

# Hap4 型棉蚜取食西葫芦后的寄主适应性变化

李超侠, 杨心怡, 苏宏华, 周福才, 景田兴, 杨益众, 张 帅\*

(扬州大学植物保护学院, 扬州 225009)

**摘要** 棉蚜寄主间转移是常见的现象,在寄主转移过程中的寄主适应能力转变是其重要的生物学特性。为了解棉蚜取食西葫芦不同世代后,对其他寄主适应能力的转变,探究取食经历对棉蚜寄主适应性变化的影响,本试验利用寄主转接试验,将采自棉花上的 Hap4 型棉蚜转接到西葫芦上,分别测定取食西葫芦不同世代后,对棉花、黄瓜和西葫芦的适应能力。结果显示,随着取食西葫芦代数的增加,Hap4 型棉蚜对原寄主棉花的适应性逐渐降低。Hap4 型棉蚜取食西葫芦一代后就对黄瓜有良好的寄主适应性,并呈现较为稳定的趋势。Hap4 型棉蚜对西葫芦的寄主适应性随着在西葫芦上取食代数的增加而降低,但强于在原寄主上的寄主适应性。除此之外,本试验也发现取食西葫芦后的 Hap4 型棉蚜的寄主适应性表现为黄瓜>西葫芦>棉花。植食性昆虫的取食经历影响其寄主适应能力,Hap4 型是棉蚜主要的生物型之一,其取食经历直接影响其寄主适应性,研究结果为生产中作物布局及棉蚜的生态调控技术应用提供理论基础。

**关键词** 棉蚜; 生物型; 取食经历; 寄主适应性; 生态调控

**中图分类号:** S 433.89 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022489

## Host adaptation of Hap4 cotton aphid after feeding on zucchini

LI Chaoxia, YANG Xinyi, SU Honghua, ZHOU Fucui, JING Tianxing, YANG Yizhong, ZHANG Shuai\*

(College of Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract** Host transfer of cotton aphid is a common phenomenon, and host adaptation is an important biological characteristic in the process of host transfer. Effect of feeding experience on the change of host adaptability of cotton aphid was investigated after feeding on zucchini for different generations. Hap4 cotton aphid from cotton was transferred to zucchini and its adaptability to cotton, cucumber and zucchini was measured after feeding on zucchini for different generations. The results showed that with the increase of generations of Hap4 cotton aphid fed with zucchini, the adaptability of Hap4 cotton aphid to the original host cotton decreased gradually. Hap4 cotton aphid had good host adaptability to cucumber after feeding on zucchini for one generation, and showed a relatively stable trend. The host adaptability of Hap4 cotton aphid to zucchini decreased with the increased generation on zucchini, but stronger than that of cotton aphid on the original host. In addition, the host adaptation of Hap4 cotton aphid after feeding on zucchini was found to be cucumber > zucchini > cotton. The feeding experience of phytophagous insects affects their host adaptation ability. Hap4 cotton aphid is one of the main biotypes of cotton aphid, and its feeding experience directly affects its host adaptation. The above results provide a theoretical basis for the application of crop layout and ecological control techniques of cotton aphid in production.

**Key words** cotton aphid; biotype; feeding experience; host adaptation; ecological regulation

棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 又称瓜蚜,是广泛分布的世界性害虫之一,寄主主要包括葫芦科、锦葵科以及茄科植物<sup>[1]</sup>。棉蚜通过口器刺吸植物叶

片汁液并分泌蜜露,影响植物正常的光合作用和造成叶片卷缩。传播植物病毒病是棉蚜对农业生产造成损失的一个重要因素,据统计棉蚜可传播 55

收稿日期: 2022-08-13 修订日期: 2022-09-19

基金项目: 国家自然科学基金(31972355)

\* 通信作者 E-mail: shuaizhang@yzu.edu.cn

种病毒病<sup>[2-3]</sup>。葫芦科作物苗期感染小西葫芦黄花叶病毒(zucchini yellow mosaic virus, ZYMV)将会造成作物 95%~100% 的损失<sup>[4]</sup>。车海彦等<sup>[5]</sup>通过调查海南省 8 个市县的黄瓜样品发现黄瓜花叶病毒(cucumber mosaic virus, CMV)和烟草花叶病毒(tobacco mosaic virus, TMV)感染率分别为 32.79%和 9.61%。根据 1998 年—2005 年库尔勒市 8 年来的灾情调查发现,棉蚜为害造成棉花减产 8%~10%,受害严重的棉田减产高达 40%~50%<sup>[6]</sup>。2016 年新疆地区棉蚜为害棉田达到 3.89 万  $\text{hm}^2$ <sup>[7]</sup>;2018 年棉田受害面积增加了近 9 倍,有 33.3 万  $\text{hm}^2$  棉田受害<sup>[8]</sup>。2020 年新疆巴音郭楞蒙古自治州棉蚜为害累计发生面积为 5.23 万  $\text{hm}^2$ <sup>[9]</sup>。

棉蚜寄主广泛,种内分化明显,对不同寄主的适应能力存在明显差异。已有大量国内外研究者通过寄主转接试验提出棉蚜取食存在专化性;在非最佳寄主上死亡率极高,产仔率极低且很难建立种群,因此将棉蚜进行了分类。根据传统生物测定方法将棉蚜分为木槿型、木豆型、菊花型、黄瓜型、芋头型、茄子型、棉花型和马铃薯型<sup>[10-13]</sup>。

