

感染马铃薯Y病毒烟株对烟蚜取食行为及烟蚜茧蜂适应性的影响

何应琴¹ 赵如娜² 陈文龙^{2*} 蔡 璘¹ 牛素贞³ 丁 伟^{1*}

(1. 西南大学植物保护学院, 重庆 400716; 2. 贵州大学昆虫研究所, 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025; 3. 贵州大学茶学院, 贵阳 550025)

摘要: 为探明烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead 对烟蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 取食感染马铃薯Y病毒(Potato virus Y, PVY)烟株的适应性, 利用刺探电位图谱(EPG)技术记录了烟蚜在感病烟株与健康烟株上的取食行为, 并测定了烟蚜茧蜂对取食2种烟株烟蚜的寄生率以及烟蚜茧蜂的羽化率、发育时间及性比等指标。结果表明, 与健康烟株相比, 烟蚜在感染PVY烟株上的第1次刺探取食持续时间显著延长, 且口针遇到阻力的次数(F波)和总持续时间均显著减少。烟蚜在感病烟株木质部的吸食时间(G波)显著长于健康烟株。感病烟株上烟蚜在韧皮部阶段的分泌唾液时间(E1波)较在健康烟株上显著缩短, 而被动吸食汁液时间(E2波)显著延长。烟蚜茧蜂寄生取食感染PVY烟株的烟蚜, 虽然能成功完成其生活史, 但适应性与寄生取食健康烟株烟蚜的蚜茧蜂存在差异。在感染PVY烟株上, 烟蚜茧蜂对烟蚜的寄生率为33.67%, 显著低于对照的64.67%; 且僵蚜体重明显下降, 羽化的成蜂个体较小; 成蜂存活时间1.48 d也极显著短于对照组的2.25 d。表明烟蚜茧蜂对取食感染PVY烟株烟蚜的适应性较低, PVY可通过烟蚜为介体间接降低烟蚜茧蜂的适应力。

关键词: 烟蚜茧蜂; 烟蚜; 马铃薯Y病毒; 刺探电位图谱; 适应性

Influence of *Potato virus Y*-infected tobacco on feeding behaviour of green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer) and on *Aphidius gifuensis* Ashmead adaptability

He Yingqin¹ Zhao Runa² Chen Wenlong^{2*} Cai Lin¹ Niu Suzhen³ Ding Wei^{1*}

(1. College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Guizhou Key Laboratory of Plant Disease and Pest Management for Mountain Agriculture, Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. College of Tea Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: To elucidate the adaptability of *Aphidius gifuensis* Ashmead to *Myzus persicae* (Sulzer) which feeds on *Potato virus Y* (PVY)-infected tobacco, the probing behavior of the *M. persicae*, parasitized by *A. gifuensis* on healthy and PVY-infected tobacco were recorded by using electropenetrography (EPG). Additionally, the indexes of parasitism rate, emergence rate, developing time and progeny sex ratio of *A. gifuensis* on the healthy and infected tobacco plant were also explored. Compared with the control, the duration of the first probe in parasitized *M. persicae* on infected tobaccos was significantly prolonged and the number of F and the total duration of F waveforms were significantly reduced. The time of the actively sucking from xylem (G waveform) of *M. persicae* on infected tobaccos was significantly longer than the healthy tobacco, and the phloem phase compared with the healthy plant, the total duration of phloem sap ingestion (E1 waveform) of *M. persicae* on infected tobaccos was significantly short-

基金项目: 重庆烟草有害生物综合治理重大专项(NY20140401070001)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: cw1001@163.com, dingw@swu.edu.cn

收稿日期: 2018-01-05

ened, whereas the duration in passive ingestion (E2 waveform) was significantly extended. Although *A. gifuensis* could complete their life cycle on *M. persicae* reared on infected tobacco, there were differences in adaptability of *A. gifuensis* comparing with the healthy plant. The parasitism rate of *A. gifuensis* to *M. persicae* on infected tobacco was 33.67%, which was lower than the control test (64.67%). The weight of mummy and the body size of newly emerged *A. gifuensis* adults on infected plants were both smaller than that on healthy tobacco. No significant difference was detected in progeny sex ratio of *A. gifuensis* both on healthy and infected treatments. The survival time of *A. gifuensis* adults on infected tobaccos was 1.48 d, which was significantly shorter than the control one (2.25 d). The study result showed the PVY infection has an adverse effect on *A. gifuensis*.

Key words: *Aphidius gifuensis*; *Myzus persicae*; Potato virus Y (PVY); electropenetrography (EPG); adaptability

在利用天敌防控害虫与病毒病的可持续控制策略中,植物病毒-媒介昆虫-昆虫天敌三者间的互作关系研究至关重要。植物病毒及其媒介昆虫可通过对寄主植物资源的竞争而相互影响,这个过程不仅能诱导植物体内生理生化特性发生改变,而且还可通过自然界中食物链进一步影响第三级营养层——天敌的行为和适应性(Belliure et al., 2005; Hodge & Powell, 2008)。此外,植物病毒也能通过一系列信号途径诱导植株产生次生代谢物和挥发物,进而影响植食性昆虫及其天敌(Ponzio et al., 2013)。害虫取食感染病毒植株后所繁育的天敌寄生蜂死亡率较高且发育历期较长,表现出病毒对寄生蜂生长发育的不利影响(Christiansen-Weniger et al., 1998; Calvo & Fereres, 2011);但也有研究发现,豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* (Harris)取食感染豌豆花叶病毒(*Pea enation mosaic virus*, PEMV)寄主植株后,对其寄生性天敌无网长管蚜茧蜂 *Aphidius ervi* Haliday的发育历期无显著影响(Hodge & Powell, 2008)。可见,植物病毒-媒介昆虫-昆虫天敌三者间的互作关系比较复杂,不同物种组合表现出不同的相互影响,因此探明三者之间的相互作用机制具有重要的理论和实践意义。

