10 изображены величины $rETR$ в опытном и контрольном вариантах на 9 июля 2015 г. На листьях с клещами при плотности популяции *T. atlantica*, равной 35,8 постэмбриональных особей в расчете на листовую пластинку, этот

показатель был равен 23,9 усл. ед., на контрольных листьях – 19,7 усл. ед. Показатель соотношения $gETR_{max}$ опытного и контрольного вариантов составил 1,21.

На 16 июля 2015 г. величина $gETR_{max}$ на поврежденных листьях при плотности популяции *T. atlanticus*, равной 40,6 постэмбриональных особей на листовую пластинку, показала 24,9 усл. ед., на контрольных листьях – 13,5 усл. ед. (рис. 11). Показатель соотношения $gETR_{max}$ опытного и контрольного вариантов составил 1,84.

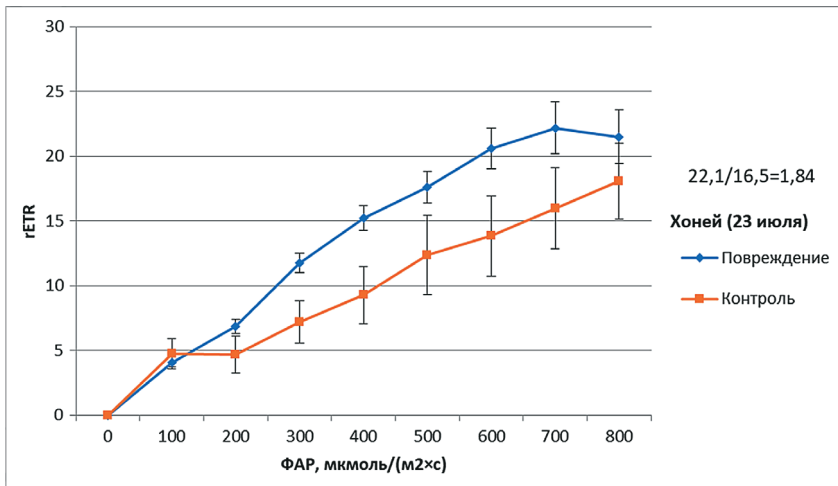


Рис. 12. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта ($gETR$) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 23 июля 2015 г.

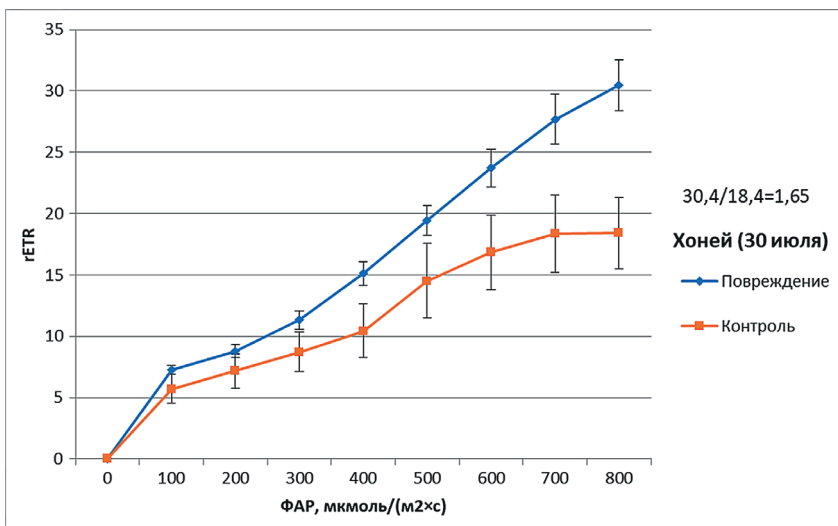


Рис. 13. Влияние клещевого повреждения на относительную скорость электронного транспорта ($gETR$) при разной интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) на землянике 30 июля 2015 г.