随着昆虫分类研究的发展,昆虫分类方法逐渐细致化。新兴的分子生物学技术为蚜虫分类提供了新的方法,相比于传统的生物学分析与形态鉴定,更加准确<sup>[14]</sup>。Vanlerberghe-Masutti 等<sup>[15]</sup>利用微卫星标记将 21 个棉蚜群体分为 16 个基因型。Carletto 等<sup>[16]</sup>利用 *Cytb* 基因序列将近似物种棉蚜和鼠李蚜 *Aphis frangulae* 鉴别出来。Zhang 等<sup>[17-18]</sup>利用棉蚜线粒体基因组序列分析了我国河北、河南和山东 3 省不同时期的 9 种寄主上 1 046 头棉蚜个体的线粒体序列,结合采集寄主和生物测定结果,确定了一段具有特异性和稳定性的线粒体序列,将华北地区棉蚜分为 57 个单倍型。Hap1 型、Hap3 型和 Hap4 型是主要的单倍型,占华北棉蚜总数的 86%;Hap1 型和 Hap4 型为棉花上主要的单倍型,Hap3 型是瓜类上主要的单倍型,上述 3 种单倍型都可以很好地利用西葫芦作为寄主,其中 3 种单倍型的区分均基于完整线粒体序列中的单核苷酸多态性位点的不同。

昆虫对寄主的适应能力主要通过遗传获得,但

昆虫取食某一种寄主后,其繁殖和对寄主的适应能力在一定程度上会发生改变<sup>[19]</sup>。取食过甘蓝的大菜粉蝶 *Pieris brassicae* 幼虫和取食过白菜的烟草天蛾 *Manduca sexta* 1 龄幼虫再转接到早金莲 *Tropaeolum majus* 上,昆虫都出现拒食直至死亡的现象<sup>[20-22]</sup>。取食蚕豆的南美斑潜蝇 *Liriomyza huidobrensis* 幼虫在甜菜上饲养后对甜菜的寄主适应性增加<sup>[23]</sup>。木槿上的棉蚜不能直接转接到黄瓜上,但在甜瓜连续取食 3 代后,对黄瓜的适应性明显增加,能够正常存活和产生后代<sup>[24]</sup>。长期在黄瓜上饲养的二斑叶螨 *Tetranychus urticae barinus* 转接到非最佳寄主辣椒和番茄上,二斑叶螨在 15 代内对辣椒和番茄的适应性就会增强<sup>[25]</sup>。寄主植物适应能力明显分化的棉花型棉蚜和黄瓜型棉蚜不能直接互换寄主,但棉花型棉蚜取食西葫芦 3 代后对黄瓜的寄主适应性有所增强<sup>[24]</sup>,取食西葫芦 5 代后就能诱导棉花型棉蚜获得取食黄瓜能力,并能建立种群<sup>[25-28]</sup>。除了西葫芦具有改变专化型棉蚜对寄主的适应能力外,豇豆也具有相同的作用。多数研究者通过寄主转接试验发现黄瓜型棉蚜取食豇豆后对棉花的寄主适应性增强<sup>[26,29-30]</sup>。

昆虫的生长发育中,取食经历直接影响后代的寄主适应能力,一些寄主可以作为中间寄主扩大后代的寄主范围。特别是寄主广泛但有具有专化性的棉蚜,中间寄主的存在无疑对棉蚜的进化和为害的扩大有着重要意义。多数研究者通过试验发现西葫芦能诱导棉花型棉蚜获得取食黄瓜的能力,并能建立种群<sup>[24,26-28]</sup>。此外,梁新利和胡道武等<sup>[29-30]</sup>通过寄主转接试验发现豇豆可以诱导黄瓜型棉蚜获得取食棉花的能力。尽管关于棉蚜的取食经历已见报道,但棉蚜生物型众多,针对特定生物型棉蚜取食西葫芦的寄主适应性变化依然未知。因此,本研究以西葫芦诱导 Hap4 型棉蚜,通过寄主转接建立生命表的方法分析 Hap4 型棉蚜对其他寄主的适应性变化情况。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试植物与昆虫

寄主植物为室内培养植株,选用的品种分别为棉花‘SGK321’,西葫芦‘格林王’,黄瓜‘富阳 2 号’。

棉蚜采自扬州大学农牧场棉花试验田,置于实验室恒温光照培养箱内的棉花子叶上饲养,条件设置为温度 $(26\pm 1)^{\circ}\text{C}$ ,光周期 L//D=14 h//10 h,相对湿度 $(60\pm 10)\%$ 。采用分子鉴定技术确定其为 Hap4 型棉蚜<sup>[18-19]</sup>,由单头棉蚜扩繁,在棉花子叶上饲养了 20 多代。

