



穆扬, 胡雅辉, 张卓, 刘勇, 谭新球, 史晓斌, 张德咏. 番茄褪绿病毒对刀角瓢虫捕食烟粉虱的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (3): 545–551.

番茄褪绿病毒对刀角瓢虫捕食烟粉虱的影响

穆扬¹, 胡雅辉², 张卓², 刘勇², 谭新球², 史晓斌^{2*}, 张德咏^{1,2*}

(1. 湖南大学研究生院隆平分院, 长沙 410125; 2. 湖南省农业科学院植物保护研究所, 长沙 410125)

摘要: 在实验室条件下研究了不同温度下刀角瓢虫 *Serangium japonicum* 对健康和感染番茄褪绿病毒 (Tomato chlorosis virus, ToCV) 番茄上的烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的捕食效果。结果表明, 无论在健康番茄还是感染 ToCV 番茄上, 刀角瓢虫均可以取食烟粉虱的卵和若虫, 对卵的捕食量最大, 且对烟粉虱卵的功能反应都属于 Holling II 型反应, 方程式分别为 $N_A = 0.9650N/1 + 0.0007N$ 和 $N_A = 0.9866N/1 + 0.0006N$ 。温度可以影响功能反应的参数, 在 30℃ 时刀角瓢虫对健康番茄上的烟粉虱的控制作用最好, 在 35℃ 时刀角瓢虫对感染 ToCV 番茄上的烟粉虱控制效果最好。刀角瓢虫偏好感染 ToCV 的番茄植株, 对健康番茄偏好性较弱。刀角瓢虫对感染 ToCV 番茄上的烟粉虱具有良好的捕食效果, 可为烟粉虱的生物防治提供合理依据。

关键词: 刀角瓢虫; 烟粉虱; 番茄褪绿病毒; 捕食作用; 选择性

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 03-0545-07

Predation effect of *Serangium japonicum* on *Bemisia tabaci* affected by Tomato chlorosis virus

MU Yang¹, HU Ya-Hui¹, ZHANG Zhuo², LIU Yong², TAN Xin-Qiu², SHI Xiao-Bin^{2*}, ZHANG De-Yong^{1,2*} (1. Subcollege of Longping, Graduate School of Hunan University, Changsha 410125, China; 2. Institute of Plant Protection, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: The predatory ability of *Serangium japonicum* on *Bemisia tabaci* feeding on uninfected tomato plants and tomato chlorosis virus (ToCV)-infected tomato plants were evaluated in the laboratory. The results showed that on uninfected and ToCV-infected tomato plants, *S. japonicum* could prey on eggs and nymphs of *B. tabaci*, and showed the largest prey on eggs, and the functional response of female adult *S. japonicum* on *B. tabaci* eggs were Holling II type. The equations are $N_A = 0.9650N/1 + 0.0007N$ and $N_A = 0.9866N/1 + 0.0006N$, respectively. Temperature could affect the parameters of functional response, and the control effect of *S. japonicum* on *B. tabaci* were best at 30℃ on uninfected tomato plants, and at 35℃ on ToCV-infected tomato plants. *S. japonicum* preferred ToCV-infected tomato plants. The results showed that the *S. japonicum* showed a good predation effect on *B. tabaci* which was fed on ToCV-infected tomato plants, which could provide a reasonable basis for biological control of *B. tabaci*.

Key words: *Serangium japonicum*; *Bemisia tabaci*; Tomato chlorosis virus (ToCV); predatory ability; preference

基金项目: 湖南省自然科学基金 (2019JJ30014); 大宗蔬菜产业体系 (CARS-23-D-02); 国家自然科学基金 (31872932)

作者简介: 穆扬, 男, 在读研究生, 研究方向为微生物、介体与植物互作。

* 通讯作者 Authors for correspondence: 史晓斌, 博士, 副研究员, 主要研究方向为微生物、介体与植物互作, E-mail: shixiaobin@hunaas.cn; 张德咏, 博士, 研究员, 主要研究方向为微生物、介体与植物互作, E-mail: dyzhang78@163.com

