

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.04.1

不同植物种类及棉花品种对扶桑绵粉蚧生物学影响研究进展

鹿东东, 商晗武*

(中国计量学院生命科学院, 杭州 310018)

摘要: 扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* 是一种多食性入侵害虫, 其寄主范围广、适应性强, 已入侵多个国家和地区, 对农业生产造成了严重危害。本文通过分析不同寄主植物上扶桑绵粉蚧研究, 找出相对适宜与不适宜寄主植物, 以便指导作物种植, 并为培育抗扶桑绵粉蚧作物提供一定参考。本文通过收集分析相关文献, 运用数理统计方法, 综述和分析了不同寄主植物上扶桑绵粉蚧生长发育、生殖、抗逆等方面研究进展及其差异。发现马铃薯、豚草是极有利于扶桑绵粉蚧繁衍的植物, 其次是扶桑与棉花。对 10 个品种棉花的分析发现, 中棉所 59 对扶桑绵粉蚧具有较强的抗性, 而抗虫棉 RCH-134 不具有抗性。对扶桑绵粉蚧生物学尤其是生长发育、繁殖能力等研究已经比较多, 今后与该虫相关的抗虫育种、生物防治、分子生物学等研究可望成为重点。

关键词: 扶桑绵粉蚧; 寄主植物; 棉花

中图分类号: Q965; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 04-0669-11

Review of research on the biological influences of *Phenacoccus solenopsis* feeding on different plants and cotton cultivars

LU Dong-Dong, SHANG Han-Wu* (College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: *Phenacoccus solenopsis* polyphagous pest, has a wide host range and strong adaptability. It was found in many countries and regions around the world, causing serious harm to agricultural production. Through research analysis of literatures about *P. solenopsis* on different host plants, we could find suitable and unsuitable host plants, to adjust farming way timely, and make reasonable rotation, to prevent the pest from spreading; and these results further made clear the research direction of *P. solenopsis* in the future. Research results on the morphological, reproductive characteristics, resistance and control of *P. solenopsis* were reviewed by collecting and analyzing the related literatures. And we analyzed comprehensively the changes of *P. solenopsis* on developmental duration, longevity and fecundity changes in cotton cultivars. Followed by Fuso and cotton, *Solanum tuberosum* and *Ambrosia artemisiifolia* are very conducive to the proliferation of mealybug. By analyzing ten varieties of cotton, we found that CCRI59 had better resistance to *P. solenopsis*, and Bt cotton RCH-134 didn't have resistance. Morphological study of *P. solenopsis* is more comprehensive, and molecular genetics, biological control and Insect-resistant breeding study to *P. solenopsis* will be the important research fields in the future.

Key words: *Phenacoccus solenopsis*; host plants; cotton

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2010CB126200)

作者简介: 鹿东东, 女, 1989 年生, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为生物化学与分子生物学, E-mail: ldd617@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 商晗武, E-mail: hwshang@cjlu.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-03-31; 接受日期 Accepted: 2016-07-15

扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, 最早在美国新墨西哥州被发现并命名 (Fuchs *et al.*, 1991), 其后一直在美国的中部、加勒比群岛和厄尔多瓜为害蔬菜和花卉作物 (Williams and Willink, 1992)。随后, 该虫在智利和巴西的番茄和几种杂草上被发现 (Culik and Gullan, 2005)。我国于 2008 年在广州首次发现了该虫 (马骏等, 2009; 武三安和张润志, 2009), 2009 年调查结果显示, 该虫已在我国的 8 个省和自治区有零散分布 (张润志等, 2010), 其已被列为我国第 436 种检疫性有害生物 (刘刚, 2009)。扶桑绵粉蚧是一种入侵性害虫, 在过去的一个世纪里, 它入侵了超过 23 个国家 (Ahmed *et al.*, 2015)。该虫能严重危害棉花, 在巴基斯坦和印度造成棉花大面积减产; 为防治该虫, 仅在旁遮普地区 2 个月内农药的使用费用就达 1.2 亿美元 (Hodgson *et al.*, 2008; Nagrare *et al.*, 2009), 由此可见其对农业生产的为害性。为有效地防治该虫, 已对其进行了多方面的研究 (Lu *et al.*, 2011; Guan *et al.*, 2012; Muhammad *et al.*, 2015), 对这些研究结果进行的综述也已有报道 (胡熙熹等, 2012), 但尚未见应用数理统计方法对这些资料进行综述分析。本论文应用数理分析方法对寄主植物与扶桑绵粉蚧关系研究结果进行综合剖析, 以期找出相对适宜与不适宜寄主植物, 以便以此为依据对作物种植方式进行指导, 有效地防止该虫蔓延暴发, 并为培育抗虫作物提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究材料

供综述的文献是至今国内外已公开发表的 45 篇研究报告, 文献来源于 CNKI—中国学术期刊 (网络版) (中国期刊网)、万方数据资源、维普中文科技期刊数据库、Web of Science (SCI、SSCI、CPCI) 数据库、Elsevier ScienceDirect 数据库、IEL (IEEE/IET Electronic Library) 数据库、Springer Link 电子期刊全文数据库、EI 数据库等中外文献数据库。

1.2 分析方法

通过查阅相关文献, 运用多重比较差异分析方法 (黄雨舜, 2005; 钱俊和陈平雁, 2008), 对扶桑绵粉蚧的有关研究进行综合分析。

2 结果及分析

扶桑绵粉蚧是一种多食性害虫, 它通过吸食植物汁液, 致使植物发育迟缓, 甚至失水干枯; 分泌的蜜露能吸引蚂蚁, 诱发煤污病, 降低光合作用, 严重时致使植物大片死亡 (Arif *et al.*, 2009); 最近的研究还发现, 该虫还能抑制植物的防御反应, 使其转化为有利于自己的方向, 方便其自身取食和生长发育 (Zhang *et al.*, 2015)。其寄主范围广, 繁殖能力强, 并兼有有性生殖和孤雌生殖两种繁殖方式, 极易转移扩散, 使得多种作物严重减产。所以该虫入侵地的科学家均对其十分重视, 并对其进行各方面的研究。

相对其他方面来说, 对扶桑绵粉蚧生物学方面的研究较多。在形态学方面已有较多研究 (Guan *et al.*, 2012), 其发育、繁殖特性也已基本清楚 (关鑫和陆永跃, 2012; 王超等, 2014; 王超等, 2016)。扶桑绵粉蚧为卵胎生, 卵产在卵囊内, 产卵量大, 单雌产卵数为 128 – 812 粒, 平均为 344 粒 (Vennila *et al.*, 2010; 朱艺勇等, 2011), 其生活史为: (1) 雌虫分 3 个虫态: 卵→若虫 (1 龄若虫—2 龄若虫—3 龄若虫)→雌成虫; (2) 雄虫分 4 个虫态: 卵→若虫 (1 龄若虫—2 龄若虫)→预蛹→蛹→雄成虫 (朱艺勇等, 2011)。在寒冷地区扶桑绵粉蚧以卵或其他虫态在植物或土壤中越冬; 在热带地区扶桑绵粉蚧可终年繁殖, 种群增长迅速, 世代重叠严重 (Hodgson *et al.*, 2008)。在生育特性方面研究较多的是扶桑绵粉蚧生长发育与温度的关系, 其生长发育的最低、最适、最高温度基本清楚, 一般在 18℃ 及其以下、35℃ 及其以上均不利其生长, 而 26℃ – 30℃ 是其最适生长温度 (Amarasekare *et al.*, 2008; Hodgson *et al.*, 2008; Fand *et al.*, 2014), 过冷却点最低为 -24.02℃ (关鑫等, 2009), 故其能够较好的越冬。在防治方面化学防治研究较多。农业防治基本上没有研究, 还未见具有抗扶桑绵粉蚧的棉花品种育成。生物防治应是防治扶桑绵粉蚧的良好方法 (Ahmad *et al.*, 2011), 已开展了不少基础工作, 已报道捕食天敌、寄生性天敌 14 种、12 种 (Ashfaq *et al.*, 2010; Tanwar *et al.*, 2011; Arif *et al.*, 2012), 也研究了微生物和植物源杀虫剂, 但还属于初步的研究 (黄芳等, 2015)。已经开展了扶桑绵粉蚧在不良生态环境中抗逆性的研究如

