

# 取食扶桑绵粉蚧对六斑月瓢虫生长繁殖和捕食偏好的影响

韦琪琳<sup>1</sup>, 潘晴瑜<sup>2</sup>, 覃香苗<sup>2</sup>, 蒙心怡<sup>2</sup>,

王淑培<sup>2</sup>, 宋书巧<sup>2</sup>, 陈梅兰<sup>2\*</sup>

(1. 南宁师范大学地理科学与规划学院, 南宁 530100; 2. 南宁师范大学环境与生命科学学院, 南宁 530100)

**摘要:** 六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculata* Fabricius 是我国华南地区常见的捕食性天敌之一, 可捕食多种农林害虫。为了明确取食扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 对六斑月瓢虫的影响, 本研究以取食玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* Fitch 作为对照, 探讨六斑月瓢虫连续 2 个世代取食扶桑绵粉蚧的生长发育、繁殖力和捕食偏好情况。结果表明, 六斑月瓢虫取食扶桑绵粉蚧发育历期显著延长, F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 代发育历期分别为 15.43 d 和 14.38 d。饲喂粉蚧的六斑月瓢虫体重显著增加, F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 代的体重分别为 8.59 mg 和 8.95 mg。取食粉蚧对六斑月瓢虫的总存活率和产卵量无显著影响, F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 代总存活率分别为 58.33% 和 62.92%, 产卵量分别为 503.94 粒和 597.80 粒。六斑月瓢虫取食粉蚧的 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 代瓢虫组及食蚜组成虫对猎物的选择性指数 (D) 均大于 1, 表明六斑月瓢虫成虫对玉米蚜表现出捕食偏好。综上表明六斑月瓢虫 2 代内能够较好地适应扶桑绵粉蚧, 可将该粉蚧列入六斑月瓢虫的生物防治范围。

**关键词:** 六斑月瓢虫; 扶桑绵粉蚧; 玉米蚜; 生长繁殖; 捕食偏好

中图分类号: Q968.1;S433

文献标识码: A

## Effects of feeding on *Phenacoccus solenopsis* Tinsley on development, reproduction and predation preference of *Cheilomenes sexmaculata* Fabricius

WEI Qi-Lin<sup>1</sup>, PAN Qing-Yu<sup>2</sup>, QIN Xiang-Miao<sup>2</sup>, MENG Xin-Yi<sup>2</sup>, WANG Shu-Pei<sup>2</sup>, SONG Shu-Qiao<sup>2</sup>, CHEN Mei-Lan<sup>2\*</sup> (1. School of Geography and Planning, Nanning Normal University, Nanning 530100, China; 2. School of Environmental and Life Sciences, Nanning Normal University, Nanning 530100, China)

**Abstract:** *Cheilomenes sexmaculata* Fabricius is one of the common predatory natural enemies in southern China, feeding on a variety of agricultural and forestry pests. In order to clarify the effects of *C. sexmaculata* feeding on *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, rearing on *Rhopalosiphum maidis* Fitch as a control treatment, the development, reproduction and predation preference of *C. sexmaculata* feeding on *P. solenopsis* were studied in two consecutive generations. The results showed that *C. sexmaculata* feeding on *P. solenopsis* developed significantly slower than on

基金项目: 广西科技基地和人才专项 (桂科 AD21220140); 国家自然科学基金青年基金 (32302164)

作者简介: 韦琪琳, 女, 硕士研究生, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: 14736244727@163.com

\*通讯作者 Author for correspondence: 陈梅兰, 女, 博士, 讲师, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: chenmlan@nnnu.edu.cn

收稿日期 Received: 2024-04-22; 接受日期 Accepted: 2024-06-03

*Rhopalosiphum maidis*, with 15.43 d and 14.38 d for the F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> mealybug-feeding generations, respectively. Newly-emerged adult weight of *C. sexmaculata* feeding on *P. solenopsis* increased significantly, with 8.59 mg and 8.95 mg in the F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> mealybug-feeding generation, respectively. There were no significant differences in total survival and fecundity when fed on mealybugs, with 58.33% and 62.92% survival, and 503.94 and 597.80 eggs laid in F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> generations, respectively. The prey selectivity index D of adult *C. sexmaculata* in F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> mealybug-feeding groups and aphid-feeding group were all greater than 1, indicating that the adult *C. sexmaculata* showed a predatory preference for *R. maidis*. The results indicated that *C. sexmaculata* was well adapted to *P. solenopsis* within 2 generations and that the mealybug can be included in the biological control range of *C. sexmaculata*.

**Key words:** *Cheilomenes sexmaculata*; *Phenacoccus solenopsis*; *Rhopalosiphum maidis*; development and reproduction; predation preference

扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 属半翅目 Hemiptera 粉蚧科 Pseudococcidae 绵粉蚧属 *Phenacoccus* 昆虫, 是近年来出现的一种严重威胁大田作物、园林观赏植物、果蔬等经济作物安全生产的入侵性害虫(朱艺勇等, 2011)。该害虫于 2008 年首次在广州的扶桑上发现并迅速在全国范围内进行扩散(马骏等, 2009), 2009 年被列为检疫性害虫(毛加梅等, 2023), 在我国大陆现分布至包括广西在内的 18 个省、直辖市、自治区(张润志和王福祥, 2010; 孟醒等, 2018, 2019; Wang *et al.*, 2020)。扶桑绵粉蚧的食性广, 寄主植物多达 56 科 200 多种(汪金蓉等, 2015; Fand and Suroshe, 2015), 其雌成虫和若虫通过吸食植株的汁液, 造成受害植株长势衰弱, 从而导致枝梢萎蔫, 植株扭曲变形, 生长缓慢或停止(徐藤双等, 2024)。此外, 该害虫分泌的蜜露可诱发煤污病, 导致叶片脱落, 严重时可能造成植株成片死亡(陈红松等, 2019)。

