



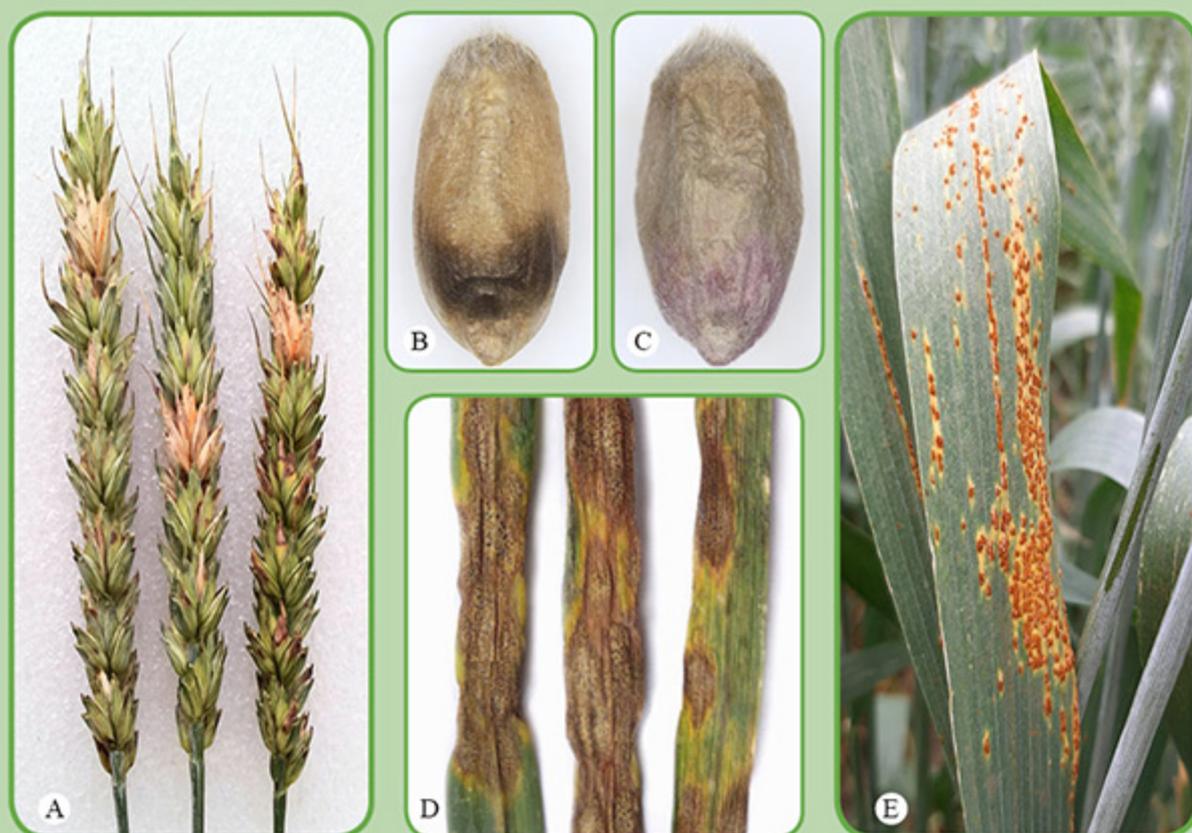
ISSN 1727-1320 (Print),  
ISSN 2308-6459 (Online)

# ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

---

## PLANT PROTECTION NEWS

2022 TOM VOLUME 105 ВЫПУСК ISSUE 4



Санкт-Петербург  
St. Petersburg, Russia

## ТОПИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ ОРАНЖЕРЕЙНОЙ БЕЛОКРЫЛКИ *TRIALEURODES VAPORARIORUM* В СВЯЗИ С МОРФО-АНАТОМИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ СЕМЯДОЛЬНЫХ ЛИСТЬЕВ ОГУРЦА

О.С. Кириллова<sup>1\*</sup>, В.А. Раздобурдин<sup>1</sup>, Е.В. Вознесенская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

\* ответственный за переписку, e-mail: ol-yurchenko@yandex.ru

Личинки 1-ого возраста *T. vaporariorum* (бродяжки) мобильны и способны выбирать на листе места постоянного оптимального питания, благоприятные также для развития вредителя в последующих личиночных возрастах, что обеспечивает успешную реализацию репродуктивного потенциала. В лабораторных условиях изучали характер размещения личинок и имаго насекомого на семядольных листьях огурца Гинга F1, а также морфо-анатомическую структуру семядолей на поперечных срезах. Выявлены отличия в топологии мест питания взрослых особей и личинок вредителя. Обитая на нижней стороне, самки предпочитают питаться и откладывать яйца преимущественно в базальной части семядолей, реже вдоль крупных жилок или по краям листьев. В отличие от имаго, подавляющее количество бродяжек для постоянных мест питания избирало краевую зону семядолей огурца. Ширина полосы концентрации личинок по периметру семядоли составляла 1–1.5 мм. Показано, что выбор бродяжками мест питания может быть связан с особенностями морфо-анатомического строения семядолей. Установлено, что проводящие пучки с флоэмой в их нижней части располагаются на границе палисадной и губчатой паренхимы мезофилла, при этом высота губчатой паренхимы уменьшается от центральной части листа к краям в 2–3 раза. Поскольку белокрылка – насекомое, питающееся содержимым ситовидных элементов флоэмы, предполагается, что меньшая в сравнении с имаго длина колющих стилетов у бродяжек дает им возможность питаться на семядольных листьях огурца данного сорта только в краевой зоне.

**Ключевые слова:** фитофаг, семядоли, анатомия листа, губчатая паренхима

Поступила в редакцию: 27.07.2022

Принята к печати: 02.12.2022

### Введение

Трофические отношения – основа взаимодействий между растениями и консументами в биогеоценозах. Известно, что реакции предпочтения или отвергания фитофагами растений связаны с особенностями их роста и развития, обусловлены физиологическими и морфо-анатомическими характеристиками органов. Все эти свойства могут выступать как в качестве структурных барьеров, ограничивающих для насекомых использование кормовых растений, так и в качестве факторов, привлекающих фитофагов (Вилкова, 1979). В пределах каждого органа растения фитофаги предпочитают питаться на определенных тканях. На растении членистоногие преимущественно локализируются в местах, наиболее благоприятных для питания, соответствующего особенностям пищевой специализации биотрофов и уровню процессов их жизнедеятельности (Павлюшин и др., 2015).