Как следует из рисунка 12, эти же показатели на 23 июля 2015 г. при плотности популяции атлантического паутиного клеща 35,2 постэмбриональных особей в расчете на листовую пластинку земляники составили 22,1 и 16,5 усл. ед. соответственно. Показатель соотношения $gETR_{max}$ опытного и контрольного вариантов составил 1,84.

На рисунке 13 представлены различия гЕТР на 30 июля 2015 г. На поврежденных листьях при плотности популяции *T. atlanticus*, равной 23,9 постэмбриональных особей на листовую пластинку, этот показатель равен 30,4 усл. ед., на контрольных листьях – 18,4 усл. ед. Тогда показатель соотношения гЕТР_{max} опытного и контрольного вариантов составит 1,65.

Выводы

В лабораторных условиях максимальная относительная скорость электронного транспорта (гЕТР_{max}) на поврежденных листьях имела меньшие значения, чем в полевых условиях, где листья подвергались разнонаправленному действию множества факторов и где клещевое повреждение являлось одним из них. Поэтому по величинам гЕТР_{max} на поврежденных листьях расчет ЭУП может привести к занижению последнего. Однако показатель соотношения гЕТР_{max} между опытным и контрольным вариантами вполне можно принимать в расчет, поскольку опытные и контрольные растения подвергались одинаковому воздействию остальных факторов, что позволяет вычленить воздействие паутинного клеща.

В полевых условиях максимальная относительная скорость электронного транспорта (гЕТР_{max}) на поврежденных листьях при плотности популяции паутинных клещей, близкой к ЭУП в наших исследованиях – от 30 до 40 особей в расчете на листовую пластинку), скорее всего зависела от сорта земляники. В частности, на сорте Ред Гонтлет величины гЕТР_{max} на поврежденных клещами листьях соответствовали примерно 37 усл. ед., а соотношение гЕТР_{max} между опытным и контрольным вариантами оказалось равным 1,4.

На сорте Хоней величины гЕТР_{max} на поврежденных клещами листьях в среднем находятся в пределах от 22 до 30,4 усл. ед., а соотношение гЕТР_{max} между опытным и контрольным вариантами – в пределах от 1,6 до 1,8 усл. ед. На раннем учете, когда, например, весенние листья отживают и грубеют от возраста, величина гЕТР_{max} на поврежденных клещами листьях, даже когда плотность популяции паутинных клещей только достигает пиковых значений, может незначительно превышать такую на неповрежденных клещами листьях (легкое стресс-стимулирующее действие), как это показал учет на 27 июня 2015 г. В этом случае величина гЕТР_{max} на поврежденных клещами листьях оказывается в пределах диапазона значений, но соотношение гЕТР_{max} между опытным и контрольным вариантами может быть заниженным.

Если инструментальный критерий оценивать в диапазоне экспериментально полученных нами величин гЕТР_{max}, находящихся в пределах от 22 до 30 усл. ед., зафиксированных на поврежденных паутинными клещами листьях, что соответствует экономическому уровню поврежденности листьев земляники (ЭУП), то инструментальный критерий, выражаемый через соотношение гЕТР_{max} между опытным и контрольным вариантами, окажется в пределах от 1,4 до 2,0 усл. ед. Отметим, что последний показатель сопоставим с исследованием, выполненным в лабораторных условиях (1,6).

В случае руководства рекомендацией, заключающейся в том, что экономический порог вредоносности (ЭПВ), служащий сигналом к истребительной обработке вредителя, как правило, должен соответствовать 5–7 постэмбриональным особям на листовую пластинку ягодной и плодовой культуры, то, по полученным экспериментальным измерениям 2014 г., показатель соотношения гЕТР_{max} опытного и контрольного вариантов должен соответствовать 1,13. В 2015 г. при плотности популяции *T. atlanticus* 5,3 постэмбриональных особей в расчете на листовую пластинку на 18 июня данный показатель достигал величины 1,21. Из этого следует, что ЭПВ

через показатель соотношения $gETR_{max}$ опытного и контрольного вариантов в зависимости от сорта можно обозначать в пределах 1,1–1,2.

