

УДК 574.2:57.047

СОСТОЯНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ ГАЛЛОВЫМИ КЛЕЩАМИ

С. В. Пестов^{1,2}, С. Ю. Огородникова²

¹ Вятский государственный университет
Россия, 610000, Киров, Московская, 36
E-mail: atylotus@mail.ru

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН
Россия, 167982, Сыктывкар, Коммунистическая, 28
E-mail: svetao_05@mail.ru

Поступила в редакцию 12.02.2019 г., после доработки 5.03.2019 г., принята 25.03.2019 г.

Пестов С. В., Огородникова С. Ю. Состояние фотосинтетического аппарата древесных растений при повреждении галловыми клещами // Поволжский экологический журнал. 2019. № 3. С. 348–359. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-348-359>

Приводятся данные о влиянии галловых клещей на состояние фотосинтетического аппарата листьев древесных растений. Сбор материала проводили на территории Дендропарка лесоводов Кировской области, который расположен в черте г. Киров (подзона южной тайги). Для выявления степени повреждения растений галловыми клещами с каждого участка собирали 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев). На участках с наибольшей степенью поражения галлообразователями случайным образом отбирали по 50 поврежденных и 50 неповрежденных листьев, измеряли длину и ширину листа. Листья для определения фотосинтетических пигментов отбирали в первой половине дня (10:00 – 12:00). Пробы листьев (0.15 – 0.25 г) фиксировали кипящим 100%-ным ацетоном. Содержание пластидных пигментов в экстракте оценивали с использованием спектрофотометра SPEKOL 1300 (Analytik Jena, Германия). Хлорофилл *a*, *b* и каротиноиды определяли при длинах волн 662, 644 и 470 нм соответственно. На исследованной территории на листьях встречено шесть видов галловых клещей, которые широко распространены в пределах ареала деревьев. Повреждения листьев на липе вызваны *Eriophyes leiosoma* и *E. tiliae*, на черёмухе – *E. padi*, на осине – *Aceria varia*, на рябине – *E. sorbi* и на вязе – *E. ulmicola*. Все выявленные виды галлообразователей представлены монофагами. Наиболее многочисленными видами были черемуховый клещ (*E. padi*) и розжовый липовый клещ (*E. tiliae*). Поражение листьев галловыми клещами не оказывало существенного влияния на размеры листьев, но приводило к изменениям в пигментном комплексе. Заселение листьев фитофагами вызывало снижение содержания пластидных пигментов в листьях деревьев. Среди изученных растений более чувствительными к поражению галлами были липа и черёмуха, в меньшей степени происходили изменения в пигментном фонде при поражении клещами листьев вяза, рябины и осины. Выявленные изменения фотосинтетического аппарата древесных растений при повреждении галлообразователями указывают на опасность данной группы филлофагов для древесных насаждений на урбанизированных территориях.

Ключевые слова: галловые клещи, древесные растения, хлорофиллы, каротиноиды, урбанизированные территории.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-348-359>

ВВЕДЕНИЕ

Галловые клещи (Eriophyidae) являются облигатными фитофагами широкого круга растений. Около 80 % видов этой группы отмечены только на одном виде растений. Некоторые виды имеют большое экономическое значение как вредители культивируемых человеком растений, а также как потенциальные агенты борьбы с сорняками. Характерными особенностями группы является очень тесная связь с кормовым растением и защищённость клеща от хищников и неблагоприятных абиотических факторов (Skoracka, 2006; Skoracka et al., 2010). Физиолого-биохимические аспекты взаимоотношений галлообразователей с растениями-хозяевами в последнее время привлекают повышенное внимание (Аникин и др., 2017; Huang et al., 2014 *a, b*; Carneiro et al., 2014; Isaias et al., 2015). Известно, галлообразователи увеличивают уровень окислительного стресса в листьях, что приводит к разрушению тилакоидов и образованию пластоглобул (Oliveira et al., 2011). Листья, поврежденные галлами, имеют более высокую концентрацию простых сахаров и липидов, чем неповрежденные. Это обусловлено поступлением питательных веществ из здоровых листьев в галлы (Глушакова, Качалкин, 2017; Motta et al., 2003;). Образование галла запускается либо специфическими биохимическими триггерами, содержащимися в слюне клеща, либо микробными фитопатогенами, попадающими в место повреждения. Это вызывает локальное повышение содержания фитогормонов и приводит к аномальному росту (Четвериков и др., 2015). Было показано, что при повреждении листьев дуба галловыми клещами возрастает содержание детергентных химических веществ (катехинов и кверцетинов) в пораженных тканях. Изменение пигментного состава позволяет листьями компенсировать ущерб, нанесенный галлообразователями (Karioti et al., 2011). Довольно подробно изучены аспекты влияния на фотосинтетический комплекс растений тропической и субтропической зон (Yang et al., 2003; Dias et al., 2013; Huang et al., 2014 *a, b*), а подобные исследования на растениях умеренной зоны немногочисленны (Аникин и др., 2017; Пестов и др., 2018; Kmiec et al., 2018).

