

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.04.2

# 棉花粉蚧雄成虫对雌虫的性选择及日交配节律

徐良梓<sup>1</sup>, 王磊<sup>1</sup>, 梁广文<sup>1</sup>, 陈立<sup>2\*</sup>, 陆永跃<sup>1\*</sup>

(1. 华南农业大学昆虫学系, 广州 510642; 2. 中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 研究棉花粉蚧雄成虫对不同虫态、不同日龄雌虫的性选择以及雌雄成虫日交配节律, 为该虫性信息素的研究提供科学依据。采用四臂嗅觉仪测定了雄虫对不同虫态以及不同日龄雌虫(3龄若虫、1日龄至8日龄处女雌成虫、已交配雌成虫)的选择性, 观察了雄虫与雌成虫日交配节律。结果表明, 雄成虫对4日龄处女雌成虫的选择率显著高于其他虫态和日龄, 一天内扶桑绵粉蚧交配高峰期出现在7:00–9:00。因此, 推测4日龄处女雌成虫和上午7:00–9:00可能是释放性外激素的旺盛虫期和时间。

**关键词:** 棉花粉蚧; 交配行为; 性选择; 节律

中国分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858(2016)04-0680-05

## Sexual selection in male mealybug *Phenacoccus solenopsis* and daily mating activity

XU Liang-Zi<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>1</sup>, LIANG Guang-Wen<sup>1</sup>, CHEN Li<sup>2\*</sup>, LU Yong-Yue<sup>1\*</sup> (1. Department of Entomology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** In order to provide scientific basis for the identification of sex pheromone of cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis*, the sexual selection of male adults to different stages of female mealybugs and their copulation rhythm were tested in this paper. The selection of male adults to 3<sup>rd</sup>-instar nymphs, 1 to 8-day-old virgin female adults and mated female adults were measured by four-arm olfactometer, and daily rhythm of mating activity for the female and male adults was monitored. The results indicated that males were attracted by 4-day-old virgin female adults significantly. The mating of *P. solenopsis* appeared a peak at 7:00–9:00 am. It was suggested that 4-day-old virgin female adults may release significant amount of sex pheromone at 7:00–9:00 am.

**Key words:** *Phenacoccus solenopsis*; copulation; sexual selection; rhythm

棉花粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley 原产于北美, 寄主范围广泛, 包括 50 多科 200 余种; 随着入侵发生范围扩大, 其寄主范围呈逐步增大的趋势 (Tinsley, 1898; Arif *et al.*, 2009; 张润志等, 2010)。1991 年美国发现该虫为害棉花 (Fuchs *et al.*, 1991), 随后墨西哥、智利、阿根廷、巴西等南美国家也相继报道 (Williams and

Willink, 1992)。2005 年及以后因传入印度和巴基斯坦并对棉花种植业造成了严重危害后才逐渐引起国际上重视 (Abbas *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2010)。2008 年 8 月在我国广州扶桑上发现了棉花粉蚧 (武三安和张润志, 2009)。由于该虫在我国潜在分布地区广泛 (王艳平等, 2009; Wang *et al.*, 2010), 对农业生产具很高的风险性 (陆

基金项目: 国家自然科学基金 (31171855); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201203036)

作者简介: 徐良梓, 女, 1990 年生, 辽宁人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态学, E-mail: 357680840@qq.com

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: chenli@ioz.ac.cn, luyongyue@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-06-02; 接受日期 Accepted: 2016-07-14