Авторы рекомендуют использовать предлагаемые инструментальные критерии вредоносности атлантического паутинного клеща на землянике. Мы полагаем, что этот подход можно использовать и в отношении других видов паутинных клещей, а также сосущих насекомых.

Библиографический список

1. Байков А.А., Караваяев В.А., Попов С.Я., Квитка А.Ю., Левыкина И.П., Солнцев М.К., Тихонов А.Н. Люминесцентные характеристики листьев земляники на ранних стадиях повреждения растений паутинным клещом // Биофизика. – 2013. – Т. 58, № 2. – С. 321–328.
2. Митрофанов В.И., Стрункова З.И., Лившиц И.З. Определитель тетраниховых клещей фауны СССР и сопредельных стран: М. – Душанбе: Дониш, 1987. – 224 с.
3. Пахненко Е.П., Вацадзе Н.С., Глазунова С.А., Караваяев В.А., Байков А.А., Солнцев М.К. Ранняя диагностика физиологического состояния растений люминесцентными методами при разных условиях питания // Вестник Московского университета. – Серия 17 «Почвоведение». – 2012. – № 2. – С. 8–13.
4. Пономаренко Е.К., Попов С.Я., Байков А.А., Гинс М.С. Инструментальная оценка поврежденности плодоносящей земляники паутинным клещом // Селекция и семеноводство овощных культур. – 2015. – № 46. – С. 468–474.
5. Пономаренко Е.К., Попов С.Я., Байков А.А. Физиологические аспекты повреждения растений паутинным клещом *Tetranychus atlanticus* McGregor // Сборник материалов Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – 2015. – С. 65–67.
6. Попов С.Я. К идентификации местообитания паутинных клещей (Acari-formes, Tetranychidae) по биологическим показателям // Зоологический журнал. – 1994. – Т. 73, № 7–8. – С. 31–41.
7. Попов С.Я. Экологические основы ограничения численности и вредоносности основных вредителей плодоносящей земляники: малинно-земляничного долгоносика и паутинных клещей: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 1997. – 36 с.
8. Попов С.Я. Многолетние показатели сезонного развития паутинных клещей рода *Tetranychus* Dufour, 1832 (Acari-formes, Tetranychidae) на землянике в Московской области // Энтомологическое обозрение. – 2003. – Т. 82, № 1. – С. 71–85.
9. Попов С.Я. Таксономический статус ряда видов паутинных клещей рода *Tetranychus* (Acari, Tetranychidae) и репродуктивные барьеры при скрещивании морфологически близких и отдаленных видов // Экологические аспекты ограничения вредоносности популяций насекомых и клещей. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – С. 224–259.
10. Попов С.Я., Пономаренко Е.К., Гинс М.С., Байков А.А. Анализ различных параметров флуоресценции хлорофилла в листьях земляники садовой при повреждении атлантическим паутинным клещом *Tetranychus atlanticus* McGregor // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. XXXXVI. – С. 323–329.
11. Попов С.Я., Попова Т.А. Новые подходы к концепции экономического порога вредоносности в интегрированной защите растений // Материалы XV съезда Русского энтомологического общества, Новосибирск, 31 июля – 7 августа 2017 г. – Новосибирск: «Издательство Гарамонд», 2017. – С. 400–401.
12. Шафигуллин Д.Р., Байков А.А., Гинс М.С., Пронина Е.П., Пивоваров В.Ф., Солдатенко А.В., Романова Е.В. Связь индукционных изменений флуоресцентных