烟蚜 *Myzus persicae* (Sulzer)及其传播的马铃薯Y病毒(*Potato virus Y*, PVY)均是重要的烟草有害生物。控制虫传病毒病最关键的环节就是防控媒介昆虫,尽量缩小病毒在田间的传播范围(Munyanza, 2015)。同样,防治烟蚜是降低烟草上马铃薯Y病毒病发病率的根本措施。烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead是烟蚜的一种优势寄生蜂,对烟蚜的控制力极强,鉴于此,烟蚜茧蜂现已被大面积用于烟草田的烟蚜防治。寄生蜂大部分或全部幼虫阶段都生活在寄主蚜虫体内,寄主能为其提供合适的

生存环境和生长发育所需的全部营养物质。对于寄生蜂而言,寄主昆虫的大小是影响其后代大小的关键因素,而个体大小又是衡量寄生蜂适应性的重要指标,通常个体较大的寄生蜂具有更高的寄主搜寻能力(Ellers et al., 1998; López et al., 2009)。利用寄生蜂防治蚜虫能否成功,主要取决于其对寄主蚜虫的选择和适应(Rehman & Powell, 2010)。PVY-烟蚜-烟蚜茧蜂共存于烟田生态系统中,三者间具相互制约的关系。目前对于PVY-烟蚜或烟蚜-烟蚜茧蜂的相互关系研究较多(Perez et al., 1996; 吴兴富等, 2003),而对三者间互作关系的研究涉及较少,因此,为提高烟蚜茧蜂对烟蚜及马铃薯Y病毒病的防控效果,有必要对PVY-烟蚜-烟蚜茧蜂三者间的互作关系展开进一步探究。

当前,多利用刺探电位图谱(electrical penetration graph, EPG)技术研究刺吸式口器昆虫的取食行为,该技术可准确地记录昆虫口针在寄主植物组织内的动作和位置(Tjallingii, 1985; 2001)。例如, Liu et al. (2013)利用EPG技术研究发现, B型和Q型烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)在感染番茄黄化曲叶病毒(*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV)的寄主植株上口针分泌唾液和取食的时间均较在健康番茄植株上明显延长,表明烟粉虱更倾向于在带毒番茄上吸食。截至目前,关于PVY侵染寄主植株后是否可通过对烟蚜取食行为的影响进而对烟蚜茧蜂的适应性产生影响的研究尚未见报道。基于此,本试验采用EPG技术探究烟蚜对感染PVY烟株的取食特性,并以感染PVY烟株饲养的烟蚜为研究对象探讨烟蚜茧蜂对取食感染PVY烟株烟蚜的适应性,以期综合评价烟蚜茧蜂对烟蚜及马铃薯Y病毒病的持续控制效果提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物及病毒: 烟草品种云烟87由云南玉溪中烟种子有限责任公司提供; 所用毒源为PVY中的PVY^N株系, 由山东农业大学植物保护学院提供。使用160穴漂浮盘培育云烟87, 待幼苗长出后移栽至6 cm×8 cm×10 cm塑料花盆中, 置于温度25±1℃、光照周期16 L:8 D、相对湿度(60±10)%的温室内培养。

供试虫源: 烟蚜来源于西南大学植物保护学院天然产物农药研究室长期饲养的烟蚜种群, 于温度25±1℃、光照周期16 L:8 D、相对湿度(60±10)%条件下以云烟87为寄主饲养续代。烟蚜茧蜂于2014年采自重庆市奉节县太和乡烟草科技示范园, 室内以烟蚜为寄主蚜虫进行续代, 饲养条件同烟蚜一致。

仪器: DC-EPG Giga-4 刺探电位图谱记录仪由荷兰 Wageningen 大学昆虫实验室研制, 试验所用银胶、铜钉、直径15 μm 金丝和铜丝均为该仪器附带; RXZ 智能人工气候箱, 宁波江南仪器厂; Leica M205A 显微系统, 德国徕卡显微系统光学仪器公司。

1.2 方法

1.2.1 PVY 毒源植株的制备

选取大小一致的4叶1心期云烟87的幼苗, 参照 Shrestha et al. (2014) 的方法将PVY^N接种至上述烟苗上。接种前, 称取适量病叶, 按质量体积比1:8的比例加入0.02 mol/L 磷酸缓冲液将叶片研磨匀浆, 然后用纱布滤掉残渣制得接种液。每株烟苗接种1 mL 的接种液, 对照组用清水处理。接种后分别将2组烟苗移至温度25±1℃、光照周期16 L:8 D、相对湿度(60±10)%的温室内继续培养。按烟苗生长所需定量浇水, 12 d后选取发病症状明显的感病烟株作为供试毒源植株。