永跃等, 2008; 王艳平等, 2009), 2009 年 2 月 3 日被我国列为进境植物检疫性有害生物。

据报道棉花粉蚧可营两性生殖和孤雌生殖 (Vennila *et al.*, 2010; Sahito *et al.*, 2010), 但是一些研究认为该虫只营两性生殖 (Aheer *et al.*, 2009; Prasad *et al.*, 2012)。在对我国广东、广西、海南、福建、上海、浙江、安徽、湖北等地 11 个入侵种群生殖方式调查中仅发现了该虫的两性生殖行为 (王超等, 2014)。Huang *et al.* (2013) 观察发现棉花粉蚧雌虫只有在交配后才会产卵。棉花粉蚧的雌雄二型现象非常明显 (黄玲等, 2011; 胡凤等, 2011; 朱艺勇等, 2011; 关鑫和陆永跃, 2012)。雄虫羽化后 1-2 d 后即可进行交配, 可在一定距离外发现雌虫, 求偶时雄虫会不断地摆动触角 (魏婷等, 2010; 关鑫等, 2011)。通常情况下雄虫爬到雌成虫的体背, 以前足和中足抱住雌成虫, 伸出的阳具向下弯曲, 雌成虫腹末向上翘起以配合交尾 (魏婷等, 2010; 关鑫等, 2011)。本文研究了棉花粉蚧雄虫的对雌虫虫态 (虫期) 的选择及雌雄成虫的交配日节律, 以期为进一步了解棉花粉蚧的交配行为和研究性信息素等提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

供试虫源: 棉花粉蚧来源于华南农业大学昆虫学系检疫与入侵害虫实验室, 以扶桑 *Hibiscus rosa sinensis* 为寄主饲养、繁殖 (温度  $27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度 70%, 光周期 (L:D) 14 h:10 h 光照强度 4000 lux)。试验用虫为 3 龄若虫、1-8 日龄处女雌成虫、交配过的雌成虫。

人工气候箱: RXZ 型智能人工气候箱 (宁波江南仪器厂制造)。

### 1.2 棉花粉蚧雄成虫对不同虫态、不同日龄雌虫的性选择反应测定

本试验采用四臂嗅觉仪测定棉花粉蚧雄成虫对雌虫的性选择反应, 参照 Vet 等 (1983)、吕燕青等 (2006) 设置。四臂嗅觉仪为有机玻璃制成的正方形仪器, 仪器 4 个方向与适当口径的钢管连接, 每臂依次用硅胶管连接盛装供试昆虫的味源瓶和蒸馏水瓶, 之后连接流量计、活性炭棒, 记录空气流速和过滤、净化空气。室内温度维持在  $25^{\circ}\text{C}$  左右。

遮光条件下测定棉花粉蚧雄成虫对老熟雌若虫和不同交配状态的雌成虫选择反应。分别将 3 龄雌若虫、4 日龄处女雌成虫和 4 日龄交配过的雌成虫各 10 头分别放入味源瓶中, 以空气作为空白对照, 空气流速 200 mL/min, 每次引入一头雄成虫于嗅觉仪活动室中心处。从雄虫开时爬动起计时, 10 min 内, 在活动室 4 个最终选择区域的任何一个区域内停留超过 10 s, 记为选择。没做出选择的雄成虫不计入试验数据。每 5 次重复更换一次 4 个味源瓶的位置, 并用 95% 酒精擦拭嗅觉仪活动室。

测定棉花粉蚧雄成虫对不同日龄雌虫的性选择反应, 方法与上一个相同, 但把味源换成 1-4 日龄和 5-8 日龄棉花粉蚧处女雌成虫各 10 头。

每个试验重复 3 次, 每个重复包含 35 个有效选择。

### 1.3 棉花粉蚧雌雄成虫交配日节律

将 50 头 4 日龄处女雌成虫和 15 头雄成虫放入同一培养皿内 ( $\varphi = 15\text{ cm}$ ), 用新鲜棉花叶饲喂, 光周期 L:D = 14 h:10 h。放入后, 每小时观察记录一次雌雄成虫的交配头数, 持续观察 24 h。试验重复 10 次。

### 1.4 数据统计与分析

使用 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test 对所有数据进行正态分布检验。棉花粉蚧雄成虫对不同虫态、日龄雌虫的有效选择次数满足正态分布, 使用单因素方差分析 (ANOVA) 对数据进行分析。雌雄成虫一天中交配高峰期数据不符合正态分布, 使用非参数检验 Kruskal Wallis Test 进行分析。所有数据分析程序运行于 SPSS 18.0。使用 Excel 2007 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 棉花粉蚧雄成虫对不同虫态、日龄雌成虫的性选择反应