- показателей листьев сои *Glycine max* (L.) Merr. с биохимическими характеристиками и продуктивностью // Биофизика. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 338–349.
13. *Baikov A.A., Kvitka A.Yu., Popov S.Ya., Gins M.S., Solntsev M.K.* Effects of biotic stress (spider mite injury) on leaf water status, total antioxidant capacity and lipid peroxidation in strawberry plants // *Izvestiya TSKhA.* – 2012. – Special issue. – Pp. 113–115.
14. *Bondada B.R., Oosterhuis D.M., Tugwell N.P., Kim K.S.* Physiological and cytological studies of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch, injury in cotton // *Southwestern Entomologist.* – 1995. – V. 20. – Pp. 171–180.
15. *Bounfour M., Tanigoshi L.K., Chen C., Cameron S.J., Klauer S.* Chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in red raspberry leaves infested with *Tetranychus urticae* and *Eotetranychus carpini borealis* (Acari: Tetranychidae) // *Environmental Entomology.* – 2002. – V. 31, № 2. – Pp. 215–220.
16. *Bueno A.F., Bueno R.C.O.F., Nabity P.D., Higley L.G., Fernandes O.A.* Photosynthetic response of soybean to twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) injury // *Brazilian archives of biology and technology.* – 2009. – V. 52, № 4. – Pp. 825–834.
17. *Chacon-Hernandez J.C., Camacho-Aguilar I., Cerna-Chavez E., Ordaz-Silva S., Ochoa-Fuentes Y.M., Landeros-Flores J.* Effects of *Tetranychus urticae* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Tetranychidae: Phytoseiidae) on the chlorophyll of rose plants (*Rosa* sp.) // *Agrociencia.* – 2018. – V. 52, № 6. – Pp. 895–909.
18. *De Angelis J.D., Larson K.C., Berry R.E., Krantz G.W.* Effects of spider mite injury to transpiration and leaf water status in peppermint // *Environ. Entomol.* – 1982. – V. 11. – Pp. 975–978.
19. *English-Loeb G., Hesler S.* Economic impact of the two-spotted spider mites (*Tetranychus urticae*) on strawberries grown as a perennial // *New York fruit quarterly.* – 2004. – V. 12, № 4. – Pp. 17–20.
20. *Fraulo A.B., Cohen M., Liburd O.E.* Visible/near infrared reflectance (VNIR) spectroscopy for detecting twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) damage in strawberries // *Environmental Entomology.* – 2009. – V. 38, Is. 1. – Pp. 137–142.
21. *Latrou G., Cook C.M., Stamou G., Lanaras T.* Chlorophyll fluorescence and leaf chlorophyll content of bean leaves injured by spider-mites (Acari: Tetranychidae) // *Exp. Appl. Acarol.* – 1995. – V. 19. – Pp. 581–591.
22. *Makaraci A.Z., Flore J.A.* Determination of physical damage thresholds of strawberry leaves (*Fragaria* × *ananassa* cv. Honeoye) // *Journal of Food, Agriculture & Environment.* – 2012. – V.10, № 1. – Pp. 376–380.
23. *Maxwell K., Johnson G.N.* Chlorophyll fluorescence – a practical guide // *J. Exper. Botany.* – 2000. – V. 51. – Pp. 659–668.
24. *Padilha G., Fiorin R.A., Filho A.C., Pozebon H., Rogers J., Marques R.P., Castilhos L.B., Donatti A., Stefanelo L., Burtet L.M., Stacke R.F., Guedes J.V.C., Arne-mann J.A.* Damage assessment and economic injury level of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* in soybean // *Pesq. Agropec. Bras., Brasília.* – 2020. – V. 55.
25. *Park Y. – L., Lee J. – H.* Leaf cell and tissue damage of cucumber caused by twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) // *Econ. Entomol.* – 2002. – V. 95, № 5. – Pp. 952–957.
26. *Pedigo L.P., Rice M.E., Krell R.K.* Entomology and pest management. 7-th ed. Long Grove, IL: Waveland Press, Inc., 2021. – 584 p.
27. *Popov S.Ya.* Economic injury level and economic threshold in IPM for strawberries / XXV International Congress of Entomology. 25–30 th September, 2016. – Orlando (USA).