1.2.2 烟蚜茧蜂的获取

收集烟蚜僵蚜置于培养皿内, 待僵蚜中的烟蚜茧蜂羽化后, 鉴定性别并雌雄配对, 置于5 mL 离心管中交配24 h备用。挑取大量的2龄烟蚜若蚜接于健康云烟87幼苗上, 随后将带虫烟苗移入40 cm×40 cm×40 cm 的养虫笼内。待蚜虫在烟苗上定殖24 h后, 按蜂蚜比例为1:50的量接入刚交配过的烟蚜茧蜂雌蜂, 24 h后移除寄生蜂, 蚜虫继续在温度25±1℃、光照周期16 L:8 D、相对湿度(60±10)%的条件下饲养。因前期研究发现烟蚜被寄生的时间短于5 d时, 其取食行为不会受到显著抑制(He et al., 2018), 所以本试验于寄生蜂移除后的第5天挑取被

寄生的烟蚜用于处理组 EPG 测定试虫。对照组烟蚜在相同条件下培养, 但不接入寄生蜂。

1.2.3 EPG 参数的测定

试验在温度25±1℃、相对湿度(60±10)%、持续光照条件下进行。在法拉第笼中使用DC-EPG Giga-4 放大器分别记录烟蚜在感染PVY烟株与健康烟株上的取食行为, 放大器的输入电阻为10⁹ Ω, 输入偏压电流小于1 pA。供试烟蚜试验前饥饿处理1 h, 于每天9:00开始 EPG 记录。将待测烟蚜与烟苗分别连接记录仪的昆虫电极和植物电极, 昆虫电极是一段长2~3 cm、直径为15 μm 的金丝, 末端用水溶性导电银胶粘在烟蚜的前胸背板上, 植物电极则直接插在烟苗生长的盆栽土壤中。每次同时测定受试烟蚜在感病烟株与健康烟株上的取食参数, 2种烟株在法拉第笼内随机排列。每头烟蚜连续记录6 h记为有效, 每处理有效记录15头。试验时, 每头烟蚜与每株烟苗仅用于1次 EPG 测定。EPG 波形记录与分析分别使用软件 style+d 和 style+a, 分析的波形利用 EPG-analysis worksheet 4.4.1 软件进行归纳统计(Sarria et al., 2009)。

参照 Tjallingii (1985) 报道的蚜虫取食波形来判断烟蚜的 EPG 波形, 主要包括 np 波(非刺探行为)、路径 C 波(烟蚜口针位于寄主植物表皮与微管束之间)、F 波(烟蚜口针在细胞间穿刺遇到的机械阻力)、G 波(烟蚜口针在木质部主动吸食水分和无机盐)、E1 波(烟蚜口针到达筛管后分泌水溶性唾液)和 E2 波(烟蚜口针在韧皮部被动吸食汁液)。波形指标的选择参考阎凤鸣(2000)的方法, 共选择20个指标进行统计。

1.2.4 烟蚜茧蜂的适应性测定

分别挑取500头2龄烟蚜若蚜接至感染PVY烟株和健康烟株上, 待蚜虫定殖24 h后, 按1.2.2方法接入刚交配过的烟蚜茧蜂雌蜂。试验设3次重复, 每重复10株烟苗, 每株保留蚜虫50头。8 d后统计每个养虫笼内的僵蚜数, 同时每重复随机采集50头僵蚜用电子天平计重, 比较2种烟株上僵蚜的重量。随后将僵蚜单头存放于小玻璃管中并以棉球保湿, 置于温度25±1℃、相对湿度(60±10)%、光照周期16 L:8 D的人工培养箱内待其羽化。每12 h观察并记录僵蚜的羽化情况、出蜂时间、成蜂寿命和性别。另外, 随机抽取刚羽化的雌性、雄性寄生蜂各30头在4℃低温储藏柜中放置30 min, 然后使用 Leica M205A 显微系统测量其触角、体长、体宽、后腿胫节和后腿跗节, 以明确其生长发育情况。

1.3 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件进行试验数据的统计分析。首先检验数据的正态性和方差齐性,对部分不符合正态分布的数据采用 $\log_{10}(n+1)$ 转换;应用独立样本 t 测验法对处理组与对照组之间的数据进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 烟蚜取食感染 PVY 烟株的行为特性

2.1.1 烟蚜口针到达韧皮部取食前的 EPG 参数比较

烟蚜在感染 PVY 烟株上的非刺探总持续时间为 55.41 min,短于在健康烟株上的 79.77 min,但差异不显著;此外,烟蚜在 2 种烟株上的刺探次数、第

1 次刺探出现时间、pd 波次数、pd 波平均持续时间、短暂刺吸次数以及 C 波总持续时间也均无显著差异,但在感染 PVY 烟株上的第 1 次刺探持续时间是在健康烟株上的 2.71 倍,二者差异显著(表 1)。感病烟株上烟蚜的 F 波次数和总持续时间均显著少于在健康烟株上,表明烟蚜在感病烟株上刺探取食时遇到的机械阻力相对较小。烟蚜在 2 种烟株木质部取食时的 G 波次数无显著差异,但在感病烟株上的 G 波总持续时间为 28.59 min,显著长于在健康烟株上的 3.54 min。表明烟株感染 PVY 后可增加烟蚜在其表皮或叶肉组织内的试探取食时间、减少刺探过程中的机械阻力,但与健康烟株相比,烟蚜在感病烟株上需花费更多的时间来吸取水分和无机盐。

