



石蒜绵粉蚧在七种多肉植物上的生物学特性

潘颖佳¹, 崔旭红¹, 邵 崧², 商晗武^{1,*}

(1. 中国计量大学生命科学学院, 浙江省生物计量及检验检疫技术重点实验室, 杭州 310018;

2. 杭州玉石谷多肉植物工作室, 杭州 311106)

摘要:【目的】石蒜绵粉蚧 *Phenacoccus solani* 是近年来新入侵我国并严重为害多肉植物且具检疫重要性的害虫。本研究旨在明确石蒜绵粉蚧在不同多肉植物上生存和繁殖的差异, 了解其在我国的潜在危害性。【方法】选取景天科、番杏科、马齿苋科和百合科4科7属7种不同多肉植物(长生草 *Sempervivum tectum*、黑法师 *Aeonium arboreum*、熊童子 *Cotyledon tomentosa*、姬胧月 *Graptopetalum paraguayense*、曲玉 *Lithops pseudotruncatella*、松锦之吹雪 *Anacampseros telephiastrum*、姬玉露 *Haworthia cooperi* var. *truncata*)于人工气候箱中(25±1℃, RH 70%±5%, 光周期 14L:10D)饲养石蒜绵粉蚧, 观察记录其生长发育、存活、繁殖等生物学特性, 并构建了实验种群生命表。同时, 在浙江杭州、嘉兴、湖州和金华的多肉植物种植大棚调查了石蒜绵粉蚧的发生情况。【结果】石蒜绵粉蚧在松锦之吹雪和姬玉露这2种多肉植物上不能完成发育周期, 在其他5种多肉植物上能完成世代发育, 其中1龄和2龄若虫死亡率较高, 3龄若虫后大都能发育至成虫并繁殖产卵。该虫在姬胧月和黑法师上死亡率最低, 产卵量和F₁代卵孵化率最高, 在熊童子和曲玉上的死亡率最高, 产卵量和F₁代卵孵化率最低。实验种群生命表参数中, 取食姬胧月和黑法师的石蒜绵粉蚧净增殖率、内禀增长率和周限增长率最高, 种群加倍时间最短, 而在曲玉和熊童子上取食的净增殖率、内禀增长率和周限增长率最低, 种群加倍时间最长。大棚调查发现, 石蒜绵粉蚧在景天、番杏、仙人掌、百合和马齿苋5科24属87种多肉植物上均有不同程度的发生。【结论】测试的7种多肉植物中, 姬胧月和黑法师最适于石蒜绵粉蚧的生长、发育和繁殖, 长生草次之; 石蒜绵粉蚧1龄和2龄若虫期抵抗力弱是其防治的关键时期。石蒜绵粉蚧可取食的多肉植物种类繁多, 流通性大, 容易造成该虫害的传播蔓延, 因此在多肉植物引种时需高度重视其潜在风险和危害。

关键词: 石蒜绵粉蚧; 生长发育; 繁殖; 多肉植物; 寄主植物; 大棚; 实验种群生命表

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2020)10-1223-11

Biological characteristics of the solanum mealybug, *Phenacoccus solani* (Hemiptera: Coccoidea), on seven succulent plants

PAN Ying-Jia¹, CUI Xu-Hong¹, SHAO Yin², SHANG Han-Wu^{1,*} (1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Biometrology and Inspection & Quarantine, College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; 2. Hangzhou Yushigu Succulent Plants Studio, Hangzhou 311106, China)

Abstract: 【Aim】The solanum mealybug, *Phenacoccus solani* (Hemiptera: Pseudococcidae), is an important invasive insect pest on succulent plants newly discovered and recorded in China in recent years. This study aims to ascertain the differences in the survival and reproduction of *P. solani* on different succulents and its potential damage in China. 【Methods】Seven representative succulents of

seven genera of Aizoaceae, Crassulaceae, Liliaceae, and Portulacaceae, including *Sempervivum tectum*, *Aeonium arboreum*, *Cotyledon tomentosa*, *Graptopetalum paraguayense*, *Lithops pseudotruncatella*, *Anacampseros telephiastrum* and *Haworthia cooperi* var. *truncata*, were chosen as host plants to cultivate *P. solani* in an environmental chamber ($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, RH $70\% \pm 5\%$, and photoperiod 14L: 10D). We observed and recorded the biological characteristics of *P. solani* on these host plants, built the experimental population life table, and surveyed its occurrence in the succulent plant production greenhouses in Hangzhou, Jiaxing, Huzhou and Jinhua cities of Zhejiang Province, eastern China. 【Results】 *P. solani* could not complete the growth and development on *A. telephiastrum* and *H. cooperi* var. *truncata*, but could complete the whole life cycle on the other five succulents. The 1st and 2nd instar nymphs of *P. solani* had high mortality rates, but almost all the nymphs after the 3rd instar could develop into adults and reproduce. *P. solani* fed on *A. arboretum* and *G. paraguayense* had the lowest mortality rate, the highest oviposition amount and the highest egg hatching rate of F_1 generation. In contrast, *P. solani* on *C. tomentosa* and *L. pseudotruncatella* had the highest mortality rate and the lowest oviposition amount and egg hatching rate of F_1 generation. With respect to the life table parameters, the net reproductive rate, intrinsic rate of increase and finite rate of increase of *P. solani* on *A. arboretum* and *G. paraguayense* were the highest, and the population doubling time on the two succulent plants was the shortest. However, the net reproductive rate, intrinsic rate of increase and finite rate of increase of *P. solani* on *L. pseudotruncatella* and *C. tomentosa* were the lowest, but the population doubling time on the two succulent plants was the longest. Greenhouse survey revealed that *P. solani* had different levels of occurrence on 87 succulent species of 24 genera of 5 families (Crassulaceae, Aizoaceae, Cactaceae, Liliaceae and Portulacaceae). 【Conclusion】 Among the seven succulent plants tested, *A. arboretum* and *G. paraguayense* are the most suitable plants for the growth, development and reproduction of *P. solani*, followed by *S. tectum*. The 1st and 2nd instar nymphs are the key stages for control of *P. solani*. This insect can feed on various succulent species and be transferred widely, easily resulting in its spread and outbreak. So it is necessary to attach great importance to its potential risks in the introduction and cultivation of succulents.