饥饿胁迫 (郑婷等, 2011)、高温胁迫 (关鑫等, 2011; Sreedevi *et al.*, 2013)、低温胁迫 (Sreedevi *et al.*, 2013) 与干旱胁迫 (Kumar *et al.*, 2013) 等。对该虫在棉花、番茄、茄子、扶桑、秋葵、豚草等多种寄主植物上的生物学已进行了研究 (黄芳等, 2011; 关鑫等, 2012), 对不同品种棉花上生长发育等也进行了研究 (赵新宁, 2012; 赵新宁等, 2012)。同时, 吕茂翠 (2013) 研究了锦葵科、旋花科、茄科、胡麻科、葫芦科的 5 种寄主植物对扶桑绵粉蚧的适应性。

2.1 不同植物上扶桑绵粉蚧生物学差异

昆虫的生长发育和种群动态与寄主植物息息相关。寄主不同, 昆虫的生长、繁殖、寿命等也会有差异 (Nagrare *et al.*, 2009)。研究表明寄主植物是影响扶桑绵粉蚧生长发育和繁殖力的最重要因素。扶桑绵粉蚧的寄主范围极广, 包括作物、蔬菜、观赏植物和杂草等, 共 57 科 149 属 207 种, 其中对禾本科、锦葵科、茄科、葫芦科、大戟科、胡麻科、苑科等的为害较严重 (张润志等, 2010)。已有研究表明, 对于扶桑绵粉蚧在不同植物上为害时, 其个体的发育特征, 随着寄主植物不同, 该虫生长发育参数也有所不同。Akintola 等 (2008) 研究发现扶桑绵粉蚧在扶桑上的若虫期 1 龄 < 2 龄 < 3 龄。黄芳等 (2011) 研究了扶桑绵粉蚧在棉花、番茄和茄子上的个体发育情况, 其成虫期 > 若虫期, 若虫期 1 龄 > 3 龄 > 2 龄; 且发现扶桑绵粉蚧的存活率和产卵量高低依次为棉花 > 茄子 > 番茄; 在烟草、扶桑、棉花、马铃薯 4 种植物上扶桑绵粉蚧的生物学差异 (关鑫等, 2012), 其若虫期与黄芳等 (2011) 研究所获规律相同。王莹莹等 (2012) 研究了南瓜上扶桑绵粉

蚧在不同温度条件下的发育历期, 发现该虫在南瓜上的若虫期显著高于其他植物, 且在各温度条件下若虫期依次为 3 龄 > 1 龄 > 2 龄。Mamoon-ur-Rashid 等 (2012) 研究了在棉花、扶桑和秋葵上扶桑绵粉蚧的发育历期, 若虫期依次为棉花 < 扶桑 < 秋葵。

2.1.1 若虫 (蛹) 期

由于扶桑绵粉蚧的雌虫的若虫有 1、2、3 龄之分, 而雄虫有 1、2 龄, 相应的雌虫的 3 龄属蛹期。为了利于分析, 本文将该虫雌虫 1-3 龄的历期之和称若虫期, 而雄虫的 1-2 龄期加蛹期简称为若蛹期。

表 1、2 是根据有关文献资料统计分析扶桑绵粉蚧雌虫若虫期与雄虫若蛹期的结果。从表 1、2 可见, 10 种植物, 无论是雌虫或是雄虫都是南瓜的若虫期、若蛹期最长, 并均显著长于其他 9 种植物。在这 10 种植物中, 若虫 (蛹) 期相对较长的是南瓜、番茄与马铃薯; 相对较短的为棉花、扶桑与豚草。从表 1、2 可知, 经至今所获研究资料的统计, 在南瓜上扶桑绵粉蚧若虫期与若蛹期的均值分别为 26.71 d、23.20 d; 在番茄上为 17.63 d、19.87 d; 在马铃薯上为 17.64 d、18.24 d; 在棉花上为 16.02 d、16.50 d; 在扶桑上为 15.68 d、16.21 d; 在豚草上为 14.81 d、15.30 d。番茄、马铃薯的若蛹期与棉花、扶桑、豚草的差异同样都达显著水平, 但若虫期在它们之间的差异不显著。而从不同龄期供析的 10 种植物的平均值来看, 不论雌、雄虫都是 1 龄若虫的龄期最长。雌虫 1 龄与 2 龄差异显著; 1 龄与 3 龄, 2 龄与 3 龄差异不显著; 雄虫 1 龄与 2 龄、3 龄差异显著。

表 1 在不同植物上的扶桑绵粉蚧雌虫若虫期分析
Table 1 Female nymph period of *Phenacoccus solenopsis* on different plants

寄主植物 Host-plants	1 龄 (d) 1 st instar	2 龄 (d) 2 nd instar	3 龄 (d) 3 rd instar	若虫期 (d) Nymph period
南瓜 <i>Cucurbita moschata</i> (王莹莹等, 2012)	8.31 ± 0.39	8.22 ± 0.32	10.18 ± 0.22	26.71 ± 0.32 a
秋葵 <i>Abelmoschus esculentus</i> (Sahito and Abro, 2012)	4.90 ± 0.80	7.90 ± 1.20	5.70 ± 0.30	18.50 ± 0.85 b
茄子 <i>Solanum melongena</i> (黄芳等, 2011)	6.65 ± 0.93	4.43 ± 1.01	5.57 ± 1.11	16.65 ± 1.02 b
马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i> (关鑫等, 2012)	7.10 ± 0.53	4.91 ± 0.34	5.63 ± 0.41	17.64 ± 0.43 b
烟草 <i>Nicotiana tabacum</i> (同上)	7.50 ± 0.72	4.08 ± 0.43	4.58 ± 0.38	16.16 ± 0.53 b
番茄 <i>Solanum lycopersicum</i> (王前进等, 2013)	7.50 ± 0.17	4.41 ± 0.11	5.72 ± 0.14	17.63 ± 0.14 b
三裂蟛蜞菊 <i>Wedelia trilobata</i> (同上)	6.70 ± 0.12	4.61 ± 0.12	5.39 ± 0.14	16.70 ± 0.13 b

续上表

寄主植物 Host-plants	1 龄 (d) 1 st instar	2 龄 (d) 2 nd instar	3 龄 (d) 3 rd instar	若虫期 (d) Nymph period
棉花 <i>Gossypium</i> spp. (同上)	6.39 ± 0.09	4.38 ± 0.14	5.25 ± 0.09	16.02 ± 0.11 b
扶桑 <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> (同上)	6.37 ± 0.11	4.20 ± 0.14	5.11 ± 0.11	15.68 ± 0.10 b
豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i> (同上)	5.74 ± 0.10	4.16 ± 0.12	4.91 ± 0.12	14.81 ± 0.11 b
平均值 Mean	6.72 ± 0.50 a	5.13 ± 0.54 a	5.80 ± 0.42 ab	—

注: 表中数据, 同列或同行 (仅平均值) 字母相同时, 表示处理间在 $P < 0.05$ 水平差异性不显著。下表同。Note: Date in the table in the same column or peer (only mean) followed by same letters are not significantly different at $P < 0.05$. The same below.