扶桑绵粉蚧的传统防治方式主要是通过喷施农药, 但长期地喷施农药会使害虫产生抗药性, 且新时代要求农业必须走高质量发展之路(邱良妙等, 2023), 因此, 对于害虫防治应该最大限度地减少化学农药的使用量, 实现低成本、绿色可持续控制的目标(吴孔明, 2020)。生物防治是实施绿色防控的有效途径, 利用天敌昆虫是生物防治的重要手段(孔琳等, 2019)。目前记录的扶桑绵粉蚧天敌昆虫有 53 种, 主要是寄生蜂、捕食性瓢虫、捕食性蝽、草蛉和瘿蚊等(陈华燕等, 2011; 余海滨等, 2015; Tong *et al.*, 2019; Waqas *et al.*, 2021), 其中捕食性瓢虫被认为是农业生态系统中最有前景的生物防治贡献者(Yang *et al.*, 2019)。扶桑绵粉蚧主要的天敌瓢虫有六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculata* Fabricius、孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus、双带盘瓢虫 *Lemnia biplagiata* Swartz、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas 和龟纹瓢虫 *Propylea japonica* Thunberg 等(Tong *et al.*, 2019; 刘静雅等, 2021a; Waqas *et al.*, 2021)。其中, 六斑月瓢虫是我国华南地区常见的捕食性天敌(庞虹, 1990; 任顺祥等, 2009; 王祥林等, 2012), 具有捕食量大、成虫寿命长以及产卵量大等优点(唐良德等, 2017), 因而在害虫生物防治

的应用中具有巨大的开发潜能。六斑月瓢虫的取食范围较广，主要以蚜虫为食，取食玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* Fitch、豆蚜 *Aphis craccivora* Koch、桃蚜 *Myzus persicae* Sulzer 和萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* Kaltentbach 等蚜虫均可完成生长发育和繁殖 (Omkar and Bind, 2004; 唐良德等, 2017)，且对这些蚜虫表现出较强的控制作用 (陈文胜等, 2005; 唐良德等, 2015)，目前该瓢虫已知捕食对象多达 17 种 (邱良妙等, 2023; 唐良德和臧连生, 2023)。关于六斑月瓢虫捕食粉蚧的研究较少，有研究发现该瓢虫可以取食扶桑绵粉蚧幼虫和雌成虫，但这种捕食行为的研究多停留在捕食功能反应上 (王莹莹, 2012; Ali *et al.*, 2014; Aggarwal and Neetan, 2014; Geethu *et al.*, 2022)，对于六斑月瓢虫取食扶桑绵粉蚧的生活史特征研究尚未见报道。因此，研究捕食扶桑绵粉蚧对六斑月瓢虫的影响，可为扶桑绵粉蚧的生物防治提供理论基础。

本研究以取食玉米蚜作为对照，探讨取食扶桑绵粉蚧对本地天敌六斑月瓢虫生长发育、繁殖力和捕食偏好的影响。为了进一步验证六斑月瓢虫对扶桑绵粉蚧的适应能力，本试验统计了六斑月瓢虫以扶桑绵粉蚧连续饲养 2 代的生活史参数及捕食偏好，以明确取食扶桑绵粉蚧对六斑月瓢虫的影响，有利于六斑月瓢虫在害虫生物防治中的应用。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

#### 1.1.1 供试虫源

六斑月瓢虫和玉米蚜采自南宁师范大学武鸣校区校外的玉米田 (108.27°E, 23.18°N)，瓢虫种群采集数量大于 100 头，在实验室条件下用玉米蚜饲养建立种群，玉米蚜用玉米苗饲养。扶桑绵粉蚧采自校外绿化带的观赏植物扶桑，采回后在实验室条件下以番茄苗长期饲养。大量收集以玉米蚜为食的六斑月瓢虫同一时期所产的卵，选择发育良好的初孵幼虫作为供试昆虫。所有试验均在人工气候箱中进行，饲养条件均为温度 25°C±1°C，相对湿度 75%±5%，光周期 12 L : 12 D。

#### 1.1.2 主要设备和耗材

LRH-800C-GSIE 智能人工气候箱 (广东泰宏君科学仪器股份有限公司)、电子分析天平 (上海力辰仪器科技有限公司)、直径为 3.5 cm 和 9 cm 的塑料培养皿、规格为 20 cm×20 cm×20 cm 的养虫笼、马克笔、牙签和小毛笔等工具。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 取食扶桑绵粉蚧对六斑月瓢虫生长发育的影响

选取孵化 12 h 内的六斑月瓢虫 1 龄幼虫单头放入直径为 3.5 cm 的培养皿中，分别提供包含各虫态的玉米蚜和扶桑绵粉蚧对六斑月瓢虫幼虫进行饲养，每天补充充足的新鲜猎物并定时观察和记录六斑月瓢虫幼虫的蜕皮和死亡情况。瓢虫化蛹后及时清除培养皿中剩余的食

物，羽化后即称量初羽化成虫 (< 24 h) 体重。第一代取食粉蚧的瓢虫交配产卵后，其后代继续以粉蚧饲养，处理方法和亲本一致。取食蚜虫的瓢虫组 (以下简称 CK) 和取食粉蚧的第一代瓢虫组 (以下简称 F<sub>1</sub>) 分别设置 60 个重复，取食粉蚧的第二代瓢虫组 (以下简称 F<sub>2</sub>) 设置 89 个重复。

### 1.2.2 取食扶桑绵粉蚧对六斑月瓢虫繁殖力的影响

通过六斑月瓢虫额部黄色前缘的形态特征区分新羽化成虫的雌雄，以 1:1 的雌雄比进行配对，于直径为 9 cm 的培养皿中饲养，每天提供新鲜充足的猎物并且检查瓢虫产卵情况。统计六斑月瓢虫 30 d 产卵期内的产卵量，每天早晚两次观察产卵情况，记录产卵量，并且将当日所产卵粒转移到新的培养皿中，统计卵的孵化率。CK 和 F<sub>2</sub> 分别设置 10 个重复，F<sub>1</sub> 设置 7 个重复。