Key words: *Phenacoccus solani*; growth and development; reproduction; succulent plants; host plant; greenhouse; experimental population life table

石蒜绵粉蚧 *Phenacoccus solani* 属半翅目 (Hemiptera) 粉蚧科 (Pseudococcidae) 绵粉蚧属 *Phenacoccus*,最早于1908年在美国加利福尼亚州的锦葵 *Malva sinensis* 上被发现,1918年再次发现后获定名 (Ferris, 1918)。该虫寄主范围较广,目前已知寄主植物有40科,101个属,涉及的植物种类在131种以上 (Carter, 1960; Ben-Dov, 1994; 陈淑佩等, 2002; Williams, 2004; Ben-Dov *et al.*, 2005; Gautam *et al.*, 2007; 王珊珊和武三安, 2009; Chatzidimitriou *et al.*, 2016; Germain *et al.*, 2016; Guzmán-Kantún *et al.*, 2017; 李思怡等, 2018),其中包括多肉等多种观赏植物 (Dewer *et al.*, 2018)、马铃薯 (Mazzeo *et al.*, 1999)和烟草 (Williams *et al.*, 1985)等经济作物。石蒜绵粉蚧现广泛分布于除南极洲之外的各大洲 (Mckenzie, 1967; Williams *et al.*, 1985; Ben-Dov

et al., 2005; Culik and Gullan, 2005; Kaydan *et al.*, 2008; Beltrà and Soto, 2011)。1999年,我国台湾地区首次发现石蒜绵粉蚧,被害寄主植物有4科14种 (陈淑佩等, 2002)。2008年,石蒜绵粉蚧先后在新疆和北京被发现 (王珊珊和武三安, 2009),寄主涉及31个科的69种植物,包括莴苣、甜椒、豇豆、萝卜、甘蓝、芒果、葡萄等多种蔬菜水果,蟛蜞菊和多肉等观赏性植物以及白鹤灵芝、玄参等部分中药材。根据黄芳等 (2019) 研究,我国大部分地区均为石蒜绵粉蚧的适生区,其寄主广泛、易获得,加之虫体小,易获取生长发育所需的营养,容易建立种群并扩张。石蒜绵粉蚧入侵我国后被认定为高风险有害生物 (郑斯竹等, 2015)。

石蒜绵粉蚧喜食植物汁液,多汁的多肉植物是其主要寄主之一。在我国从国外引进的宝石花、千

里光等观赏性多肉植物上已多次拦截发现了石蒜绵粉蚧(国家质量监督检验检疫总局, 2015), 给相关观赏园艺的生产和贸易往来造成了威胁。为了更好地评估石蒜绵粉蚧在我国的入侵风险, 以及该虫对观赏植物的危害性, 我们对石蒜绵粉蚧在景天科、番杏科、马齿苋科和百合科 4 科 7 属 7 种多肉植物上的生长发育、存活、繁殖等生物学特性进行了初步研究, 构建其室内实验种群生命表, 并对其在浙江杭州、嘉兴、湖州、金华等地的多肉植物大棚中的发生情况进行了调查。研究结果对明确石蒜绵粉蚧在不同多肉植物上的适应性差异, 了解其在多肉植物上的发生状况具有重要作用, 也为深入评估其在我国的入侵风险及治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源与寄主植物

实验中使用的石蒜绵粉蚧为实验室于 2017 年夏建立的实验种群, 虫源来自于杭州玉石谷多肉植物工作室番杏科生石花属多种生石花 *Lithops* spp.。维持种群的寄主植物为马铃薯块茎 *Solanum tuberosum*。种群饲养在人工气候箱(浙江托普仪器有限公司, RTOP-430B)中, 饲养条件: 温度 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$, 光周期 14L: 10D。室内实验于 2018 年 5 - 12 月在中国计量大学生命科学学院入侵生物安全和控制实验室完成。

实验中选用的寄主植物为常见畅销的多肉品种, 来自杭州玉石谷多肉植物工作室和嘉兴海宁勿忘初心多肉园艺有限公司, 共 4 科 7 属 7 种: 景天科长生草属 *Sempervivum* 长生草 *S. tecrum*、莲花掌属 *Aeonium* 黑法师 *A. arboretum*、银波锦属 *Cotyledon* 熊童子 *C. tomentosa*、风车草属 *Graptopetalum* 姬胧月 *G. paraguayense*、番杏科生石花属 *Lithops* 曲玉 *L. pseudotruncatella*、马齿苋科回欢草属 *Anacampseros* 松锦之吹雪 *A. telephiastrum*, 以及百合科十二卷属 *Haworthia* 姬玉露 *H. cooperi* var. *truncata*。