Объект наших исследований – оранжерейная белокрылка *T. vaporariorum* West. является широко распространенным вредителем тепличных культур. По гостальной пищевой специализации она является полифагом, круг кормовых растений которого включает 859 видов из 469 родов, принадлежащих к 121 семейству (Voigt et al., 2019). Насекомое имеет колюще-сосущий ротовой аппарат и, обитая преимущественно на нижней стороне листьев, питается содержимым ситовидных элементов флоэмы

проводящих пучков. Его вредоносность связана не только с потерей растением ассимилятов. В процессе питания белокрылка выделяет медвяную росу, которая покрывает листья и снижает интенсивность фотосинтеза, что может значительно повышать ее вредоносность. В личиночной стадии насекомого, включающей 4 возраста, только личинка 1-го возраста (бродяжка) имеет ноги и способна передвигаться по листьям в поисках места для оптимального питания. В последующих возрастах у личинки ноги редуцированы, и она ведет неподвижный образ жизни. Таким образом, выбор бродяжками мест питания может определять реализацию репродуктивного потенциала вредителя.

Изучению взаимоотношений растений с алейродидами посвящено большое количество работ. Значительное внимание уделено биохимическим аспектам взаимодействий в системе «растение – фитофаг» (Zarate et al., 2007; Zhang et al., 2013; Li et al., 2014; Du et al., 2016; Darshanee et al., 2017; Zhanga et al., 2019; Mostafizur, 2021). Роль морфо-анатомических характеристик растений в жизнедеятельности белокрылок также является предметом активных исследований. Показана значимость особенностей морфологии листьев и характера их опушения при выборе насекомыми растений для питания и откладки яиц (Puri et al., 1993; Taggar, Gil, 2012; Avery et al., 2015; Hasanuzzaman et al., 2016; Santegoets et al., 2021). Доступность сосудов

проводящей системы для питания фитофага рассматривалась в более ранних публикациях (Rao et al., 1990; Cohen, 1996). Высказаны предположения, что плотность сосудистых пучков проводящей системы на единицу площади листовой пластинки и глубина их залегания в мезофилле листа могут служить иммунологическим барьером для вредителя. Следует отметить, что подавляющее большинство публикаций по данной проблематике касается табачной белокрылки *Bemisia tabaci* Gennadius.

Огурец – одно из благоприятных растений для развития оранжерейной белокрылки. Высокая плодовитость и низкая в условиях теплиц естественная смертность на огурце, способность к партеногенезу обуславливают высокие темпы роста численности популяций насекомого. При высокой плотности особей фитофаг способен вызывать существенное снижение урожайности культуры. На вегетирующих растениях онтогенетическая пищевая специализация вредителя проявляется в приуроченности имаго при питании и откладке яиц к молодым, еще не закончившим свой рост листьям, фотосинтез в которых наиболее интенсивен. При отсутствии настоящих листьев на начальном этапе развития растений, фитофаг может

развиваться и на семядольных листьях, как первых в онтогенезе огурца фотосинтезирующих органах.

Семядольные листья (семядоли) функционально схожи с настоящими, но отличаются по морфологии и структурным характеристикам. Изучение топической пищевой специализации оранжерейной белокрылки на семядолях, как нестандартном пищевом субстрате, представляет интерес в целях выявления возможных механизмов устойчивости растений к данному фитофагу. В предыдущих исследованиях (Кириллова, Раздубурдин, 2018) показано, что на семядольных листьях личинки насекомого проявляют отчетливую избирательность при выборе мест питания, предпочитая края листовых пластинок. Возможно, одна из причин такого поведения вредителя – морфо-анатомические особенности семядолей.

В данной работе система «огурец – оранжерейная белокрылка» выступает экспериментальной моделью для изучения роли морфо-анатомического барьера в устойчивости растений к вредителю. Целью работы является исследование корреляции между распределением личинок *Trialeurodes vaporariorum* на семядольных листьях огурца и их структурными особенностями.

### Материалы и методы

Исследования выполнены в лабораторных условиях с использованием партенокарпического гибрида огурца Гинга, растения которого выращивали в пластиковых стаканах с объемом почвы 0.2 л. Для оценки характера заселения растений вредителем стаканы с проростками, имеющими развернутые семядольные листья, на одни сутки помещали в бокс, в котором белокрылка содержалась на фасоли при температуре 22–25 °С. Затем на 10 растениях подсчитывали количество имаго насекомого, фиксируя местоположение особей как на верхней, так и на нижней стороне пластинок листа. При этом семядольный лист визуально делили на 3 равные части: базальную, среднюю и верхушечную. После учета имаго белокрылки с растений удаляли эксгаустером, семядольные листья срезали и с помощью бинокуляра подсчитывали количество отложенных яиц на базальной, средней и верхушечной части листовых пластинок. Через 9 суток после удаления с проростков имаго на семядольных листьях, срезанных с других 10 растений, под бинокуляром оценивали количество и размещение личинок 1 возраста.

Исследования анатомической структуры семядольных листьев проводили на 5 интактных растениях. При достижении семядольными листьями размеров 3.5 на 2 см с растений срезали по 1 листу. Для изготовления препаратов поперечных срезов из каждого листа параллельно центральной жилке брали высечки размером 4 x 7 мм – по 2 с правой и левой стороны листовой пластинки. Одна из этих 2-х высечек представляла ткани краевой части, а вторая – центральной части листа.

Для анализа срезов из настоящих листьев использовали 5 интактных растений. Когда первый настоящий лист достигал размера 4–5 см<sup>2</sup>, из его срединной части справа и слева от центральной жилки брали по одной высечке размером 4 x 7 мм.

Изготовление поперечных срезов проводили по общепринятым методам гистологических исследований (Паушева, 1988; Glauert, 1980). Высечки из листьев

фиксируют в 2.5%-ом растворе глутаральдегида на 0.1 М фосфатном буфере (рН 7.1–7.3) и после обезвоживания путем проводки через серию спиртов и ацетонов растительный материал помещали в эпоксидную смолу (смесь эпона и аралдита). Срезы изготавливали на автоматическом ультрамикротоме EM UC6 (Leica Microsystems), далее материал окрашивали 1 %-ым толуидиновым синим на буре (1 % тетраборат Na).