28. Sances F.V., Wyman J.A., Ting J.P., van Steenwyk R.A., Oatman E.R. Spider mite interactions with photosynthesis, transpiration and productivity of strawberry // *Environ. Entomol.* – 1981. – V. 10. – Pp. 442–448.

29. Suekane R., Degrande P.E., de Melo E.P., Bertonecello T.F., dos Santos de Lima Junior I., Kodama C. Damage level of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in soybeans // *Revista Ceres.* – 2012. – V. 59, № 1. – Pp. 77–81.

30. Uygun T., Ozguven M.M., Yanar D. A new approach to monitor and assess the damage caused by two-spotted spider mite // *Exp. and Appl. Acarol.* – 2020. – V. 82. – Pp. 335–346.

31. Zhang J., Huang Y., Pu R., Gonzalez-Moreno P., Yuan L., Wu K., Huang W. Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review // *Computers and Electronics in Agriculture.* – 2019. – V. 165.

INSTRUMENTAL ECONOMIC INJURY LEVEL AND ECONOMIC THRESHOLD OF SPIDER MITE POPULATIONS ON STRAWBERRIES

E.K. PONOMARENKO, S.YA. POPOV¹, A.A. BAYKOV², M.S. GINS²

(¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
² Federal Scientific Vegetable Center)

Spider mites of the genus Tetranychus are universally one of the significant pests that damage garden strawberries and many other crops. One of the important problems of the pest population management is to be able to identify the thresholds of this pest, which, when feeding, causes a change in the color of plant leaves.

Since it is very difficult to determine visually the level of leaf damage by spider mites, the authors of the study turned to the previously substantiated instrumental method for assessing damage using the relative electron transport rate (rETR) based on chlorophyll fluorescence detection in the leaf. Instrumental thresholds of pest damage were calculated: the economic injury level (EIL) and the economic threshold (ET).

Studies were carried out in the laboratory on the leaves of strawberry grown in containers at temperature of $22 \pm 2^\circ\text{C}$, relative humidity of $75 \pm 10\%$, photoperiod (L : D) 16:8 h, as well as on the experimental plot of the strawberry plantation of JSC “Lenin Sovkhoz” (Moscow region); registration of the population dynamics of spider mites on the leaves being made. At the same time, using the JUNIOR-PAM fluorimeter (Heinz Walz, Germany), the dynamics of chlorophyll fluorescence in the leaves of the control (without mites) and experimental (damaged by mites) variants were measured.

As a result, two varieties of industrial strawberries obtained a range of variation of the numerical physiological index, expressed in terms of the ratio of $rETR_{\max}$ between the experimental and control variants, equal to 1.4–2.0 conventional units, which corresponded to the economic injury level (EIL) of strawberry leaves. The latter trait was comparable to the same parameter obtained in the laboratory – 1.6. The economic threshold (ET), which signals the beginning of pesticide treatments, if it is reasonably expected that the number of pests will reach or exceed the value of EIL, also expressed in terms of the ratio of $rETR_{\max}$ between the experimental and control variants, turned out to be equal to 1.1–1.2 conventional units.

The authors recommend using the proposed instrumental criteria for the harmfulness of the Atlantic spider mite on strawberries. We believe that this approach can be applied to other species of spider mites, as well as sucking insects.

Key words: spider mite, Tetranychidae, economic injury level (EIL), economic threshold (ET), fluorimeter, chlorophyll fluorescence, relative electron transport rate (rETR), strawberry.