## 1.2 取食西葫芦的各代 Hap4 型棉蚜在棉花、黄瓜和西葫芦上存活率的测定

试验在人工智能光照培养箱[温度 $(26\pm 1)^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $(60\pm 10)\%$ ,光周期 L//D=14 h//10 h]内进行。将不同寄主植物叶片贴于含有 1.8%琼脂的培养皿中,适时更换新鲜的叶片。将一直在棉花寄主上繁殖的多头无翅棉蚜成虫先转接到棉花上产仔,12 h 后移去成蚜,保留仔蚜,记为  $T_0$  代(原始种群,CK)。将  $T_0$  代成蚜转移到西葫芦上取食, $T_0$  代所产仔蚜记为  $T_1$  代, $T_1$  代继续取食西葫芦所产仔蚜记为  $T_2$  代,以此类推。生命表参数测定过程中,选择  $T_1$  代成蚜,分别转接到棉花、黄瓜和西葫芦叶片上进行产仔。12 h 后移去成蚜,每处理保留 35 头仔蚜,即 35 个重复,即  $T_1$  代若蚜作为起始观察虫态。每隔 24 h 观察并记录各处理棉蚜的存活虫量和产仔量,直至起始蚜虫全部死亡。发育为成蚜后,使用 Motic SMZ-171 图像测量系统测量成蚜的体长,记录数据。 $T_2$  代试验时,选择一直使用西葫芦叶片饲养的  $T_1$  代成蚜,分别转接到棉花、黄瓜和西葫芦叶片上进行产仔。12 h 后移去成蚜,每处理保留 35 头仔蚜,即  $T_2$  代若蚜作为起始观察虫态。每隔 24 h 观察并记录各处理棉蚜的存活虫量和产仔量,直至起始蚜虫全部死亡。以此类推,并重复上述试验,直至  $T_{10}$  代转接后发育成成虫,并全部自然死亡。

## 1.3 数据处理及分析

数据处理方法参考王丽等<sup>[31]</sup>的计算方法:

$$R_0 = \sum l_x m_x;$$

$$T = \sum (x l_x m_x) / \sum (l_x m_x);$$

$$r_m = \ln R_0 / T.$$

其中  $x$  为按天划分的单位时间期限; $l_x$  为日龄  $x$  时棉蚜的存活率; $m_x$  为在  $x$  期限内存活的棉蚜平均每头所产的后代数量; $R_0$  为净增殖率,即昆虫种群经过一个世代后的增殖倍数; $T$  为棉蚜 1 个世代

的平均天数; $r_m$  为内禀增长率。

不同处理间的差异显著性比较采用单因素方差分析,涉及多重比较时使用 IBM SPSS Statistics 27.0 中的 Tukey's 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 取食西葫芦后 Hap4 型棉蚜在 3 种寄主上的存活及发育

蚜虫在寄主上的存活情况是直接反映其对寄主适应性的指标。将用棉花叶片饲养的 Hap4 型棉蚜转接到西葫芦叶片不同世代后, $T_2 \sim T_7$  代在棉花、黄瓜和西葫芦上的寿命基本处于比较平稳的状态,在  $T_2$  代时在 3 种寄主上的寿命相较于其他世代都明显增加。总的来说,取食西葫芦之后,Hap4 型棉蚜在黄瓜上的寿命最长,在西葫芦上的寿命次之,在棉花上的寿命最短。用西葫芦饲养不同世代的 Hap4 型棉蚜,在西葫芦叶片上的寿命除  $T_2$  代之外,其他世代间都无显著差异,而  $T_2$  和  $T_7$  代之间差异达到显著水平( $P=0.008$ )。取食西葫芦叶片不同世代后,重新转接到棉花叶片上,诱导 1~9 代的 Hap4 型棉蚜寿命比不经诱导的原始种群的寿命高 1.0~4.1 d( $P>0.05$ ),但诱导 10 代后,寿命却显著下降,比不经诱导的原始种群的寿命缩短 4.6 d( $F=30.04, P<0.0001$ )。取食西葫芦叶片不同世代后,转接到同为葫芦科的黄瓜上, $T_2$  和  $T_8$  代的寿命明显长于其他代别;在  $T_9$  和  $T_{10}$  代时寿命明显缩短,分别与  $T_2$  和  $T_8$  代寿命达到显著差异水平( $P<0.05$ )(表 1)。

对比取食西葫芦叶片不同世代后转接 3 种寄主第 5、10 天和第 15 天时的存活情况发现,在第 5 天和第 10 天时,转接到黄瓜和西葫芦上的 Hap4 型棉蚜的存活率和取食西葫芦的世代数间无明显的相关性, $T_1 \sim T_{10}$  代的存活率处于较为稳定的状态。而转接到棉花上之后第 5 天和第 10 天的存活率在  $T_1 \sim T_{10}$  代间浮动较大,主要表现为在  $T_9$  和  $T_{10}$  代时存活率急剧下降,如在  $T_{10}$  代转接后第 10 天的存活率仅为 11.43%(图 1)。