### 1.2.3 六斑月瓢虫成虫的捕食偏好性试验

分别选取 CK、F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 羽化 30 d 左右的六斑月瓢虫成虫进行测试，该试验在直径为 9 cm 的培养皿中进行。由于玉米蚜成虫和扶桑绵粉蚧 2~3 龄若虫个体大小相近，为减少猎物个体大小对六斑月瓢虫取食的影响，每皿分别接入玉米蚜成虫和扶桑绵粉蚧 2~3 龄若虫，再接入 1 头饥饿 24 h 的瓢虫成虫进行取食。24 h 后检查并统计被捕食的猎物数量，每处理重复 5 次。猎物不同数量比例组合设 3 个处理，蚜虫:粉蚧为 30:50 头/皿、40:40 头/皿和 50:30 头/皿。瓢虫对猎物的选择性指数 (Cain 指数,  $D$ ) 根据公式计算:  $D = N_{p1}N_2/N_{p2}N_1$  (梅芝健等, 2019), 其中  $N_1$  和  $N_2$  分别代表蚜虫和粉蚧的初始密度,  $N_{p1}$  和  $N_{p2}$  分别代表蚜虫和粉蚧的被捕食数量。当选择性指数  $D < 1$  时, 表示六斑月瓢虫对猎物选择无偏好性; 当选择性指数  $D > 1$  时, 则六斑月瓢虫对玉米蚜选择具有偏好性。

## 1.3 数据统计分析

应用 Microsoft Office Excel 2016 软件整理试验数据, 并采用 IBM SPSS statistics 22 对所得数据进行分析, 运用 One-Way ANOVA 对发育历期、初羽化成虫体重、存活率、产卵量和孵化率进行差异性显著分析, 采用 Duncan 法进行多重比较,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 取食扶桑绵粉蚧对六斑月瓢虫生长发育的影响

与取食蚜虫相比, 取食扶桑绵粉蚧显著影响六斑月瓢虫的发育历期和成虫体重。从瓢虫的发育历期来看, 在 1 龄、2 龄和 3 龄幼虫的发育阶段, F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 的发育时间均显著长于 CK ( $P < 0.05$ )。F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 的未成熟期分别为 15.43 d 和 14.38 d, 均显著高于取食玉米蚜的 CK 组 ( $P < 0.05$ ), F<sub>2</sub> 代的未成熟期相较于 F<sub>1</sub> 代显著缩短 ( $P < 0.05$ ) (表 1)。就初羽化成虫体重而言, 取食粉蚧的 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 代体重显著高于取食蚜虫的 CK 组 ( $P < 0.05$ ), F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 的初羽化成虫体重分别为 8.59 和 8.95 mg, 与 F<sub>1</sub> 代相比, F<sub>2</sub> 代体重有所增加, 但不显著 (图 1)。

表 1 六斑月瓢虫取食玉米蚜与扶桑绵粉蚧的各虫态发育历期 (d)

Table 1 Developmental time of *Cheilomenes sexmaculata* feeding on *Rhopalosiphum maidis* and *Phenacoccus solenopsis*

发育历期 Developmental period	CK	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
1 龄 1 <sup>st</sup>	1.60 ± 0.08 b	2.80 ± 0.21 a	2.70 ± 0.11 a
2 龄 2 <sup>nd</sup>	1.25 ± 0.07 b	2.18 ± 0.15 a	1.98 ± 0.08 a
3 龄 3 <sup>rd</sup>	1.62 ± 0.08 c	2.39 ± 0.13 a	2.00 ± 0.08 b
4 龄 4 <sup>th</sup>	3.92 ± 0.18 a	3.58 ± 0.22 a	3.70 ± 0.14 a
预蛹 Prepupa	1.03 ± 0.03 b	1.42 ± 0.12 a	1.07 ± 0.03 b
蛹期 Pupa	3.11 ± 0.08 a	3.03 ± 0.14 a	3.04 ± 0.08 a
未成熟期 Immature period	12.31 ± 0.18 c	15.43 ± 0.37 a	14.38 ± 0.24 b

注: 数据为平均值±标准误, 每行不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著, 下同。Note: Data were presented as mean±SD, data with different lowercase letters in each row indicated significant difference at 0.05 level. The same below.

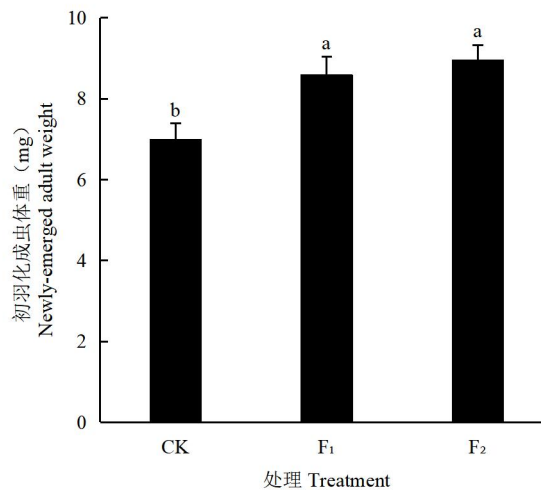


图 1 六斑月瓢虫取食玉米蚜与扶桑绵粉蚧的初羽化成虫体重

Fig. 1 Newly-emerged adult weight of *Cheilomenes sexmaculata* feeding on *Rhopalosiphum maidis* and *Phenacoccus solenopsis*

注: 图上不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。Note: Data with the different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level.