收稿日期 Received: 2021-03-01; 接受日期 Accepted: 2021-03-20

烟粉虱 *Bemisia tabaci*, 又名小白蛾, 属于同翅目粉虱科, 是一种植食性刺吸式昆虫, 对世界范围内豆类、蔬菜、木薯和棉花等作物的生产造成严重危害 (褚栋和张友军, 2018)。烟粉虱不仅取食植物的汁液, 分泌蜜露造成煤污病, 而且是病毒传播的介体 (王雨蒙等, 2020)。烟粉虱可以传播多种植物病毒 (Tomato chlorosis virus, ToCV) 并引发植物病毒病, 如番茄褪绿病毒 (Tomato chlorosis virus, TOCV) 和番茄黄化曲叶病毒 (Tomato yellow leaf curl virus, TYLCV) 等 (Brown and Czosnek, 2002; Scholth of *et al.*, 2011; Gilbertson *et al.*, 2015)。ToCV 主要通过媒介昆虫烟粉虱以半持久非循环方式传播 (Polston *et al.*, 2014; Orfanidou *et al.*, 2016)。ToCV 的流行与烟粉虱的发生密切相关 (Shi *et al.*, 2018)。番茄褪绿病毒病的防治主要从两个方面入手: 一方面是控制病毒的来源, 另一方面是控制病毒传播的介体—烟粉虱。烟粉虱可通过农药防治, 但其繁殖速率快、扩散快、抗性发展迅速。目前, 我国的烟粉虱已经对除虫菊酯类、烟碱类、新烟碱类、有机磷类等杀虫剂都产生了一定的抗药性, 使得烟粉虱的防治有诸多困难 (Chu *et al.*, 2006; Chu *et al.*, 2008; 褚栋等, 2008; 杨鑫等, 2014)。烟粉虱的生物防治越来越得到重视, 利用天敌控制这类害虫是一种有效生物防治方法, 捕食性天敌刀角瓢虫便是其中佼佼者之一 (Li *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2011)。

刀角瓢虫 *Serangium japonicum*, 属于鞘翅目瓢虫科, 刀角瓢虫捕食烟粉虱能力强、寿命长、繁殖周期短, 食性专一, 对靶标害虫具有较好的控制作用 (Yao *et al.*, 2011)。日本刀角瓢虫已广泛分布于我国大部分地区 (Li *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2011)。以前对刀角瓢虫的研究多关注于其形态结构以及适应性 (姚松林等, 2004; 胡雅辉等, 2016), 但植物病毒对刀角瓢虫捕食烟粉虱的影响研究较少。先前有研究表明, 植物感染病毒后, 会改变丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 对烟粉虱的寄生 (Liu *et al.*, 2018; Ding *et al.*, 2020)。但是捕食性天敌受到植物病毒的影响是否改变对烟粉虱的捕食效果还未见报道。刀角瓢虫捕食烟粉虱通常会受到温度、湿度、光照等因素的影响。为了探究刀角瓢虫是否对感染 ToCV 番茄上的烟粉虱捕食发生改变以及温度是否会影响刀角瓢虫的捕食, 本试验测定了不同温度下, 刀角瓢虫对健康和感染 ToCV 番茄上烟粉虱的捕食效果。

1 材料与方法

1.1 供试材料

刀角瓢虫: 由湖南省农业科学院植物保护研究所胡雅辉老师提供, 饲养在番茄上, 饲养条件为温度 $26 \pm 2^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $70\% \pm 5\%$, 光照周期 L:D = 14 h:10 h。以烟粉虱为食来建立稳定的种群, 选取刚羽化的雌成虫作为试验材料。

烟粉虱 (biotype Q): 在湖南省农业科学院植物保护研究所温室以番茄植株饲养, 温室内的温度 $26 \pm 2^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $70\% \pm 5\%$, 光周期 L:D = 14 h:10 h。选取健康烟粉虱各虫态作为试验材料。

1.2 感染 ToCV 番茄的制备

用 ToCV 侵染性克隆接种黄瓜, 感染 ToCV 的黄瓜植株饲喂烟粉虱, 用烟粉虱取食接种番茄, 接种 2 d 后, 移去烟粉虱。3 周后, 利用 ToCV 的特异性引物 ToCV-3F / ToCV-3R 对接种 ToCV 3 周后的番茄样品进行 RT-PCR 检测, 得到约 450 bp 目的条带 (图 1)。测序结果表明, 经 BLAST 比对, 与 KC887999.1 具有 99.0% 的同源性, 确认番茄感染了 ToCV。可用于下一步试验。

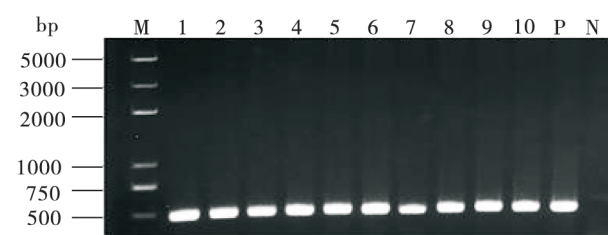


图 1 接种 ToCV 的番茄植株检测

Fig. 1 Detection of tomato plants inoculated with ToCV

注: M, DNA marker; 1~10, 番茄样品; P, 阳性对照; N, 阴性对照。Note: M, DNA marker; 1~10, Tomato samples; P, Positive control; N, Negative control.