生长发育情况能够反映出棉蚜对寄主的利用能力,其中涉及寄主的营养以及棉蚜对寄主次生物质的解毒代谢能力。测量取食西葫芦叶片不同世

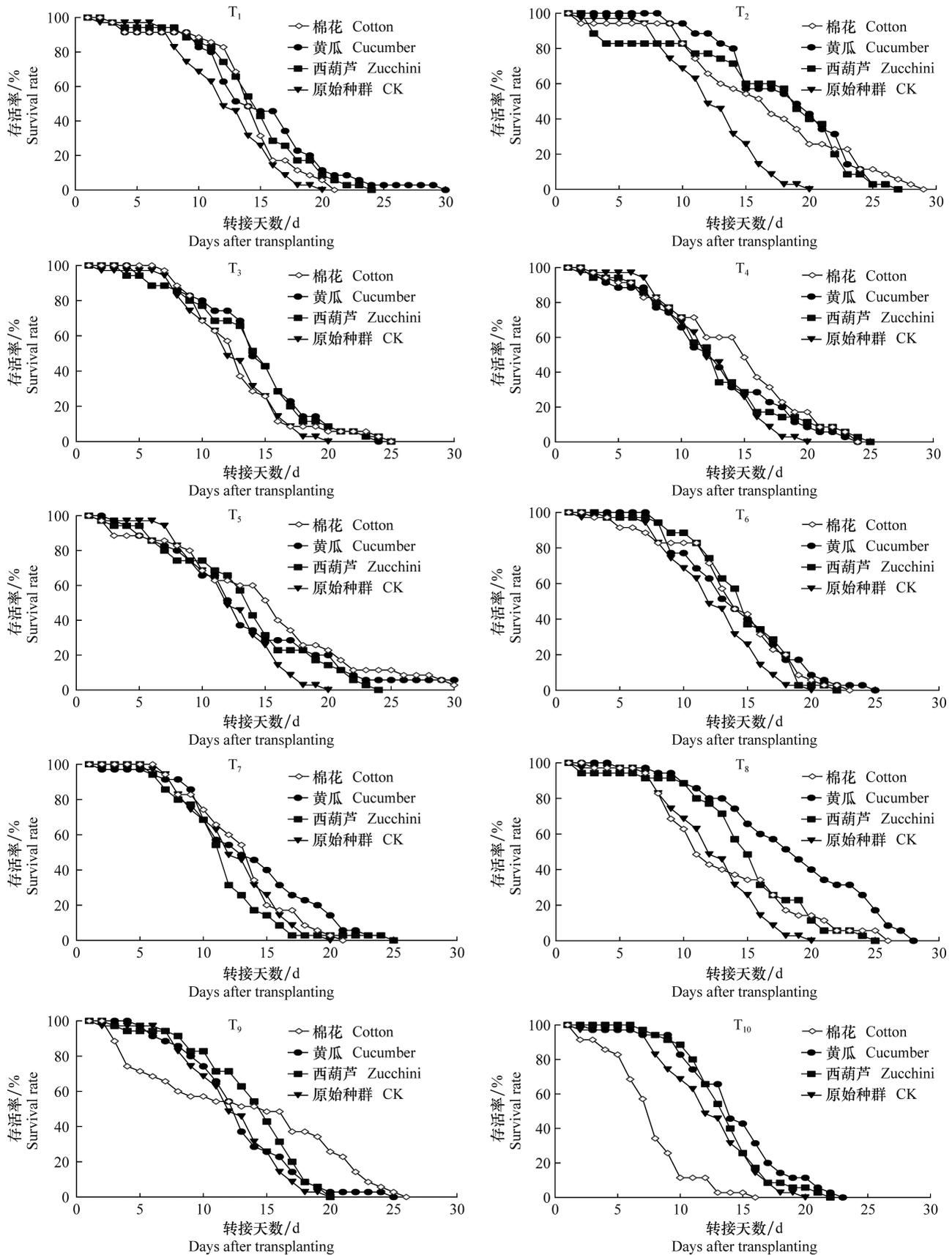


图 1 Hap4 型棉蚜取食西葫芦不同代别后在 3 种寄主上的存活率

Fig. 1 Survival rate of Hap4 cotton aphid on three hosts after feeding on zucchini for different generations

表 1 Hap4 型棉蚜取食西葫芦不同代别后在 3 种寄主上的寿命及体长<sup>1)</sup>

Table 1 Lifespan and body length of Hap4 cotton aphid on three hosts after feeding on zucchini for different generations

代别 Generation	棉花 Cotton		黄瓜 Cucumber		西葫芦 Zucchini	
	寿命/d Lifespan	成虫体长/ $\mu\text{m}$ Adult body length	寿命/d Lifespan	成虫体长/ $\mu\text{m}$ Adult body length	寿命/d Lifespan	成虫体长/ $\mu\text{m}$ Adult body length
T <sub>0</sub>	(12.37±3.76)c	(984.7±62.9)a	—	—	—	—
T <sub>1</sub>	(13.51±3.86)bc	(952.4±82.2)ab	(15.26±5.13)bc	(1081.5±69.0)de	(14.80±4.57)bc	(1122.1±67.0)de
T <sub>2</sub>	(16.51±6.72)a	(926.3±74.7)abc	(18.60±4.84)a	(1110.1±73.6)cde	(17.03±6.81)a	(1134.6±53.9)cde
T <sub>3</sub>	(15.11±4.07)bc	(725.8±170.4)d	(15.23±4.72)bc	(1084.6±75.9)de	(13.97±4.88)bc	(1196.3±91.4)ab
T <sub>4</sub>	(15.37±5.62)bc	(850.8±73.3)c	(15.37±5.62)bc	(1135.4±115.6)bcd	(14.03±5.23)bc	(1125.9±100.6)cde
T <sub>5</sub>	(15.63±6.62)bc	(938.2±99.0)ab	(14.69±6.55)bc	(1101.3±73.5)cde	(14.60±5.55)bc	(1155.7±59.0)cde
T <sub>6</sub>	(15.03±4.54)bc	(928.2±140.2)abc	(15.43±4.32)bc	(1255.5±93.5)a	(13.66±3.76)bc	(1240.7±49.8)a
T <sub>7</sub>	(14.20±3.63)bc	(927.0±104.3)abc	(14.86±4.97)bc	(1191.2±100.5)ab	(12.69±3.46)c	(1167.9±75.7)bed
T <sub>8</sub>	(13.40±5.55)bc	(887.1±102.0)bc	(18.57±6.03)ab	(1111.0±90.8)cde	(15.03±4.99)bc	(1178.9±69.2)bc
T <sub>9</sub>	(13.46±7.96)bc	(948.7±102.3)ab	(12.91±4.20)c	(1068.0±79.2)e	(14.00±4.10)bc	(1166.7±73.1)bcd
T <sub>10</sub>	(7.80±3.09)d	(893.7±91.7)bc	(14.46±4.20)c	(1166.1±84.1)bc	(13.80±3.19)bc	(1103.3±58.5)e