References

1. Baikov A.A., Karavaev V.A., Popov S.Ya., Kvitka A.Yu., Levykina I.P., Solntsev M.K., Tikhonov A.N. Lyuminesstentnye kharakteristiki list'ev zemlyaniki na rannikh stadiyakh povrezhdeniya rasteniy pautinnym kleshchom [Luminescence characteristics of strawberry leaves at early stages of injury by spider mite]. *Biofizika*. 2013. 58 (2): 234–239. (In Rus.)
2. Mitrofanov V.I., Strunkova Z.I., Livshits I.Z. Opredelitel' tetranykhovykh kleshchey fauny SSSR i sopredel'nykh stran. [Determination of tetranychid mites from USSR and bordering countries]. Dushanbe: Donish, 1987: 224. (In Rus.)
3. Pakhnenko E.P., Vatsadze N.S., Glasunova S.A., Karavaev V.A., Baikov A.A., Solntsev M.K. Rannyya diagnostika fiziologicheskogo sostoyaniya rasteniy lyuminesstentnymi metodami pri raznykh usloviyakh pitaniya [Early diagnostics of physiological state of plants under various nutrition conditions using luminescent methods]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17: Pochvovedenie*. 2012. 67 (2): 60–64. (In Rus.)
4. Ponomarenko E.K., Popov S.Ya., Baikov A.A., Gins M.S. Instrumental'naya otsenka povrezhdenosti plodonosyashchey zemlyaniki pautinnym kleshchom. [Instrumental assessment of damage to fruit-bearing strawberries by spider mites]. *Selektsiya i semenovodstvo*. 2015; 46: 468–474. (In Rus.)
5. Ponomarenko E.K., Popov S.Ya., Baikov A.A. Fiziologicheskie aspekty povrezhdeniya rasteniy pautinnym kleshchom *Tetranychus atlanticus* McGregor [Physiological aspects of strawberry plants damage by the spider mite *Tetranychus atlanticus* McGregor]. *Sbornik statey. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov, povyashchennaya 150-letiyu RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva*. 2015: 65–67. (In Rus.)
6. Popov S.Ya. K identifikatsii mestoobitaniya pautinnykh kleshchei (Acariformes, Tetranychidae) po biologicheskim pokazatelyam [On the identification of localities of spider mites (Acariformes, Tetranychidae) using biological characteristics]. *Zoologicheskii Zhurnal*. 1994; 73 (7–8): 31–41. (In Rus.)
7. Popov S.Ya. *Ecologicheskie osnovy ogranicheniya chislennosti i vredonosnosti osnovnykh vreditel'ey plodonosyashchey zemlyaniki: malinno-zemlyanichnogo dolgonosika i pautinnykh kleshchey: avtoref. dis. ... doktora biol. nauk* [Ecological basis for limiting the population density and harmfulness of the main pests of fruiting strawberries: strawberry blossom weevil and spider mites: DSc (Dio) thesis]. M.: MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 1997: 36. (In Rus.)
8. Popov S.Ya. *Mnogoletnie pokazateli sezonnogo razvitiya pautinnykh kleshchey roda Tetranychus Dufour, 1832 (Acariformes, Tetranychidae) na zemlyanike v Moskovskoy oblasti* [Long-term characteristics of seasonal development of spider mites of the genus *Tetranychus* Dufour, 1832 (Acariformes, Tetranychidae) on strawberry in Moscow province]. *Entomologicheskoe Obozrenie*. 2003; 82 (1): 71–85. (In Rus.)
9. Popov S.Ya. *Taksonomicheskii status ryada vidov pautinnykh kleshchey roda Tetranychus (Acari, Tetranychidae) i reproductivnye bar'ery pri skreshchivanii morfologicheskii blizkikh i otdalennykh vidov* [Taxonomic status of some spider mites species of the genus *Tetranychus* (Acari, Tetranychidae) and reproductive barriers in crossings between morphologically adjacent and distant species]. *Ekologicheskie aspekty ogranicheniya vredonosnosti populyatsiy nasekomykh i kleshchey*. M.: izd. RGAU-MSKhA. 2013: 224–259. (In Rus.)
10. Popov S.Ya., Ponomarenko E.K., Gins M.S., Baikov A.A. *Analiz razlichnykh parametrov fluorestsentsii khlorofilla v list'yakh zemlyaniki sadovoy pri povrezhdenii atlanticheskim pautinnym kleshchom Tetranychus atlanticus McGregor* [An analysis of various parameters of chlorophyll fluorescence in strawberry leaves damaged by atlantic spider mite *Tetranychus atlanticus* McGregor]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*. 2016; XXXXVI: 323–329. (In Rus.)