表 2 在不同植物上的扶桑绵粉蚧雄虫若蛹期分析

Table 2 Male nymph period of *Phenacoccus solenopsis* on different plants

寄主植物 Host-plants	1 龄 (d) 1 st instar	2 龄 (d) 2 nd instar	蛹期 (d) Pupal stage	若蛹期 (d) Male nymph period
南瓜 <i>Cucurbita moschata</i> (王莹莹等, 2012)	8.31 ± 0.39	7.26 ± 0.21	7.63 ± 0.18	23.20 ± 0.28 a
茄子 <i>Solanum melongena</i> (黄芳等, 2011)	6.11 ± 0.96	6.02 ± 1.38	4.63 ± 0.44	16.76 ± 1.00 bcd
马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i> (关鑫等, 2012)	7.10 ± 0.53	5.95 ± 0.56	5.19 ± 0.62	18.24 ± 0.57 bc
烟草 <i>Nicotiana tabacum</i> (同上)	7.50 ± 0.72	4.22 ± 0.49	5.32 ± 0.68	17.04 ± 0.64 bcd
番茄 <i>Solanum lycopersicum</i> (王前进等, 2013)	6.97 ± 0.24	6.58 ± 0.24	6.32 ± 0.21	19.87 ± 0.23 b
三裂蟛蜞菊 <i>Wedelia trilobata</i> (同上)	6.35 ± 0.18	5.67 ± 0.24	6.09 ± 0.18	18.11 ± 0.20 bc
棉花 <i>Gossypium</i> spp. (同上)	5.85 ± 0.15	4.92 ± 0.17	5.73 ± 0.16	16.50 ± 0.16 cd
扶桑 <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> (同上)	5.84 ± 0.16	4.70 ± 0.21	5.67 ± 0.15	16.21 ± 0.18 cd
豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i> (同上)	5.34 ± 0.12	4.58 ± 0.24	5.38 ± 0.14	15.30 ± 0.30 cd
秋葵 <i>Abelmoschus esculentus</i> (Sahito and Abro, 2012)	5.60 ± 0.90	4.50 ± 0.90	4.30 ± 1.10	14.40 ± 0.97 d
平均值 Mean	6.50 ± 0.53 a	5.44 ± 0.60 b	5.63 ± 0.49 b	—

2.1.2 成虫期、若虫 - 成虫期

经 8 种植物的综析结果, 见表 3。雌、雄成虫期均是番茄最长; 最短的, 雌虫为南瓜, 雄虫为豚草, 南瓜倒数第二。经差异显著性分析, 雌虫的成虫期在番茄、蟛蜞菊、棉花、扶桑之间以及在豚草、茄子之间差异不显著, 在南瓜与秋葵之间差异显著; 南瓜、秋葵与其它植物, 豚草、茄子与其它植物之间差异显著; 雄虫成虫期是在番茄、蟛蜞菊、茄子、秋葵之间及在棉花、扶桑、南瓜之间差异不显著; 而豚草与其它植物, 棉花、扶桑、南瓜与其它植物差异显著。总之, 对成虫期的综析发现, 雌、雄虫均是番茄、蟛蜞菊的成虫期较长, 而南瓜、豚草相对较短, 且番茄、蟛蜞菊的成虫期均显著长于南瓜与豚草。而若虫 - 成虫期 (寿命), 综析结果也是番茄与蟛蜞菊的历期较长, 但相对较短仅为豚草; 南瓜, 在雌虫为

最短, 在雄虫为最长。这 4 种植物之间的若虫 - 成虫期, 除雌虫的南瓜与豚草间差异不显著, 其余差异均显著。

2.1.3 产卵前期、产卵期与产卵量

表 4 是经 8 种植物分析了产卵前期、产卵期及产卵量在 8 种植物上的表现。从表 4 可知, 雌虫的产卵前期及产卵期均是马铃薯最长, 扶桑与豚草相对较短, 且马铃薯与其它 7 种植物间的差异均达显著水平。而茄子的表现较特殊: 其产卵前期较长, 并与蟛蜞菊、扶桑、棉花及豚草的差异均显著, 但其产卵期却是最短的。产卵量的分析, 缺少茄子, 共有植物 7 种, 其结果, 马铃薯的产卵量最高, 平均达 552.50 粒, 并除豚草均与其它五种植物的差异达显著标准, 而番茄、烟草的产卵量相对较低, 平均为 342.63 粒与 417.20 粒, 且两者之间的差异也达显著水平。比较番茄、烟草

两种植物, 扶桑绵粉蚧的产卵前期、产卵期均相对较长; 豚草的产卵前期及产卵期的表现与它的相比恰恰相反, 产卵前期最短, 为 10.85 d, 产卵期倒数第二位为 15.84 d。豚草的产卵量为第二位, 达 511.12 粒, 与马铃薯差异不显著。综析结果, 在供析的植物中仅马铃薯的产卵前期、产卵期及其产卵量, 3 者均居第一位。

表 3 扶桑绵粉蚧在不同植物上的雌、雄虫成虫和若虫 - 成虫期的分析
Table 3 Female and male adult and nymph-adult period of *Phenacoccus solenopsis* on different plants

寄主植物 Host-plants	雌虫 (d) Female		雄虫 (d) Male	
	若虫 - 成虫期 Nymph-adult	成虫期 Adult	若虫 - 成虫期 Nymph-adult	成虫期 Adult
南瓜 <i>Cucurbita moschata</i> (王莹莹等, 2012)	13.53 d	40.42 e	2.01 b	25.21 a
秋葵 <i>Abelmoschus esculentus</i> (Sahito and Abro, 2012)	24.80 ± 1.00 c	43.40 ± 1.00 cde	2.90 ± 1.40 a	17.40 ± 1.00 d
番茄 <i>Solanum lycopersicum</i> (王前进等, 2013)	32.73 ± 0.75 a	50.55 ± 0.73 a	3.09 ± 0.14 a	23.59 ± 0.48 b
三裂蜆蜷菊 <i>Wedelia trilobata</i> (同上)	31.63 ± 0.59 a	48.14 ± 0.54 b	2.92 ± 0.26 a	21.15 ± 0.65 c
棉花 <i>Gossypium</i> spp. (同上)	30.45 ± 0.57 a	46.73 ± 0.58 bc	2.41 ± 0.19 b	19.41 ± 0.55 cd
扶桑 <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> (同上)	30.34 ± 0.64 a	45.88 ± 0.54 bcd	2.31 ± 0.09 b	18.23 ± 0.45 d
豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i> (同上)	27.54 ± 0.53 b	41.79 ± 0.59 de	1.89 ± 0.08 c	16.75 ± 0.34 d
茄子 <i>Solanum melongena</i> (黄芳等, 2011)	27.30 ± 6.31 b	43.95 ± 4.52 cde	2.97 ± 0.61 a	19.73 cd