棉花粉蚧雄成虫对不同状态雌成虫性选择结果见图 1。结果表明, 雄成虫处女雌成虫的选择数量最大, 为 22.00 头; 对已交配雌成虫的选择数量次之, 为 9.33 头; 对 3 龄若虫、空白对照选择数量均最低, 分别为 2.33 头、1.33 头 ( $F = 108.833$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0.0001$ )。

棉花粉蚧雄成虫对 1-8 日龄处女雌成虫选择具有明显偏好性 (图 2)。选择 4 日龄处女雌成虫的雄成虫数量最大, 为 19.00 头; 选择 5、6、7、

8 日龄处女雌成虫的较多, 分别为 10.33 头、8.33 头、8.67 头和 7.67 头, 且这 4 个日龄间无显著差异; 选择 2、3 日龄处女雌成虫的较少, 分别为 6.00 头、6.33 头; 选择 1 日龄处女雌成虫的最少, 为 3.67 头 ( $F=216.458$ ,  $df=7$ ,  $P<0.0001$ )。

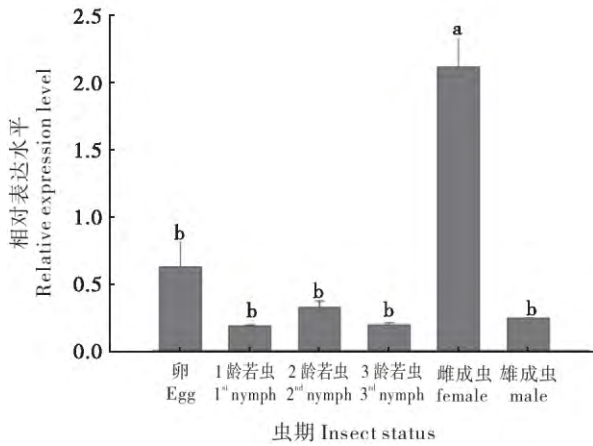


图 1 棉花粉蚧雄成虫对不同虫态雌虫的性选择反应

Fig. 1 The olfactory response in male adults of *Phenacoccus solenopsis* to different states of females