11. Popov S.Ya., Popova T.A. Novye podkhody k kontseptsii ekonomicheskogo poroga vredonosnosti v integrirovannoy zashchite rasteniy [New approaches to conception of economic threshold in integrated pest management]. XV s"ezd Russkogo entomologicheskogo obshchestva. Novosibirsk, 31 iyulya – 7 avgusta 2017 g. Materialy s"ezda. Novosibirsk: "Izd. Garamond". 2017: 400–401. (In Rus.)
12. Shafigullin D.R., Baikov A.A., Gins M.S., Pronina E.P., Pivovarov V.F., Soldatenko A.V., Romanova E.V. Svyaz' induktsionnykh izmeneniy fluorestsentnykh pokazateley list'ev soi *Glycine max* (L.) Merr. s biokhimicheskimi kharakteristikami i produktivnost'yu [Relationship of inductional changes in the fluorescent indices of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) leaves with their biochemical characteristics and productivity]. Biofizika 2021. 66 (2): 286–296. (In Rus.)
13. Baikov A.A., Kvitka A.Yu., Popov S.Ya., Gins M.S., Solntsev M.K. Effects of biotic stress (spider mite injury) on leaf water status, total antioxidant capacity and lipid peroxidation in strawberry plants. Izvestiya TSKhA. 2012; Special issue: 113–115.
14. Bondada B.R., Oosterhuis D.M., Tugwell N.P., Kim K.S. Physiological and cytological studies of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch, injury in cotton. Southwestern Entomologist. 1995; 20: 171–180.
15. Bounfour M., Tanigoshi L.K., Chen C., Cameron S.J., Klauer S. Chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in red raspberry leaves infested with *Tetranychus urticae* and *Eotetranychus carpini borealis* (Acari: Tetranychidae). Environmental Entomology. 2002; 31 (2): 215–220.
16. Bueno A.F., Bueno R.C.O.F., Nabity P.D., Higley L.G., Fernandes O.A. Photosynthetic response of soybean to twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) injury. Brazilian archives of biology and technology. 2009; 52 (4): 825–834.
17. Chacon-Hernandez J.C., Camacho-Aguilar I., Cerna-Chavez E., Ordaz-Silva S., Ochoa-Fuentes Y.M., Landeros-Flores J. Effects of *Tetranychus urticae* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Tetranychidae: Phytoseiidae) on the chlorophyll of rose plants (*Rosa* sp.). Agrociencia. 2018; 52 (6): 895–909.
18. De Angelis J.D., Larson K.C., Berry R.E., Krantz G.W. Effects of spider mite injury to transpiration and leaf water status in peppermint. Environ. Entomol. 1982; 11: 975–978.
19. English-Loeb G., Hesler S. Economic impact of the two-spotted spider mites (*Tetranychus urticae*) on strawberries grown as a perennial. New York fruit quarterly. 2004; 12 (4): 17–20.
20. Fraulo A.B., Cohen M., Liburd O.E. Visible/near infrared reflectance (VNIR) spectroscopy for detecting twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) damage in strawberries. Environmental Entomology. 2009; 38 (1): 137–142.
21. Latrou G., Cook C.M., Stamou G., Lanaras T. Chlorophyll fluorescence and leaf chlorophyll content of bean leaves injured by spider-mites (Acari: Tetranychidae). Exp. Appl. Acarol. 1995; 19: 581–591.
22. Makaraci A.Z., Flore J.A. Determination of physical damage thresholds of strawberry leaves (*Fragaria* × *ananassa* cv. Honeoye). Journal of Food, Agriculture & Environment. 2012; 10 (1): 376–380.
23. Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. J. Exper. Botany. 2000; 51: 659–668.
24. Padilha G., Fiorin R.A., Filho A.C., Pozebon H., Rogers J., Marques R.P., Castilhos L.B., Donatti A., Stefano L., Burtet L.M., Stacke R.F., Guedes J.V.C., Arnenmann J.A. Damage assessment and economic injury level of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* in soybean. Pesq. Agropec. Bras., Brasília. 2020; 55. DOI: 10.1590/S1678–3921.pab2020.v55.01836.
25. Park Y. – L., Lee J. – H. Leaf cell and tissue damage of cucumber caused by twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). Econ. Entomol. 2002; 95: (5): 952–957.