从存活率来看, 饲喂粉蚧对六斑月瓢虫 1 龄幼虫、预蛹的存活率有显著的影响, 其中 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 代 1 龄幼虫的存活率显著降低, 但预蛹期的存活率显著增加 ( $P < 0.05$ )。六斑月瓢虫取食粉蚧在 2~4 龄幼虫期的存活率以及总存活率与取食蚜虫相比无显著差异。CK、F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 的总存活率分别为 60.00%, 58.33% 和 62.92% (表 2)。

表 2 六斑月瓢虫取食玉米蚜与扶桑绵粉蚧的各虫态存活率 (%)

Table 2 Survival rates of *Cheilomenes sexmaculata* feeding on *Rhopalosiphum maidis* and *Phenacoccus solenopsis*

存活率 Survival rate	CK	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
1 龄 1 <sup>st</sup>	96.67 ± 2.34 a	70.00 ± 5.97 b	71.91 ± 4.79 b
2 龄 2 <sup>nd</sup>	96.55 ± 2.42 a	92.86 ± 4.02 a	93.75 ± 3.05 a

3 龄 3 <sup>rd</sup>	92.86 ± 3.47 a	97.44 ± 2.56 a	98.33 ± 1.67 a
4 龄 4 <sup>th</sup>	92.31 ± 3.73 a	94.74 ± 3.67 a	96.61 ± 2.38 a
预蛹 Prepupa	83.33 ± 5.44 b	100.00 ± 0.00 a	98.25 ± 1.75 a
蛹期 Pupa	90.00 ± 4.80 b	97.22 ± 2.78 ab	100.00 ± 0.00 a
总存活率 Total survival rate	60.00 ± 6.38 a	58.33 ± 6.42 a	62.92 ± 5.15 a

## 2.2 取食扶桑绵粉蚧对六斑月瓢虫繁殖力的影响

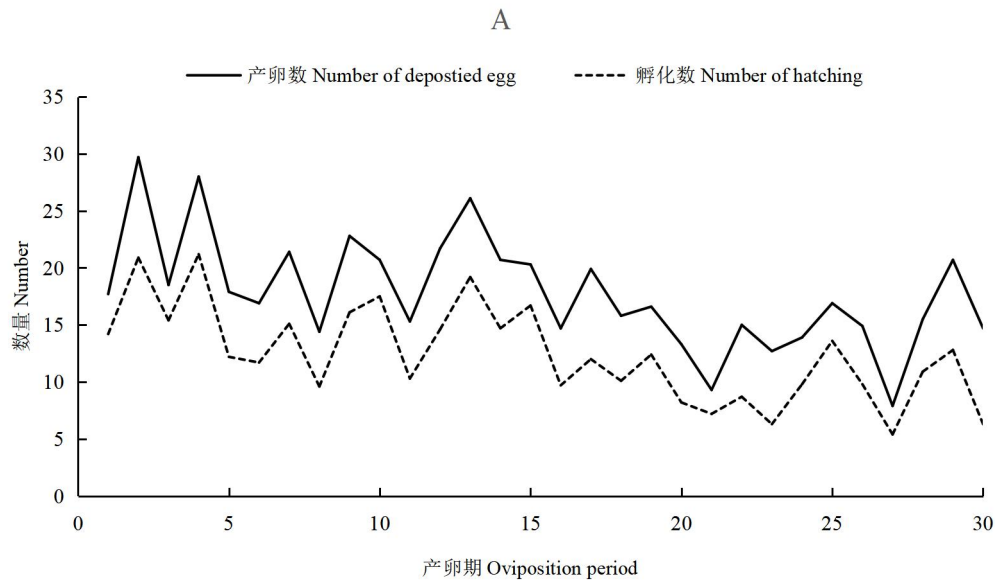
取食扶桑绵粉蚧对六斑月瓢虫的产卵量和孵化率没有显著影响。饲喂粉蚧的 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 代平均每雌产卵量分别为 503.94 粒和 597.80 粒，孵化率分别为 74.31% 和 58.49%（表 3）。

表 3 六斑月瓢虫取食玉米蚜和扶桑绵粉蚧 30 d 产卵期内的繁殖情况

Table 3 Fecundity characteristics of *Cheilomenes sexmaculata* feeding on *Rhopalosiphum maidis* and *Phenacoccus solenopsis* over a reproductive period of 30 d

繁殖特征 Fecundity characteristics	CK	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
产卵量 No. of deposited egg	533.90 ± 72.68 a	503.94 ± 61.30 a	597.80 ± 72.78 a
孵化率 (%) Hatching rate	66.77 ± 5.95 a	74.31 ± 4.04 a	58.49 ± 5.72 a

六斑月瓢虫 30 d 产卵期内平均日产卵数和孵化数如图 2 所示, 3 种处理中幼虫的孵化数和其亲本的产卵数基本呈现一致的趋势。六斑月瓢虫取食蚜虫的 CK 组的产卵数和孵化数总体趋势相比而言比较平缓（图 2-A），而六斑月瓢虫取食粉蚧时 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 代的产卵量波动较大，且产卵量随着产卵时间推移总体上有下降的趋势（图 2-B、C）。