Для просветления целых листовых пластинок семядольные листья размером 3.5 на 2 см срезали и помещали в 70%-ый этиловый спирт, далее поэтапно добавляли дистиллированную воду до полного замещения спирта с последующим помещением образцов в 5%-ый NaOH на 12 часов. При недостаточном обесцвечивании образцы нагревали. Материал хранили в 40%-ом этиловом спирте, на время просмотра образцы после промывки дистиллированной водой помещали на предметное стекло в каплю 50%-ого глицерина.

Полученные препараты исследовали и фотографировали с помощью универсального биологического флуоресцентного микроскопа Axio Scope A1 (Zeiss) с камерой Axio Cam MRc5 (Zeiss). Для анализа поперечных срезов семядолей и настоящих листьев отбирали по 10 фотографий.

На поперечных срезах с помощью компьютерной программы ImageJ (National Institutes of Health, USA) измеряли толщину верхней (адаксиальной) и нижней (абаксиальной) эпидермы, длину клеток палисадной паренхимы, размеры клеток губчатой паренхимы, толщину палисадной и губчатой паренхимы, расстояние от нижней поверхности листа до проводящих пучков.

Статистическую обработку данных о распределении насекомых на разных частях семядольного листа проводили с использованием однофакторного анализа методом Холма-Шидака в приложении Sigmaplot 12.5 (SyStat Software, Inc., San Jose, California).

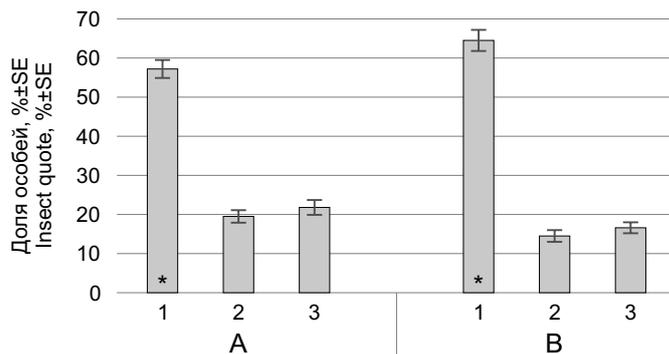
### Результаты

До начала питания и откладки яиц имаго белокрылки могут находиться как на нижней, так и на верхней стороне листовых пластинок семядолей. Уже через сутки после заселения проростков огурца вредителем доля особей на нижней стороне семядолей была выше (в 4.7 раза) в сравнении с верхней (соответственно  $82.5 \pm 8.24$  и  $17.4 \pm 4.53$  %). На верхней (адаксиальной) поверхности не наблюдалось приуроченности насекомых к какой-либо определенной части пластинки, тогда как на абаксиальной имаго явно предпочитали базальную часть семядоли.

На остальной площади семядоли взрослые особи локализовались, как правило, около крупных жилок, ткани которых возвышались над поверхностью листа. Самки откладывали яйца только на абаксиальную сторону, при этом размещение яиц коррелировало с размещением самок (рис. 1).

Установлено, что после выхода из яиц личинки первого возраста перемещались для постоянного питания в краевую зону семядолей. Ширина полосы концентрации личинок по периметру семядоли составляла 1–1.5 мм. По нашим наблюдениям, в местах постоянной дислокации бродяжки крайне редко располагались вплотную друг к другу (рис. 2). При самом плотном их размещении по краю семядольного листа расстояние между особями составляло  $0.48 \pm 0.085$  мм. Были отмечены единичные погибшие бродяжки, которые, как правило, находились ближе к центру пластинки.

Анализ анатомического строения семядольного листа огурца показал, что его структура в целом схожа с настоящим листом (рис. 3–5). Толщина нижней эпидермы в сравнении с верхней на 30–40% меньше (табл. 1). Как в семядольном, так и в настоящем листе между верхней и нижней эпидермой располагается мезофилл, который дифференцирован на палисадную (столбчатую) и губчатую паренхиму с более рыхлым расположением тканей в семядольном листе. Проводящие пучки расположены

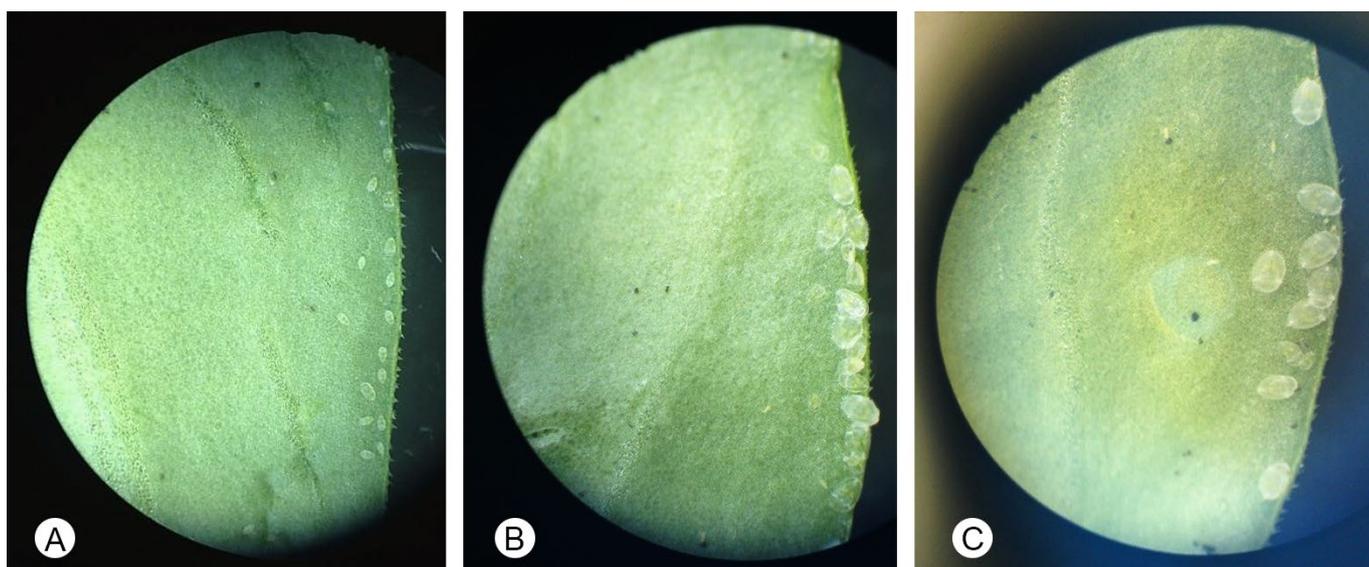


**Рисунок 1.** Размещение имаго (А) и яиц (В) оранжерейной белокрылки на абаксиальной стороне базальной (1), срединной (2) и верхушечной (3) частях семядольного листа огурца Гинга F1. Звездочками отмечены достоверно отличающиеся варианты ( $p < 0.001$ )