1) 同列不同字母表示经单因素方差分析和 Tukey's 多重比较差异显著; T<sub>0</sub> 代即原始种群。

Different letters in the same column indicate the significant differences at 0.05 level based on One-way ANOVA and Tukey's multiple comparisons. T<sub>0</sub> generation is the original population.

代后转接 3 种寄主后成蚜的体长, 来推测 Hap4 型棉蚜在 3 种寄主上的发育情况。总体来说, T<sub>1</sub>~T<sub>10</sub> 代在棉花、黄瓜和西葫芦上的体长基本处于比较平稳的状态, 转接到棉花上的 Hap4 型棉蚜体长显著低于转接到西葫芦和黄瓜上的体长 ( $P < 0.0001$ ) (表 1)。

### 2.2 取食西葫芦后 Hap4 型棉蚜在棉花、黄瓜和西葫芦 3 种寄主上的生命表参数

尽管 Hap4 型棉蚜采自棉花并一直用棉花叶片饲养, 但其取食西葫芦后的 T<sub>1</sub>~T<sub>10</sub> 代在黄瓜和西葫芦上的净增殖率基本上显著高于棉花 (T<sub>2</sub> 代除外); 而在黄瓜上的净增殖率除 T<sub>1</sub>、T<sub>4</sub> 和 T<sub>9</sub> 外均高于或显著高于同世代棉蚜在西葫芦上的净增殖率。转接到西葫芦后繁殖的 T<sub>1</sub> 代 Hap4 型棉蚜的繁殖

能力提升, 其在棉花上的净增殖率达到 35.43, 显著高于 T<sub>0</sub> 代在棉花上的净增殖率 (14.17), 但显著低于同世代棉蚜在西葫芦上的净增殖率。Hap4 型棉蚜取食西葫芦后在西葫芦上的平均世代周期除 T<sub>1</sub> 和 T<sub>10</sub> 代高于棉花外, 部分世代 (T<sub>2</sub>~T<sub>6</sub> 和 T<sub>8</sub>) 的棉蚜在西葫芦上的平均世代周期与棉花基本相同, 少数世代 (T<sub>7</sub> 和 T<sub>9</sub>) 的棉蚜则有所缩短; 而在黄瓜上的平均世代周期与西葫芦上没有显著差异。就内禀增长率而言, 在西葫芦上的内禀增长率除 T<sub>2</sub> 代与棉花相比显著降低外, 部分世代 (T<sub>1</sub> 和 T<sub>3</sub>~T<sub>5</sub>) 内禀增长率均与棉花上相当; 部分世代 (T<sub>6</sub>~T<sub>10</sub>) 显著高于棉花上的内禀增长率。各世代在黄瓜上的内禀增长率与其在西葫芦上基本一致, 个别世代 (T<sub>2</sub>、T<sub>7</sub> 和 T<sub>10</sub>) 显著高于在西葫芦上的内禀增长率 (表 2)。

表 2 Hap4 型棉蚜取食西葫芦不同代别后在 3 种寄主上的生命表参数<sup>1)</sup>

Table 2 Life-table parameters of Hap4 cotton aphid on three hosts after feeding on zucchini for different generations

代别 Generation	转接后寄主 Transplant	净增殖率 Net reproductive rate	平均世代周期/d Average generation time	内禀增长率 Intrinsic rate of increase
T <sub>0</sub>	棉花	(14.17±1.43)c	(8.85±0.31)c	(0.28±0.01)b
T <sub>1</sub>	棉花	(35.43±3.21)b	(9.65±0.25)b	(0.35±0.02)a
	黄瓜	(45.29±4.74)ab	(10.93±0.37)a	(0.33±0.09)ab
	西葫芦	(51.83±3.83)a	(10.14±0.46)a	(0.37±0.09)a
T <sub>2</sub>	棉花	(55.60±3.18)a	(10.21±0.23)a	(0.39±0.00)a
	黄瓜	(51.86±2.55)a	(10.39±0.21)a	(0.38±0.00)a
	西葫芦	(45.69±3.71)a	(10.51±0.19)a	(0.33±0.02)b

续表 2 Table 2(Continued)