表 4 不同植物上扶桑绵粉蚧产卵情况的分析
Table 4 State of spawning of *Phenacoccus solenopsis* on different plants

寄主植物 Host-plants	产卵前期 (d) Pre reproductive period	产卵期 (d) Reproductive period	产卵量 (eggs) Fecundity
茄子 <i>Solanum melongena</i> (黄芳等, 2011)	12.93 ± 2.37 b	12.30 ± 4.59 d	—
马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i> (关鑫等, 2012)	19.67 ± 0.93 a	37.31 ± 1.56 a	552.50 a
烟草 <i>Nicotiana tabacum</i> (同上)	12.02 ± 0.87 bc	28.18 ± 1.47 b	417.20 e
番茄 <i>Solanum lycopersicum</i> (王前进等, 2013)	12.28 ± 0.23 bc	18.89 ± 0.53 c	342.63 f
三裂蜆蜷菊 <i>Wedelia trilobata</i> (同上)	11.58 ± 0.24 cd	18.93 ± 0.37 c	434.98 de
扶桑 <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> (同上)	11.34 ± 0.20 cd	17.86 ± 0.50 c	495.98 bc
棉花 <i>Gossypium</i> spp. (同上)	11.01 ± 0.30 d	18.50 ± 0.65 c	463.73 cd
豚草 <i>Ambrosia artemisiifolia</i> (同上)	10.05 ± 0.17 e	15.84 ± 0.56 cd	511.12 ab

2.2 对不同棉花品种的综析结果

至今, 国内外对扶桑绵粉蚧为害棉花时生物学特性的表现, 已有不少报道。Vennila 等 (2010) 在实验室条件 (8 月和 10 月平均气温和湿度条件) 下研究了扶桑绵粉蚧在转基因棉花上的生育历期, 并分析了其繁殖特点, 以便采取有效措施来防治扶桑绵粉蚧; Prasad 等 (2012) 用不同温度对扶桑绵粉蚧在转 Bt 基因棉 NCS-207 上的生育历期作了统计分析; Kumar 等 (2013) 对转 Bt 基因棉 RCH-134 上的扶桑绵粉蚧就不同温度和

不同湿度的生育历期作了分析; 王飞飞等 (2014) 统计了不同温度下扶桑绵粉蚧在浙凤棉 1 号的生育历期情况; 赵新宁等 (2012) 比较了扶桑绵粉蚧在转基因棉和非转基因棉上的生长历期, 发现其 1 龄若虫期都显著长于 2、3 龄若虫期, 但若虫期在中棉所 59 上最短, 为 15.6 d, 在中棉所 48 上最长, 为 17.1 d; 产卵期在中棉所 41 上最短, 为 13.6 d, 在湘杂棉上最长, 为 17.9 d; 产卵期在中棉所 41 上最长, 为 15.7 d, 在湘杂棉上最短, 为 12.4 d; 其寿命在中棉所 41 上最长, 为 48.1 d, 在

中棉所 59 上最短, 为 43.6 d。并通过测定不同棉花品种叶片中可溶性糖、可溶性蛋白与棉酚含量, 将不同品种生化物质含量与相应危害扶桑绵粉蚧的生物学参数作相关分析, 结果发现, 棉叶较高可溶性糖含量会降低扶桑绵粉蚧死亡率, 延长产卵前期, 有利于扶桑绵粉蚧生长发育与繁殖; 而较高的棉酚含量会影响扶桑绵粉蚧正常生长发育, 抑制其繁殖, 提高死亡率。

2.2.1 若虫期

表 5 是对扶桑绵粉蚧在 10 个棉花品种上的龄期及若虫期的多重比较分析结果。10 个棉花品种

扶桑绵粉蚧的不同龄期的平均值 1 龄最长为 6.18 d, 2 龄最短, 为 5.05 d。1 龄与 2 龄、3 龄差异显著, 2 龄与 3 龄差异不显著。10 种品种的平均若虫期, NCS-207 最长为 19.9 d, RCH-134 最短为 13.20 d, 差异达显著水平。NCS-207、浙凤棉 1 号、中棉所 48 这 3 个品种的若虫期相对较长, 且三者间差异不显著, 中棉所 59、RCH-134 相对较短, 二者间差异也不显著, 但 RCH-134 与浙凤棉 1 号、中棉所 48 差异达显著水平。此外, 其它 5 个品种的若虫期差异均未达显著标准。

表 5 扶桑绵粉蚧在 10 个棉花品种上的若虫期分析

Table 5 Female nymph period of *Phenacoccus solenopsis* on different cotton cultivars

品种 Varieties	1 龄 (d) 1 st instar	2 龄 (d) 2 nd instar	3 龄 (d) 3 rd instar	若虫期 (d) Nymph period
转 Bt 基因棉 NCS-207 (Prasad <i>et al.</i> , 2012)	6.50 ± 0.10	7.00 ± 0.20	6.40 ± 0.10	19.90 ± 0.20 a
浙凤棉 1 号 (王飞飞等, 2014) ZFM 1	7.33 ± 1.15	4.72 ± 0.36	5.39 ± 0.42	17.44 ± 0.74 ab
中棉所 48 (赵新宁等, 2012) CCRI 48	6.29 ± 0.13	4.88 ± 0.21	6.19 ± 0.37	17.11 ± 0.29 ab
中棉所 44 (同上) CCRI 44	6.47 ± 0.17	4.68 ± 0.14	5.70 ± 0.29	16.36 ± 0.40 abc
中棉所 41 (同上) CCRI 41	6.29 ± 0.14	4.35 ± 0.20	5.94 ± 0.34	16.55 ± 0.46 abc
中棉所 47 (同上) CCRI 47	6.36 ± 0.15	4.93 ± 0.29	5.24 ± 0.42	15.94 ± 0.63 abc
湘杂棉 2 号 (同上) XZM 2	5.90 ± 0.19	5.31 ± 0.31	5.28 ± 0.46	16.08 ± 0.46 abc
中棉所 59 (同上) CCRI 59	6.34 ± 0.17	5.12 ± 0.25	4.44 ± 0.26	15.60 ± 0.32 bc
湘杂棉 9 号 (王前进等, 2013) XZM 9	6.39 ± 0.09	4.38 ± 0.14	5.25 ± 0.09	16.02 ± 0.11 abc
转 Bt 基因棉 RCH-134 (Vennila <i>et al.</i> , 2010)	3.90 ± 0.40	5.10 ± 3.20	4.20 ± 0.60	13.20 ± 1.80 c
平均值 Mean	6.18 ± 0.41 a	5.05 ± 1.04 b	5.40 ± 0.37 b	—