Целью данной статьи является оценка влияния галловых клещей на состояние фотосинтетического аппарата нескольких видов древесных растений бореальной зоны.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор материала проводили в 2017 г. на территории памятника природы регионального значения «Дендропарк лесоводов Кировской области», расположенном в окрестностях г. Киров. Изученная территория относится к подзоне южной тайги. Листья отбирали с деревьев, находящихся в одинаковых экологических условиях (уровень освещенности, увлажнения и т. д.). Изучали растения в генеративном возрастном состоянии с четко выраженными видовыми признаками. Отбирали листья из нижней части кроны дерева с разных ее сторон. Для выявления степени повреждения деревьев галловыми клещами собирали 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев). На участках с наибольшей степенью поражения галлообразователями случайным образом отбирали по 50 поврежденных и 50 неповрежденных листьев, измеряли длину и ширину листа.

Листья для определения фотосинтетических пигментов отбирали в первой половине дня (10:00–12:00). Пробы листьев (0.15–0.25 г) фиксировали кипящим 100%-ным ацетоном. Содержание пластидных пигментов в экстракте оценивали с использованием спектрофотометра SPEKOL 1300 (Analytik Jena, Германия). Хлорофилл *a*, *b* и каротиноиды определяли при длинах волн 662, 644 и 470 нм соответственно (Маслова и др., 1986; Lichtenthaler, 1987). Содержание пластидных пигментов рассчитывали по формулам:

$$\rho_a = 0.0117A_{\text{см}\lambda_1} - 0.00216_{\text{см}\lambda_2}, \quad (1)$$

$$\rho_b = 0.0218A_{\text{см}\lambda_2} - 0.0038_{\text{см}\lambda_1}, \quad (2)$$

$$\rho_k = 0.0426A_{\text{см}\lambda_3} - 0.103_{\rho_b}, \quad (3)$$

где ρ_a, ρ_b, ρ_k – массовые концентрации хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов в ацетоновом растворе соответственно, мг/см³; $A_{\text{см}\lambda_1}, A_{\text{см}\lambda_2}, A_{\text{см}\lambda_3}$ – оптические плотности раствора при длинах волн 662, 644, 470 нм соответственно.

Количество пигментов в листьях деревьев выражали на г сухого вещества. Статистическая обработка полученных данных выполнена в программе Past 2.17, построение графиков осуществлялось в Excel 2002 for Windows. На рисунках и в таблицах представлены средние арифметические величины и стандартная ошибка. Достоверность различий между двумя средними оценивали с использованием *t*-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка повреждения листьев. Выявлено, что в парковой зоне г. Киров наиболее широко распространены шесть видов галловых клещей. Все выявленные виды галлообразователей представлены монофагами. Повреждения листьев на липе (*Eriophyes leiosoma* (Nalepa, 1892)), осине (*Aceria varia* (Nalepa, 1892)), рябине (*Eriophyes sorbi* (Canestrini, 1890)) и вязе (*Eriophyes ulmicola* (Nalepa, 1892)) представляют беловатые или желтоватые войлочные, как правило, на нижней стороне листа. Клещи *Eriophyes tiliae* (Pagenstecher, 1857) на липе и *Eriophyes padi* (Nalepa, 1889) на черёмухе образуют вытянутые (рожковидные) галлы на верхней стороне

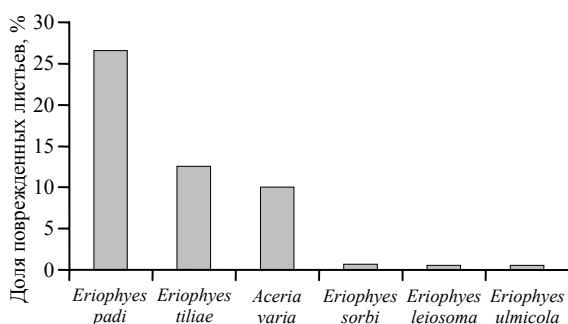


Рис. 1. Повреждение листьев деревьев галловыми клещами

листа. Степень повреждения ими растений значительно различалась (рис. 1). Наиболее многочисленным видом был черёмуховый клещ. Доля повреждённых им растений достигает 27%. Самыми редкими являются рябиновый клещ, липовый войлочный и вязовый клещ. Доля поврежденных ими листьев составляла менее 1%. Как показали наши предыдущие исследования, максималь-

СОСТОЯНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

ное повреждение липы войлочным клещом наблюдается в селитебной зоне города (Пестов и др., 2018).