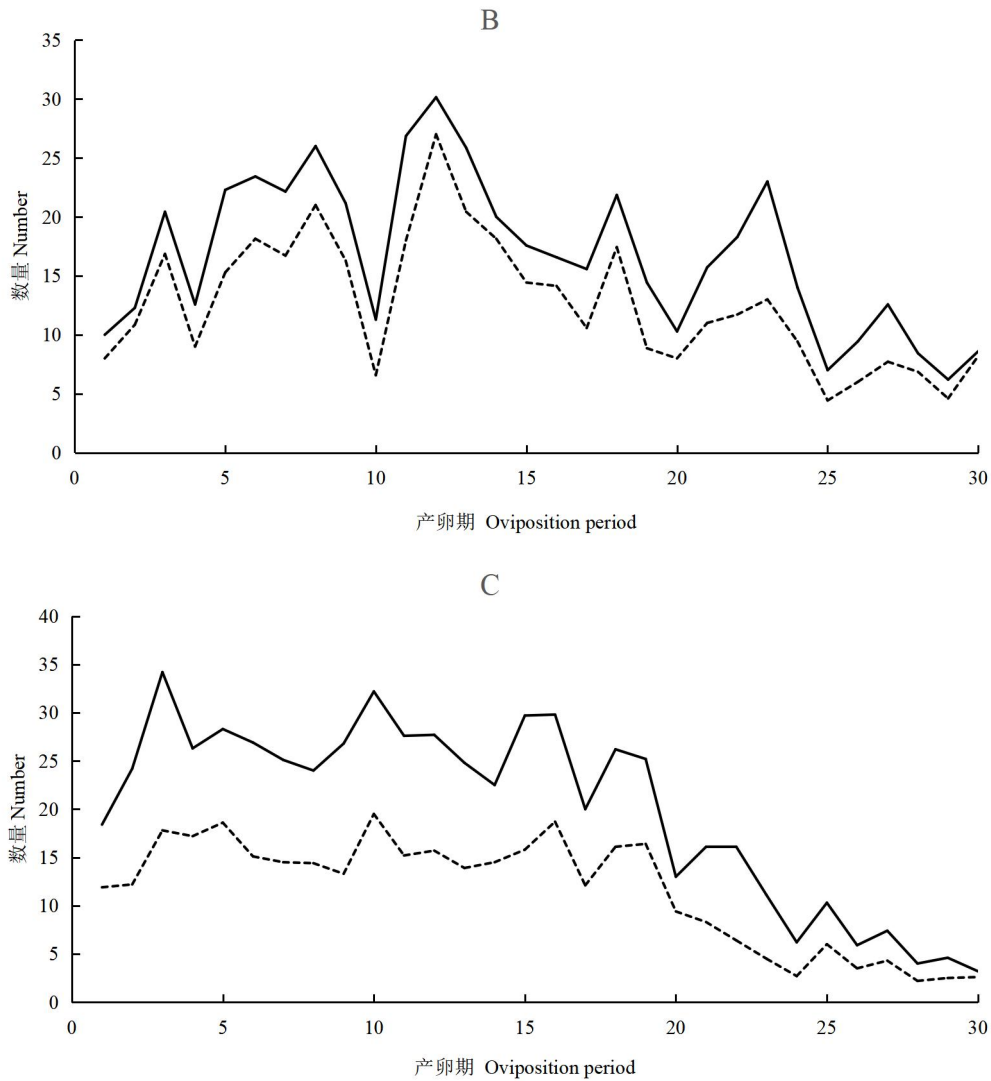


图2 六斑月瓢虫取食玉米蚜和扶桑绵粉蚧 30 d 产卵期内的平均日产卵数和孵化数

Fig. 2 No. of daily deposited eggs and hatching of *Cheilomenes sexmaculata* feeding on *Rhopalosiphum maidis* and *Phenacoccus solenopsis* over a reproductive period of 30 d

注：图 A、B 和 C 分别表示六斑月瓢虫取食玉米蚜、取食扶桑绵粉蚧 F<sub>1</sub> 代和 F<sub>2</sub> 代的平均日产卵量和孵化数。  
 Note: Fig. A, B and C represented No. of daily deposited eggs and hatching of *Cheilomenes sexmaculata* feeding on *Rhopalosiphum maidis*, first generation and second generation feeding on *Phenacoccus solenopsis*, respectively.

### 2.3 六斑月瓢虫成虫的捕食偏好性试验

当玉米蚜成虫和扶桑绵粉蚧 2~3 龄若虫比例分别为 30 : 50, 40 : 40 和 50 : 30 时, CK 组成虫的食物选择性指数 (D) 分别为 1.50、1.83 和 1.71, F<sub>1</sub> 代的分别为 1.49、1.68 和 1.64, F<sub>2</sub> 代的分别为 1.42、1.54 和 1.16 (表 4)。3 种处理的六斑月瓢虫成虫对猎物的 D 值均大于 1, 表明六斑月瓢虫成虫对玉米蚜表现出较强的捕食偏好性。

表 4 六斑月瓢虫成虫对玉米蚜和扶桑绵粉蚧的捕食偏好性

Table 4 Predation preferences of adult *Cheilomenes sexmaculata* on *Rhopalosiphum maidis* and *Phenacoccus solenopsis*

处理 Treatment	玉米蚜：扶桑绵粉蚧 <i>Rhopalosiphum maidis</i> : <i>Phenacoccus solenopsis</i>	猎物被捕食量 (individual)		猎物选择性指数 D Prey selectivity index D
		Predation number		
		玉米蚜 <i>Rhopalosiphu m maidis</i>	扶桑绵粉蚧 <i>Phenacoccus solenopsis</i>	
CK	30 : 50	24.20 ± 1.91	26.80 ± 2.31	1.50
	40 : 40	28.20 ± 1.36	15.40 ± 1.66	1.83
	50 : 30	39.80 ± 2.67	14.00 ± 2.43	1.71
F <sub>1</sub>	30 : 50	23.60 ± 1.91	26.40 ± 2.93	1.49
	40 : 40	29.20 ± 0.58	17.40 ± 2.04	1.68
	50 : 30	36.60 ± 2.80	13.40 ± 2.25	1.64
F <sub>2</sub>	30 : 50	18.20 ± 1.02	21.40 ± 0.87	1.42
	40 : 40	30.40 ± 2.62	19.80 ± 2.48	1.54
	50 : 30	31.80 ± 2.62	16.40 ± 2.23	1.16

### 3 结论与讨论

六斑月瓢虫是农林生态系统中重要的优势捕食性天敌昆虫,可以有效捕食多种农田害虫。(Rakhshani and Saedifar, 2012; 张国辉等, 2020)。本研究发现在室内条件下六斑月瓢虫取食扶桑绵粉蚧能够完成生长发育和繁殖,表现出较好的生物学指标,并且取食粉蚧 2 代内指标未出现下降的情况,可为扶桑绵粉蚧的田间生物防治提供参考。