1.2 石蒜绵粉蚧在 7 种多肉植物上的生长发育、存活和繁殖情况观察

采集石蒜绵粉蚧初孵若虫 1 头放入透明塑料养虫盒中($\varphi 4\text{ cm}$, 高 5 cm), 盒顶部覆盖 200 目塑料网纱, 用于通风并防止粉蚧逃逸。每个盒中放入 1 片多肉植物叶片供其取食, 每种多肉品种接入不少于 30 头初孵若虫用于实验, 羽化为成虫前每隔 24 h 观察 1 次, 随后每 2 d 观察 1 次, 直至成虫死亡, 并统

计其存活发育及死亡情况。以上处理重复 3 次。同时, 随机选取上述单虫饲养的石蒜绵粉蚧初羽化成虫 40 头, 每 2 d 调查其产卵情况, 并从 F_1 代卵孵化开始, 统计 F_1 代初孵若虫数量和未孵化的卵总量, 进行繁殖特性的研究。以上实验过程中及时更换叶片, 以保持叶片的新鲜度。

1.3 石蒜绵粉蚧实验种群生命表建立

根据不同多肉植物上石蒜绵粉蚧生长发育和繁殖的实验数据, 组建石蒜绵粉蚧实验种群生命表及实验种群稳定年龄组配。具体参数计算公式如下(戈峰, 2008): 净增值率 $R_0 = \sum l_x m_x$, 平均世代周期 $T = \sum (x l_x m_x) / \sum (l_x m_x)$, 内禀增长率 $r_m = \ln R_0 / T$, 周限增长率 $\lambda = e^{r_m}$, 种群加倍时间 $DT = \ln 2 / r_m$; 式中 x 表示按一定时间划分的期限, l_x 表示任一个个体在 x 期间的存活率, m_x 表示在 x 期间单雌产雌数。

1.4 观赏植物种植大棚石蒜绵粉蚧的发生情况调查

2017 年 10 月至 2019 年 10 月, 我们在浙江省花协多浆植物分会辖的杭州市余杭区玉石谷、柒狐园艺、西湖区华联怡景园艺场, 嘉兴海宁勿忘初心多肉园艺, 湖州市吴兴区小森林植物园, 以及金华市兰溪秋和家庭农场等多肉植物栽培大棚, 对石蒜绵粉蚧在不同多肉植物上的发生情况进行了调查, 以小盆 ($6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$) 种植的多肉植物为主要调查对象, 将发生程度分为偶见(极少发现)、轻度发生 (≤ 10 头/株)、中度发生 ($11 \sim 30$ 头/株) 和重度发生 (> 30 头/株) 4 个等级, 对石蒜绵粉蚧在栽培大棚中的发生情况进行了归类和分级整理。

1.5 数据分析

对石蒜绵粉蚧在 7 种多肉植物上的死亡率、发育历期、产卵量等数据进行初步整理后, 用 SPSS 软件(SPSS17.0, SPSS Inc., 美国)对其死亡率、发育历期、产卵量和 F_1 代卵孵化率等参数进行统计分析, 用单因素方差分析(one-way ANOVA) Turkey 氏法对不同多肉植物上石蒜绵粉蚧的死亡率、发育历期、产卵量和 F_1 代卵孵化率等进行差异显著性比较 ($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 石蒜绵粉蚧在 7 种多肉植物上的存活、生长发育和繁殖情况

2.1.1 存活情况: 石蒜绵粉蚧在 7 种多肉植物上的存活情况如表 1 所示。石蒜绵粉蚧在松锦之吹雪和姬玉露上不能完成生命周期, 其中姬玉露上的石蒜

绵粉蚧在 1 龄若虫期全部死亡,松锦之吹雪上的石蒜绵粉蚧在 2 龄若虫期全部死亡。石蒜绵粉蚧在其他 5 种多肉植物上均可完成若虫期,姬胧月、长生草和黑法师上的若虫存活率最高,均在 70% 左右;石蒜绵粉蚧在曲玉和熊童子上的存活率较低,为 40.00% ~47.18%。不同龄期存活率为:3 龄若虫 > 2 龄若虫 >1 龄若虫。取食姬胧月和长生草的石蒜绵粉蚧 1 龄若虫存活率最高,且显著低于取食曲玉

的 1 龄若虫($P < 0.05$);取食黑法师的石蒜绵粉蚧的 2 龄若虫存活率最高,取食曲玉和熊童子的 2 龄若虫存活率较低,但未达显著差异($P > 0.05$);取食 5 种多肉植物上的 3 龄若虫仅在姬胧月上死亡率为 5.75%,其余 4 种上均为 0。鉴于松锦之吹雪和姬玉露上饲养的石蒜绵粉蚧在 2 龄若虫期全部死亡,以下有关生长发育、繁殖特性和生命表的结果和分析,仅在另外 5 种多肉植物上进行。

表 1 石蒜绵粉蚧不同龄期若虫在 7 种多肉植物上的存活率 (%)