2.2.2 成虫期、若虫 - 成虫期

经 9 个品种的综析结果, 见表 6。成虫期, 中棉所 59 最短, 为 27.88 d, 而 RCH-134 最长, 为 42.40 d, 且均显著长于其它 8 个品种。居第二位是浙凤棉 1 号为 34.67 d, 其与中棉所 44、47、59 及湘杂棉 2 号差异达显著水平, 而后 4 个品种的成虫期差异不显著。若虫 - 成虫期同样是 RCH-134 与浙凤棉 1 号较长, 分别为 55.60 d 与 52.11 d; 中棉所 59 最短, 为 43.55 d, 且供析的 8 个品种的差异显著性也与成虫期较相类同, 所不同的是, RCH-134 与浙凤棉 1 号还与中棉所 48、湘杂棉 9 号的差异达显著水平。

2.2.3 产卵前期、产卵期与产卵量

表 7 是 9 个品种的产卵前期与产卵期的分析结果。结果, 产卵前期浙凤棉 1 号居中为 14.56 d,

湘杂棉 2 号最长为 17.91 d, 与中棉所 44、41、59 差异不显著, 但这 4 个品种均与中棉所 48、47, 湘杂棉 9 号及 RCH-134 这后 4 个品种差异达显著水平。中棉所 48 与 47 差异不显著, 但与湘杂棉 9 号、RCH-134 差异均显著。产卵期 RCH-134、湘杂棉 9 号与湘杂棉 2 号 3 个品种完全呈现了与产卵前期相反的特性, RCH-134 产卵期居第一为 30.2 d, 并显著长于其它 8 个品种, 湘杂棉 9 号居第二为 18.5 d, 与中棉所 44、59 及湘杂棉 2 号差异显著, 湘杂棉 2 号最短为 12.37 d。产卵量的供析资料缺浙凤棉 1 号, 据 8 个材料的分析结果, 产卵量居首的为湘杂棉 9 号, 卵量高达 463.73 粒, 第二位的是 RCH-134, 卵量达 334.40 粒, 最低的为中棉所 59, 卵量仅 105.01 粒, 3 个品种间的产卵量差异均达显著水平。

表 6 扶桑绵粉蚧在 10 个棉花品种上的成虫期及若虫 – 成虫期分析
Table 6 Adult and nymph-adult period of *Phenacoccus solenopsis* on different cotton cultivars

品种 Varieties	成虫期 (d) Adult	若虫 – 成虫期 (d) Nymph-adult
浙凤棉 1 号 (王飞飞等 ,2014) ZFM 1	34. 67 ± 3. 33 b	52. 11 ± 2. 41 b
中棉所 48 (赵新宁 等 ,2012) CCRI 48	29. 74 ± 1. 34 bc	47. 00 ± 1. 42 c
中棉所 44 (同上) CCRI 44	28. 09 ± 2. 31 c	44. 56 ± 2. 18 c
中棉所 41 (同上) CCRI 41	31. 48 ± 1. 71 bc	48. 11 ± 1. 82 bc
中棉所 47 (同上) CCRI 47	28. 44 ± 1. 69 c	45. 45 ± 2. 19 c
湘杂棉 2 号 (同上) XZM 2	28. 28 ± 1. 64 c	45. 34 ± 1. 79 c
中棉所 59 (同上) CCRI 59	27. 88 ± 1. 58 c	43. 55 ± 1. 69 c
湘杂棉 9 号 (王前进等 ,2013) XZM 9	30. 45 ± 0. 57 bc	46. 73 ± 0. 58 c
转 Bt 基因棉 RCH-134 (Vennila <i>et al.</i> ,2010a)	42. 40 ± 5. 70 a	55. 60 ± 4. 23 a

表 7 扶桑绵粉蚧在 10 个棉花品种上的产卵情况分析
Table 7 State of spawning analysis of *Phenacoccus solenopsis* on different cotton cultivars

品种 Varieties	产卵前期 (d) Pre-reproductive period	产卵期 (d) Reproductive period	产卵量 (粒) Fecundity
湘杂棉 2 号 (赵新宁等 ,2012) XZM 2	17. 91 ± 1. 26 a	12. 37 ± 2. 46 c	150. 83 ± 33. 10 ef
中棉所 44 (同上) CCRI 44	16. 85 ± 1. 02 a	14. 10 ± 1. 44 c	175. 40 ± 40. 82 de
中棉所 41 (同上) CCRI 41	16. 38 ± 1. 82 a	15. 65 ± 1. 15 bc	247. 00 ± 8. 77 c
中棉所 59 (同上) CCRI 59	16. 01 ± 1. 64 a	13. 53 ± 1. 86 c	105. 01 ± 24. 73 f
中棉所 48 (同上) CCRI 48	13. 98 ± 1. 12 b	14. 87 ± 1. 03 bc	134. 78 ± 36. 12 ef
中棉所 47 (同上) CCRI 47	13. 58 ± 0. 89 b	15. 46 ± 1. 60 bc	224. 40 ± 6. 10 cd
浙凤棉 1 号 (王飞飞等 ,2014) ZFM 1	14. 56 ± 1. 65 ab	18. 11 ± 6. 13 bc	–
湘杂棉 9 号 (王前进等 ,2013) XZM 9	11. 01 ± 0. 30 c	18. 50 ± 0. 65 b	463. 73 ± 7. 91 a
转 Bt 基因棉 RCH-134 (Vennila <i>et al.</i> ,2010a)	5. 70 ± 1. 70 d	30. 20 ± 8. 20 a	334. 40 ± 82. 00 b

3 结论与讨论

经综合分析发现,马铃薯与豚草是极有利于扶桑绵粉蚧扩散繁衍的植物,其次是扶桑与棉花。而经 10 个品种的棉花综析发现,中棉所 59 具有较好的抗扶桑绵粉蚧的作用,而抗虫棉 RCH-134 对扶桑绵粉蚧不具有抗性。可具体归纳叙述成以下 3 点。

3.1 不同龄期的表现

无论是雌虫还是雄虫,或是在不同的植物上及其在不同的棉花品种上,扶桑绵粉蚧综析结果的龄期平均值均是 1 龄的历期最长,2 龄的最短,且除 RCH-134 以外,1 龄历期都是显著长于 2 龄、

3 龄或蛹历期,而 2 龄与 3 龄或蛹历期的差异不显著。分品种看龄期,10 个供析棉花材料有 8 个品种的 1 龄历期最长,仅 RCH-134 的 1 龄历期特短为 3.9 d,其寿命最长为 42.4 d,产卵量居第二位。除 RCH-134 外,其它 9 个供析材料,浙凤棉 1 号的 1 龄历期特长为 7.33 d,余下 8 个品种,即在大多数棉花品种上 1 龄历期约在 6 – 6.5 d 之间。

3.2 在不同植物上的表现

从综析结果可知,雄虫在多种植物上表现的若蛹期、成虫期及其寿命较其雌虫有规律性,尤其是若蛹期与寿命之间,不同植物间的历期具有显著正相关特性 ($r=0.969$, $P=0.000$),而雌虫就没有此特性,这可能与雌虫需产卵有关。经归纳综析结果可以发现:雌虫若虫期居于极端位的