**Figure 1.** The distribution of greenhouse whitefly adults (A) and eggs (B) on basal (1), central (2) and top (3) parts of the abaxial side of the cucumber Ginga F1 cotyledon leaf. Asterisks indicates the significantly different variants ( $p < 0.001$ )

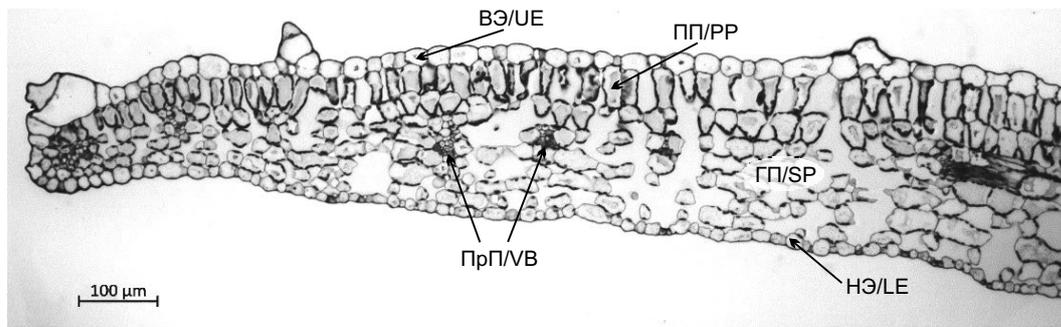
между палисадной и губчатой тканями листа, при этом ксилема находится в верхней их части (ближе к адаксиальной эпидерме), а флоэма – в нижней (ближе к абаксиальной эпидерме).

Размеры всех изучаемых структур в настоящем листе меньше, чем в семядолях (табл. 1). Наиболее сильные различия отмечены в толщине губчатой паренхимы: в краевой зоне семядоли ее высота в 3 раза, а в центральной – в 10 раз больше, чем в настоящем листе. Соответственно, в семядолях расстояние от абаксиальной поверхности до проводящих пучков в центральной зоне в 7 раз, а в краевой – в 2 раза больше в сравнении с настоящим листом.



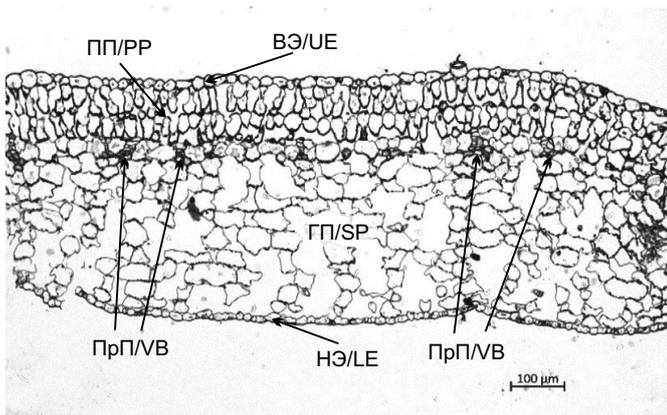
**Рисунок 2.** Размещение личинок *T. vaporariorum* 2-го (А), 3-го (В) и 4-го возраста (С) в краевой зоне семядольного листа

**Figure 2.** The distribution of *T. vaporariorum* larvae of the 2nd (A), 3rd (B) and 4th (C) instars on the marginal zone of the cotyledon leaf



**Рисунок 3.** Поперечный срез краевой зоны семядоли огурца. ВЭ – верхняя (адаксиальная) эпидерма; ГП – губчатая паренхима; НЭ – нижняя (абаксиальная) эпидерма; ПП – палисадная паренхима; ПрП – проводящий пучок

**Figure 3.** The cross-section through the marginal zone of the cucumber cotyledon. LE – lower epidermis; PP – palisade parenchyma; SP – sponge parenchyma; UE – upper epidermis; VB – vascular bundle



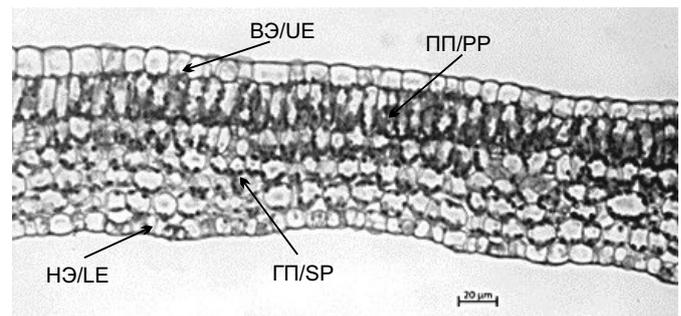
**Рисунок 4.** Поперечный срез центральной зоны семядоли огурца. Условные обозначения, как на рис. 3

**Figure 4.** The cross-section through the central zone of the cucumber cotyledon. Abbreviations are as in Fig. 3

В настоящем листе коэффициент палисадности значительно выше (в сравнении с центральной зоной семядоли – в 4 раза, с краевой зоной – в 2 раза).