Влияние галловых клещей на размеры листа. На участках максимальной повреждаемости галловыми клещами проводили сравнительную оценку морфологических особенностей здоровых и поврежденных листьев. Выявлено, что уменьшается длина листьев, поврежденных *A. varia*, *E. padi* и *E. leiosoma*. Увеличение размеров листьев, поврежденных *E. tiliae*, относится к значимым изменениям. Ширина листа и длина черешка значительно уменьшаются только у осины пораженной *A. varia* (табл. 1). Выявленные морфологические изменения листьев свидетельствуют о негативном влиянии галлообразователей на состояние ассимилирующих органов, что может привести к угнетению роста. Промеры листьев *E. sorbi* не производили из-за низкой степени повреждения, которая не позволяет отобрать необходимое для статистической обработки количество листьев в одинаковых условиях.

Таблица 1

Влияние галловых клещей на размеры листьев древесных растений, см

Вид галлообразователя	Длина листа, см		Ширина листа, см		Длина черешка, см	
	Неповрежденные	Поврежденные	Неповрежденные	Поврежденные	Неповрежденные	Поврежденные
<i>Eriophyes padi</i>	8.8±0.21 5.1–11.5	8.46±0.27 5.0–12.0	4.56±0.11 2.6–6.2	4.49±0.14 3.0–6.5	1.00±0.03 0.6–1.6	1.08±0.03* 0.7–1.5
<i>Eriophyes tiliae</i>	7.55±0.17 5.4–11.0	7.99±0.28* 4.0–12.0	6.48±0.15 4.5–9.9	6.99±0.26* 3.6–12.0	4.34±0.11 3.0–5.6	3.46±0.12* 1.5–6.1
<i>Aceria varia</i>	6.23±0.13 4.5–8.0	6.03±0.12 4.4–8.0	5.89±0.14 3.5–8.2	4.98±0.13* 3.3–7.6	4.43±0.18 3.1–6.5	4.76±0.11* 2.0–7.0
<i>Eriophyes leiosoma</i>	6.46±0.13 5.0–8.2	5.72±0.22* 3.0–10.0	5.62±0.11 4.0–7.3	5.83±0.18 3.4–8.8	4.56±0.11 3.0–6.7	3.77±0.17* 1.5–7.6

Примечание. * – разница между неповрежденными и поврежденными листьями достоверна при $p < 0.05$. Над чертой представлены средние арифметические величины и стандартная ошибка, под чертой – минимальные и максимальные значения.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях. Рост и развитие растений во многом определяется процессами фотосинтеза, происходящими в ассимилирующих органах. Показателем физиологического статуса листьев является состояние пигментного комплекса. Количественные и качественные изменения пигментной системы являются чувствительным показателем физиологического состояния растений и их фотосинтетического аппарата (Дымова, Головкин, 2018).

Повреждение липы клещом приводит к изменению в пигментном комплексе листьев (рис. 2). Количество пластидных пигментов в пораженных галлами листьях липы было достоверно ниже, чем в листьях без повреждений. В листьях с галлами содержалось на 22% меньше хлорофиллов по сравнению со здоровыми листьями. При заселении листьев галловым клещом в большей степени происходило снижение уровня хлорофилла *b*, что свидетельствует о его меньшей устойчивости к повреждениям по сравнению с хлорофиллом *a*.

В листьях липы меньшей чувствительностью к действию галловых клещей отличались каротиноиды. Уровень желтых пигментов в листьях практически не менялся при поражении фитофагами.

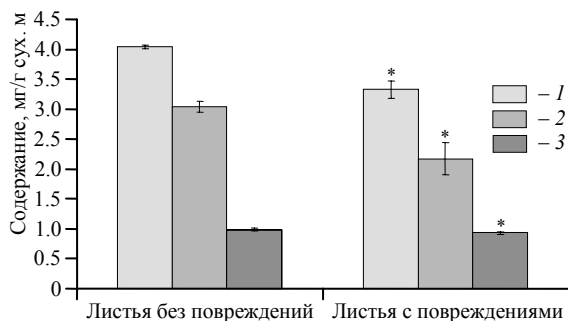


Рис. 2. Содержание пигментов в листьях липы, поврежденных галловыми клещами: 1 – хлорофилл *a*, 2 – хлорофилл *b*, 3 – каротиноиды; * – разница между неповрежденными и поврежденными листьями достоверна при $p < 0.05$

снижением количества хлорофилла *b* по сравнению с листьями без повреждений. Каротиноиды по сравнению с хлорофиллами были более устойчивы к поражению листьев черёмухи галловым клещом. Содержание желтых пигментов в листьях не менялось под влиянием галлов.