代别 Generation	转接后寄主 Transplant	净增殖率 Net reproductive rate	平均世代周期/d Average generation time	内禀增长率 Intrinsic rate of increase
T <sub>3</sub>	棉花	(18.86±2.00)b	(8.28±0.30)a	(0.33±0.01)a
	黄瓜	(40.83±3.23)a	(8.89±0.37)a	(0.36±0.02)a
	西葫芦	(39.08±3.24)a	(9.24±0.25)a	(0.35±0.02)a
T <sub>4</sub>	棉花	(18.03±2.04)b	(10.48±0.45)a	(0.24±0.02)b
	黄瓜	(32.00±3.44)a	(8.80±0.37)b	(0.35±0.02)a
	西葫芦	(32.63±4.04)a	(9.50±0.29)ab	(0.30±0.02)ab
T <sub>5</sub>	棉花	(19.51±3.15)b	(10.82±0.55)a	(0.23±0.02)b
	黄瓜	(37.63±4.60)a	(9.76±0.44)ab	(0.32±0.02)a
	西葫芦	(31.57±4.13)ab	(10.44±0.37)a	(0.26±0.02)ab
T <sub>6</sub>	棉花	(21.83±2.00)b	(8.25±0.31)a	(0.32±0.02)b
	黄瓜	(45.89±3.54)a	(8.13±0.25)a	(0.45±0.01)a
	西葫芦	(41.00±3.17)a	(7.91±0.23)a	(0.44±0.02)a
T <sub>7</sub>	棉花	(12.43±1.70)c	(8.71±0.33)a	(0.23±0.02)c
	黄瓜	(45.80±3.70)a	(7.78±0.30)ab	(0.47±0.02)a
	西葫芦	(29.14±3.38)b	(7.55±0.31)b	(0.39±0.02)b
T <sub>8</sub>	棉花	(13.94±2.32)c	(8.64±0.79)b	(0.19±0.02)b
	黄瓜	(49.86±3.03)a	(10.89±0.40)a	(0.33±0.02)a
	西葫芦	(36.77±3.57)b	(10.03±0.57)ab	(0.29±0.02)a
T <sub>9</sub>	棉花	(20.03±3.27)b	(12.39±0.53)a	(0.16±0.02)b
	黄瓜	(26.14±2.96)ab	(9.67±0.28)b	(0.29±0.02)a
	西葫芦	(34.66±3.50)a	(10.29±0.29)b	(0.30±0.02)a
T <sub>10</sub>	棉花	(3.27±0.99)c	(8.66±0.62)b	(0.03±0.01)c
	黄瓜	(42.17±3.01)a	(9.53±0.20)ab	(0.36±0.02)a
	西葫芦	(17.74±1.44)b	(10.34±0.24)a	(0.25±0.02)b

1) 数据为平均值±标准误。每代内不同字母表示经单因素方差分析, Tukey's 法多重比较寄主间差异显著( $P < 0.05$ ); T<sub>0</sub> 代即原始种群并和 T<sub>1</sub> 代进行多重比较。

Data are mean±SE. Different letters in each generation indicate significant differences based on One-way ANOVA and Tukey's method ( $P < 0.05$ ). T<sub>0</sub> generation is the original population, and multiple comparisons was made with T<sub>1</sub> generation.

综上, Hap4 型棉蚜在 Hap4 型棉蚜取食西葫芦一代后就能取食黄瓜并具有较强的繁殖能力, 并且, 随着取食西葫芦代数的增加, 呈现较为稳定的趋势, 而在原寄主棉花上的繁殖能力呈现下降趋势。Hap4 型棉蚜在西葫芦上的繁殖能力随着其在西葫芦上取食代数的增加而降低, 但强于在原寄主棉花上的繁殖能力。

### 3 结论与讨论

在长期的进化过程中, 棉蚜在取食选择过程中已经形成了对某一种或几种近缘物种寄主植物的专化性<sup>[32]</sup>。Wool<sup>[33]</sup>认为棉蚜在同种植物之间转接比同科植物之间表现出更好的寄主适应性且更容易建立种群。2009 年 Carletto 等<sup>[16]</sup>利用微卫星和寄主转接试验将棉蚜分为葫芦科、棉花、茄子、马铃薯和

辣椒(或甜椒)等 5 个明显的寄主宗。2013 年 Satar 等<sup>[34]</sup>将土耳其棉花上的棉蚜转接到柑橘、黄瓜、茄子、黄秋葵和甜辣椒等非原寄主上, 发现棉花上的棉蚜在这些非原寄主上 1 龄若虫死亡率高达 100%, 且很难建立种群; 同样黄瓜和甜椒上的棉蚜转接到棉花上也不能很好地建立种群, 其内禀增长率低于棉花上棉蚜取食棉花的内禀增长率, 相反柑橘、茄子上的棉蚜转接到棉花上能建立种群, 明显表现出棉蚜具有寄主专化性现象。2004 年王咏妙等<sup>[35]</sup>将棉花上和甜瓜上棉蚜进行互接, 发现棉蚜很难在非原寄主上建立种群。2015 年王丽等<sup>[31]</sup>利用寄主转接将棉花上的棉蚜和黄瓜上的棉蚜进行寄主互接, 结果发现互换寄主后棉蚜均体重减轻, 成蚜和仔蚜的存活率降低且繁殖率下降, 很难建立种群, 于是将河南安阳的棉蚜分为棉花型和黄瓜型; 除此之外还发

现黄瓜上的棉蚜转接到西葫芦可以建立种群。由此可知,不同地区的棉蚜遗传结构并不单一,而是由多种对寄主利用存在差异的不同专化型组成。

长期以来,对棉蚜的生物型鉴定都是依据采集寄主或生物学测定来确定的,但棉蚜的分化程度较高,依据采集寄主和寄主适应性很难建立可溯源的生物型分类体系。随着技术的发展,依靠分子生物学技术来对昆虫生物型进行区分成为可能。Hap4型棉蚜是除 Hap1 型和 Hap3 型之外,另一类数量较多的单倍型类型,与 Hap1 和 Hap3 分别对应棉花型棉蚜和黄瓜型棉蚜不同,本研究结果表明,Hap4 型棉蚜不能严格的与棉花型棉蚜或黄瓜型棉蚜对应,因为其在棉花和黄瓜上都能很好地存活和建立种群。虽然 Hap4 型棉蚜采于棉花,并一直用棉花植株来保存种群,但相对于棉花,其在西葫芦和黄瓜上却表现出较好的适应性。