Table 1 Survival rates (%) of different instar nymphs of <i>Phenacoccus solani</i> on seven succulent plants				
寄主植物 Host plants	1 龄若虫期 1st instar	2 龄若虫期 2nd instar	3 龄若虫期 3rd instar	若虫期 Whole nymphal stage
姬玉露 <i>Haworthia cooperi</i> var. <i>truncata</i>	—	—	—	—
松锦之吹雪 <i>Anacampseros telephiastrum</i>	11.67 ± 6.01 d	—	—	—
曲玉 <i>Lithops pseudotruncatella</i>	55.00 ± 5.77 c	72.78 ± 4.58 a	100.00 ± 0.00 a	40.00 ± 5.00 c
熊童子 <i>Cotyledon tomentosa</i>	64.17 ± 3.63 bc	72.16 ± 13.01 a	100.00 ± 0.00 a	47.18 ± 10.42 bc
长生草 <i>Sempervivum tecrum</i>	80.00 ± 2.89 ab	86.75 ± 8.12 a	100.00 ± 0.00 a	69.20 ± 5.80 ab
黑法师 <i>Aeonium arboreum</i>	75.71 ± 2.97 ab	94.20 ± 5.80 a	100.00 ± 0.00 a	71.24 ± 4.74 ab
姬胧月 <i>Graptopetalum paraguayense</i>	88.33 ± 3.33 a	89.84 ± 2.94 a	94.25 ± 5.75 a	74.71 ± 5.29 a

—: 无个体存活 No individual survived. 表中数据表示平均值 ± 标准误,同列数据后不同字母表示存在显著差异($P < 0.05$, 单因素方差分析, Turkey 氏多重比较);表 2 同。Data in the table are means ± SE. Different small letters following the data in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$, one-way ANOVA, Turkey's multiple comparison test). The same for Table 2.

2.1.2 生长发育和繁殖特性:石蒜绵粉蚧在可以完成生命周期的 5 种多肉植物上的生长发育历期、寿命、产卵量及 F_1 代卵孵化率情况如表 2 所示。石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的若虫期为 28.07 ~ 33.04 d,取食熊童子的石蒜绵粉蚧完成若虫期最长,显著高于其他 4 种多肉植物上的若虫期($P < 0.05$),其次是黑法师上的若虫期,石蒜绵粉蚧在曲玉、姬胧月和长生草上的若虫期最短,后三者间差异不显著($P > 0.05$)。取食黑法师、姬胧月与熊童子的石蒜绵粉蚧若虫各龄历期从长到短为:3 龄 > 1 龄 > 2 龄;取食长生草与曲玉的若虫各龄历期从长到短依次为:1 龄 > 2 龄 > 3 龄。

石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的成虫寿命为 32.90 ~38.91 d,其中在姬胧月上的成虫寿命最长,显著高于其他多肉植物上的成虫寿命($P < 0.05$);其次是在长生草上的成虫寿命,显著长于在黑法师上的成虫寿命($P < 0.05$);取食熊童子、曲玉与黑法师的成虫寿命较短,三者差异均未达显著水平($P > 0.05$)。石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上从若虫到成虫的总寿命为 63.00 ~68.66 d,其中在姬胧月上的总寿命最长,显著长于在长生草、黑法师和曲玉的总寿命($P < 0.05$),其次为在熊童子上的总寿命,显著

长于在曲玉上的总寿命($P < 0.05$)。

石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的产卵前期(9.90 ~15.28 d)差异较大,取食姬胧月的石蒜绵粉蚧产卵前期显著长于取食其他 4 种多肉植物,取食长生草、曲玉和黑法师的石蒜绵粉蚧产卵前期较短,并显著短于取食熊童子的产卵前期($P < 0.05$)。石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的产卵期均在 10 d 左右。石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的单雌产卵量为 31.00 ~67.13 粒,其在 5 种多肉上的单雌产卵量从多到少依次为:姬胧月 > 黑法师 > 长生草 > 熊童子 > 曲玉,除熊童子和曲玉上的单雌产卵量无显著差异($P > 0.05$)外,取食其他多肉植物的石蒜绵粉蚧单雌产卵量均存在显著性差异($P < 0.05$)。

石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上所产 F_1 代的卵孵化率为 37.30% ~72.67%,姬胧月和黑法师上的卵孵化率最高,均超过 72%,取食熊童子的石蒜绵粉蚧 F_1 代卵孵化率最低,与姬胧月和黑法师上的 F_1 代卵孵化率存在显著差异($P < 0.05$)。石蒜绵粉蚧在姬胧月和黑法师上的产卵量和 F_1 代卵孵化率均较高,在熊童子和曲玉上的产卵量和 F_1 代卵孵化率均较低(表 2)。

表 2 石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的发育历期、寿命和繁殖力
Table 2 Developmental duration, longevity and fecundity of *Phenacoccus solani* on five succulent plants