Заселение листьев черёмухи клещом приводило к значительным изменениям в пигментном комплексе (табл. 2). Отмечали снижение уровня зеленых пигментов в листьях с галлами по сравнению с неповрежденными листьями. Хлорофилл *b* был более чувствителен к повреждению листьев галловым клещом по сравнению с хлорофиллом *a*, что отмечено и для растений липы. В листьях черёмухи, поврежденных галлами, изменялось соотношение хлорофиллов *a/b*, что связано с достоверным уменьшением количества хлорофилла *b* по сравнению с листьями без повреждений.

Таблица 2

Содержание пигментов в листьях черёмухи и осины, пораженных галловыми клещами, мг/г сухой массы

Вариант	Содержание, мг/г сухой массы				<i>a/b</i>	Сумма хлорофиллов / каротиноиды
	хлорофилл			каротиноиды		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>			
Черёмуха						
Листья без повреждений	3.81±0.12	2.56±0.09	6.37	0.98±0.02	1.49	6.5
Листья с повреждениями (с галлами)	3.18±0.02*	1.84±0.30*	5.02	0.99±0.01	1.73	5.07
Листья с повреждениями (с удаленными галлами)	4.11±0.07	2.89±0.28	7.0	1.06±0.01*	1.42	6.6
Осина						
Листья без повреждений	3.62±0.01	2.39±0.11	6.01	0.93±0.02	1.52	6.48
Листья с повреждениями	3.58±0.07	2.47±0.05	6.05	0.90±0.02	1.45	6.71

Примечание. * – разница между неповрежденными и поврежденными листьями достоверна при $p < 0.05$. Над чертой представлены средние арифметические величины и стандартная ошибка, под чертой – минимальные и максимальные значения.

Для оценки эффекта галлов на состояние ассимиляционного аппарата были удалены участки с видимыми повреждениями (галлами) и определено содержание пигментов в пораженных клещами листьях без видимых повреждений. На участках листьев без видимых повреждений уровень хлорофиллов был на 40% выше, чем на участках листьев с галлами. Низкое содержание хлорофиллов на участках

СОСТОЯНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

листьев с галловыми разрастаниями может свидетельствовать о нарушении соотношения между скоростью биосинтеза хлорофилла и его деградацией при заселении растительных тканей галловыми клещами. Подобные эффекты были отмечены в работах (Kmieć et al., 2018).

По сравнению с другими деревьями пигментный комплекс листьев осины отличался низкой чувствительностью к заселению тканей галловыми клещами (см. табл. 2). Насекомые-галлообразователи не оказывали влияния на содержание и соотношение пигментов в листьях осины.

Повреждение листьев рябины и вяза галловыми клещами вызывало сходные изменения в пигментном комплексе (рис. 3). Практически в равной степени, на 12 – 16%, снижалось содержание зеленых и желтых пигментов в листьях с галлами по сравнению с неповрежденными листьями. Соотношение хлорофилл *a/b* и сумма хлорофиллов/каротиноиды в листьях рябины и вяза не менялось при заселении тканей фитофагами. Известно, что соотношение сумма хлорофиллов/каротиноиды обычно в норме стабильно и быстро реагирует на изменение факторов среды (Попова и др., 1989; Черненкова, 2002).

Таким образом, установлено, что повреждение листьев фитофагами вызывает сходные изменения в составе пигментов. У изученных видов деревьев отмечали снижение содержания хлорофиллов, что вполне согласуется с данными других исследователей (Yang et al., 2003; Khattab H., Khattab I., 2005; Oliveira et al., 2011; Dias et al., 2013; Kmieć et al., 2018). Известно, что насекомые-галлообразователи оказывают влияние на процессы биосинтеза и деградации хлорофиллов (Huang et al., 2014). При заселении клещами содержание каротиноидов снижалось только в листьях рябины и вяза (на 12 – 16%), у других деревьев изменений уровня желтых пигментов не происходило. Известно, что каротиноиды выполняют протекторную функцию в клетках, являются низкомолекулярными антиоксидантами. Изме-