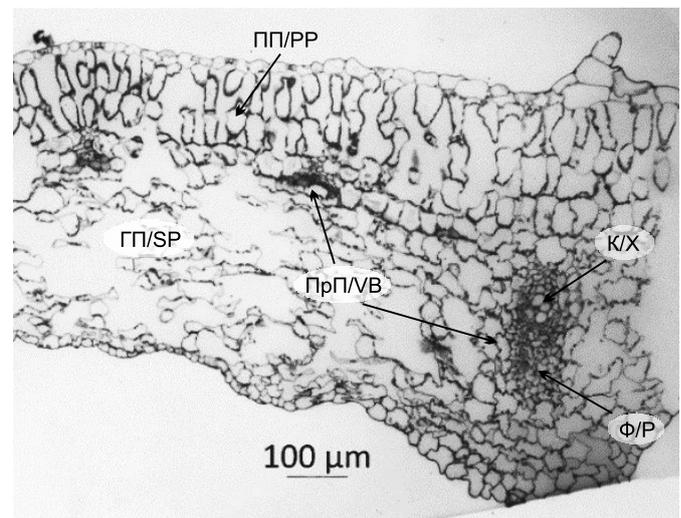
Сравнительный анализ анатомии краевой и центральной части семядольного листа показал, что в данных зонах толщина клеток эпидермы и длина клеток 1-го слоя палисадной паренхимы одинаковы. Палисадная паренхима в краевой части семядольного листа представлена одним слоем клеток, а в центральной части постепенно образуется второй слой. От края к центру семядоли длина клеток 2 слоя палисадной паренхимы увеличивается на 29%, максимальный диаметр клеток губчатой паренхимы – на 68%, толщина столбчатой и губчатой ткани – соответственно на 38 и 186%. При этом высота губчатой паренхимы возрастает преимущественно за счет увеличения количества слоев клеток: от 2–3 в краевой части до 8–10 в центральной части пластинки. Вследствие этого в центральной зоне семядоли в сравнении с краевой расстояние от нижней поверхности листа до проводящих пучков в 3 раза больше (рис. 3–4). В крупных жилках второго порядка (рис. 6), расстояние от абаксиальной поверхности до флоэмы меньше, чем в более мелких проводящих пучках (соответственно  $229.8 \pm 4.27$  мк и  $293.4 \pm 9.22$  мк).

В семядольных листьях жилкование сетчатое, а вдоль периметра всего листа проходит пучок из нескольких (до 3-х) мелких окаймляющих жилок (рис. 7).



**Рисунок 5.** Поперечный срез центральной зоны первого настоящего листа огурца Гинга F1. Условные обозначения, как на рис. 3

**Figure 5.** The cross section through the central zone of the cucumber Ginga F1 first real leaf. Abbreviations are as in Fig. 3



**Рисунок 6.** Поперечный срез семядольного листа огурца: справа – крупная жилка второго порядка, слева видны две мелкие жилки. К – ксилема; Ф – флоэма; остальные обозначения, как на рис. 3

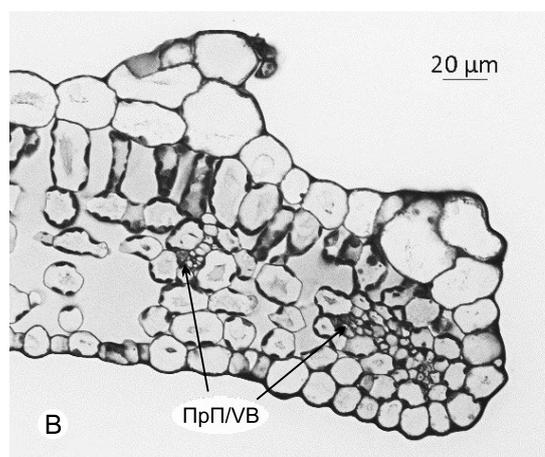
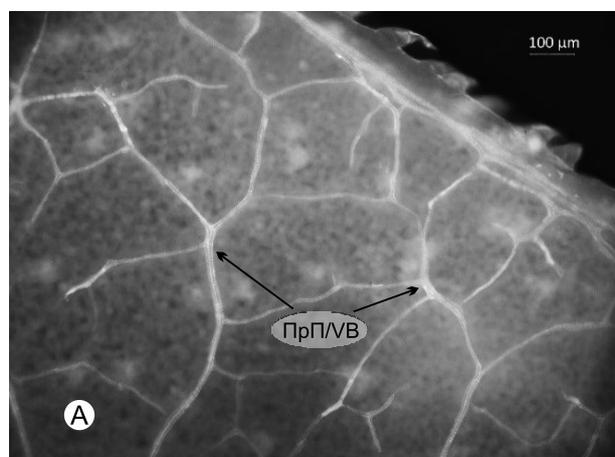
**Figure 6.** The cross section through cucumber cotyledon leaf: the vein of the 2-nd order is to the right, two minor veins are to the left (arrows). X – xylem, P – phloem. Other abbreviations are as in Fig. 3

**Таблица 1.** Структурные характеристики семядольного и первого настоящего листа огурца Гинга F1

Анатомические показатели (среднее ± ст. ошибка)	Семядольный лист		Первый настоящий лист
	Краевая зона	Центральная зона	
Толщина листа, мкм	210.5 ± 6.73	426.6 ± 8.81	91.4 ± 1.05
Толщина верхней эпидермы, мкм	22.4 ± 1.5	23.1 ± 1.91	13.3 ± 0.26
Толщина нижней эпидермы, мкм	15.9 ± 1.1	14.3 ± 1.13	8.2 ± 0.21
Длина клеток первого слоя палисадной паренхимы, мкм	38.9 ± 0.72	38 ± 0.97	23 ± 0.38
Длина клеток второго слоя палисадной паренхимы, мкм	28.4 ± 0.95	36.6 ± 0.98	13.6 ± 0.31
Толщина палисадной паренхимы, мкм	69.6 ± 1.66	96.1 ± 1.24	36.9 ± 0.54
Толщина губчатой паренхимы, мкм	103.5 ± 4.05	296.4 ± 6.1	29.1 ± 0.75
Коэффициент палисадности (соотношение толщины палисадной и губчатой паренхимы)	0.67	0.32	1.27
Максимальный диаметр клеток губчатой паренхимы, мкм	28.4 ± 0.99	47.7 ± 1.53	12.6 ± 0.36
Расстояние от нижней поверхности листа до проводящих пучков, мкм	94 ± 6.04	293.4 ± 9.22	41.1 ± 1.29

**Table 1.** Structural characteristics of cotyledon and the first true leaf of cucumber Ginga F1

Anatomy features (mean ± standard error)	Cotyledon		First true leaf
	Marginal zone	Central zone	
Leaf thickness, $\mu\text{m}$	210.5 ± 6.73	426.6 ± 8.81	91.4 ± 1.05
Upper epidermis thickness, $\mu\text{m}$	22.4 ± 1.5	23.1 ± 1.91	13.3 ± 0.26
Lower epidermis thickness, $\mu\text{m}$	15.9 ± 1.1	14.3 ± 1.13	8.2 ± 0.21
Cell length of the first layer of the palisade parenchyma, $\mu\text{m}$	38.9 ± 0.72	38 ± 0.97	23 ± 0.38
Cell length of the second layer of the palisade parenchyma, $\mu\text{m}$	28.4 ± 0.95	36.6 ± 0.98	13.6 ± 0.31
Palisade parenchyma thickness, $\mu\text{m}$	69.6 ± 1.66	96.1 ± 1.24	36.9 ± 0.54
Spongy parenchyma thickness, $\mu\text{m}$	103.5 ± 4.05	296.4 ± 6.1	29.1 ± 0.75
Palisade coefficient (palisade/spongy parenchyma thickness ratio)	0.67	0.32	1.27
Maximal diameter of spongy parenchyma cells, $\mu\text{m}$	28.4 ± 0.99	47.7 ± 1.53	12.6 ± 0.36
Distance between lower leaf surface and vascular bundles, $\mu\text{m}$	94 ± 6.04	293.4 ± 9.22	41.1 ± 1.29