1.3 刀角瓢虫雌成虫对健康和感染 ToCV 番茄上的烟粉虱捕食量的测定

在室内种植的健康和感染 ToCV 的番茄上分别定量的接入即将产卵的烟粉虱成虫, 让其产卵 24~48 h, 之后将成虫剔除。按照烟粉虱的发育进度, 饲养不同虫态的烟粉虱, 以健康番茄上饲养的不同虫态的烟粉虱作为对照。发育到各龄若虫时, 分别将带有烟粉虱卵和 1~4 龄若虫的健康和感染 ToCV 的叶片在体视显微镜下进行观察计数后

将其放入培养皿中, 每个培养皿放入一头饥饿处理 24 h 的刀角瓢虫雌成虫, 24 h 后观察记录被捕食烟粉虱的数量, 每个处理重复 5 次。

1.4 不同温度下, 刀角瓢虫雌成虫对健康和感染 ToCV 番茄上的烟粉虱卵功能反应的影响

将温度设置为 5、10、15、20、25、30、35℃, 猎物密度设置为 100、200、300、400、500、600 粒/皿。测定不同温度下刀角瓢虫雌成虫对健康和感染 ToCV 番茄上的烟粉虱卵的功能反应, 24 h 后记录被捕食卵数量, 每个处理重复 5 次。

1.5 刀角瓢虫雌成虫对烟粉虱寄主植物的选择性

为了探究刀角瓢虫雌成虫对感染 ToCV 的寄主植株是否具有偏好性, 选择健康的番茄作为对照组, 感染 ToCV 的番茄作为处理组。经烟粉虱取食 24 h 后, 移去烟粉虱。将健康和感染 ToCV 的番茄分别置于 Y 形管两端相连的味源瓶, 通气一段时间后。取 30 头刀角瓢虫雌成虫从 Y 形管底部放入, 刀角瓢虫进入到管 2/3 处即为做出选择, 半小时内没有进入各管即为未做选择, 观察并记录半小时内的刀角瓢虫的选择性。每组试验重复 10 次。

1.6 数据处理

捕食功能反应采用 Holling II 型圆盘方程进行拟合, 拟合方程为: $N_A = (aTN) / (1 + aT_h N)$

其中: N_A 为被捕食的猎物数, N 为猎物密度, T 为试验用时; a 为瞬间搜寻速率, T_h 为处置时间。根据 a 和 T_h , 计算出刀角瓢虫对烟粉虱卵的日最大捕食量。数据分析采用 SPSS 软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 刀角瓢虫雌成虫对健康和感染 ToCV 番茄上的烟粉虱捕食量的测定

刀角瓢虫可以捕食健康和带毒番茄上的烟粉虱各个虫态, 均对卵的日捕食量最高, 分别为 419.8 和 510.6 粒 (图 2)。刀角瓢虫雌成虫对健康番茄上的烟粉虱 1~4 龄若虫的日捕食量分别为 328.2、198、107.4 和 67 头。刀角瓢虫雌成虫对健康番茄上的烟粉虱卵的日捕食量显著大于 1~4 龄若虫 ($F_{4,20} = 726.03$, $P < 0.001$)。刀角瓢虫雌成虫对带毒番茄上的烟粉虱 1~4 龄若虫的日捕食量分别为 409、347.4、218 和 100.6 头。刀角瓢虫雌成虫对带毒番茄上烟粉虱卵的日捕食量显著

大于 1~4 龄若虫 ($F_{4,20} = 1459.103$, $P < 0.001$)。刀角瓢虫雌成虫对带毒番茄上的烟粉虱各虫态的捕食量均显著高于健康番茄上的烟粉虱, 并且随着健康和带毒番茄上的烟粉虱虫龄的增加, 刀角瓢虫雌成虫的日捕食量逐渐减少。

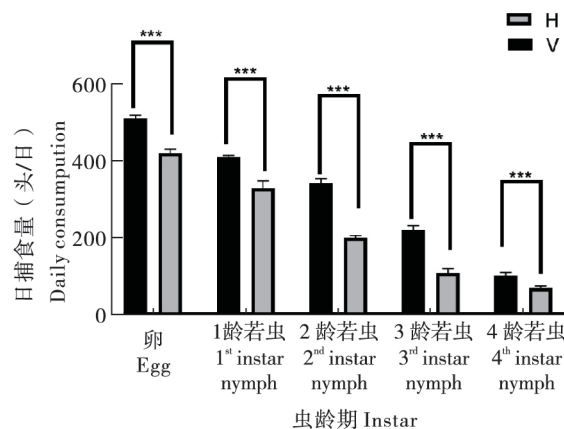


图2 刀角瓢虫雌成虫对健康和带毒番茄上的烟粉虱各虫态的日捕食量

Fig. 2 Numbers of different stages of *Bemisia tabaci* feeding on uninfected (H) and infected (V) tomato plants preyed by female adult *Serangium japonicum* per day