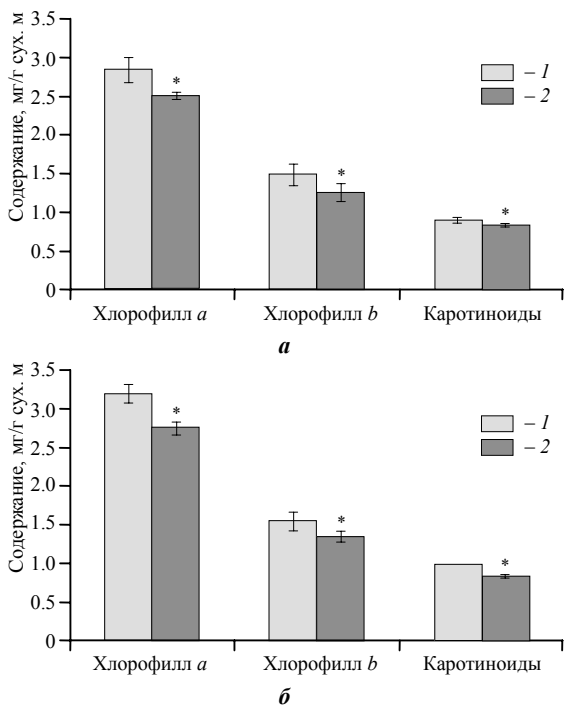


Рис. 3. Содержание пигментов в листьях рябины (а) и вяза (б), поврежденных галловыми клещами: 1 – листья без повреждений, 2 – листья с повреждениями; * – разница между неповрежденными и поврежденными листьями достоверна при $p < 0.05$

нение накопления каротиноидов может быть связано с протеканием адаптационных процессов в тканях, пораженных галловыми клещами.

Степень изменений в пигментном комплексе растений зависит от вида растений и вида галловых клещей. Среди изученных растений более чувствительными к поражению галлами были липа и черёмуха, в меньшей степени происходили изменения в пигментном фонде при поражении клещами листьев вяза, рябины и осины. Значительные изменения в пигментном фонде листьев липы и черёмухи по сравнению с другими видами растений могут быть обусловлены высокой долей поврежденных листьев (см. рис. 1), а также типом повреждений, которые вызывают галловые клещи. Так, поражение клещом *E. tiliae* листьев липы и *E. padi* листьев черёмухи приводит к образованию рожковидных галлов на верхней стороне листа. В листьях вяза, рябины и осины, пораженных клещами, которые вызывают образование войлочек на нижней стороне листа, изменения в пигментном комплексе были незначительны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На исследованной территории на листьях встречено шесть видов галловых клещей, которые широко распространены в пределах ареала деревьев. Повреждения листьев на липе вызывают *Eriophyes leiosoma* и *Eriophyes tiliae*, на черёмухе – *Eriophyes padi*, на осине – *Aceria varia*, на рябине – *Eriophyes sorbi* и на вязе – *Eriophyes ulmicola*. Все выявленные виды галлообразователей представлены монофагами. Наиболее многочисленными видами были черёмуховый клещ и рожковый липовый клещ, доля повреждения ими листьев составляла 27 и 13% соответственно. Степень повреждения листьев изученных деревьев другими видами клещей не превышала 1%. Поражение листьев галловыми клещами не оказывало существенного влияния на размеры листьев, но приводило к изменениям в пигментном комплексе. Заселение листьев фитофагами вызывало снижение содержания пластидных пигментов в листьях деревьев. Среди изученных видов растений значительные изменения в пигментном фонде происходили в листьях липы и черёмухи, заселенных фитофагами. Это может быть связано с высокой долей листьев, пораженных клещами, а также типом повреждений листьев, которые вызывают данные виды галловых клещей. Выявленные изменения фотосинтетического аппарата древесных растений при повреждении галообразователями указывают на опасность данной группы филлофагов для древесных насаждений на урбанизированных территориях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» (№ гос. регистрации АААА-А17-117121990125-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аникин В. В., Никельшпарг М. И., Никельшпарг Э. И., Конюхов И. В. Фотосинтетическая активность у повилки *Cuscuta campestris* (Convolvulaceae) при заселении растения галлообразователем-долгоносиком *Smicronyx smreczynskii* (Coleoptera, Curculionidae) // Изв.

СОСТОЯНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, № 1. С. 42 – 47. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-42-47

Дымова О. В., Головки Т. К. Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность // Изв. Уфим. науч. центра РАН. 2018. № 3(4). С. 5 – 16. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-4-3-5-16

Глушакова А. М., Качалкин А. В. Эндобитные дрожжи в листовых галлах // Микробиология. 2017. Т. 86, № 2. С. 239 – 246. DOI: 10.7868/S0026365617020094

Маслова Т. Г., Попова И. А., Попова О. Ф. Критическая оценка спектрофотометрического метода количественного определения каротиноидов // Физиология растений. 1986. Т. 39, № 6. С. 615 – 619.

Пестов С. В., Тычинкина И. Г., Огородникова С. Ю. Влияние галловых клещей на состояние ассимиляционного аппарата липы сердцевидной // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2018. № 44. С. 188 – 201. DOI: 10.17223/19988591/44/11

Попова И. А., Маслова Т. Г., Попова О. Ф. Особенности пигментного аппарата растений различных ботанико-географических зон // Эколого-физиологические исследования фотосинтеза и дыхания растений / под ред. О. А. Семихатовой Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. С. 115 – 129.