寄主植物 Host plants	1 龄若虫历期(d) 1st instar nymphal duration	2 龄若虫历期(d) 2nd instar nymphal duration	3 龄若虫历期(d) 3rd instar nymphal duration	若虫期(d) Nymphal duration	产卵前期(d) Preoviposition period
长生草 <i>Sempervivum tectum</i>	12.93 ± 0.13 a	7.83 ± 0.08 b	7.30 ± 0.10 c	28.07 ± 0.11 c	11.27 ± 0.20 c
黑法师 <i>Aeonium arboreum</i>	11.53 ± 0.09 b	8.33 ± 0.09 b	11.57 ± 0.11 b	31.43 ± 0.09 b	9.90 ± 0.12 c
熊童子 <i>Cotyledon tomentosa</i>	10.78 ± 0.09 bc	10.17 ± 0.10 a	12.09 ± 0.14 a	33.04 ± 0.15 a	14.43 ± 0.14 b
姬胧月 <i>Graptopetalum paraguayense</i>	9.78 ± 0.10 c	8.91 ± 0.09 b	11.06 ± 0.12 b	29.75 ± 0.10 bc	15.28 ± 0.26 a
曲玉 <i>Lithops pseudotruncatella</i>	11.50 ± 0.23 b	10.29 ± 0.22 a	8.00 ± 0.18 c	29.79 ± 0.15 bc	10.71 ± 0.34 c
寄主植物 Host plants	产卵期(d) Oviposition period	成虫寿命(d) Adult longevity	总寿命(d) Total longevity	繁殖力(单雌产卵量) Fecundity (number of eggs laid per female)	F ₁ 代卵孵化率(%) Egg hatching rate of F ₁ generation
长生草 <i>Sempervivum tectum</i>	10.77 ± 0.20 a	36.33 ± 0.47 b	64.40 ± 0.48 bc	55.47 ± 3.62 c	62.17 ± 0.08 ab
黑法师 <i>Aeonium arboreum</i>	10.03 ± 0.21 b	32.90 ± 0.58 c	64.33 ± 0.58 bc	61.97 ± 3.44 b	72.09 ± 0.08 a
熊童子 <i>Cotyledon tomentosa</i>	10.91 ± 0.19 a	34.09 ± 0.57 bc	67.13 ± 0.53 ab	34.09 ± 2.59 d	37.30 ± 0.06 b
姬胧月 <i>Graptopetalum paraguayense</i>	11.09 ± 0.23 a	38.91 ± 0.42 a	68.66 ± 0.43 a	67.13 ± 4.13 a	72.67 ± 0.06 a
曲玉 <i>Lithops pseudotruncatella</i>	9.64 ± 0.29 b	33.21 ± 0.60 bc	63.00 ± 0.58 c	31.00 ± 2.26 d	45.16 ± 0.10 ab

2.2 石蒜绵粉蚧实验种群生命表建立

石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的实验种群生命表参数如表 3 所示。石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的净增殖率(R_0)为 10.9~53.7,其中取食姬胧月的石蒜绵粉蚧 R_0 最高,达到 53.7,增殖最快;在曲玉上 R_0 最低,为 10.85。石蒜绵粉蚧在曲玉上的平均世代周期(T)最短,为 47.7 d,取食其他 4 种多肉植物的石蒜绵粉蚧平均世代周期为 64.8~67.8 d,差距较小。石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的内禀增长率为 0.044~0.059,在黑法师、姬胧月和长生草上的内禀增长率较高,在熊童子上的内禀增长率最低,

为 0.044。石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的周限增长率(λ)为 1.045~1.061,在黑法师和姬胧月上最高 1.061,其次为长生草和曲玉上的,熊童子上的最低,为 1.045。在 5 种多肉植物上的种群加倍时间(DT)为 11.67~15.71 d,取食姬胧月和黑法师的种群加倍时间最短,均小于 12.0 d;其次为取食长生草和曲玉的种群加倍时间,取食熊童子的 DT 最长,达 15.7 d。石蒜绵粉蚧在黑法师和姬胧月上生长发育和繁殖都较适应,个体平均寿命长,种群增长数量多、时间短;其次是在长生草上的种群,取食曲玉和熊童子的石蒜绵粉蚧相对增殖较慢。

表 3 石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的实验种群生命表参数
Table 3 Experimental population life table parameters of *Phenacoccus solani* on five succulent plants

寄主植物 Host plants	净增殖率 Net reproductive rate R_0	平均世代周期(d) Mean generation time T	内禀增长率 Intrinsic rate of increase r_m	周限增长率 Finite rate of increase λ	种群加倍时间(d) Doubling time DT
长生草 <i>Sempervivum tectum</i>	41.6025	64.8245	0.0575	1.0592	12.0523
黑法师 <i>Aeonium arboreum</i>	46.6008	64.6905	0.0594	1.0612	11.6722
熊童子 <i>Cotyledon tomentosa</i>	19.6018	67.4222	0.0441	1.0451	15.7055
姬胧月 <i>Graptopetalum paraguayense</i>	53.7040	67.8361	0.0587	1.0605	11.8038
曲玉 <i>Lithops pseudotruncatella</i>	10.8500	47.6935	0.0500	1.0513	13.8659

2.3 石蒜绵粉蚧在多肉大棚的发生情况

经对浙江省杭州、嘉兴、金华、湖州等地多肉植物栽培大棚的调查,在番杏科、仙人掌科、景天科、马齿苋科和百合科等 5 科 24 属 87 种多肉植物上发现石蒜绵粉蚧,其具体种类和发生情况见表 4。根据石蒜绵粉蚧在不同多肉植物上的发生虫数,将其发生程度分为 4 个等级。石蒜绵粉蚧在番杏科肉锥属的多肉植物上为偶见或轻度发生,在生石花属植物上为轻度或重度发生。在仙人掌科植物中,龙爪球属、金琥属、昙花属、量天尺属、蟹爪兰属等为轻度为害,星球属、仙人掌属、鹿角柱属、仙人球属等为中度发生。在景天科植物中,伽蓝菜、青锁龙、仙女杯、天锦章等属的多肉植物上发生程度为轻度,在银波锦、厚叶草、拟石莲花、长生草等属上中度发生,在莲花掌属和厚叶属上重度发生。在百合科十二卷属和马齿苋科回欢草属的多肉植物上偶见石蒜绵粉蚧。