2.2 不同温度下, 刀角瓢虫雌成虫对健康和感染 ToCV 番茄上的烟粉虱卵功能反应的影响

室温下, 刀角瓢虫雌成虫对健康和带毒番茄上的烟粉虱的捕食功能反应模型均属于 Holling II 型 (图 3, 图 4)。利用刀角瓢虫雌成虫日捕食量与烟粉虱密度的数据进行拟合, 得到反应方程分别为 $N_A = 0.9650N/1 + 0.0007N$ ($R^2 = 0.9894$) 和 $N_A = 0.9866N/1 + 0.0006N$ ($R^2 = 0.9819$)。

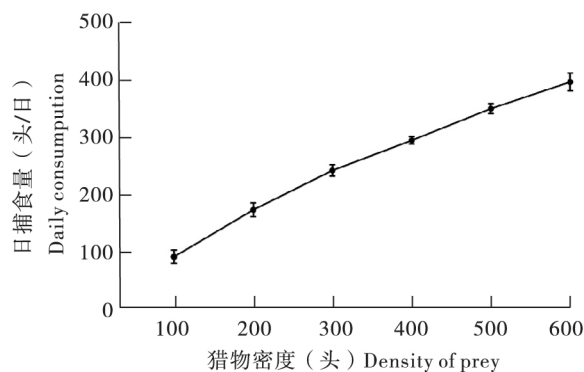


图3 刀角瓢虫雌成虫对健康番茄上的烟粉虱卵的功能反应

Fig. 3 Functional response of female adult *Serangium japonicum* on *Bemisia tabaci* eggs feeding on uninfected (H) tomato plants

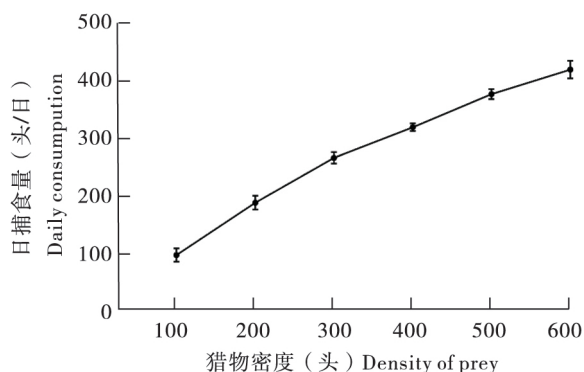


图4 刀角瓢虫雌成虫对感染 ToCV 番茄上的烟粉虱卵的功能反应

Fig. 4 Functional response of female adult *Serangium japonicum* on *Bemisia tabaci* eggs feeding on infected (V) tomato plants

不同的温度下,刀角瓢虫雌成虫对健康和带毒番茄上的烟粉虱卵的功能反应都符合 Holling II 型模型,并且随着温度的变化呈现不同的曲线(图5,图6)。在5~30℃之间,刀角瓢虫雌成虫对健康番茄上烟粉虱的 a (瞬时搜寻速率)随着温度的升高而增加,在35℃时又开始下降。5~30℃,处理时间 T_h 则随着温度的升高而降低,在35℃时又开始升高。在5~35℃之间,刀角瓢虫对带毒番茄上烟粉虱的 a 随着温度的升高而升高, T_h

随着温度的升高则降低。刀角瓢虫雌成虫对健康番茄上烟粉虱的控制能力随着温度的升高而升高,在30℃达到最大值,随后随着温度的升高,控制能力减弱;刀角瓢虫雌成虫对带毒番茄上烟粉虱的控制能力随着温度的升高而升高,在35℃时达到最高值(表1)。总体而言,刀角瓢虫雌成虫对带毒番茄上烟粉虱的控制能力强于健康番茄上烟粉虱,高温下刀角瓢虫雌成虫对健康和带毒番茄上的烟粉虱的控制能力均高于低温下的控制能力。

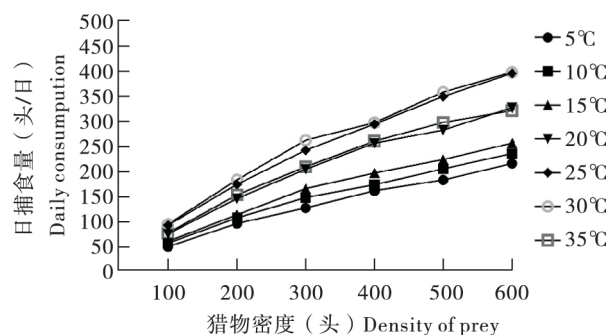


图5 不同温度下刀角瓢虫雌成虫对健康番茄上的烟粉虱卵的功能反应

Fig. 5 Functional response of female adult *Serangium japonicum* on *Bemisia tabaci* eggs feeding on uninfected (H) tomato plants at different temperatures