Черненькова Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М. : Наука, 2002. 191 с.

Четвериков Ф. Е., Вишняков А. Э., Додуева И. Е., Лебедева М. А., Сухарева С. И., Шаварда А. Л. Галлогенез, индуцируемый четырехногими клещами (Acariformes: Eriophyoidea) // Паразитология. 2015. Т. 49, № 5. С. 365 – 375.

Carneiro R. G. S., Castro A. C., Isaias R. M. S. Unique histochemical gradients in a photosynthesis-deficient plant gall // South African J. of Botany. 2014. Vol. 92. P. 97 – 104. DOI: 10.1016/j.sajb.2014.02.011

Dias G. G., Moreira G. R. P., Ferreira B. G., Isaias R. M. S. Why do the galls induced by *Calophya duvauae* Scott on *Schinus polygamus* (Cav.) *Cabrera* (Anacardiaceae) change colors? // Biochemical Systematic and Ecology. 2013. Vol. 48. P. 111 – 122. DOI: 10.1016/j.bse.2012.12.013

Huang M.-Y., Chou H.-M., Chang Y.-T., Yang C.-M. The number of cecidomyiid insect galls affects the photosynthesis of *Machilus thunbergii* host leaves // J. of Asia-Pacific Entomology. 2014 a. Vol. 17, № 2. P. 151 – 154. DOI: 10.1016/j.aspen.2013.12.002

Huang M.-Y., Huang W.-D., Chou H.-M., Chen C.-C., Chang Y.-T., Yang C.-M. Herbivorous insects alter the chlorophyll metabolism of galls on host plants // J. of Asia-Pacific Entomology. 2014 b. Vol. 17, № 3. P. 431 – 434. DOI: 10.1016/j.aspen.2014.04.004

Isaias R. M. S., Oliveira D. C., Moreira A. S. F. P., Soares G. L. G., Carneiro R. G. S. The imbalance of redox homeostasis in arthropod-induced plant galls: Mechanisms of stress generation and dissipation // Biochimica et Biophysica Acta. 2015. Vol. 1850, № 8. P. 1509 – 1517. DOI: 10.1016/j.bbagen.2015.03.007

Karioti A., Tooulakou G., Bilia A. R., Psaras G. K., Karabourniotis G., Skaltsa H. Erinea formation on *Quercus ilex* leaves: Anatomical, physiological and chemical responses of leaf trichomes against mite attack // Phytochemistry. 2011. Vol 72, № 1 – 2. P. 230 – 237. DOI: 10.1016/j.phytochem.2010.11.005

Khatab H., Khatab I. Responses of Eucalypt Trees to the Insect Feeding (Gall-Forming Psyllid) // International J. of Agriculture and Biology. 2005. Vol. 7, № 6. P. 979 – 984.

Kmieć K., Rubinowska K., Michalek W., Sytykiewicz H. The effect of galling aphids feeding on photosynthesis photochemistry of elm trees (*Ulmus* sp.) // Photosynthetica. 2018. Vol. 56, № 4. P. 989 – 997. DOI: 10.1007/s11099-018-0813-9

Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and Carotenoids : Pigments of Photosynthetic Biomembranes // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148. P. 350 – 382.

Motta L. B., Kraus J. E., Salatino A., Maria L. F. Distribution of metabolites in galled and non-galled foliar tissues of *Tibouchina pulchra* // *Biochemical Systematics and Ecology*. 2003. Vol. 33. P. 971 – 981. DOI: 10.1016/j.bse.2005.02.004

Oliveira D. C., Isaias R. M. S., Moreira A. S. F. P., Magalhães T. A., Lemos-Filho J. P. Is the oxidative stress caused by *Aspidosperma* spp. galls capable of altering leaf photosynthesis? // *Plant Science*. 2011. Vol. 180, № 3. P. 489 – 495. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.11.005

Skoracka A. Host specificity of eriophyoid mites: specialists or generalists? // *Biological Letters*. 2006. Vol. 43, № 2. P. 289 – 298.

Skoracka A., Smith L., Oldfield G., Cristofaro M., Amrine J. W. Host-plant specificity and specialization in eriophyoid mites and their importance for the use of eriophyoid mites as biocontrol agents of weeds // *Experimental and Applied Acarology*. 2010. Vol. 51. P. 93 – 113. DOI: 10.1007/s10493-009-9323-6

Yang C. M., Yang M. M., Huang M. Y., Hsu J. M., Jane W. N. Herbivorous insect causes deficiency of pigment-protein complexes in an oval-pointed cecidomyiid gall of *Machilus thunbergii* leaves // *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 2003. Vol. 44. P. 314 – 321.