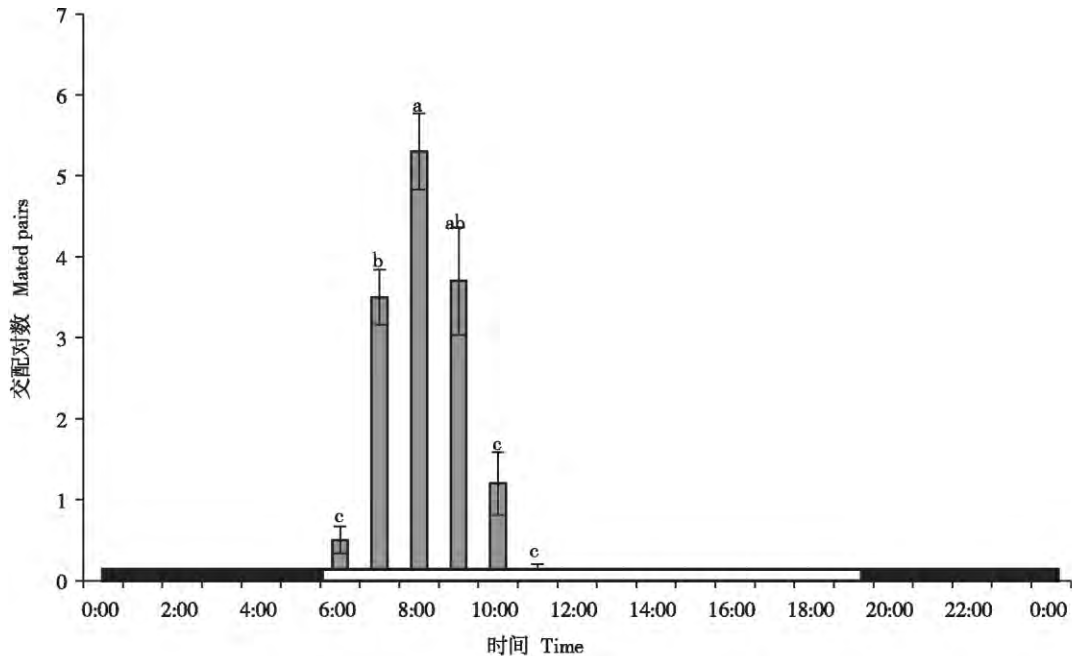


图 3 棉花粉蚧雌雄成虫日交配节律

Fig. 3 The rhythm of mating activity of *Phenacoccus solenopsis*

注: 图中白色和黑色条带代表光期和暗期。Note: The white and black bands represented the light and dark periods, respectively.

### 3 结论与讨论

棉花粉蚧雄虫对处女雌成虫的选择明显高于

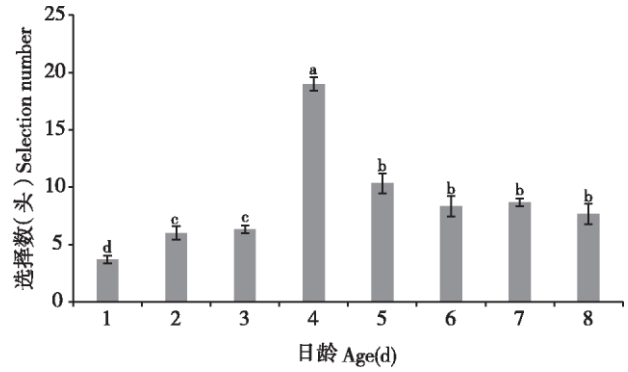


图 2 棉花粉蚧雄成虫对不同日龄处女雌成虫的性选择反应

Fig. 2 The olfactory response in male adults of *Phenacoccus solenopsis* to 1 to 8-day-old virgin females

### 2.2 棉花粉蚧雌雄成虫交配日节律

棉花粉蚧雌雄成虫交配具明显日节律 (图 3), 交配行为发生时段为 6:00 - 11:00, 高峰时段是 7:00 - 9:00, 而 12:00 - 次日早上 5:00 均未发现有交配 ( $\chi^2 = 202.490$ ,  $df = 23$ ,  $P < 0.0001$ )。

其他虫态的雌虫, 且选择 3 龄若虫的数量与选择对照的数量差异不显著, 说明雄成虫可以通过化学气味在较远距离区分出雌虫的成熟状态和交配状况。黄燕玲等 (2015) 研究认为未交配过的雌

虫比若虫和已交配过的雌成虫具有更大的生殖潜能而在性选择中更受欢迎。这可能是处女雌成虫对雄虫具有最强的吸引力的原因。

研究发现不同日龄的棉花粉蚧处女雌成虫对雄虫的吸引力也是不同的。例如 1-3 日龄处女雌成虫对雄成虫的吸引力显著低于 4 日龄处女雌成虫的, 而雄成虫对 5-8 日龄处女雌成虫的选择中并没有表现出差异的显著性。Silva (2013) 研究证实柑橘粉蚧 *Planococcus citri* (Risso) 雌成虫的日龄对交配有显著影响, 该蚧求偶和交配的频率会随着处女雌成虫日龄的增加而显著下降, 与 33 日龄的处女雌成虫相比, 雄虫优先选择 5 日龄的处女雌成虫。Oku *et al.* (2010) 认为这可能与不同日龄处女雌成虫释放的信息素量有关, 例如与日龄较小的处女雌成虫相比, 日龄较大的对雄虫的吸引力降低可能是由于释放的信息素减少或终止。棉花粉蚧雄虫可以在一定距离外发现雌虫(魏婷等, 2010; 关鑫等, 2011)。据此, 推断棉花粉蚧 3 龄若虫蜕皮后至 4 日龄之前的阶段, 雌成虫并未达到性成熟而无法释放信息素吸引雄虫; 而在 4 日龄达到完全性成熟后并释放性信息素, 并可持续数日。