表1 不同温度下刀角瓢虫雌成虫对烟粉虱卵的功能反应参数

Table 1 Parameters of functional response of female adult *Serangium japonicum* on *Bemisia tabaci* eggs at different temperature

温度 (°C)	Temperature	a	T_h	a/T_h	Max N_A	R^2
Uninfected	5	0.4957	0.001313	389.7013	761.6146	0.9897
	10	0.5752	0.001272	438.0807	786.1635	0.9864
	15	0.6101	0.001037	588.3317	964.3202	0.9788
	20	0.7666	0.000749	1023.498	1335.113	0.9783
	25	0.9650	0.000769	1254.876	1300.39	0.9894
	30	0.9833	0.000691	1423.01	1447.178	0.9755
	35	0.7871	0.000729	1079.698	1371.742	0.9677
Infected	5	0.5307	0.001151	461.0773	868.8097	0.982
	10	0.7003	0.001135	617.0044	881.0573	0.9955
	15	0.7738	0.001133	682.9656	882.6125	0.9914
	20	0.8907	0.000596	1494.463	1677.852	0.9868
	25	0.9866	0.000581	1698.107	1721.17	0.9819
	30	0.9899	0.000577	1715.598	1733.102	0.9767
	35	0.995	0.000517	1924.565	1934.236	0.9856

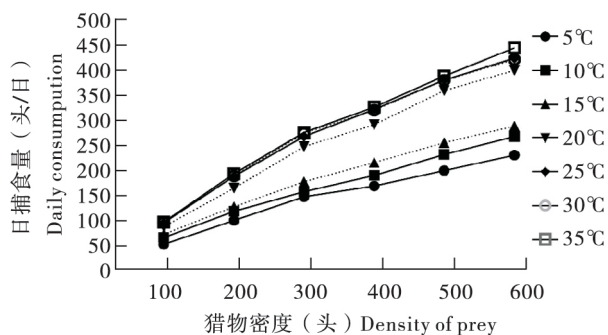


图6 不同温度下刀角瓢虫雌成虫对带毒番茄上的烟粉虱卵的功能反应

Fig. 6 Functional response of female adult *Serangium japonicum* on *Bemisia tabaci* eggs feeding on infected (V) tomato plants at different temperatures

2.3 角瓢虫雌成虫对烟粉虱寄主植物的选择性

刀角瓢虫雌成虫对感染 ToCV 番茄的选择数量显著高于健康番茄 ($F_{1,18} = 59.570$, $P < 0.001$)。当番茄感染 ToCV 后, 其选择数量为 21, 为健康番茄的 2.3 倍 (图 7)。

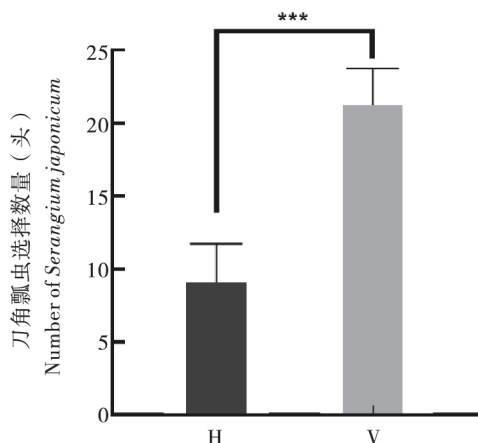


图7 刀角瓢虫雌成虫对烟粉虱取食的寄主植株的选择行为
Fig. 7 Preference of female adult *Serangium japonicum* to host plants infested by *Bemisia tabaci*

注: H, 健康番茄; V, 感染 ToCV 番茄。Note: H, uninfected tomato plants; V, ToCV-infected tomato plants.

3 结论与讨论

刀角瓢虫对健康和感染番茄褪绿病毒番茄上的烟粉虱的卵和 1~4 龄若虫均可以捕食, 对卵的捕食量最大, 刀角瓢虫对健康番茄上的烟粉虱捕食效果与先前报道对健康甘薯、茄子甘蓝上的烟