表 1 烟蚜在健康烟株与感染马铃薯 Y 病毒烟株上的 EPG 参数

Table 1 The EPG parameters of *Myzus persicae* on healthy and Potato virus Y-infected tobaccos

EPG 参数 EPG parameter	健康烟株 Healthy tobacco	感病烟株 Infected tobacco
刺探次数 Number of probes	9.67±1.32	8.73±1.16
非刺探总时间 Overall duration of np waveform (min)	79.77±22.30	55.41±11.28
第 1 次刺探出现时间 Time to first probe from start of EPG (min)	21.35±9.90	32.15±10.98
第 1 次刺探持续时间 Duration of first probe (min)	38.59±10.51	104.40±28.60*
pd 波次数 Number of pd waveforms	112.73±18.56	116.80±15.66
pd 波平均持续时间 Mean duration of pd waveform (s)	5.55±0.17	5.77±0.10
刺探时间短于 3 min 的刺吸次数 Number of short probes with C waveform <3 min	4.80±1.56	3.27±1.35
C 波总持续时间 Overall duration of C waveform (min)	143.89±24.00	154.18±14.26
F 波次数 Number of F waveforms	2.67±0.99	0.27±0.18*
F 波总持续时间 Overall duration of F waveform (min)	74.59±21.42	10.75±5.48*
G 波次数 Number of G waveforms	0.40±0.27	0.53±0.24
G 波总持续时间 Overall duration of G waveform (min)	3.54±1.90	28.59±11.28*
E1 波次数 Number of E1 waveforms	0.93±0.15	1.00±0.20
E1 波总持续时间 Overall duration of E1 waveform (min)	7.28±2.72	0.92±0.21*
E1 波占总 E 波的比例 Contribution of E1 waveform to phloem phase (%)	40.88±10.08	1.00±0.21**
E2 波次数 Number of E2 waveforms	0.67±0.13	1.00±0.20
第 1 次刺吸至第 1 次出现 E2 波时间 Time from first probe to first E2 waveform (min)	158.20±32.58	137.59±24.25
E2 波持续次数 Number of sustained E2 waveforms	0.40±0.13	0.87±0.13*
第 1 次韧皮部持续取食时间 Duration of first E waveform (min)	22.95±10.26	95.12±16.28**
E2 波总持续时间 Overall duration of E2 waveform (min)	50.93±17.58	110.57±20.78*

总记录时间为 6 h。表中数据为平均数±标准误。*和**分别表示健康和感病烟株间经 t 测验法检验在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平差异显著。Total recording time is 6 h. Data in the table are mean±SE. * or ** indicates significant difference of EPG parameters between healthy and PVY-infected tobaccos at $P<0.05$ or $P<0.01$ level by t test.

2.1.2 烟蚜口针在韧皮部刺探取食的 EPG 参数比较

韧皮部 EPG 参数显示,烟蚜口针在 2 种烟株上分泌唾液(E1 波)的次数无显著差异,但在健康烟株上的分泌唾液总持续时间为 7.28 min,显著长于在感病烟株上的 0.92 min;且在健康烟株上的 E1 波占总 E 波比例也极显著高于在感病烟株上(表 1)。E2

波次数和第 1 次刺吸至第 1 次出现 E2 波时间在 2 种烟株之间均无显著差异,但在感病烟株上的 E2 波持续次数及第 1 次韧皮部持续取食时间均较在健康烟株上显著延长。烟蚜在感病烟株上的 E2 波总持续时间为 110.57 min,是在健康烟株上的 2.17 倍,二者间差异显著。表明与健康烟株相比,烟蚜在感病烟

株上只需分泌少量水溶性唾液口针即可到达韧皮部筛管内取食寄主汁液,且感染PVY烟株可延长烟蚜在其韧皮部的取食时间。

2.2 感染PVY烟株对烟蚜茧蜂适应性的影响

2.2.1 烟蚜茧蜂寄生率、羽化率及后代性比

烟蚜茧蜂对取食健康烟株烟蚜的寄生率为64.67%,极显著高于取食感病烟株烟蚜的寄生率33.67%(图1),表明烟株感染PVY后可间接降低烟蚜茧蜂对烟蚜的寄生。健康烟株与感病烟株上僵蚜羽化率均高于90.66%,但二者间无显著差异。感病烟株上烟蚜茧蜂的雌性后代比例为92.50%,略高于在健康烟株上的81.10%,二者间无显著差异。

2.2.2 烟蚜茧蜂发育时间及个体大小

感染PVY烟株可间接对烟蚜茧蜂的生长发育产生不利影响。2种烟株上僵蚜中烟蚜茧蜂的羽化时间无显著差异(图2-A);烟蚜茧蜂在健康烟株上的成蜂寿命为2.25 d,极显著长于在感病烟株上的成蜂寿命1.48 d(图2-B);烟蚜茧蜂在感病烟株上的总发育时间略短于在健康烟株上的总发育时间(图2-C);烟蚜茧蜂在感病烟株上的僵蚜体重较在健康