**Рисунок 7.** Проводящая система в краевой зоне семядольного листа. А – автофлуоресценция сосудов жилок под ультрафиолетовым светом в просветленной семядоле; В – жилки в краевой зоне на поперечном срезе.

Обозначения, как на рисунке 3

**Figure 7.** The conducting system in the marginal zone of the cotyledon leaf. A – autofluorescence of the vessels in the veins under ultraviolet light in the cleared cotyledon; B – veins in the marginal zone on the cross-section (arrows).

Abbreviations are as in Fig. 3

### Обсуждение

Обитая на абаксиальной стороне листьев, *T. vaporariorum* при питании для достижения флоэмы проводящих пучков внедряет свои стилеты между клеточными стенками эпидермы и по межклетникам губчатой паренхимы мезофилла (Weber, 1931). Суммарная высота нижней эпидермы и губчатой паренхимы может затруднять доступ стилетов во флоэму, играя роль одного из структурных барьеров растения, ограничивающих питание вредителя. Выбор фитофагом оптимальных мест

питания на листе, концентрация его особей в таких местах могут быть обусловлены суммарной толщиной этих тканей, не лимитирующей функции стилетов насекомого. Данных о четко выраженной и стабильно проявляющейся приуроченности питания вредителя к определенным местам на настоящих листьях в литературе нами не найдено. Однако на семядольных листьях такая приуроченность фитофага очевидна.

Предыдущими исследованиями, выполненными на огурце Либелле F1, показано, что имаго белокрылки на семядольных листьях предпочитают заселять базальную их часть, где сосредотачивалось более 60% взрослых особей насекомого. Аналогичным образом были размещены на семядолях отложенные самками яйца, но более 95% личинок предпочитали для питания края семядолей (Кириллова, Раздобурдин, 2018). Отметим, что гибриды Либелле и Гинга различаются по гормональному статусу: Либелле F1 – пчелоопыляемый гибрид, имеющий как женские, так и мужские цветки, тогда как Гинга – партенокарпический гибрид женского типа цветения. Известно, что сексуализация растения связана с активностью определенных фитогормонов: образование мужских цветков связано с активностью гиббереллинов, тогда как женских цветков – цитокининов, ауксина и этилена (Полевой, 1989). Однако, настоящее исследование показало, что поведение имаго насекомого при питании и откладке яиц, а также пространственное размещение питающихся личинок на семядольных листьях обоих гибридов в целом идентичны. В частности, предпочитая нижнюю сторону семядоли, взрослые особи вредителя избирали для питания и откладки яиц преимущественно базальную зону пластинки. В этой зоне жилки второго порядка соединяются с центральной жилкой, по флоэме которой ассимиляты транспортируются в гипокотиль и корни, а также к точке роста будущего побега. Личинки 1 возраста предпочитали крайнюю зону семядоли.

Продолжительность развития личинки первого возраста на огурце при оптимальных условиях – около 4-х суток (Попов и др., 1986). Личинки, активно передвигаясь, могут определяться с постоянным местом питания в течение 15 часов после выхода из яиц (Чалков, 1986). В условиях эксперимента среднее расстояние между бродяжками, выбравшими место постоянного питания в краевой зоне семядольного листа, составляло  $0.48 \pm 0.085$  мм. Длина личинки 1-го, 2-го и 3-го возраста – соответственно 0,3, 0,4 и 0,53 мм (Чалков, 1986). Так как среднее расстояние между бродяжками меньше длины личинки 3-ого возраста, можно полагать, что личинки насекомого в этой стадии могут мешать друг другу в процессе питания. Очевидно, что снижение взаимной интерференции особей в первую половину личиночного развития насекомого обеспечивается поведением бродяжек при определении ими постоянного места питания на листе.

Данные о характере размещения особей вредителя на абаксиальной поверхности семядольных листьев показывают, что у имаго топография мест питания разнообразнее и, по-видимому, возможности получения полноценной пищи шире, чем у личинок. Это может быть связано с различной у взрослых особей и личинок длиной колющих стилетов, с одной стороны, и, с другой стороны, с морфо-анатомическими особенностями семядолей. Сведений о размерах колющих стилетов *T. vaporariorum* в литературе нами не найдено. Однако, такие данные имеются в отношении близкого вида из сем. *Aleurodidae* – белокрылки *Bemisia argentifolli* Bellows et Perring: у имаго длина стилетов 217 мк, а у личинок 1, 2, 3 и 4-го возрастов – соответственно 114, 132, 142 и 159 мк (Freeman et al., 2001). Полагают, что этот вид является биотипом В табачной белокрылки *Bemisia tabaci* Gennadius (Perring, Symmes,

2006). У *B. argentifolli* длина стилетов имаго в 1,9 раза больше, чем у личинок 1 возраста. Аналогичные различия в размерах стилетов можно предположить для взрослых особей и бродяжек *T. vaporariorum*. Если принять, что у оранжерейной белокрылки длина стилетов имаго и личинок 1 возраста такая же, как у *B. argentifolli* (соответственно 217 мк и 114 мк), то очевидно, что флоэма проводящих пучков в центральной зоне семядольного листа недоступна не только бродяжкам, но и взрослым особям вредителя. В этой зоне расстояние от нижней поверхности семядоли до флоэмных элементов проводящей системы ( $293.4 \pm 9.22$  мк) больше предполагаемой длины стилетов имаго насекомого. Ситовидные трубки флоэмы в крупных жилках в данном случае аналогично недостижимы для вредителя. Расстояние от абаксиальной поверхности листа до флоэмы таких жилок ( $229.8 \pm 4.27$  мк) также больше гипотетической длины стилетов имаго. В краевой зоне семядоли, напротив, по глубине залегания ( $94 \pm 6.04$  мк) проводящие пучки доступны даже для личинок. Поскольку имаго *T. vaporariorum* способны питаться и на крупных жилках, можно предполагать, что длина стилетов у этого вида несколько больше, чем у *B. argentifolli*.