粉虱的捕食效果差异不大 (荆英等, 2003; 姚凤奎等, 2018; 马丽君等, 2018)。本试验中刀角瓢虫雌成虫对感染 ToCV 番茄上烟粉虱捕食量较健康番茄上烟粉虱大。推测可能是感染 ToCV 番茄上烟粉虱的营养状况发生变化, 从而使得刀角瓢虫的捕食量增大, 具体原因有待进一步探究。丽蚜小蜂对感染 ToCV 番茄上烟粉虱寄生率的文献还未见报道, 推测丽蚜小蜂可能和刀角瓢虫对烟粉虱的捕食量差异不大, 丽蚜小蜂通过寄生在烟粉虱若虫体内并摄取其体液将其杀死 (郭义等, 2007), 而刀角瓢虫则是直接对烟粉虱进行捕食 (姚松林等, 2005), 所以当 ToCV 病毒粒子被烟粉虱摄入时, 前期对丽蚜小蜂的影响可能比刀角瓢虫大。有研究表明, 长期饲养下, 丽蚜小蜂对感染 ToCV 番茄上烟粉虱寄生率较感染 TYLCV 和健康番茄降低 (Li *et al.*, 2020)。当刀角瓢虫长期在感染 ToCV 的番茄上以烟粉虱为食时, 其后的发育历期、存活率、产卵量以及种群内禀增长率是否和丽蚜小蜂一样有待进一步研究。

当植物感染病毒后, 会增强烟粉虱对其的取食 (Moreno *et al.*, 2013; Lu *et al.*, 2019), 当番茄感染 TYLCV 后会改变挥发物的种类, 从而使被感染的番茄比未被感染的番茄对烟粉虱更有吸引力 (Fang *et al.*, 2013)。也有大量研究表明, 引诱天敌寻找寄主的主要信息来源是植食性昆虫为害寄主植物所产生的挥发性物质 (魏建荣等, 2007)。研究发现在花椰菜的根和芽喷施茉莉酸, 诱导花椰菜产生的挥发物对丽蚜小蜂和刀角瓢虫都有吸引力 (Li *et al.*, 2014)。此外, 也有研究发现当植物感染病毒时也会吸引天敌前来捕食, 曾有报道当番茄植株感染 TYLCV 后, 其挥发物更加吸引丽蚜小蜂 (Liu *et al.*, 2014; 曹增等, 2015; Liu *et al.*, 2018)。本试验中 Y 形管选择试验表明, 刀角瓢虫雌成虫对感染 ToCV 的植株具有明显的偏好性, 所以当番茄感染 ToCV 后, 可能也会改变自身挥发物的种类, 从而使得对烟粉虱更具有吸引力 (Shi *et al.*, 2018)。具体是哪一种物质在发挥中起作用有待进一步探究。当刀角瓢虫对烟粉虱进行搜寻时, 会利用感染 ToCV 番茄的挥发物捕食更多的烟粉虱。所以当番茄感染番茄褪绿病毒后不仅会影响烟粉虱的取食, 而且对刀角瓢虫捕食烟粉虱也有影响。

刀角瓢虫雌成虫对健康和带毒番茄上的烟粉虱卵的捕食反应均符合 Holling II 型模型。可以看

出烟粉虱密度高的时候,成功搜寻的概率也降低了,用于非搜寻的时间增加了。温度不会影响刀角瓢虫雌成虫对健康和带毒番茄上的烟粉虱卵的功能反应形式,但能影响相关的参数(荆英等,2003)。随着温度的升高,刀角瓢虫对烟粉虱的控制能力增强,刀角瓢虫对健康和带毒番茄上的烟粉虱的控制能力最强的温度分别为 30℃ 和 35℃,总体上高温下的控制能力高于低温下的控制能力,可能是由于刀角瓢虫在高温下的活动能力比低温下强(易胜等,2014)。刀角瓢虫在长沙 5-11 月均可见(胡雅辉等,2016),夏季活动比较强,因此可以在温度较高天气晴朗的时候释放刀角瓢虫,用以控制烟粉虱的种群数量,从而达到压低虫口密度的目的(罗宏伟等,2005),减少 ToCV 的传播。

刀角瓢虫对健康和感染 ToCV 番茄上烟粉虱都具有良好的捕食效果。本研究从烟粉虱-番茄褪绿病毒-刀角瓢虫互作的角度出发,研究了刀角瓢虫对烟粉虱的捕食效果,表明了温度和番茄褪绿病毒对刀角瓢虫捕食烟粉虱存在影响,试验结果可以为烟粉虱的生物防治提供合理依据,从而更好地发挥刀角瓢虫在烟粉虱生物防治中的作用。

参考文献 (References)