烟株上显著降低(图2-D)。

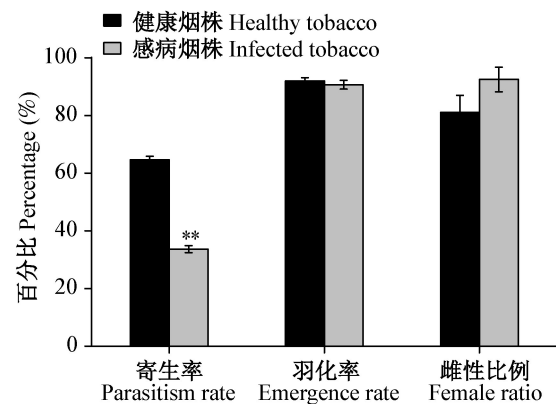


图1 健康烟株与感染马铃薯Y病毒烟株上烟蚜茧蜂的寄生率、羽化率及后代性比

Fig. 1 Percentage of parasitism, emergence, and female ratio in F_1 generation of *Aphidius gifuensis* on healthy and *Potato virus Y*-infected tobaccos

图中数据为平均数±标准误。**表示处理与对照之间经 t 测验法检验在 $P<0.01$ 水平差异显著。Data in the figure are mean ± SE. ** indicates significant difference between treatment and control at $P<0.01$ level by t test.

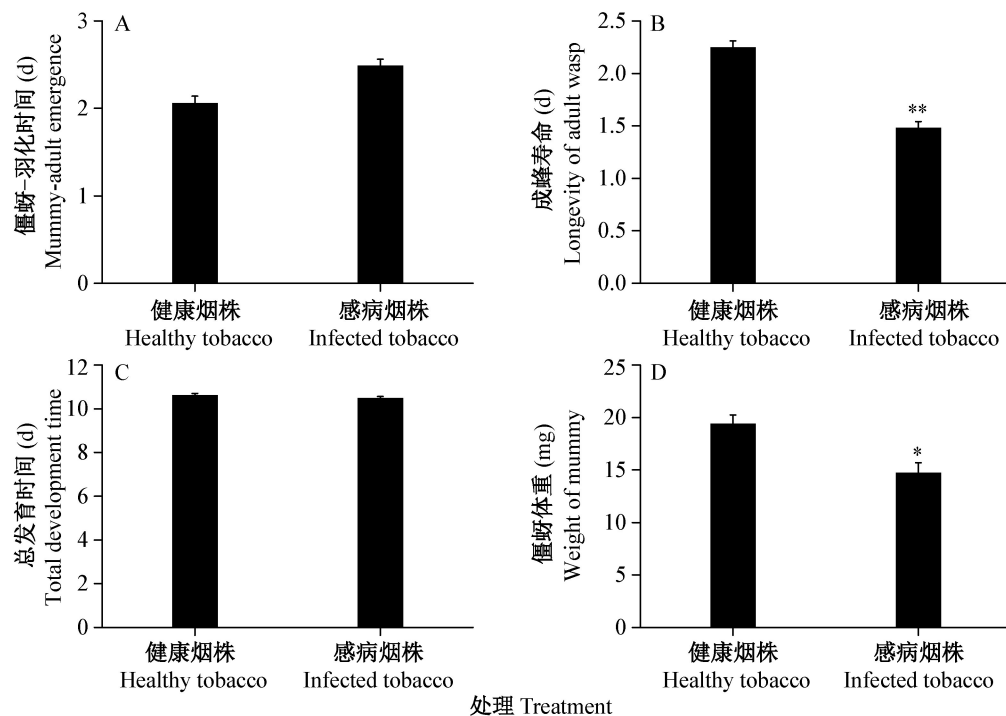


图2 健康烟株与感染马铃薯Y病毒烟株上的僵蚜体重和烟蚜茧蜂的羽化时间、发育时间及成蜂寿命

Fig. 2 Weight of mummy of *Myzus persicae* and development time, emergence time and adult longevity of *Aphidius gifuensis* on healthy and *Potato virus Y*-infected tobaccos

图中数据为平均数±标准误。*和**分别表示处理与对照之间经 t 测验法检验在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平差异显著。Data in the figure are mean ± SE. * or ** indicates significant difference between treatment and control at $P<0.05$ or $P<0.01$ level by t test.

与健康烟株处理相比,烟蚜茧蜂寄生取食感病烟株烟蚜后所繁育的成蜂其触角和体长均显著缩

短,但体宽、前翅长和后翅长这3个指标在2种烟株处理间差异不显著。健康烟株处理中烟蚜茧蜂成蜂的后腿胫节比感病烟株处理的长0.09 mm,二者间差异显著。此外,健康烟株处理中的成蜂后腿跗节

为0.66 mm,显著长于感病烟株处理的0.57 mm(图3)。表明烟蚜取食感染PVY烟株所繁育的烟蚜茧蜂成蜂个体较小,且烟株感染PVY后可间接影响烟蚜茧蜂的生长发育。