Показано, что по периметру семядольного листа расположены мелкие окаймляющие жилки, иногда по 2–3 вместе. По-видимому, наличие в этой зоне листовой пластинки мелких проводящих пучков является дополнительным фактором, влияющим на выбор личинками белокрылки мест питания. Имеются сведения, что личинки *B. argentifolli* предпочитают питаться из мелких проводящих пучков, флоэма которых состоит из одной или двух нитей ситовидных трубок (Cohen et al., 1996). Возможно, это свойственно и для личинок *T. vaporariorum*.

Предварительные исследования показали, что в условиях выбора между растениями в фазе семядольных листьев и более развитыми растениями с настоящими листьями имаго насекомого предпочитает последние, при этом настоящие листья для вредителя более привлекательны, чем семядоли. Полученные результаты показывают, что размеры анатомических структур первого настоящего листа более близки к таковым в краевой зоне семядолей в сравнении с центральной их частью. На растениях в фазе начала плодоношения показано, что толщина губчатой паренхимы в листьях верхних ярусов, наиболее предпочитаемых белокрылкой для питания и откладки яиц, составляет 38–56 мк (Раздобурдин, Сергеев, 2016), что больше соответствует толщине краевой, чем центральной зоны семядоли. В определенной мере это объясняет локализацию личинок белокрылки на семядольных листьях.

Очевидно, что по краю семядольного листа небольшая глубина залегания проводящих пучков в мезофилле определяет доступность флоэмы для стилетов личинок вредителя и, как следствие, локализацию последних по краям листа. Однако, это не исключает возможное влияние на поведение бродяжек особенностей функциональных характеристик тканей листа в краевой и центральной части листовой пластинки, в разной мере соответствующих специфике метаболизма личинок насекомого, что требует дополнительных исследований.

## Библиографический список (References)

- Вилкова НА (1979) Иммуитет растений к вредителям и его связь с пищевой специализацией насекомых-фитофагов. Доклады на тридцать первом ежегодном чтении памяти Н.А. Холодковского. Л.: Наука. 68–103.
- Кириллова ОС, Раздобурдин ВА (2018) Топическая специфичность тепличной белокрылки на огурце в ювенильный период развития растений. Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов. Ч. 1. СПб.: СПбГАУ. 84–87.
- Раздобурдин ВА, Сергеев ГЕ (2016) Особенности пищевой специализации паутинного клеща *Tetranychus urticae* Koch: морфо-анатомическое строение листьев различных по устойчивости к фитофагу сортов образцов огурца. *Вестник защиты растений* 1(87):14–22
- Павлюшин ВА, Вилкова НА, Сухорученко ГИ, Нефедова ЛИ, Капусткина АВ (2015) Вредная черепашка и другие хлебные клопы. СПб.: ВИЗР. 280 с.
- Паушева ЗП (1988) Практикум по цитологии растений. 4-е изд. М.: Агропромиздат. 271 с.
- Полевой ВВ (1989) Физиология растений: Учеб. для биол. спец. вузов. М.: Высш. шк. 464 с.
- Попов НА, Забудская ИА, Менчер ЭМ (1986) Таблицы выживания тепличной белокрылки на овощных культурах закрытого грунта и эффективность энкарзии. Биологическая регуляция численности вредных организмов. М.: Агропромиздат. 276–295
- Чалков АА (1986) Биологическая борьба с вредителями овощных культур защищенного грунта. М.: Россельхозиздат. 94 с.
- Avery PB, Kumar V, Simmonds MS, Faull J (2015) Influence of leaf trichome type and density on the host plant selection by the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Appl Entomol Zool* 50(1):79–87. <https://doi.org/10.1007/s13355-014-0308-5>
- Cohen AC, Henneberry TJ, Chu CC (1996) Geometric relationships between whitefly feeding behavior and vascular bundle arrangements. *Entomol Exp Appl* 78:135–142
- Darshanee HL, Ren H, Ahmed N, Zhang ZF, Liu YH, Liu TX (2017) Volatile-mediated attraction of greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* to tomato and eggplant. *Front Plant Sci* 8:1285. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01285>
- Du W, Han X, Wang Y, Qin Y (2016) A primary screening and applying of plant volatiles as repellents to control whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) on tomato. *Sci Rept* 6(1):1–10. <https://doi.org/10.1038/srep22140>.
- Freeman TR, Buckner JS, Nelson DR, Chu CC, Henneberry TJ (2001) Stylet penetration by *Bemisia argentifolli* (Homoptera: Aleyrodidae) into host leaf tissue. *Ann Entomol Soc Am* 94: 761–768.
- Glauert AM (1990) Fixation, dehydration and Embedding of Biological Specimens. North-Holland: Amsterdam. New York. Oxford. 207 pp.
- Hasanuzzaman ATM, Md. Islam MN, Zhang Y, Zhang CY, Liu TX (2016) Leaf morphological characters can be a factor for intra-varietal preference of whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) among eggplant varieties. *PLoS One*. 11 (4): e0153880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153880>.
- Li Y, Zhong S, Qin Y, Zhang S, Gao Z, Dang Z, Pan W (2014) Identification of plant chemicals attracting and repelling whiteflies. *Arthropod-Plant Interactions*. 8:183–190. <https://doi.org/10.1007/s11829-014-9302-7>.
- Lei H, van Lenteren JC, Xu Ru M (2001) Effects of plant tissue factors on the acceptance of four greenhouse vegetable host plants by the greenhouse whitefly: an Electrical Penetration Graph (EPG) study. *Eur. J. Entomol.* 98: 31–36.
- Mostafizur MSR (2021) Influence of host plants on longevity, fecundity and Y-tube olfactometer response of *Bemisia tabaci* B (Hemiptera: Aleyrodidae). *Asian J Appl Sci Eng* 10(1):9–17
- Perring TM, Symmes EJ (2006) Courtship behavior of *Bemisia argentifolli* (Hemiptera: Aleyrodidae) and whitefly mate recognition. *J Econ Entomol* 99:598–606
- Puri SN, Ansingkar AS, Ajankar VN, Lavekar RC, Butler GD, Henneberry TJ (1993) Effect of cotton leaf morphology on incidence of *Bemisia tabaci* Genn. on cotton. *J Appl Zool Res* 4:41–44
- Rao N, Venugopal AS, Reddy R, Ankaiah YN, Rao YN, Khasim SM (1990) Incidence of whitefly (*Bemisia tabaci*) in relation to leaf characters of upland cotton (*Gossypium hirsutum*). *Ind J Agric Sci* 60: 619–624.
- Santegoets J, Bovio M, van't Westende W, Voorrips R E, Vosman B (2021) A novel non-trichome based whitefly resistance QTL in *Solanum galapagense*. *Euphytica* 217 (3):1–11. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02770-7>
- Taggar GK, Gil RS (2012) Preference of whitefly, *Bemisia tabaci*, towards black gram genotypes: Role of morphological leaf characteristics. *Phytoparasitica* 40:461–474. <https://doi.org/10.1007/s12600-012-0247-z>
- Voigt D, Schrameyer K, Kiefer J, Zebitz CPW, Gorb S (2019) Anchoring of greenhouse whitefly eggs on different rose cultivars. *Arthropod-Plant Interactions* 13:335–348 [doi.org/10.1007/s11829-019-09680-5](https://doi.org/10.1007/s11829-019-09680-5)
- Weber H (1931) Lebensweise und Umweltbeziehung von *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera – Aleyrodina). Erster Beitrag zu einer Monographie dieser Art. In: Buchner P, Schulze P (red.) Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere. Verlag von Julius Springer. Berlin 23:575–753
- Zarate SI, Kempema LA, Walling LL (2007) Silverleaf whitefly induces salicylic acid defenses and suppresses effectual jasmonic acid defenses. *Plant Physiol* 143(2):866–875. <https://doi.org/10.1104/pp.106.090035>
- Zhang PJ, Broekgaarden C, Zheng SJ, Snoeren TA, van Loon JJ, Gols R, Dicke M (2013) Jasmonate and ethylene signaling mediate whitefly-induced interference with indirect plant defense in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytol* 197(4):1291–1299. <https://doi.org/10.1111/nph.12106>
- Zhang P, Wei J, Zhao C, Zhang Y, Li CY, Liu SS et al. (2019) Airborne host-plant manipulation by whiteflies via an inducible blend of plant volatiles. *Proc Nat Acad Sci* 116 (15): 7387–7396. <https://doi.org/10.1073/pnas.1818599116>