- Brown JK, Czosnek H. Whitefly transmission of plant viruses [J]. *Advances in Botanical Research*, 2002, 36 (2): 65-76.
- Cao Z, Liu X, Zhang YJ, et al. Biological characteristics of *Encarsia formosa* parasitizing *Bemisia tabaci* Q biotype five host plant species [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (4): 453-459. 曹增, 刘馨, 张友军, 等. 丽蚜小蜂对不同寄主植物上“Q 型”烟粉虱的寄生特性 [J]. *中国生物防治学报*, 2015, 31 (4): 453-459.
- Chu D, Wan FH, Tao YL, et al. Genetic differentiation of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q based on mitochondrial DNA markers [J]. *Insect Science*, 2008, 15 (2): 115-123.
- Chu D, Xu BY, Wu QJ, et al. Thiamethoxam application can decrease the genetic diversity of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51 (2): 150-154. 褚栋, 徐宝云, 吴青君, 等. 施用噻虫嗪可降低 B 型烟粉虱群体的遗传多样性 [J]. *昆虫学报*, 2008, 51 (2): 150-154.
- Chu D, Zhang YJ. Research progress on the damages and management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China over the past 10 years [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (5): 51-55. 褚栋, 张友军. 近 10 年我国烟粉虱发生为害及防治研究进展 [J]. *植物保护*, 2018, 44 (5): 51-55.
- Chu D, Zhang YJ, Brown JK, et al. The introduction of the exotic Q biotype of *Bemisia tabaci* from the Mediterranean region into China on ornamental crops [J]. *Florida Entomologist*, 2006, 89 (2): 168-174.
- Chu D, Zhang YJ, Wan FH. *Bemisia tabaci*: Biotypic monitoring and genetic structure analysis [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008, 45 (3): 353-356. 褚栋, 张友军, 万方浩. 烟粉虱生物型的监测及其遗传结构研究 [J]. *昆虫知识*, 2008, 45 (3): 353-356.
- Fang Y, Jiao X, Xie W, et al. Tomato yellow leaf curl virus alters the host preferences of its vector *Bemisia tabaci* [J]. *Scientific reports*, 2013, 3 (1): 1-5.
- Gilbertson RL, Batuman O, Webster CG, et al. Role of the insect supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the emergence and global spread of plant viruses [J]. *Annual Review of Virology*, 2015, 2 (1): 67-93.
- Guo Y, Liu WX, Wan FH. Parasitism behaviors of *Encarsia formosa* and influence factors [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2007, 23 (2): 180-183. 郭义, 刘万学, 万方浩. 丽蚜小蜂寄生过程中的行为学研究进展 [J]. *中国生物防治学报*, 2007, 23 (2): 180-183.
- Hu YH, Wei L, Chen HT. Adaptation of *Serangium japonicum*, a predator of *Bemisia tabaci* to the weather and crop distribution in Changsha [J]. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43 (1): 173-174. 胡雅辉, 魏林, 陈浩涛. 烟粉虱天敌刀角瓢虫对长沙气候及作物分布的适应性 [J]. *植物保护学报*, 2016, 43 (1): 173-174.
- Jing Y, Huang J, Han JC, et al. Predation of *Serangium japonicum* on *Bemisia tabaci*. *Journal of Plant Protection*, 2004, 31 (3): 225-229. 荆英, 黄建, 韩巨才, 等. 刀角瓢虫对烟粉虱的捕食作用 [J]. *植物保护学报*, 2004, 31 (3): 225-229.
- Li J, Ding T, Chu D. Differential effects of two plant viruses on performance and biocontrol efficiency of *Encarsia formosa* fed on *Bemisia tabaci* [J]. *Biological Control*, 2020, 142: 104166.
- Li SJ, Ren SL, Xue X. Efficiency of plant induced volatiles in attracting *Encarsia formosa* and *Serangium japonicum*, two dominant natural enemies of whitefly *Bemisia tabaci* in China [J]. *Pest Management Science*, 2014, 70 (10): 1604-1610.
- Li SJ, Xue X, Ahmed MZ, et al. Host plants and natural enemies of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in China [J]. *Insect Science*, 2011, 18 (1): 101-120.
- Liu X, He Y, Xie W, et al. Infection of tomato by Tomato Yellow Leaf Curl Virus alters the foraging behavior and parasitism of the parasitoid *Encarsia formosa* on *Bemisia tabaci* [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2018, 21 (2): 548-552.
- Liu X, Xiang W, Jiao X, et al. Effects of plant virus and its insect vector on *Encarsia formosa*, a biocontrol agent of whiteflies [J]. *Scientific Reports*, 2014, 4 (1): 1-6.
- Lu S, Chen M, Li J, et al. Changes in *Bemisia tabaci* feeding behaviors caused directly and indirectly by cucurbit chlorotic yellows virus [J]. *Virology Journal*, 2019, 16 (1): 106.
- Luo HW, Huang J, Wang ZH, et al. Comparison of control effect between *Delphastus catalinae* (Horn) and *Serangium japonicum* Chapin to *Bemisia tabaci* (Gennadius) [C]. China's biological