Status of the Photosynthetic Apparatus of Wood Plants Damaged by Gall Mites

Sergey V. Pestov^{1,2}, <https://orcid.org/0000-0003-4454-677X>; atylotus@mail.ru
Svetlana Yu. Ogorodnikova², <https://orcid.org/0000-0001-8865-4743>; svetao_05@mail.ru

¹ Vyatka State University
36 Moscow St., Kirov 610000, Russia

² Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Division of the Russian Academy of Sciences
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar 167982, Russia

Received 12 February 2019, revised 5 March 2019, accepted 25 March 2019

Pestov S. V., Ogorodnikova S. Yu. Status of the Photosynthetic Apparatus of Wood Plants Damaged by Gall Mites. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2019, no. 3, pp. 348–359 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-348-359>

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 License

The paper presents data on the effect of gall mites on the state of the photosynthetic apparatus of the leaves of woody plants. The material was collected in the territory of the Dendropark of foresters of the Kirov region, located within the city of Kirov (a sub-zone of the southern taiga). To estimate the plant damage degree by gall mites, 100 leaves were collected from each site (10 leaves from each of 10 trees). At the sites with the greatest degree of damage by galling agents, 50 damaged and 50 unaffected leaves were randomly selected, whose length and width were measured. Leaves for the analysis of photosynthetic pigments were selected in the first half of the day (10:00–12:00). Leaf samples (0.15–0.25 g) were fixed with 100% boiling acetone. Plastid pigment content in the extraction was assessed using a SPEKOL 1300 spectrophotometer (Analytik Jena, Germany). Chlorophyll a, b, and carotenoids were analyzed at the wavelengths of 662, 644, and 470 nm, respectively. In the studied area, six species of gall mites widely distributed within the tree range were found on the leaves. Leaves on the linden were damaged by *Eriophyes leiosoma* and *E. tiliae*, on the bird cherry tree were by *E. padi*, on the aspen tree – by *Aceria varia*, on the rowan tree – by *E. sorbi*, and on the elm tree – by *E. ulmicola*. All the identified gall-forming species were monophagous. The most numerous species were the bird-cherry tick (*E. padi*) and the carob lime tick (*E. tiliae*). Leaf damage by gall mites did not significantly affect the size of the leaves, but led to changes in the pigment complex. The colonization of leaves with phytophages caused a decrease in the content of plastid pigments therein. Among the plants studied, the linden and bird cherry were more susceptible to damage by the galls; to a lesser extent, there were changes in the pigment fund under the action of the ticks of elm, ash and aspen. The revealed changes in the photosynthetic apparatus of woody plants when damaged by gall mites indicate the danger of this group of phyllophages for tree plantings in urbanized areas.

Keywords: gall mites, woody plants, chlorophylls, carotenoids; urban areas.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2019-3-348-359>

Acknowledgments: This work was carried out as part of the state order of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences “Assessment and Forecast of Delayed Technogenic Impact on Natural and Transformed Ecosystems of the Southern Taiga Subzone” (state registration number AAAA-A17-117121990125-5).