南瓜与豚草,其寿命均居末位。如果“产卵量”是反映世代转换能力的一种指标,即物种能繁衍生存的一种能力,由于居一二位的南瓜、秋葵无产卵量资料数据,以居第四位的番茄观之,其成虫期居一,寿命居一,产卵前期居三,产卵期居四,但产卵量却居末位。这是否是番茄对扶桑绵粉蚧来讲,是不利于该虫繁衍,而利于其个体生存?南瓜与秋葵是否也是如此,至今还尚缺数据可定。豚草各生育阶段的历期均较短,若虫期居末位,成虫期倒数第四,寿命倒数第二,产卵前期居末位,产卵期倒数第二,然而其产卵量却居第二,与马铃薯差异不显著,结果豚草似乎是一种有利其世代繁衍的植物。马铃薯若虫期居第三位,与番茄相比仅长 0.01 d,因此,这两种植物的若虫期应该是相同的,但产卵量马铃薯居首,据其产卵前期、产卵期也居首,故可推测其寿命也不短,即马铃薯是一种使扶桑绵粉蚧长寿且产卵量高的植物。故从反映世代转换的能力来看,马铃薯与豚草是利于扶桑绵粉蚧扩散繁衍的植物,其次是扶桑与棉花。

3.3 在不同棉花品种上的表现

经综析结果,从表 6 可知棉花成虫期与寿命的长短,在不同品种间具有良好的相关性,经相关性分析呈极显著正相关 ($r = 0.938$, $P = 0.002$)。而供析的 10 种棉花品种,若虫历期居首的是 NCS-207,但其无相应其它生育阶段的数据资料,而若虫历期居第 2 位的浙凤棉 1 号无相应产卵量数据。然尽管如此,其它 8 个品种的若虫历期与产卵量的关系明显可分为两种情况:(1) 中棉所的 48、44、41、47 的若虫期与产卵量具有互为相反相成的特点;(2) 另 4 个若虫期居后四位的品种,其产卵量湘杂棉 2 号与中棉所 59 居末尾;而湘杂棉 9 号与 RCH-134 却依次居第一、二位,并且产卵量显著高于湘杂棉 2 号与中棉所 59。换言之,不同品种棉花经综合分析结果,8 个品种有 6 个品种呈现了若虫历期长短与产卵量大小呈负相关规律;两个品种呈现了正相关特性。尤其是中棉所 59,其若虫期、产卵期均居末二位,成虫期、寿命、产卵量均居末位,是一个明显不利扶桑绵粉蚧生育与繁殖的品种,而 RCH-134 与湘杂棉 9 号若虫期分别为末位与末三位,但其产卵量分别居第二与第三位,且产卵量显著高于中棉所 59,由此可见,这两个是极利于扶桑绵粉蚧生存扩散的品种。故经综合分析表明,扶桑绵粉蚧的若虫

期短,可能有两种截然相反的原因导致:(1) 寄主植物有利于粉蚧取食消化而促进个体发育加快的缘故;(2) 寄主植物被粉蚧取食而难以消化,使个体难以正常发育的缘故。后者明显表现了品种对粉蚧具有一定抗性作用,这已被赵新宁 (2012) 研究证明。当扶桑绵粉蚧取食中棉所 59 以后,粉蚧体内解毒酶明显增加,以保其能安全生存繁衍,与湘杂棉 9 号相比,中棉所 59 产卵量相对要少 4.42 倍;这说明湘杂棉 9 号对粉蚧无抗性作用,而虽然供析材料 RCH-134 为转基因抗虫棉,但它也并不具有明显抗扶桑绵粉蚧作用,其产卵量仅次于湘杂棉 9 号,居第二位,有 334.40 粒。

有关扶桑绵粉蚧在生物化学及分子遗传学方面的研究,目前国内外还较少,尤其是生物化学方面的研究更少。赵新宁 (2012) 通过测定不同棉花品种叶片中的生化物质含量与其相应危害扶桑绵粉蚧的生物学参数作了相关分析。王伟兰 (2014) 对扶桑绵粉蚧对不同寄主的取食偏好性作了研究,测定了不同寄主植物上可溶性糖、可溶性蛋白及单宁含量,发现扶桑绵粉蚧的取食选择性与这些物质无显著相关性。Singh 等 (2012) 采用 PAPD 分子标记技术对 5 种寄主植物上 20 个扶桑绵粉蚧种群进行遗传多样性分析,结果可将这 20 个种群分为 2 个分支,这说明扶桑绵粉蚧的生长发育可能与不同植物的抗性和寄主专化性有关。田虎等 (2013) 采用 mtDNA COI 基因序列的特异性引物 (SS-COI) 进行 PCR 扩增,鉴别扶桑绵粉蚧;何衍彪等 (2011) 通过对 12 种粉蚧的 18S rDNA, 28S rDNA 和 COI 序列的多重比对和聚类分析,探讨了其用于粉蚧系统进化分析及种类鉴定的可行性,结果表明 COI 基因的序列变异率相对较高,完全可作为近缘属种粉蚧类昆虫识别的依据。罗梅等 (2012) 首次克隆了扶桑绵粉蚧的组织蛋白酶 B 基因 (*PsCB*) 的 cDNA 序列,随后对扶桑绵粉蚧的环指蛋白基因 (*PsRing3*) (罗梅等, 2014)、钙调蛋白基因 (*PsCam*) (罗梅等, 2013) 和谷胱甘肽-S-转移酶基因 (*PsGSTz1*) (罗梅等, 2012) 序列也进行了克隆分析,为进一步研究这些基因对扶桑绵粉蚧的生长发育及其代谢的影响提供了材料。罗梅等 (2014) 也利用高通量测序的方法对扶桑绵粉蚧转录组的数据进行搜索,共设计出 1228 对引物,为扶桑绵粉蚧遗传多样性分析、进化分析及入侵生物学等奠定基础。

Thomas 等 (2014) 使用线粒体细胞色素氧化酶 1 (mtCO-I) 基因对扶桑绵粉蚧进行遗传多样性分析, 结果显示, 来自于亚洲不同寄主植物的扶桑绵粉蚧 mtCO-I 基因序列无明显变化, 但用 NCBI 基因库中可用序列构建系统发育树, 显示亚洲和美国之间具有明显的种群隔, 进一步了解了扶桑绵粉蚧与寄主相关的形态变异和种群间的遗传多样性问题。

因此, 今后有关扶桑绵粉蚧的抗虫育种、生物防治及生物化学和分子遗传学方面的研究可望成为重点, 所以以后的研究应 (1) 对扶桑绵粉蚧的基因组进行组装与注释, 基因组测序, 丰富数据库, 并对扶桑绵粉蚧多种基因功能进行研究, 从分子水平初步解释其生物学特性; (2) 从基因和蛋白水平研究扶桑绵粉蚧与寄主植物之间的互作关系, 以进一步分析研究扶桑绵粉蚧的寄主适应性; (3) 对不同寄主植物上的抗扶桑绵粉蚧基因进行探索与筛选, 为转基因抗虫育种提供理论基础; (4) 多方面开展对扶桑绵粉蚧的生物防治研究。

参考文献 (References)