- control in the 21st Century – Proceedings of the National Symposium on Biological Control. Shanghai. 2005, 156 – 159. 罗宏伟, 黄建, 王竹红, 等. 小黑瓢虫与刀角瓢虫对烟粉虱控制作用的比较研究 [J]. 迈入二十一世纪的中国生物防治——全国生物防治学术研讨会论文集. 上海. 2005, 156 – 159]
- Ma LJ, Zhang SZ, Liu TX. Influences of interspecific competition between ladybeetle *Serangium japonicum* and parasitoid *Encarsia formosa* on predation of tobacco whitefly *Bemisia tabaci* [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2018, 45 (6): 1289 – 1295. 马丽君, 张世泽, 刘同先. 种间竞争对烟粉虱天敌日本刀角瓢虫和丽蚜小蜂捕食功能反应的影响 [J]. 植物保护学报, 2018, 45 (6): 1289 – 1295]
- Moreno DA, Garzo E, Moreno A, *et al.* A plant virus manipulates the behavior of its whitefly vector to enhance its transmission efficiency and spread [J]. *PLoS One*, 2013, 8 (4): e61543.
- Orfanidou CG, Pappi PG, Efthimiou KE, *et al.* Transmission of Tomato chlorosis virus (ToCV) by *Bemisia tabaci* biotype Q and evaluation of four weed species as viral sources [J]. *Plant Disease*, 2016, 100 (10): 2043 – 2049.
- Polston JE, Barro PD, Boykin LM. Transmission specificities of plant viruses with the newly identified species of the *Bemisia tabaci* species complex [J]. *Pest Management Science*, 2014, 70 (10): 1547 – 1552.
- Scholthof KBG, Adkins S, Czosnek H, *et al.* Top 10 plant viruses in molecular plant pathology [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2011, 12 (9): 938 – 954.
- Shi XB, Tang X, Zhang X, *et al.* Transmission efficiency, preference and behavior of *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED under the influence of Tomato chlorosis virus [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 8: 2271.
- Wang X, Ren S, Chen X. A review of the genus *Serangium* Blackburn (Coleoptera, Coccinellidae) from China [J]. *Zookeys*, 2011, 134 (134): 33 – 63.
- Wang YM, He YZ, Liu SS, *et al.* Mechanisms of plant virus transmission by the whitefly *Bemisia tabaci* [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2020, 65 (15): 1463 – 1475. 王雨蒙, 何亚洲, 刘树生, 等. 烟粉虱传播植物病毒特性及机制研究进展 [J]. 科学通报, 2020, 65 (15): 1463 – 1475]
- Wei JR, Yang ZQ, Dai JQ, *et al.* Tritrophic system of tree-trunkborer–insect natural enemy association [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (5): 1127 – 1133. 魏建荣, 杨忠岐, 戴建青, 等. 树木–蛀干昆虫–天敌昆虫间的三级营养关系 [J]. 应用生态学报, 2007, 18 (5): 1127 – 1133]
- Yang X, Xie W, Wang SL, *et al.* Resistance status of the whitefly, *Bemisia tabaci*, in Beijing, Shandong and Hunan areas and relative levels of CYP4v2 and CYP6 CX1 mRNA expression [J]. *Plant Protection*, 2014, 40 (4): 70 – 75. 杨鑫, 谢文, 王少丽, 等. 北京、山东和湖南地区烟粉虱抗药性及 CYP4v2 和 CYP6CX1 mRNA 水平表达量分析 [J]. 植物保护, 2014, 40 (4): 70 – 75]
- Yao FL, Zheng Y, Ding XL, *et al.* Controlling effect of *Serangium japonicum* on population of *Bemisia tabaci* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33 (5): 520 – 524. 姚凤奎, 郑宇, 丁雪玲, 等. 日本刀角瓢虫对烟粉虱种群的控制作用评价 [J]. 福建农业学报, 2018, 33 (5): 520 – 524]
- Yao S, Huang Z, Ren S, *et al.* Effects of temperature on development, survival, longevity, and fecundity of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. *Biocontrol Science & Technology*, 2011, 21 (1): 23 – 34.
- Yao SL, Ren SX, Huang Z. The morphological characters and biology of *Serangium japonicum* [J]. *Journal of Environmental Insects*, 2004, 26 (1): 22 – 27. 姚松林, 任顺祥, 黄振. 日本刀角瓢虫形态特征及生物学特性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2004, 26 (1): 22 – 27]
- Yao SL, Ren XS, Huang Z. Feeding behavior of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16 (3): 509 – 513. 姚松林, 任顺祥, 黄振. 烟粉虱天敌日本刀角瓢虫的捕食行为 [J]. 应用生态学报, 2005, 16 (3): 509 – 513]
- Yi S, Jiao XG, Xie W, *et al.* Combined effects of temperature and host plants on the development and reproduction of B and Q sibling species of *Bemisia tabaci* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2014, 40 (3): 20 – 25. 易胜, 焦晓国, 谢文, 等. 温度和寄主植物对 B/Q 隐种烟粉虱生长发育和繁殖的联合影响 [J]. 植物保护, 2014, 40 (3): 20 – 25]