调查中未发现石蒜绵粉蚧的多肉植物有:王妃雷神 *Agave potatorum*、花叶大福克 *Furcraea gigantea*、虎尾兰 *Sansevieria trifasciata*、丝兰 *Yucca filamentosa* 等龙舌兰科多肉植物,沙漠玫瑰属、棒捶树属、鸡蛋花属等夹竹桃科多肉植物,龟甲龙 *Dioscorea elephantipes* 等薯蓣科多肉植物,膨珊瑚 *Euphorbia onoclada*、绿玉树 *Euphorbia tirucalli* 等大

戟科多肉植物,虎耳断崖 *Sinningia iarae* 等苦苣苔科多肉植物,以及木立芦荟 *Aloe arborescens* 等百合科芦荟属多肉植物。

在生物学研究选用的 7 种多肉植物中,景天科莲花掌属黑法师上的发生虫量最大,平均每株虫数为 36.3 头,属重度发生;景天科长生草属长生草、景天科风车草属姬胧月、番杏科生石花属曲玉上的发生虫量分别为 19.4, 12.9 和 10.6 头,属中等为害,景天科银波锦属熊童子上的发生虫量为 5.6 头,属轻度发生;而百合科十二卷属的姬玉露和马齿苋科回欢草属松锦之吹雪仅在个别植株上偶尔发现,且大多为成虫。田间发生程度与实验种群在存活、生长发育、产卵量和 F_1 代卵孵化率以及生命表参数的结果基本吻合。而且,调查所得的田间密度(Y)的自然对数与实验所得的内禀增长率(r_m)之间有显著的幂函数关系: $\ln(Y) = 705.19(r_m)^{1.9194}$, ($r^2 = 0.8193$, $r = 0.9052$, $n = 5$, $P < 0.05$)。

3 讨论

在本研究中,我们发现石蒜绵粉蚧的死亡主要集中在 1 和 2 龄若虫期,一旦发育到 3 龄若虫,几乎都能存活至成虫并繁殖后代(表 1),可见石蒜绵粉

表 4 浙江石蒜绵粉蚧在不同多肉植物上的发生程度 (2017 – 2019)

Table 4 Occurrence levels of *Phenacoccus solani* on different succulent plants in Zhejiang, eastern China during 2017 – 2019

科 Family	属 Genus	种 Species	发生程度 Occurrence level			
			偶见 Occasional	轻 Mild	中 Moderate	重 Severe
番杏科 Aizoaceae	肉锥属 <i>Conophytum</i>	少将 <i>C. bilobum</i>		√		
		灯泡 <i>C. burgeri</i>		√		
		鸽子蛋 <i>C. calculus</i>	√			
		流水铜壶 <i>C. ectypum</i>	√			
		口笛 <i>C. luiseae</i>		√		
		斑马 <i>C. marginatum</i>		√		
		毛汉尼 <i>C. maughanii</i>		√		
		清姬 <i>C. minimum</i>	√			
		勋章 <i>C. pellucidum</i>		√		
		萤光玉 <i>C. uviforme</i>	√			
		小红嘴 <i>C. vanzylii</i>	√			
	生石花属 <i>Lithops</i>	日轮玉 <i>L. aucampiae</i>			√	
		柘榴玉 <i>L. bromfieldii</i>		√		
		微纹玉 <i>L. fulviceps</i>			√	
		荒玉 <i>L. gracilidelineata</i>			√	
		巴厘玉 <i>L. hallii</i>		√		
		寿丽玉 <i>L. julii</i>		√		
		花纹玉 <i>L. karasmontana</i>		√		
		紫勋 <i>L. lesliei</i>			√	
		露花玉 <i>L. localis</i>			√	
		橄榄玉 <i>L. olivacea</i>		√		
		曲玉 <i>L. pseudotruncatella</i>			√	
		李夫人 <i>L. salicola</i>		√		
		碧琉璃 <i>L. terricolor</i>		√		
		丽典玉 <i>L. verruculosa</i>		√		
		云映玉 <i>L. wernerii</i>			√	
仙人掌科 Cactaceae	星球属 <i>Astrophytum</i>	仙人掌 <i>S. bridgesii</i>			√	
	仙人掌属 <i>Cactaceae</i>	花火仙人掌 <i>O. aciculata</i>			√	
		雪球团扇 <i>O. rhodantha</i> ‘Snowball’			√	
	龙爪球属 <i>Copiapoa</i>	公子丸 <i>C. humilis</i>		√		
	金琥属 <i>Echinocactus</i>	白刺金琥 <i>E. grusonii</i>		√		
	鹿角柱属 <i>Echinocereus</i>	紫翠虾 <i>E. morricalii</i>			√	
	仙人球属 <i>Echinopsis</i>	仙人球 <i>E. tubiflor</i>			√	
	昙花属 <i>Epiphyllum</i>	昙花 <i>E. oxypetalum</i>		√		
	量天尺属 <i>Hylocereus</i>	量天尺 <i>H. undatus</i>		√		
	蟹爪兰属 <i>Schlumbergera</i>	蟹爪兰 <i>Z. truncatus</i>		√		
景天科 Crassulaceae	莲花掌属 <i>Aeonium</i>	黑法师 <i>A. arboreum</i>				√
		法师韶羞 <i>A.</i> ‘Blushing Beauty’				√
		艳日辉 <i>A. decorum</i> f. <i>variegata</i>				√
		万圣节 <i>A.</i> ‘Halloween’				√
	天锦章属 <i>Adromischus</i>	花鹿水泡 <i>A. antidorcatum</i>	√			
		球棒天章 <i>A. cristatus</i>	√			
		圆叶天章 <i>A. subdistichus</i>	√			