一般而言,瓢虫取食偏好猎物时会表现出更好的生活史参数(Michaud and Olsen, 2004)。Chen 等(2020)对七星瓢虫、异色瓢虫和龟纹瓢虫取食偏好猎物豌豆修尾蚜 *Megoura crassicauda* Matsumura 和替代猎物柑橘粉蚧 *Planococcus citri* Risso 的生活史参数进行了比较,发现取食替代猎物的瓢虫个体生物学指标要差得多,具体表现在发育时间延长、存活率和初羽化成虫体重降低。二星瓢虫 *Adalia bipunctata* Linnaeus 分别取食偏好猎物豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* Harris 和次优猎物豆蚜后,取食次优猎物的个体体重显著降低(Ferrer et al., 2008)。但也有研究发现异色瓢虫取食替代猎物后表现更优的生物学指标(刘静雅等, 2021b),体现在发育时间缩短,死亡率降低以及产卵量增加。本试验发现六斑月瓢虫取食扶桑绵粉蚧与取食玉米蚜相比,仅发育时间延长 2~3 d,总存活率和产卵量无显著差异,成虫体重显著增加。有研究报道,瓢虫取食新食物后在 1 龄幼虫期死亡率最高,幼虫发育历期延长(Maes et al., 2014; Chen et al., 2018),和本研究的发现相似,可能是低龄幼虫对猎物的选择更加挑剔(刘静雅等, 2021b),低龄幼虫处于适应过程中,从而导致发育缓慢和存活率降低。但不同的是 Maes 等(2014)和 Chen 等(2018)的研究中发现瓢虫取食新食物后总存活率下降、体重显著降低,而我们发现瓢虫总存活率无显著差异、体重显著增加,说明经过低龄幼虫的适应期,扶桑绵粉蚧能够满足六斑月瓢虫生长发育的营养需求。产卵量



的数据也验证了这一点,虽然取食粉蚧的瓢虫日产卵量波动较大,但是这种波动是否是由于蚜虫和粉蚧的组分不同而引起的,还有待进一步研究。此外,本研究发现六斑月瓢虫取食粉蚧的 F<sub>2</sub> 和 F<sub>1</sub> 代相比,发育历期显著缩短,有研究报道孟氏隐唇瓢虫取食新猎物后短期内表现出快速的适应 (Chen *et al.*, 2018),因此,推测随着六斑月瓢虫取食扶桑绵粉蚧代数的增加,六斑月瓢虫可能会表现出更好的发育指标。

植食性昆虫的取食行为表明,寄主植物的理化性质,营养物质的组成等因素都会影响植食性昆虫的取食选择性 (欧阳玉婷等, 2023),但对于瓢虫来说猎物的选择和营养组分往往不相关 (Hodek and Evans, 2012)。本研究发现,六斑月瓢虫偏好取食玉米蚜,捕食偏好并未因为利用扶桑绵粉蚧连续饲养 2 代而发生改变,可能是由于蚜虫和粉蚧的形态结构不同影响了取食,粉蚧表面有一层蜡质,从而使得粉蚧不太容易被捕食。已有研究发现当蚜虫和粉蚧共存时,蚜虫更受瓢虫的青睐 (Shera *et al.*, 2010; 周丽君等, 2023)。本研究中,尽管六斑月瓢虫成虫对玉米蚜表现出偏好性,但对扶桑绵粉蚧的捕食量占初始密度的 38%~54%,因此,当在野外蚜虫缺乏、扶桑绵粉蚧暴发时,可以考虑利用六斑月瓢虫对扶桑绵粉蚧进行防治。

综上,根据发育历期、存活率、成虫体重和产卵量这几个指标来看,扶桑绵粉蚧对于六斑月瓢虫来说可能具有和玉米蚜等同的营养价值,当两种猎物营养价值相当时,取食替代猎物最需要克服的可能是低龄幼虫期的生长发育障碍。因此,可将扶桑绵粉蚧纳入六斑月瓢虫的猎物范围,在蚜虫缺乏的情况下可用于扩繁六斑月瓢虫,同时也可以害虫生物防治中利用六斑月瓢虫防治扶桑绵粉蚧。本研究结果可为扶桑绵粉蚧的田间防治提供理论参考,但是扶桑绵粉蚧生物防治的成功与否取决于周边的环境,蚜虫等其他害虫的数量必须尽可能少或者没有,具体的田间试验效果有待进一步验证。除此之外,本试验仅对六斑月瓢虫取食扶桑绵粉蚧的 2 个世代进行了研究,它们对粉蚧的长期适应性变化还需进一步探讨。

## 参考文献(References)

- Aggarwal N, Nectan. Predatory efficiency of *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius) and *Chrysoperla zastrowi sillemi* (Esben-Petersen) on cotton mealy bug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley under laboratory conditions [J]. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 2014, 49 (1): 73-81.
- Ali M, Perveen R, Yousuf MJ, *et al.* Predatory potential of five coccinellid predators against cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) in laboratory and field conditions from Sindh, Pakistan [J]. *Pakistan Entomology*, 2014, 36: 7-12.
- Chen HS, Huang LF, Jiang JJ, *et al.* Host selection behavior of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley and its correlation with the contents of biochemical substances in host leaves [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50 (4): 768-774. [陈红松, 黄立飞, 姜建军, 等. 扶桑绵粉蚧寄主选择行为及其与寄主叶片生化物质含量的相关性 [J]. 南方农业学报, 2019, 50 (4): 768-774]
- Chen HY, He LF, Zheng CH, *et al.* Survey on the natural enemies of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) from Guangdong and Hainan, China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (2): 269-272. [陈华燕, 何娜芬, 郑春红, 等. 广东和海南扶桑绵粉蚧的天敌调查 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (2): 269-272]
- Chen ML, Huang YH, Qiu BY, *et al.* Changes in life history traits and transcriptional regulation involved in adaptation of generalist ladybirds to alternative prey [J]. *BMC Genomics*, 2020, 21: 44.
- Chen ML, Wang T, Huang YH, *et al.* Physiological and evolutionary changes in a biological control agent during prey shifts over several generations [J]. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9: 971.
- Chen WS, Cui ZX, Yang CJ. Study on the functional responses of *Menochilus sexmaculatus* Fab. to *Lipaphis erysimi* (Davis) [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2005, 24 (4): 348-350. [陈文胜, 崔志新, 杨长举. 六斑月瓢虫捕食萝卜蚜的功能反应 [J].