- Ahmad F, Akram W, Sajjad A, *et al.* Management practices against cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2011, 13 (4): 547–552.
- Ahmed M Z, Ma J, Qiu B L, *et al.* Genetic record for a recent invasion of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Asia [J]. *Environmental entomology*, 2015, 44 (3): 907–918.
- Akintola A, Ande A. First record of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on *Hibiscus rosa-sinensis* in Nigeria [J]. *Agricultural Journal*, 2008, 3 (1): 1–3.
- Amarasekare KG, Chong JH, Epsy ND, *et al.* Effect of temperature on the life history of the mealybug *Paracoccus marginatus* (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2008, 101 (6): 1798–1804.
- Arif MI, Rafiq M, Ghaffar A. Host plants of cotton mealybug (*Phenacoccus solenopsis*): A new menace to cotton agroecosystem of Punjab, Pakistan [J]. *International Journal of Agriculture And Biology*, 2009, 11 (2): 163–167.
- Arif MI, Rafiq M, Wazir S, *et al.* Studies on cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Pseudococcidae: Homoptera), and its natural enemies in Punjab, Pakistan [J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2012, 14 (4): 557–562.
- Ashfaq M, Shah GS, Noor AR, *et al.* Report of a parasitic wasp (Hymenoptera: Encyrtidae) parasitizing cotton mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) in Pakistan and use of PCR for estimating parasitism levels [J]. *Biocontrol Sci Techn*, 2010, 20 (6): 625–630.
- Chen F, Li SL, Lu YY. Major biological parameters of high and low temperature strains of cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41 (24): 83–87. [陈芳, 李慎磊, 陆永跃. 棉花粉蚧高温和低温品系的主要生物学参数研究 [J]. 广东农业科学, 2014, 41 (24): 83–87]
- Culik MP, Gullan PJ. A new pest of tomato and other records of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) from Espírito Santo, Brazil [J]. *Zootaxa*, 2005, 964: 1–8.
- Fand BB, Tonnang HEZ, Kumar M, *et al.* A temperature-based phenology model for predicting development, survival and population growth potential of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Crop Protection*, 2014, 55: 98–108.
- Fuchs T, Stewart J, Minzenmayer R, *et al.* First record of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in cultivated cotton in the United States [J]. *The Southwestern Entomologist (USA)*, 1991, 16 (3): 215–21.
- Guan X, Lu YY, Zeng L, *et al.* Supercooling points and freezing points of mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2009, 31 (4): 381–384. [关鑫, 陆永跃, 曾玲, 等. 扶桑绵粉蚧的过冷却点和体液结冰点测定 [J]. 环境昆虫学报, 2009, 31 (4): 381–384, 394]
- Guan X, LU YY, Zeng L, *et al.* Life tables of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley experimental population at different temperatures [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2012, 13 (4): 792–797, 814.
- Guan X, Lu YY, Zeng L. Study on developmental durations and fecundity of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley on four species of hosts [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2012, 2: 408–411.
- 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 Sciences*, 2012, 40 (1): 261–262, 298. [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, 298]
- Guan X, Zeng L, Hu XN, *et al.* Lethal effect of hot water on the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Plant Quarantine*, 2011, 25 (1): 1–5. [关鑫, 曾玲, 胡学难, 等. 热水处理对扶桑绵粉蚧的致死作用 [J]. 植物检疫, 2011, 25 (1): 1–5]
- He YB, Wan XW, Zhan RL, *et al.* Genetic relationship of 12 species of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) based on DNA sequences [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011, 32 (12): 2324–2330. [何衍彪, 万宣伍, 詹儒林, 等. 基于 DNA 序列的 12 种粉蚧亲缘关系分析 [J]. 热带作物学报, 2011, 32 (12): 2324–2330]
- Hodgson C, Abbas G, Arif MJ, *et al.* *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Sternorrhyncha: Coccoidea: Pseudococcidae), an invasive mealybug damaging cotton in Pakistan and India, with a discussion on seasonal morphological variation [J]. *Zootaxa*, 2008, 1913: 1–35.
- Hu XX, Xiao TG. Review of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [A].

- Huangzhong *Entomologist*, 2012, 8. [胡熙熹, 肖铁光. 扶桑绵粉蚧研究进展 [A]. 华中昆虫研究, 2012, 8]
- Huang F, Zhang PJ, Zhang JM, *et al.* Effect of three host plants on the development and reproduction of *Phenacoccus solenopsis* [J]. *Plant Protection*, 2011, 37 (4): 58–62. [黄芳, 张蓬军, 章金明, 等. 三种寄主植物对扶桑绵粉蚧发育和繁殖的影响 [J]. 植物保护, 2011, 37 (4): 58–62]
- Huang F, Zhao CL, Lu YB. Dynamics of *Tremblaya princeps* during individual development of its host *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (10): 1140–1145. [黄芳, 赵春玲, 吕要斌. 共生菌 *Tremblaya princeps* 在扶桑绵粉蚧个体发育中的动态变化 [J]. 昆虫学报, 2015, 58 (10): 1140–1145.]
- Huang YS. Multiple comparison of the ratio [J]. *Shanghai Journal of Preventive Medicine*, 2005, 17 (7): 349–350. [黄雨舜. 率的多重比较 [J]. 上海预防医学, 2005, 17 (7): 349–350]
- Kumar S, Sidhu JK, Hamm JC, *et al.* Effects of temperature and relative humidity on the life table of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton [J]. *Florida Entomologist*, 2013, 96 (1): 19–28.
- Kumar S, Sidhu JK, Hamm JC, *et al.* Effects of temperature and relative humidity on the life table of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton [J]. *Florida Entomologist*, 2013, 96 (1): 19–28.
- Liu G. *Phenacoccus solenopsis* is included in the Chinese plant quarantine pest list [J]. *Beijing Agriculture: Practical Technology*, 2009, 4: 56. [刘刚. 我国将扶桑绵粉蚧列入进境植物检疫性有害生物名录 [J]. 北京农业: 实用技术, 2009, 4: 56]
- Lu MC. Effect of Different Host Plants on the Development and Reproduction of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, A New Invasive of China [D]. Zhejiang Normal University. 2013. [吕茂翠. 不同寄主植物对扶桑绵粉蚧生长发育和繁殖的影响 [D]. 浙江师范大学, 2013]
- Lu YY, Guan X, Zeng L. Effect of temperature on the development of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Scientific Research and Essays*, 2011, 6 (31): 6459–6464.
- Luo M, Bin SY, Lin JT. Prokaryotic expression and expression profiling of calmodulin genes in mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Journal of Northwest A&F University* (Nat. Sci. Ed.), 2013, 12: 138–142. [罗梅, 宾淑英, 林进添. 扶桑绵粉蚧钙调蛋白基因的原核表达与表达谱分析 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2013, 12: 138–142.]
- Luo M, Dong ZY, Bin SY, *et al.* Molecular cloning and bioinformatics analysis of calmodulin genes in *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2012, 31 (3): 320–324. [罗梅, 董章勇, 宾淑英, 等. 扶桑绵粉蚧钙调蛋白基因的克隆与生物信息学分析 [J]. 华中农业大学学报, 2012, 31 (3): 320–324]
- Luo M, Dong ZY, Bin SY, *et al.* Molecular cloning and expression of different developmental stages of glutathione – S – transesferase gene in mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Journal of Northwest A&F University* (Nat. Sci. Ed.), 2012, 9: 83–89. [罗梅, 董章勇, 宾淑英, 等. 扶桑绵粉蚧谷胱甘肽 – S – 转移酶基因的克隆及不同发育阶段的表达分析 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2012, 9: 83–89]
- Luo M, Dong ZY, Bin SY, *et al.* Molecular cloning, prokaryotic expression and expression at different developmental stages of cathepsin B gene in mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (3): 276–283. [罗梅, 董章勇, 宾淑英, 等. 扶桑绵粉蚧组织蛋白酶 B 基因的克隆、原核表达和不同发育阶段表达分析 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (3): 276–283]
- Luo M, Lin JT, Bin SY. Molecular cloning, sequence characteristics and expression of ring finger protein gene of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Journal of Northwest A & F University* (Nat. Sci. Ed.), 2014, 4: 125–131. [罗梅, 林进添, 宾淑英. 扶桑绵粉蚧环指蛋白基因的克隆及其序列特征与表达谱分析 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2014, 4: 125–131]
- Luo M, Zhang H, Bin SY, *et al.* High – throughput discovery of SSR genetic markers in the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae), from its transcriptome database [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 4: 395–400. [罗梅, 张鹤, 宾淑英, 等. 基于转录组数据高通量发掘扶桑绵粉蚧微卫星引物 [J]. 昆虫学报, 2014, 4: 395–400]
- Ma J, Hu XN, Liu HJ, *et al.* *Phenacoccus solenopsis* Tinsley was found on *Hibiscus rosa – sinensis* in Guang Zhou [J]. *Plant Quarantine*, 2009, 23 (2): 35–36. [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]
- Mamoonurrashid M, Khattak MK, Abdullah K. Phenological response of cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Stemorrhyncha: Pseudococcidae) to three prominent host plants [J]. *Pakistan J. Zool.*, 2012, 44 (2): 341–346.
- Muhammad Z, Ahmed, Jun M, *et al.* Genetic record for a recent invasion of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) in Asia [J]. *Environmental Entomology*, 2015, 44 (3): 907–918.
- Nagrare VS, Kranthi S, Biradar VK, *et al.* Widespread infestation of the exotic mealybug species, *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) (Hemiptera: Pseudococcidae), on cotton in India [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2009, 99 (5): 537–541.
- 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.
- Qian J, Chen PY. Multiple comparison of multiple sample ratios [J]. *Chinese Journal of Health Statistics*, 2008, 25 (2): 206–212. [钱俊, 陈平雁. 多个样本率的多重比较 [J]. 中国卫生统计, 2008, 25 (2): 206–212]
- Sahito HA, Abro GH. Biology of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Pseudococcidae) on okra and china rose under laboratory conditions [J]. *Pakistan Entomologist*, 2012, 34 (2): 121–124.