棉花粉蚧雌雄成虫交配日节律中 4 日龄处女雌成虫和雄成虫是按照雌雄比例大约 3:1 配置, 因为在此雌雄性比下交配效率最高(王超等, 2014)。本试验表明棉花粉蚧 4 日龄处女雌成虫与雄虫的交配行为出现在一天之中的 6:00-11:00, 高峰期在 7:00-9:00。昆虫的性接受能力与性信息素的产生有关(Strong *et al.*, 1970)。以上结果显示 4 日龄棉花粉蚧雌成虫和 7:00-9:00 可能是雌成虫释放信息素的最旺盛的阶段。这为挑选合适日龄的棉花粉蚧研究性信息素等提供了科学依据。

### 参考文献 (References)

- Abbas G, Arif MJ, Saeed S. Systematic status of a new species of the genus *Phenacoccus* Cockerell (Pseudococcidae), a serious pest of cotton, *Gossypium hirsutum* L., in Pakistan [J]. *Pakistan Entomologist*, 2005, 27: 83-84.
- Aheer GM, Zafarullah S, Saeed M. Seasonal history and biology of cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Journal of Agricultural Research*, 2009, 47: 423-431.
- Andersson MB. Sexual selection [J]. *Nature*, 1994, 371 (6492): 28.
- Arif MI, Rafiq M, Ghaffar A. Host plant of cotton mealybug (*Phenacoccus solenopsis*): A new menace to cotton agroecosystem of Punjab [J]. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2009, 11 (2): 163-167.
- Fuchs TW, Stewart JW, Minzenmayer R, *et al.* First record of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in cultivated cotton in the United States [J]. *Southwestern Entomologist*, 1991, 3 (3): 215-221.
- Guan X, Lu YY. Study on body length, body width and morphological characteristics of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley fed on cotton [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2012, 40 (1): 261-262. [关鑫, 陆永跃. 棉花上扶桑绵粉蚧各虫态体长、体宽与形态特征 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (1): 261-262]
- Guan X, Lu YY, Zeng L. Biology of mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley from Guangzhou fed on cotton [J]. *China Cotton*, 2011, 38 (8): 11-13. [关鑫, 陆永跃, 曾玲. 棉花上扶桑绵粉蚧广州种群生物学特性观察 [J]. 中国棉花, 2011, 38 (8): 11-13]
- Hu F, Liu H, Xiao TG, *et al.* Analysis the main factor of cotton mealybug produce male [J]. *Crop Research*, 2011, 25 (1): 63-65. [胡凤, 刘慧, 肖铁光, 等. 扶桑绵粉蚧雄虫产生的主要影响因子分析 [J]. 作物研究, 2011, 25 (1): 63-65]
- Huang F, Zhang JM, Zhang PJ, *et al.* Reproduction of the solenopsis mealybug, *Phenacoccus solenopsis*: Males play an important role [J]. *Journal of Insect Science*, 2013, 13: 137.
- Huang L, Liu H, Ou GC, *et al.* Preliminary studies on biology of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, a cotton pest [J]. *Crop Research*, 2011, 25 (3): 245-248. [黄玲, 刘慧, 欧高财, 等. 扶桑绵粉蚧部分生物学特性研究 [J]. 作物研究, 2011, 25 (3): 245-248]
- Huang YL, Lu Q, Yu JF, *et al.* Sexual selection in insects [J]. *Biological Disaster Science*, 2015, 38 (2): 77-85. [黄燕玲, 陆沁, 余金凤, 等. 昆虫的性选择 [J]. 生物灾害科学, 2015, 38 (2): 77-85]
- Lu YY, Zeng L, Wang L, *et al.* Precaution of solenopsis mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Journal of Environment Entomology*, 2008, 30 (4): 386-387. [陆永跃, 曾玲, 王琳, 等. 警惕一种危险性绵粉蚧入侵中国 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 30 (4): 386-387]
- Lv YQ, Chen KW, He YR, *et al.* Olfactory response of four species of Trichogrammatid to Kairomones of *Corcyra cephalonica* (Stainton) [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2006, 27 (4): 14-17. [吕燕青, 陈科伟, 何余容, 等. 四种赤眼蜂对米蛾利他素的嗅觉反应 [J]. 华南农业大学学报, 2006, 27 (4): 14-17]
- Oku K, Yasuda T. Effects of age and mating on female sex attractant pheromone levels in the Sorghum plant bug, *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2010, 36 (5): 548-552.
- Prasad YG, Prabhakar M, Sreedevi G, *et al.* Effect of temperature on development, survival and reproduction of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton [J]. *Crop Protection*, 2012, 39: 81-88.
- Sahito HA, Abro GH, Khuhro RD, *et al.* Biological and morphological studies of cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley Hemiptera: Pseudococcidae development under laboratory environment [J]. *Pakistan Journal of Entomological Karachi*,