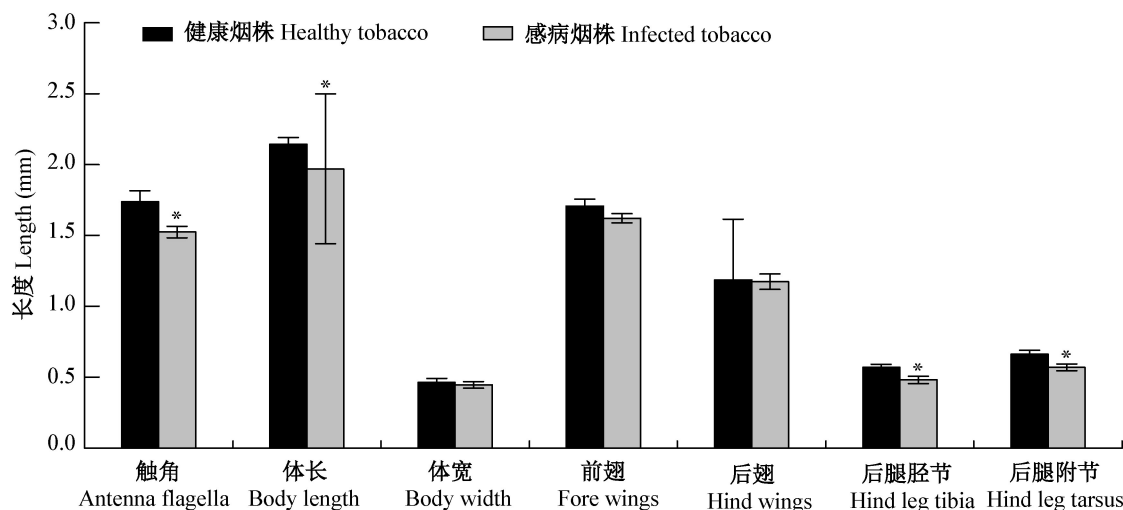


图3 健康烟株与感染马铃薯Y病毒烟株上烟蚜茧蜂成蜂的个体大小

Fig. 3 Body size of *Aphidius gifuensis* emerging from *Myzus persicae* on healthy and Potato virus Y-infected tobaccos

图中数据为平均数±标准误。*表示处理与对照之间经t测验法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data in the figure are mean±SE. * indicates significant difference between treatment and control at $P < 0.05$ level by *t* test.

3 讨论

病毒侵染寄主植物后可引起寄主植物体内代谢、营养组成等发生变化,这些改变会影响媒介昆虫的适应性,从而使昆虫在病株上取食时表现出一些异常行为。蚜虫具有试探取食习性,即在寄主植物韧皮部取食之前蚜虫口针通常会在植物表皮或叶肉细胞内进行成分取样以判断是否需要在该植株上进行下一步取食,EPG参数中的第1次刺探持续时间正是衡量这一过程的重要指标(刘向东等,2004;苗进等,2011)。本研究中,烟蚜在感病烟株上的第1次刺探持续时间显著长于在健康烟株上,说明烟株感染PVY后可增加烟蚜在寄主上的试探取食时间。韧皮部阶段,烟蚜E1波总持续时间及E1波占总E波的比例在感染PVY烟株上均显著减少,与之相反,第1次韧皮部持续取食时间和E2波总持续时间却显著延长。表明与健康烟株相比,烟蚜更喜食感染PVY烟株,此现象可能与自然界中病毒的传播机制有关。Ajayi & Dewar(1983)研究也发现,大麦黄矮病毒(*Barley yellow dwarf virus*, BYDV)侵染寄主植物后可促进蚜虫取食。病毒侵染可抑制同寄主植食性昆虫的生长发育和繁殖力(李华,2008;Mauck et al., 2014;Nogia et al., 2014)。但也有少数学者研

究发现,病毒对媒介昆虫存在有利影响(Ajayi & Dewar, 1983; Jiu et al., 2007)。值得关注的是,同种介体由于病毒传播模式不同在带毒寄主上的表现也存在差异。由此可知,媒介昆虫与病毒的互作会因介体或病毒的种类而异。

寄生蜂搜寻寄主蚜虫的行为依赖于来自不同营养阶层上的信息,如第一营养层的寄主植物及其第二营养层的植食性昆虫,在寄生蜂选择蚜虫的过程中,寄主植物所产生的挥发物是寄生蜂成功定位蚜虫的关键因子(Vinson, 1976; de Moraes et al., 2001)。本研究发现,烟蚜茧蜂对取食感病烟株烟蚜的寄生率显著低于对取食健康烟株烟蚜的寄生率,表明感染PVY烟株可降低烟蚜茧蜂对烟蚜的防治效率。Huang et al.(2003)也发现病原体侵染可诱导寄主植物挥发物的释放,且诱导的部分挥发物成分与植食性昆虫释放的挥发物成分相同,表明病原体能间接影响寄生性天敌对靶标昆虫的寄生。本研究中烟蚜茧蜂对取食感染PVY烟株烟蚜的寄生率较低,可能与烟株感染PVY后其挥发物发生变化,从而影响了烟蚜茧蜂对烟蚜的定位有关,具体原因有待进一步研究验证。