REFERENCES

- Anikin V. V., Nikelshparg M. I., Nikelshparg E. I., Konyukhov I. V. Photosynthetic Activity of the Dodder *Cuscuta campestris* (Convolvulaceae) in Case of Plant Inhabitation by the Gall-formed Weevil *Smicronyx smreczynskii* (Coleoptera, Curculionidae). *Izv. Saratov Univ. N. S., Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 42–47 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-42-47 (in Russian).
- Dymova O. V., Golovko T. K. Photosynthetic pigments: functioning, ecology, biological activity. *Izvestiya of the Ufa Research Center of the Russian Academy of Sciences*, 2018, no. 3 (4), pp. 5–16 (in Russian). DOI: 10.31040/2222-8349-2018-4-3-5-16
- Glushakova A. M., Kachalkin A.V. Endophytic yeasts in leaf galls. *Microbiology*, 2017, vol. 86, no. 2, pp. 250–256.
- Maslova T. G., Popova I.A., Popova O.F. Critical assessment of the spectrophotometric method for quantitative determination of carotenoids. *J. of Plant Physiology*, 1986, no. 6, pp. 615–619 (in Russian).
- Pestov S. V., Tychinkina I. G., Ogorodnikova S. Yu. The effect of gall mites on the condition of *Tilia cordata* assimilation apparatus. *Tomsk State University J. of Biology*, 2018, no. 44, pp.188–201 (in Russian). DOI: 10.17223/19988591/44/11
- Popova I. A., Maslova T. G., Popova O. F. Features of the pigment apparatus of plants of different botanical and geographical zones. In: *Ekologo-fiziologicheskie issledovaniia fotosinteza i dykhaniiia rastenii*. Pod red. O. A. Semikhatovoi [O. A. Semikhatova, ed. Ecological and physiological studies of photosynthesis and respiration of plants]. Leningrad, Nauka Publ., 1989. pp. 115–129 (in Russian).
- Chernenkova T. V. *Reaktsiia lesnoi rastitel'nosti na promyshlennoe zagriaznenie* [The reaction of forest vegetation to industrial pollution]. Moscow, Nauka Publ., 2002. 191 p. (in Russian).
- Chetverikov P. E., Vishyakov A. E., Dodueva I. T., Osipova M. A., Sukhareva S. I., Shavarda A. L. Gallogenesis induced by Eriophyoids (Acariformes: Eriophyoidea). *Entomological Review*, 2015, vol. 95, no. 8, pp. 1137–1143.
- Carneiro R. G. S., Castro A. C., Isaias R. M. S. Unique histochemical gradients in a photosynthesis-deficient plant gall. *South African J. of Botany*, 2014, vol. 92, pp. 97–104. DOI: 10.1016/j.sajb.2014.02.011
- Dias G. G., Moreira G. R. P., Ferreira B. G., Isaias R. M. S. Why do the galls induced by *Callophya duvauae* Scott on *Schinus polygamus* (Cav.) *Cabrera* (Anacardiaceae) change colors? *Biochemical Systematic and Ecology*, 2013, vol. 48, pp. 111–122. DOI: 10.1016/j.bse.2012.12.013
- Huang M.-Y., Chou H.-M., Chang Y.-T., Yang C.-M. The number of cecidomyiid insect galls affects the photosynthesis of *Machilus thunbergii* host leaves. *J. of Asia-Pacific Entomology*, 2014 a, vol. 17, no. 2, pp. 151–154. DOI: 10.1016/j.aspen.2013.12.002
- Huang M.-Y., Huang W.-D., Chou H.-M., Chen C.-C., Chang Y.-T., Yang C.-M. Herbivorous insects alter the chlorophyll metabolism of galls on host plants. *J. of Asia-Pacific Entomology*, 2014 b, vol. 17, no. 3, pp. 431–434. DOI: 10.1016/j.aspen.2014.04.004
- Isaias R. M. S., Oliveira D. C., Moreira A. S. F. P., Soares G. L. G., Carneiro R. G. S. The imbalance of redox homeostasis in arthropod-induced plant galls: Mechanisms of stress generation and dissipation. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2015, vol. 1850, no. 8, pp. 1509–1517. DOI: 10.1016/j.bbagen.2015.03.007

СОСТОЯНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Karioti A., Tooulakou G., Bilia A. R., Psaras G. K., Karabourniotis G., Skaltsa H. Erinea formation on *Quercus ilex* leaves: Anatomical, physiological and chemical responses of leaf trichomes against mite attack. *Phytochemistry*, 2011, vol. 72, no. 1–2, pp. 230–237. DOI: 10.1016/j.phytochem.2010.11.005

Khatab H., Khatab I. Responses of Eucalypt Trees to the Insect Feeding (Gall-Forming Psyllid). *International J. of Agriculture and Biology*, 2005, vol. 7, no. 6, pp. 979–984.

Kmieć K., Rubinowska K., Michałek W., Sytykiewicz H. The effect of galling aphids feeding on photosynthesis photochemistry of elm trees (*Ulmus* sp.). *Photosynthetica*, 2018, vol. 56, no. 4, pp. 989–997. DOI: 10.1007/s11099-018-0813-9

Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1987, vol. 148, pp. 350–382.

Motta L. B., Kraus J. E., Salatino A., Maria L. F. Distribution of metabolites in galled and non-galled foliar tissues of *Tibouchina pulchra*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2003, vol. 33, pp. 971–981. DOI: 10.1016/j.bse.2005.02.004

Oliveira D. C., Isaias R. M. S., Moreira A. S. F. P., Magalhães T. A., Lemos-Filho J. P. Is the oxidative stress caused by *Aspidosperma* spp. galls capable of altering leaf photosynthesis? *Plant Science*, 2011, vol. 180, no. 3, pp. 489–495. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.11.005

Skoracka A. Host specificity of eriophyoid mites: specialists or generalists? *Biological Letters*, 2006, vol. 43, no. 2, pp. 289–298.

Skoracka A., Smith L., Oldfield G., Cristofaro M., Amrine J. W. Host-plant specificity and specialization in eriophyoid mites and their importance for the use of eriophyoid mites as biocontrol agents of weeds. *Experimental and Applied Acarology*, 2010, vol. 51, pp. 93–113. DOI: 10.1007/s10493-009-9323-6

Yang C. M., Yang M. M., Huang M. Y., Hsu J. M., Jane W. N. Herbivorous insect causes deficiency of pigment-protein complexes in an oval-pointed cecidomyiid gall of *Machilus thunbergii* leaves. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 2003, vol. 44, pp. 314–321.