- 2010, 252: 131 – 141.
- Silva EB, Branco M, Mendel Z, et al. Mating behavior and performance in the two cosmopolitan mealybug species *Planococcus citri* and *Pseudococcus calceolariae* [J]. *Journal of Insect Behavior*, 2013, 26: 304 – 320.
- Strong FE, Sheldahl JA, Hughes PR, et al. 1970. Reproductive biology of *Lygus hesperus* Knight [J]. *Hilgardia*, 40: 105 – 143.
- Tinsley JD. An ant's nest coccid from New Mexico [J]. *Canadian Entomologist*, 1898, 30 (2): 47 – 48.
- Vennila S, Deshmukh AJ, Pinjarkar D, et al. Biology of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* on cotton in the laboratory [J]. *Journal of Insect Science*, 2010, 10: 115.
- Vet LEM, Lenteren JC, Heymans M, et al. An airflow olfactometer for measuring olfactory responses of hymenopterous parasitoids and other small insects [J]. *Physiological Entomology*, 1983, 8 (1): 97 – 106.
- Wang C, Chen F, Lu YY. Study on the male fecundity of an alien invasive pest, cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Journal of Environment Entomology*, 2014, 36 (5): 661 – 666. [王超, 陈芳, 陆永跃. 外来入侵害虫棉花粉蚧雄虫生殖能力研究 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (5): 661 – 666]
- Wang YP, Watson GW, Zhang RZ. The potential distribution of an invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* and its threat to cotton in Asia [J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2010, 12: 403 – 416.
- Wang YP, Wu SA, Zhang RZ. Pest risk analysis of a new invasive pest, *Phenacoccus solenopsis*, to China [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2009, 46 (1): 101 – 106. [王艳平, 武三安, 张润志. 入侵害虫扶桑绵粉蚧在中国的风险分析 [J]. 昆虫知识, 2009, 46 (1): 101 – 106]
- Wei T, Liu H, Ou GC, et al. Preliminary studies on behavior of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Crop Research*, 2010, 24 (4): 358 – 360. [魏婷, 刘慧, 欧高财, 等. 扶桑绵粉蚧部分行为学的初步研究 [J]. 作物研究, 2010, 24 (4): 358 – 360]
- Williams DJ, Willink GMC. Mealybugs of Central and South America [M]. Wallingford: CAB International, 1992, 635.
- Wu SA, Zhang RZ. A new invasive pest, *Phenacoccus solenopsis*, threatening seriously to cotton production [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2009, 46 (1): 159 – 162. [武三安, 张润志. 威胁棉花生产的外来入侵新害虫—棉花粉蚧 [J]. 昆虫知识, 2009, 46 (1): 159 – 162]
- Zhu YY, Huang F, Lv YB. Bionomica of mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54 (2): 246 – 253. [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 – 253]
- Zhang GW, Zhu YY, Zhang PJ, et al. Effects of mating status on the development and oviposition in female mealybugs (*Phenacoccus solenopsis*) [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, 27 (2): 206 – 210. [张革伟, 朱艺勇, 张蓬军, 等. 交配对扶桑绵粉介雌虫发育及产卵的影响 [J]. 浙江农业学报, 2015, 27 (2): 206 – 210]
- Zhang RZ, Wang FX, Wang YX, et al. *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Cotton Mealybug) [M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2010. [张润志, 王福祥, 王玉玺, 等. 扶桑绵粉蚧 (棉花粉蚧) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010]