华中农业大学学报, 2005, 24 (4): 348-350]

- Fand BB, Suroshe SS. The invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, a threat to tropical and subtropical agricultural and horticultural production systems—a review [J]. *Crop Protection*, 2015, 69: 34-43.
- Ferrer A, Dixon AFG, Hemptinne JL. Prey preference of ladybird larvae and its impact on larval mortality, some life-history traits of adults and female fitness [J]. *Bulletin of Insectology*, 2008, 61: 5-10.
- Geethu S, Sachin SS, Subhash C, et al. Interactions of six spotted ladybird beetle, *Cheilomenes sexmaculata* (F.) with its host *Phenacoccus solenopsis* Tinsley and intraguild members [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2022, 42: 885-893.
- Hodek I, Evans EW. Food Relationships, Ecology and Behaviour of the Ladybird Beetles (Coccinellidae) [M]. UK: Blackwell Publishing Ltd, 2012: 141-274.
- Kong L, Li YY, Wang MQ, et al. Predation of *Hippodamia variegata* and *Harmonia axyridis* to young larvae of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (5): 709-714. [孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 等. 多异瓢虫和异色瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (5): 709-714]
- Liu JY, Li ZM, Li BP, et al. Foraging and predation behaviors of the harlequin ladybird, *Harmonia axyridis* (Coleoptera:Coccinellidae), on the alien cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera:Pseudococcidae) coexisting with a native aphid [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2021a, 64 (2): 223-229. [刘静雅, 李卓苗, 李保平, 等. 异色瓢虫对与本土蚜虫共存的外来扶桑绵粉蚧的搜寻和捕食行为 [J]. 昆虫学报, 2021a, 64 (2): 223-229]
- Liu JY, Li ZM, Meng L, et al. Effects of consuming the alien invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* on life history traits in *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021b, 37 (1): 86-90. [刘静雅, 李卓苗, 孟玲, 等. 捕食外来入侵扶桑绵粉蚧对异色瓢虫生活史特征的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2021b, 37 (1): 86-90]
- Ma J, Hu XN, Liu HJ, et al. *Phenacoccus solenopsis* Tinsley found on *Hibiscus rosa-sinensis* in Guangzhou [J]. *Plant Quarantine*, 2009, 23 (2): 35-36, 65. [马骏, 胡学难, 刘海军, 等. 广州扶桑上发现扶桑绵粉蚧 [J]. 植物检疫, 2009, 23 (2): 35-36, 65]
- Maes S, Gregoire JC, Clercq PD. Prey range of the predatory ladybird *Cryptolaemus montrouzieri* [J]. *BioControl*, 2014, 59: 729-738.
- Mao JM, Wang ZR, Fu XM, et al. The occurrence regularity and control of invasive pest *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in lemon orchards [J]. *Plant Quarantine*, 2023, 37 (5): 65-69. [毛加梅, 王自然, 付小猛, 等. 入侵害虫扶桑绵粉蚧在柠檬园的发生规律及防治 [J]. 植物检疫, 2023, 37 (5): 65-69]
- Mei ZJ, Lu YJ, Li JY, et al. Predation functional response and preference of several the third instar storage pests by *Xylocoris flavipes* [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2019, 34 (8): 104-109. [梅芝健, 鲁玉杰, 李霁瀛, 等. 黄色花蝽对几种3龄储藏物害虫捕食功能反应及捕食偏好性研究 [J]. 中国粮油学报, 2019, 34 (8): 104-109]
- Meng X, Gui FR, Chen B. The occurrence and control of the invasive scale insect, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in Yunnan Province [J]. *Journal of Biosafety*, 2018, 27 (4): 236-239. [孟醒, 桂富荣, 陈斌. 云南扶桑绵粉蚧的发生及防治 [J]. 生物安全学报, 2018, 27 (4): 236-239]
- Meng X, Li JF, Huang LF, et al. Occurrence and damage of cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) in Guangxi [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50 (5): 1021-1027. [孟醒, 李金峰, 黄立飞, 等. 扶桑绵粉蚧在广西的发生为害情况调查 [J]. 南方农业学报, 2019, 50 (5): 1021-1027]
- Michaud JP, Olsen LE. Suitability of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, as prey for ladybeetles [J]. *BioControl*, 2004, 49 (4): 417-431.
- Omkar, Bind RB. Prey quality dependent growth, development and reproduction of a biocontrol agent, *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius) (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2004, 14 (7): 665-673.
- Ouyang YT, Tian S, Hu L, et al. Effects of physical and chemical properties of tea leaves on feeding selectivity of *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe [J]. *Plant Protection*, 2023, 49 (6): 40-46, 62. [欧阳玉婷, 田森, 胡蕾, 等. 茶树叶片理化性质对茶蚜取食选择性的影响 [J]. 植物保护, 2023, 49 (6): 40-46, 62]
- Pang H. Chromatic variation in *Cheilomenes sexmaculata* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 1990, 12 (2): 82-84. [庞虹. 六斑月瓢虫的色斑变异 [J]. 昆虫天敌, 1990, 12 (2): 82-84]
- Qiu LM, Liu QQ, Chen XQ, et al. Predation of the young larvae of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* by *Menochilus sexmaculata* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (2): 471-477. [邱良妙, 刘其全, 陈秀琴, 等. 六斑月瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食作用 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (2): 471-477]
- Rakhshani E, Saeedifar A. Seasonal fluctuations, spatial distribution and natural enemies of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) in Iran [J]. *Entomological Science*, 2012, 16 (1): 17-25.
- Ren SX, Wang XM, Pang H, et al. Colored Pictorial Handbook of Ladybird Beetles in China [M]. Beijing: Science Press, 2009: 212-213. [任顺祥, 王兴民, 庞虹, 等. 中国瓢虫原色图鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 212-213]
- Shera PS, Dhawan AK, Aneja A. Potential impact of ladybird beetle, *Coccinella septempunctata* L. on cotton mealy bug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley and aphid, *Aphis gossypii* Glover [J]. *Journal of Entomological Research*, 2010, 32 (2): 139-142.