寄生蜂成蜂的性比和个体大小是衡量其适应性的重要指标,相对于雄性个体而言,雌性个体比例更

能影响其种群增长。本研究中,烟蚜茧蜂在2种烟株上的性比无显著差异,说明感染PVY烟株不会对烟蚜茧蜂种群的增长产生影响。Calvo & Fereres (2011)研究证实,阿尔蚜茧蜂 *Aphidius ervi* Haliday 在感染芜菁黄化病毒 (*Turnip yellows virus*, TuYV) 植株上的适应性较在未带毒植株上时低。本试验发现,烟蚜茧蜂在感染PVY烟株上虽然能成功完成其生活史,但僵蚜体重较在健康烟株上时显著降低;另外,成蜂个体也较小。寄生性天敌的个体大小与寄主植物的营养状况息息相关。病毒可通过改变寄主植株内的营养成分来影响植物对蚜虫的营养适合度,从而对寄生性天敌产生间接影响(Castle & Berg-er, 1993; Hodge & Powell, 2008)。Ren et al. (2015) 研究结果表明,与健康烟株相比,烟蚜个体在感染PVY烟株上较小且取食感病烟株不利于烟蚜的生长发育。而笔者之前的研究也发现,PVY侵染初期,由于烟株体内氨基酸和糖类含量的增加可促进烟蚜的刺探取食行为,但随着侵染时间的延长,感病烟株的营养成分会发生变化且烟株长势越来越弱,因此烟蚜成虫死亡率上升、繁殖力下降(何应琴, 2017)。表明烟蚜茧蜂在感病烟株上个体小的原因主要是由于烟株感染PVY后其体内营养物质发生改变,影响了烟蚜的质量,包括蚜虫大小和营养质量,进而影响烟蚜茧蜂的生长发育。

寄生蜂的后代发育时间和存活时间受寄主大小的影响较为复杂(Sequeira & Mackauer, 1992)。本试验中,烟蚜茧蜂在健康烟株上的僵蚜-羽化时间、总发育时间以及成蜂寿命均较在感病烟株上时延长,出现此现象的原因还有待进一步探究。PVY侵染烟株后可通过烟蚜为介体间接降低烟蚜茧蜂的适应性,推测自然界中病毒-蚜虫-寄生蜂三者之间存在一定的动态平衡关系。鉴于此,建议今后研究病原学流行系统时,除关注媒介昆虫与病毒的互作外,有必要综合探究由病毒和寄生性天敌共同作用时对媒介昆虫适应性所产生的影响,因为媒介昆虫的质量是决定天敌质量的关键因子。

参 考 文 献 (References)

- Ajayi O, Dewar AM. 1983. The effect of barley yellow dwarf virus on field populations of the cereal aphids, *Sitobion avenae* and *Metopolophium dirhodum*. *Annals of Applied Biology*, 103(1): 1-11
- Beillure B, Janssen A, Maris PC, Peters D, Sabelis MW. 2005. Herbivore arthropods benefit from vectoring plant viruses. *Ecology Letters*, 8(1): 70-79
- Calvo D, Fereres A. 2011. The performance of an aphid parasitoid is negatively affected by the presence of a circulative plant virus. *BioControl*, 56(5): 747-757
- Castle SJ, Berger PH. 1993. Rates of growth and increase of *Myzus persicae* on virus-infected potatoes according to type of virus-vector relationship. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 69(1): 51-60
- Christiansen-Weniger P, Powell G, Hardie J. 1998. Plant virus and parasitoid interactions in a shared insect vector/host. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 86(2): 205-213
- de Moraes CM, Mescher MC, Tumlinson JH. 2001. Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. *Nature*, 410(6828): 577-580
- Ellers J, van Alphen JJM, Sevenster JG. 1998. A field study of size-fitness relationship in the parasitoid *Asobara tabida*. *Journal of Animal Ecology*, 67(2): 318-324
- He YQ. 2017. Studies on *Aphidius gifuensis*-*Myzus persicae*-PVY interactions. Ph. D Thesis. Chongqing: Southwest University (in Chinese) [何应琴. 2017. 烟蚜茧蜂-烟蚜-PVY互作关系研究. 博士学位论文. 重庆: 西南大学]
- He YQ, Zhang YQ, Chen JN, Chen WL, Zeng XY, Chen HT, Ding W. 2018. Effects of *Aphidius gifuensis* on the feeding behavior and *Potato virus Y* transmission ability of *Myzus persicae*. *Insect Science*, 25(6): 1025-1034
- Hodge S, Powell G. 2008. Complex interactions between a plant pathogen and insect parasitoid via the shared vector-host: consequences for host plant infection. *Oecologia*, 157(3): 387-397
- Huang J, Cardoza YJ, Schmelz EA, Raina R, Engelberth J, Tumlinson JH. 2003. Differential volatile emissions and salicylic acid levels from tobacco plants in response to different strains of *Pseudomonas syringae*. *Planta*, 217(5): 767-775
- Jiu M, Zhou XP, Tong L, Xu J, Yang X, Wan FH, Liu SS. 2007. Vector-virus mutualism accelerates population increase of an invasive whitefly. *PLoS ONE*, 2(1): e182
- Li H. 2008. Development and reproduction of *M. persicae* (Sulzer) feeding on tobacco infected PVY at different temperature. Master Thesis. Chongqing: Southwest University (in Chinese) [李华. 2008. 烟草马铃薯Y病毒(PVY)病株及温度对烟蚜生长发育的影响. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学]
- Liu B, Preisser EL, Chu D, Pan H, Xie W, Wang S, Wu Q, Zhou X, Zhang Y. 2013. Multiple forms of vector manipulation by a plant-infecting virus: *Bemisia tabaci* and *Tomato yellow leaf curl virus*. *Journal of Virology*, 87(9): 4929-4937
- Liu XD, Zhang XX, Zhai BP. 2004. Host biotypes and their formation causes in aphids. *Acta Entomologica Sinica*, 47(4): 499-506 (in Chinese) [刘向东, 张孝羲, 翟保平. 2004. 蚜虫寄主专化型及其成因. 昆虫学报, 47(4): 499-506]
- López OP, Hénaut Y, Cancino J, Lambin M, Cruz-López L, Rojas JC. 2009. Is host size an indicator of quality in the mass-reared parasitoid *Diachasma mimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae)? *Florida Entomologist*, 92(3): 441-449