对于植食性昆虫来说,寄主植物对昆虫的生长发育及进化等有着十分重要的意义。Bemays 等<sup>[19]</sup>提出昆虫对非原寄主的取食在一定程度上改变其对原寄主的利用程度。将取食选择更偏好早金莲的蚕豆蚜 *Aphis fabae* 转接到蚕豆上饲养,随着饲养代次的增加,其对早金莲的选择偏好逐渐降低,对蚕豆的取食选择升高;将取食偏好蚕豆的蚕豆蚜转接到早金莲上,长期用早金莲饲养,其对蚕豆的取食偏好降低,对早金莲取食偏好增加<sup>[36]</sup>。Hap4 型棉蚜在转移到西葫芦上饲养的前两代,生殖能力显著提高,可能是由于棉蚜具有寄主间转移取食的习性,通过爬行进行短距离的寄主间迁移。这是其为快速建立种群而进化出的环境适应能力。本研究使用无翅棉蚜进行研究,有翅棉蚜的寄主间迁移是否存在此现象需进一步开展研究。

目前作物间的混作、轮作等种植模式,不仅可以提高土地复种指数,增加单位土地收益,还缓解连作障碍等,带来了巨大的经济效益<sup>[37-38]</sup>。但作物的混作为棉蚜迁移提供了便利条件,可能造成危害范围的扩大。目前已经很多研究提出专化型棉蚜在取食某一植物后能够扩大寄主范围。例如,棉花型棉蚜取食西葫芦后,不仅获得了在黄瓜上建立种群的能力,还保留取食棉花的能力<sup>[24,27]</sup>。同样,黄瓜型棉蚜取食豇豆后,不仅获得了在棉花上建立种群的能力,还保留了取食黄瓜的能力<sup>[26,29-30]</sup>。因此,在农业生产

特别是作物的混作,应避免西葫芦、豇豆与黄瓜类作物混作,避免由于中间寄主的作用增加了棉蚜的为害范围。除此之外,棉花、西葫芦和甜瓜可以让木槿上的棉蚜获得取食黄瓜的能力<sup>[35]</sup>。本研究结果与此前的研究结果不一致的方面是,Hap4 型棉蚜不经过西葫芦的诱导即可取食黄瓜(未发表数据),且经西葫芦诱导后生殖能力显著提高,暗示作物间的混作,特别是与西葫芦混作会显著提高 Hap4 型棉蚜的发生水平。

源自于棉花的 Hap4 型棉蚜能够很好地取食西葫芦和黄瓜,且对西葫芦和黄瓜的适合度高于棉花,不能用黄瓜型和棉花型等寄主转化型来区分其种群分化,需借助依托分子生物学技术建立的生物型鉴定系统区分其种群分化。经过西葫芦的诱导,Hap4 型棉蚜的生殖能力显著提高,生产中应避免西葫芦与其他棉蚜寄主作物混作,减轻棉蚜的发生为害。

## 参考文献

- [1] 耿桃兰. 棉蚜在冬寄主上营同寄主生活史的生态与分子机制[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [2] 肖云丽,印象初,刘同先. 不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择[J]. 生态学报,2013,33(12):3706-3711.
- [3] 罗礼智,李光博. 植物病毒病对蚜虫种群增长与翅型分化的影响[J]. 植物保护,1991,17(3):34-36.
- [4] 秦碧霞,蔡健和,刘志明,等. 小西葫芦黄花叶病毒在广西瓜类作物上的发生情况初报[J]. 广西农业科学,2004(4):309-310.
- [5] 车海彦,曹学仁,贺延恒,等. 海南岛黄瓜病毒病种类鉴定及其发生分布研究[J]. 热带作物学报,2020,41(11):2280-2284.
- [6] 储鸿,王琳娜. 库尔勒地区气象条件与棉蚜发生对棉花产量的影响[J]. 新疆农业科技,2007(6):43.
- [7] 江海澜,邓小霞,阿瓦古丽·托合提,等. 新疆库尔勒 2014-2016 年棉花主要害虫发生概况及原因分析[J]. 中国棉花,2017,44(9):40.
- [8] 赵冰梅,李红. 2018 年新疆兵团棉花主要病虫害发生预测及应对措施[J]. 中国棉花,2018,45(4):1-3.
- [9] 杨寒丽,吴莉莉,陈艳,等. 2020 年度和 2021 年前期新疆巴州棉花主要病虫害发生概况[J]. 中国棉花,2021,48(9):42-44.
- [10] GUILDEMOND J A, TIGGES W T, DE VRIJER P W F. Host races of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) on cucumber and chrysanthemum [J]. Environmental Entomology, 1994, 23:1235-1240.