续表 4 Table 4 continued

科 Family	属 Genus	种 Species	发生程度 Occurrence level			
			偶见 Occasional	轻 Mild	中 Moderate	重 Severe
景天科 Crassulaceae	银波锦属 <i>Cotyledon</i>	小黏黏 <i>C. eliseae</i>		√		
		福娘 <i>C. orbiculata</i>		√		
		熊童子 <i>C. tomentosa</i>		√		
	青锁龙属 <i>Crassula</i>	火星兔子 <i>C. ausensis</i>	√			
		小天狗 <i>C. herrei</i>	√			
		自由女神 <i>C. perforata</i>	√			
	伽蓝菜属 <i>Crassulaceae</i>	宽叶不死鸟 <i>B. pinnatum</i>	√			
		黑兔耳 <i>K. tomentosa</i>	√			
		福兔耳 <i>K. eriophylla</i>	√			
	仙女杯属 <i>Dudleya</i>	努比吉娜 <i>D. nubigena</i>	√			
		仙女杯雪山 <i>D. pulverulenta</i>	√			
		特氏仙女杯 <i>D. traskiae</i>	√			
	拟石莲花属 <i>Echeveria</i>	弗拉明戈 <i>E. ‘Flamenco’</i>			√	
		群月冠 <i>E. ‘Gungekkan’</i>		√		
		卡罗拉 <i>E. colorata</i>			√	
		赫斯塔 <i>E. ‘Herstal’</i>			√	
		梦露 <i>E. monroe</i>		√		
		摩氏石莲 <i>E. moranii</i>			√	
		蓝石莲 <i>E. peacockii</i>		√		
		红粉佳人 <i>E. ‘Pretty in Pink’</i>		√		
		宝石花 <i>E. spp.</i>		√		
		初吻 <i>E. ‘Suyon’</i>		√		
	风车草属 <i>Graptopetalum</i>	桃蛋 <i>G. amethystinum</i>			√	
		紫乐 <i>G. ‘Purple Delight’</i>			√	
		淡雪 <i>G. ‘Victor Kane’</i>			√	
		姬胧月 <i>G. paraguayense</i>			√	
	厚叶草属 <i>Pachyphytum</i>	糖美人 <i>P. ‘Captain Jessop’</i>		√		
		稻田姬 <i>P. glutinicaule</i>		√		
		婴儿手指 <i>P. rzedowskii</i>		√		
	景天属 <i>Sedum</i>	姬星美人 <i>S. dasyphyllum</i>				√
		红色浆果 <i>S. rubrotinctum</i>				√
		木樨景天 <i>S. suaveolens</i>				√
	长生草属 <i>Sempervivum</i>	蛛丝卷绢 <i>S. arachnoideum</i>		√		
		长生草 <i>S. tectrum</i>			√	
		佛座莲 <i>S. tectorum</i>		√		
百合科 Liliaceae	十二卷属 <i>Haworthia</i>	樱水晶 <i>H. cooperi</i> var. <i>picturata</i>	√			
		姬玉露 <i>H. cooperi</i> var. <i>truncata</i>	√			
		凝脂菊 <i>H. cymbiformis</i>	√			
		琉璃殿 <i>H. limifolia</i>	√			
马齿苋科 Portulacaceae	回欢草属 <i>Anacampseros</i>	茶笠 <i>A. baeseckeii</i>	√			
		银蚕 <i>A. albissima</i>	√			
		蛛丝回欢草 <i>A. filamentosa</i>	√			
		松锦之吹雪 <i>A. telephiastrum</i>	√			
		韧锦 <i>A. quinaria</i>	√			

石蒜绵粉蚧发生程度分为 4 个等级:偶见(极少发现);轻度发生(≤10 头/株);中度发生(11~30 头/株);重度发生(>30 头/株)。Occurrence of *P. solani* is classified as 4 levels: occasional (rarely found), mild (≤10 individuals/plant), moderate (11–30 individuals/plant), and severe (>30 individuals/plant).

蚧在 1 和 2 龄若虫期对寄主植物等生物与非生物环境比较敏感,可能可作为防治的关键时期。吕茂翠等(2013)也发现,扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* 死亡主要在 1 和 2 龄若虫期,Nakahira 等(2006)在研究石蒜绵粉蚧时,认为在特定发育阶段进行防治能更有效地控制粉蚧。虽然石蒜绵粉蚧极易入侵成功,但其本身主动扩散性不强。Gullan 和 Kosztarab (1997)发现,随体重和覆盖的蜡壳的增加,蚧虫的雌成虫活动力会逐渐下降,甚至消失,蚧虫的扩散主要由初孵若虫完成,在石蒜绵粉蚧侵入初期若及时处理可有效控制虫害。与石蒜绵粉蚧同属的木薯绵粉蚧 *P. manihoti*(农业部、国家质量监督检验检疫总局公告,2011)和扶桑绵粉蚧(农业部、国家质量监督检验检疫总局公告,2009)均已被列为我国进境检疫性有害生物,该虫在多肉植物上普遍发生,应加强多肉植物引种的检疫,降低石蒜绵粉蚧的入侵风险,降低其扩散蔓延速度。