## Translation of Russian References

- Chalkov AA (1986) [Biological pest control of vegetable crops of protected soil]. M.: Rosselkhozizdat. 94 p. (in Russian)
- Kirillova OS, Razdoburdin VA (2018) [Topical specificity of greenhouse whitefly on cucumber in the juvenile period of plant development] Collection of scientific papers “Scientific support for the development of agriculture in the context of import substitution”. St. Petersburg: SPbGAU. 1:84–87 (in Russian)
- Pausheva ZP (1988) [Workshop on plant cytology]. Fourth Edition. Moscow.: Agropromizdat. 271 p. (in Russian)
- Pavlyushin VA, VilkoVA NA, Sukhoruchenko GI, Nefedova LI, Kapustkina AV (2015) [Harmful turtle-bug and other bread bugs]. St. Petersburg VIZR. 280 p. (in Russian)
- Polevoy VV (1989) [Plant Physiology: Proc. for biol. specialist. Universities]. Moscow: Vysshaya shkola. 464 p. (in Russian)
- Popov NA, Zabudskaya IA, Mencher EM (1986) [Tables of survival of greenhouse whitefly on vegetable crops of closed ground and the effectiveness of Encarsia. Biological regulation of the number of harmful organisms]. Moscow: Agropromizdat. 276–295 (in Russian)
- Razdoburdin VA, Sergeyev GE (2016) [Features of food specialization of spider mite Tetranychus urticae Koch: morpho-anatomic structure of leaves of cucumber varieties differing by resistance to phytophage]. *Vestnik zashchity rasteniy* 1(87):14–22 (in Russian)
- Vilkova NA (1979) [Immunity of plants to pests and its connection with the food specialization of phytophagous insects. Reports at the thirty-first annual reading in memory of N.A. Kholodkovsky]. Leningrad: Nauka. 68–103 (in Russian)

Plant Protection News, 2022, 105(4), p. 193-200

OECD+WoS: 1.06+IY (Entomology)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-4-15431>

Full-text article

THE TOPICAL SPECIFICITY OF THE WHITEFLY *TRIALEURODES VAPORARIORUM*  
IN RELATION TO MORPHOLOGICAL AND ANATOMICAL FEATURES  
OF CUCUMBER COTYLEDON LEAVES

O.S. Kirillova<sup>1\*</sup>, V.A. Razdoburdin<sup>1</sup>, E.V. Voznesenskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

\*corresponding author, e-mail: ol-yurchenko@yandex.ru

The *Trialeurodes vaporariorum* first instars (crawlers) are mobile and able to choose the optimal spots on the leaf for constant feeding favorable for the pest development. Spatial distribution of larvae and adults on the cucumber Ginga F1 cotyledon leaves, as well as the morpho-anatomical structure of cotyledons on cross sections have been studied in the laboratory. Some differences in topology of feeding sites between adults and larvae were revealed. Females occupying the underside of the leaf preferred to feed and lay eggs mainly in the basal part of the cotyledons. Unlike adults, the highest number of crawlers chose the marginal zone of cotyledon leaves for feeding. Larvae concentrated along the cotyledon perimeter forming a band of 1–1.5 mm wide. We demonstrated that the choice of feeding spots by crawlers was most likely associated with specific features of the morpho-anatomical structure of a cotyledon leaf. We showed that conductive bundles with phloem in their lower part were located on the border between the palisade and spongy parenchyma. The height of the spongy parenchyma decreased from the central part of the leaf to the edges by 2–3 times. The whitefly is an insect that feeds on the content of phloem sieve elements, and so we assume that the shorter length of the piercing stylet of the crawlers allow feeding only in the marginal zone of the cotyledon leaves of cucumber of this variety, in contrast to the adults.

**Keywords:** phytophagous insect, cotyledons, leaf anatomy, spongy parenchyma

Submitted: 27.07.2022

Accepted: 02.12.2022