- Tang LD, Li F, Wu JH, *et al.* Predation function response of *Menochilus sexmaculata* adults to *Bemisia tabaci*, *Aphis craccivora* and *Rhopalosiphum maidis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (2): 202-207. [唐良德, 李飞, 吴建辉, 等. 六斑月瓢虫捕食不同猎物的功能反应研究 [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31 (2): 202-207]
- Tang LD, Li F, Zhao HY, *et al.* Influence of three prey species on the development and fecundity of *Menochilus sexmaculata* Fabricius [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37 (17): 5765-5770. [唐良德, 李飞, 赵海燕, 等. 六斑月瓢虫取食不同猎物的生长发育及繁殖特性 [J]. 生态学报, 2017, 37 (17): 5765-5770]
- Tang LD, Zang LS. Research progress on biology, ecology and biological control of *Cheilomenes sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39 (3): 697-709. [唐良德, 臧连生. 六斑月瓢虫生物生态学及其生物防治研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2023, 39 (3): 697-709]
- Tong HJ, Ao Y, Li ZH, *et al.* Invasion biology of the cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley: Current knowledge and future directions [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18 (4): 758-770.
- Wang JR, Li DQ, Xiong SH, *et al.* The host of *Phenacoccus solenopsis* in China mainland and a new record of Rubiaceae host [J]. *Plant Quarantine*, 2015, 29 (6): 27-31. [汪金蓉, 李德强, 熊世海, 等. 扶桑绵粉蚧中国大陆寄主植物及一种茜草科寄主新纪录 [J]. 植物检疫, 2015, 29 (6): 27-31]
- Wang XL, Chen WJ, Su DM. Influence of temperature on the growth, development and reproduction of *Menochilus sexmaculata* [J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2012, 32 (4): 76-80. [王祥林, 陈文静, 苏达明. 温度对六斑月瓢虫生长发育及繁殖的影响 [J]. 西南林业大学学报, 2012, 32 (4): 76-80]
- Wang YS, Dai TM, Tian H, *et al.* Range expansion of the invasive cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley: An increasing threat to agricultural and horticultural crops in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, 19 (3): 881-885.
- Wang YY. Studies on Biological and Ecological Characteristics of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2012. [王莹莹. 扶桑绵粉蚧生物学和生态学特性研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学硕士论文, 2012]
- Waqas MS, Shi ZH, Yi TC, *et al.* Biology, ecology, and management of cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Pest Management Science*, 2021, 77: 5321-5333.
- Wu KM. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (2): 1-5. [吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略 [J]. 植物保护, 2020, 46 (2): 1-5]
- Xu TS, Zhou JL, Luo KB, *et al.* Identification and prevention of *Phenacoccus solenopsis* [J]. *Vegetables*, 2024, 2: 53-55, 85. [徐藤双, 周洁玲, 罗克波, 等. 扶桑绵粉蚧的识别及防治 [J]. 蔬菜, 2024, 2: 53-55, 85]
- Yang L, Xu L, Liu B, *et al.* Non-crop habitats promote the abundance of predatory ladybeetles in maize fields in the agricultural landscape of northern China [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2019, 277: 44-52.
- Yu HB, Liang WS, Fang TS, *et al.* Investigation of damage and its natural enemies of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley on garden plants in Guangdong Province [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (5): 1109-1112. [余海滨, 梁伟莎, 方天松, 等. 广东省扶桑绵粉蚧对园林植物为害及其天敌的调查 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (5): 1109-1112]
- Zhang GH, Gu HX, Zhang WH, *et al.* Investigation on insect pests and their natural enemies resources of *Actinidia Chinensis* in Qiandongnan State [J]. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2020, 10 (3): 14-17. [张国辉, 顾焕先, 张文华, 等. 黔东南州红心猕猴桃的害虫及其天敌资源调查 [J]. 农业灾害研究, 2020, 10 (3): 14-17]
- Zhang RZ, Wang FX. *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Cotton Mealybugs) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010. [张润志, 王福祥. 扶桑绵粉蚧 (棉花粉蚧) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010]
- Zhou LJ, Yang DH, Hu QL, *et al.* Prey selectivity and predatory functional response of *Harmonia axyridis* to *Spodoptera frugiperda* and *Rhopalosiphum padi* [J]. *Plant Protection*, 2022, 48 (2): 111-117. [周丽君, 杨灯海, 胡其磊, 等. 异色瓢虫对草地贪夜蛾和禾谷缢管蚜的捕食功能反应及捕食选择性研究 [J]. 植物保护, 2022, 48 (2): 111-117]
- Zhu YY, Huang F, Lu YB. Bionomics of mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54 (2): 246-252. [朱艺勇, 黄芳, 吕要斌. 扶桑绵粉蚧生物学特性研究 [J]. 昆虫学报, 2011, 54 (2): 246-252]