- Singh S, Sharma R, Kumar R, *et al.* Molecular typing of mealybug *Phenacoccus solenopsis* populations from different hosts and locations in Punjab, India [J]. *Journal of Environmental Biology*, 2012, 33 (3): 539–543.
- Sreedevi G, Prasad YG, Prabhakar M, *et al.* Bioclimatic thresholds, thermal constants and survival of mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) in response to constant temperatures on hibiscus [J]. *PLoS ONE*, 2013, 8 (9).
- Tanwar RK, Jeyakumar P, Singh A, *et al.* Survey for cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley) and its natural enemies [J]. *Journal of Environmental Biology*, 2011, 32 (3): 381–384.
- Thomas A, Ramamurthy VV. Morphological and molecular studies on the intraspecific variations between populations of the cotton mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Entomologist News*, 2014, 123 (5): 339–347.
- Tian H, Li XF, Wan FH, *et al.* Identification of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) with species-specific COI (SS-COI) primers [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013, 56 (6): 689–696. [田虎, 李小凤, 万方浩, 等. 利用种特异性 COI 引物 (SS-COI) 鉴别扶桑绵粉蚧 [J]. 昆虫学报, 2013, 56 (6): 689–696]
- Vennila S, Deshmukh A, Pinjarkar D, *et al.* Biology of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* on cotton in the laboratory [J]. *Journal of insect science*, 2010, 10 (115): 1.
- Wang C, Chen F, Lu YY. Development and population growth of the cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae), under different photoperiods [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (4): 428–434. [王超, 陈芳, 陆永跃. 不同光周期条件下棉花粉蚧的生长发育和种群增长能力 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (4): 428–434]
- 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 Environmental 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 C, He MY, Lu YY. Population growth, survival and development of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) fed on different *Hibiscus rosa-sinensis* leaves [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2016, 43 (5): 107–111. [王超, 何沐阳, 陆永跃. 不同类型扶桑叶片上棉花粉蚧存活、发育和增长能力 [J]. 广东农业科学, 2016, 43 (5): 107–111]
- Wang FF, Zhu YY, Huang F, *et al.* Effects of temperature on the development and reproduction of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 4: 436–442. [王飞飞, 朱艺勇, 黄芳, 等. 温度对扶桑绵粉蚧生长发育的影响 [J]. 昆虫学报, 2014, 4: 436–442]
- Wang QJ, Gao Y, Chen T, *et al.* Studies on fitness and potential hazard of the invasive mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley on five species of plants [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (6): 699–706. [王前进, 高燕, 陈婷, 等. 5 种植物上扶桑绵粉蚧的适生性及其潜在为害分析 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (6): 699–706]
- Wang WL, Effects of Hosts, Temperatures and Relative Humidities on the Growth and Development of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [D]. Nan Ning: Guangxi University, 2014. [王伟兰. 温湿度和寄主对扶桑绵粉蚧生长发育影响的研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2014]
- Wang YY, Xu ZH, Zhang LL, *et al.* Developmental duration and life table of the laboratory population of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) fed on pumpkin at different temperatures [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (1): 77–83. [王莹莹, 徐志宏, 张莉丽, 等. 南瓜寄主上扶桑绵粉蚧不同温度下的发育历期和实验种群生命表 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (1): 77–83]
- Williams D, Willink M. Mealybugs of central and South America [J]. *Wallingford*, 1992, 635.
- Wu SA, Zhang RZ. A new invasive pest, *Phenacoccus solenopsis*, threatening seriously to cotton production [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2009, 1: 159–162. [武三安, 张润志. 威胁棉花生产的外来入侵新害虫——扶桑绵粉蚧 [J]. 昆虫知识, 2009, 1: 159–162]
- Zhang PJ, Huang F, Zhang JM, *et al.* The mealybug *Phenacoccus solenopsis* suppresses plant defense responses by manipulating JA-SA crosstalk [J]. *Scientific Reports*, 2015, 5.
- Zhang RZ, Wang FX, Wang YX, *et al.* *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Cotton Mealybug) [M]. Beijing: China Agricultural Science 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]
- Zhao XN, Cui XH, Chen L, *et al.* Ontogenesis and adaptability of mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on different varieties of cotton [J]. *Cotton Science*, 2012, 24 (6): 496–502. [赵新宁, 崔旭红, 陈玲, 等. 不同类型棉花品种对扶桑绵粉蚧个体发育特征及其适应性的影响 [J]. 棉花学报, 2012, 24 (6): 496–502]
- Zhao XN. Biological Activity and Mechanism Research of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley Damaging Different Varieties of Cotton [D]. Hangzhou: China Jiling University, 2012. [赵新宁. 扶桑绵粉蚧为害不同品种棉花的生物学差异及其生理生化机制研究 [D]. 杭州: 中国计量学院, 2012]
- Zheng T, Cui XH, Wang T, *et al.* Effects of starvation on survival rate and oviposition of the invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) [J]. *Journal of Biosafety*, 2011, 20 (3): 239–242. [郑婷, 崔旭红, 汪婷, 等. 饥饿对扶桑绵粉蚧存活率和产卵量的影响 [J]. 生物安全学报, 2011, 20 (3): 239–242]
- 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]