26. *Pedigo L.P., Rice M.E., Krell R.K.* Entomology and pest management. 7-th ed. Long Grove, IL: Waveland Press, Inc., 2021: 584.
27. *Popov S.Ya.* Economic injury level and economic threshold in IPM for strawberries. XXV International Congress of Entomology. 25–30th September. 2016. Orlando (USA).
28. *Sances F.V., Wyman J.A., Ting J.P., van Steenwyk R.A., Oatman E.R.* Spider mite interactions with photosynthesis, transpiration and productivity of strawberry. *Environ. Entomol.* 1981; 10: 442–448.
29. *Suekane R., Degrande P.E., de Melo E.P., Bertoncetto T.F., dos Santos de Lima Junior I., Kodama C.* Damage level of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in soybeans. *Revista Ceres.* 2012; 59 (1): 77–81.
30. *Uygun T., Ozguven M.M., Yanar D.* A new approach to monitor and assess the damage caused by two-spotted spider mite. *Exp. and Appl. Acarol.* 2020; 82: 335–346.
31. *Zhang J., Huang Y., Pu R., Gonzalez-Moreno P., Yuan L., Wu K., Huang W.* Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review. *Computers and Electronics in Agriculture.* 2019; 165: 104943.

Пономаренко Екатерина Константиновна, канд. биол. наук; e-mail: ekaterinannov200@gmail.com

Попов Сергей Яковлевич, д-р биол. наук, профессор кафедры защиты растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–02–20; e-mail: sergei_ya_popov@mail.ru

Байков Алексей Алексеевич, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии, интродукции и функциональных продуктов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства»; 143080, Российская Федерация, Московская область, Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14; тел.: (495) 599–24–42; e-mail: a.baikov@list.ru

Гинс Мурат Сабирович, д-р биол. наук, чл.-корр. РАН, заведующий лабораторией физиологии и биохимии, интродукции и функциональных продуктов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства»; 143080, Российская Федерация, Московская область, Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14; тел.: (495) 599–24–42; e-mail: anirr@bk.ru)

Ekaterina K. Ponomarenko, PhD (Ag); phone: e-mail: ekaterinannov200@gmail.com

Sergey Ya. Popov, DSc (Bio), Professor of the Department of Plant Protection, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–02–20; E-mail: sergei_ya_popov@mail.ru)

Aleksey A. Baykov, Senior Research Associate of Laboratory of Physiology and Biochemistry, Plant Introduction and Functional Products, Federal Scientific Vegetable Center (14 Selektionnaya Str., Moscow region, Odintsovo district, VNISSOK v., 143080, Russian Federation; phone: (495) 599–24–42; E-mail: a.baikov@list.ru)

Murat S. Gins, DSc (Bio), RAS Corresponding Member, Head of the Laboratory of Physiology and Biochemistry, Plant Introduction and Functional Products, Federal Scientific Vegetable Center (14 Selektionnaya Str., Moscow region, Odintsovo district, VNISSOK v., 143080, Russian Federation; phone: (495) 599–24–42; E-mail: anirr@bk.ru)