- Mauck KE, de Moraes CM, Mescher MC. 2014. Biochemical and physiological mechanisms underlying effects of *Cucumber mosaic virus* on host-plant traits that mediate transmission by aphid vectors. *Plant, Cell & Environment*, 37(6): 1427–1439
- Miao J, Wu YQ, Yu ZX, Duan Y, Jiang YL, Li GP. 2011. Comparative of feeding behaviors of *Sitobion avenae*, *Sitobion graminum* and *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG). *Acta Ecologica Sinica*, 31(1): 175–182 (in Chinese) [苗进, 武予清, 郁振兴, 段云, 蒋月丽, 李国平. 2011. 基于EPG的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较. *生态学报*, 31(1): 175–182]
- Munyaneza JE. 2015. Zebra chip disease, *Candidatus Liberibacter*, and potato psyllid: a global threat to the potato industry. *American Journal of Potato Research*, 92(2): 230–235
- Nogia VK, Singh V, Meghwal RR. 2014. Effect of *Cotton leaf curl virus* infected plants on the biology of the whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae): vector-virus mutualism. *Phytoparasitica*, 42(5): 619–625
- Perez P, Tjallingii WF, Fereres A. 1996. Probing behaviour of *Myzus persicae* during transmission of *Potato virus Y* to pepper and tobacco plants. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 103(3): 246–254
- Ponzio C, Gols R, Pieterse CMJ, Dicke M. 2013. Ecological and phyto-hormonal aspects of plant volatile emission in response to single and dual infestations with herbivores and phytopathogens. *Functional Ecology*, 27(3): 587–598
- Rehman A, Powell W. 2010. Host selection behaviour of aphid parasitoids (Aphidiidae: Hymenoptera). *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2(10): 299–311
- Ren GW, Wang XF, Chen D, Wang XW, Fan XJ, Liu XD. 2015. *Potato virus Y*-infected tobacco affects the growth, reproduction, and feeding behavior of a vector aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Applied Entomology & Zoology*, 50(2): 239–243
- Sarria E, Cid M, Garzo E, Fereres A. 2009. Excel workbook for automatic parameter calculation of EPG data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 67(1/2): 35–42
- Sequeira R, Mackauer M. 1992. Covariance of adult size and development time in the parasitoid wasp *Aphidius ervi* in relation to the size of its host, *Acyrtosiphon pisum*. *Evolutionary Ecology*, 6(1): 34–44
- Shrestha D, Wenninger EJ, Hutchinson PJS, Whitworth JL, Mondal S, Eigenbrode SD, Bosque-Perez NA. 2014. Interactions among potato genotypes, growth stages, virus strains, and inoculation methods in the *Potato virus Y* and green peach aphid pathosystem. *Environmental Entomology*, 43(3): 662–671
- Tjallingii WF. 1985. Electrical nature of recorded signals during stylet penetration by aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 38(2): 177–186
- Tjallingii WF. 2001. Comparison of AC and DC systems for electronic monitoring of stylet penetration activities by homopterans.// Walker GP, Backus EA. Principles and applications of electronic monitoring and other techniques in the study of homopteran feeding behaviour. Lanham: Thomas Say Publications, pp. 41–69
- Vinson SB. 1976. Host selection by insect parasitoids. *Annual Review of Entomology*, 21(1): 109–133
- Wu XF, Deng JH, Huang JM, Liu J. 2003. Studies on the selectivity of *Aphidius gifuensis* parasitizing *Myzus nicotianae* (Black) and the effect of the female parasite age on the sex of its progeny. *Acta Tabacaria Sinica*, 9(2): 31–34 (in Chinese) [吴兴富, 邓建华, 黄江梅, 刘江. 2003. 烟蚜茧蜂对烟蚜的选择性寄生及雌蜂年龄对后代性别的影响. *中国烟草学报*, 9(2): 31–34]
- Yan FM. 2000. Role of glucosinolates in the host plant part preferences by the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*. *Acta Entomologica Sinica*, 43(3): 297–304 (in Chinese) [阎凤鸣. 2000. 芥子油苷在甘蓝蚜寄主部位选择行为中的作用. *昆虫学报*, 43(3): 297–304]

(责任编辑:李美娟)