- [11] AGARWALA B K, CHOUDHURY P R. Host races of the cotton aphid, *Aphis gossypii*, in asexual populations from wild plants of taro and brinjal [J/OL]. Journal of Insect Science, 2013, 13: 34. DOI: 10.1673/031.013.3401.
- [12] SATAR S, KERSTING U, YOKOMI R. Presence of two host races of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) collected in Turkey [J]. Annals of Applied Biology, 2013, 162(1): 41–49.
- [13] WANG Li, ZHANG Shuai, LUO Junyu, et al. Identification of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) biotypes from different host plants in north China [J/OL]. PLoS ONE, 2016, 11(1): e0146345. DOI: 10.1371/journal.pone.0146345.
- [14] RABOUDI F, MEZGHANI M, MAKNI H, et al. Aphid species identification using cuticular hydrocarbons and cytochrome b gene sequences [J]. Journal of Applied Entomology, 2005, 129(2): 75–80.
- [15] VANLERBERGHE-MASUTTI F, CHAVIGNY P, FULLER S J, et al. Characterization of microsatellite loci in the aphid species *Aphis gossypii* Glover [J]. Molecular Ecology, 1999, 8(4): 693–695.
- [16] CARLETTO J, BLIN A, VANLERBERGHE-MASUTTI F. DNA-based discrimination between the sibling species *Aphis gossypii* Glover and *Aphis frangulae* Kaltenbach [J]. Systematic Entomology, 2009, 34(2):307–314.
- [17] ZHANG Shuai, LUO Junyu, WANG Li, et al. The biotypes and host shifts of cotton-melon aphids *Aphis gossypii* in northern China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(9): 2066–2073.
- [18] ZHANG Shuai, LUO Junyu, WANG Chunyi, et al. Complete mitochondrial genome of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae)[J]. Mitochondrial DNA, 2016, 27(2): 854–855.
- [19] BEMAYS E A, CHAPMAN R. Host plant selection by phytophagous insect [M]. New York: Chapman & Hall, 1994:312.
- [20] JERMY T. The role of experience in the host selection of phytophagous insects [M]//CHAPMAN R F, BERNAYS E A, STOFFOLANO J G. Perspectives in Chemoreception and Behavior. New York:Springer-Verlag, 1987:143–157.
- [21] RENWIEK J A A, HUANG X P. Rejection of host plant by larvae of cabbage butterfly: diet-dependent sensitivity to an antifeedant [J]. Journal of Chemical Ecology, 1995, 21: 465–475.
- [22] BOER D. The role of the antennae and maxillary palps in mediating food preference by larvae of the tobacco hornworm *Manduca sexta* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata 2006, 119: 29–38.
- [23] VIDE LA M, ALLADARES G, SALVO A. Differential effects of experience on feeding and ovipositing preferences of a polyphagous leafminer [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2010, 137(2):184–192.
- [24] 郑彩玲, 刘向东, 翟保平. 棉花型和黄瓜型棉蚜(*Aphis gossypii* Glover)的寄主适应性及转移通道[J]. 生态学报, 2007(5):1879–1886.
- [25] MAGALHÃES S, BLANCHET E, EGAS M, et al. Are adaptation costs necessary to build up a local adaptation pattern? [J/OL]. BMC Evolutionary Biology, 2009, 9: 182. DOI: 10.1186/1471-2148-9-182.
- [26] WU Wei, LIANG Xinli, ZHAO Haiyang, et al. Special plant species determines diet breadth of phytophagous insects: A study on host plant expansion of the host-specialized *Aphis gossypii* Glover [J/OL]. PLoS ONE, 2013, 8(4): e60832. DOI: 10.1371/journal.pone.0060832.
- [27] 徐蔚利. 西葫芦介导的棉花型棉蚜对黄瓜寄主的适应机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [28] 吴蔚. 西葫芦寄主对棉蚜寄主专化性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [29] 梁新利. 棉花型和瓜型棉蚜的寄主利用能力及豇豆上的取食经历对专化性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [30] 胡道武, 张帅, 雒珺瑜, 等. 田间中间寄主豇豆对专化型棉蚜的影响[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(3):587–592.
- [31] 王丽. 华北棉区棉蚜寄主专化型及其形成机制初步研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [32] GULDEMOND, ADRIAAN J, TIGGES, et al. Host races of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) on cucumber and chrysanthemum [J]. Environmental Entomology, 1994, 23(5):1235–1240.
- [33] WOOL D. Host plant relationship of *Aphis gossypii* in Australia [J]. Journal of Australia Entomological Society, 1995, 34(3):265–267.
- [34] SATAR S, KERSTING U, YOKMI R. Presence of two host races of *Apis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) collected in Turkey [J]. Annals of Applied Biology, 2013, 162(1): 41–49.
- [35] 王咏妙, 张鹏飞, 陈建群. 棉蚜寄主专化型及其形成的行为机理[J]. 昆虫学报, 2004(6):760–764.
- [36] GORUR G, LOMONACO C, MACKENZIE A. Phenotypic plasticity in host choice behavior in black bean aphid, *Aphis fabae* (Homoptera: Aphididae)[J]. Arthropod-Plant Interactions, 2007, 1(3): 187–194.
- [37] 丁伟红, 臧全宇, 马二磊, 等. 浙东地区越冬草莓接茬耐热甜瓜立体套种丝瓜周年栽培模式[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(12): 70–71.
- [38] 刘剑眉, 赵铭, 韩蓉, 等. 不同设施栽培对西瓜生产的影响[J]. 蔬菜, 2018(3): 58–60.

(责任编辑: 杨明丽)