在本实验中,石蒜绵粉蚧的死亡率、生长发育和繁殖特性以及实验种群生命表,都表明该虫在黑法师和姬胧月上生长较适宜,在长生草上次之,在熊童子 and 曲玉上生长较不适宜。寄主植物的物理性质、营养物质、生化物质成分等都会影响昆虫的取食、生长发育和繁殖(赵曼等,2011),并且寄主植物还会影响昆虫的分布范围和为害程度(陈红松等,2019)。在我们的研究中发现,25℃下,石蒜绵粉蚧在 5 种多肉植物上的产卵量差异显著,并且显著低于饲养过程中在土豆上的产卵量。前期的研究也发现,石蒜绵粉蚧在相近的温度,不同的寄主条件下,产卵量有所差异,如甜椒上,25℃时该虫平均单雌产卵量可达 347.5 粒(Nakahira and Arakawa, 2006);以莴苣为寄主时,在 26℃下单雌产卵量为 75.59 粒(李思怡等,2018);以土豆为寄主,27℃时产卵量达 244 粒(智伏英等,2018)。昆虫的产卵是一个复杂的行为,在此过程中受到寄主挥发性物质、营养成分、叶片物理结构等多种因素的影响。如:有的植物能产生抑制昆虫产卵的产卵抑制信息素(oviposition-detering pheromone, ODP)(张贺贺等,2015);烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的产卵量与叶片的绒毛密度呈正相关,与维管束深度呈负相关(何菁等,2016);赵新宁等(2012)发现寄主植物叶片中棉酚的含量与扶桑绵粉蚧的产卵量呈负相关,可溶性糖的含量与其繁殖力呈正相关;徐畅等(2019)研究发现寄主叶片中必需氨基酸含量和脂肪酸含量与暗黑鳃金龟 *Holotrichia parallela* 成虫单雌总产卵量显著

正相关;苑伟(2013)发现取食不同的食物会显著影响绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 卵黄原蛋白基因的表达量和卵巢内总卵子量。石蒜绵粉蚧在多肉植物上的差异是否也与上述因素相关,还需要开展相关研究。

石蒜绵粉蚧在不同多肉植物上的 F_1 代卵孵化率也存在显著差异(表 2)。昆虫的产卵及孵化是一个复杂的过程,寄主植物的物理特性、营养条件以及外界的温度等多种因素都会引起其产卵量和卵孵化率的变化,因此为了更好地了解石蒜绵粉蚧在不同寄主植物间产卵量和卵孵化率的差异,还需要对其产卵和卵孵化机制及影响因素进行深入的研究。

石蒜绵粉蚧危害的观赏植物种类繁多(Mazzeo et al., 1999, 2014)。大棚调查发现,其在番杏科、仙人掌科、景天科、马齿苋科和百合科 5 科 24 属的观赏性多肉植物上都有不同程度的发生(表 4),且与实验种群生命表的研究结果(表 3)有较好的一致性。实验种群生命表参数中内禀增长率越高的多肉植物,大棚调查中该植物上的种群密度也越大。这为以实验室研究所得石蒜绵粉蚧在不同寄主上的生长发育情况来推测其在田间发生的程度提供了思路。我们还发现石蒜绵粉蚧在同科植物上发生程度差异大,在同属植物上发生程度相近,这为石蒜绵粉蚧的防治范围提供了一定的参考。观赏植物贸易往来的增加,为其扩散提供了有利的中间寄主。石蒜绵粉蚧个体小,少量的寄主植物就能满足其生存需求,其高繁殖率及其寄主的普遍性和易获得性使其极易在我国定殖,在我国入侵成功的风险较大,对观赏植物及甜椒、土豆等经济作物的潜在危险性较高。高红胜等(2019)发现可通过薄荷和苘麻对烟粉虱的诱集作用控制经济作物辣椒上的烟粉虱。在大棚调查中,有些多肉植物上偶见石蒜绵粉蚧,比如姬玉露和松锦之吹雪,实验种群研究结果表明,姬玉露和松锦之吹雪均是不能支持其发育成可育个体的植物。在扶桑绵粉蚧上的研究发现,只有在植物上发现各个发育阶段的粉蚧,才可定其为寄主(曹婧等,2013)。据国际植物检疫措施标准 ISPM 37 (FAO, 2018),在野外调查中,植物上有实蝇(Tephritidae)并不能确定其为寄主植物。石蒜绵粉蚧的寄主范围及其在不同寄主上的适生性等有待深入研究。

本研究对石蒜绵粉蚧在 7 种多肉植物上的生物学特性和在田间发生情况分别进行了实验观察和调查,明确了 7 种多肉植物对该虫生长繁殖的影响,并对其为害的多肉植物种类进行较为全面的调查和整理,分析了多肉植物对其传播和定殖的作用,对其防

治提供了一定的理论依据。

参考文献 (References)

- Beltrà A, Soto A, 2011. New records of mealybugs (Hemiptera; Pseudococcidae) from Spain. *Phytoparasitica*, 39(4): 385 – 387.
- Ben-Dov Y, 1994. A Systematic Catalogue of the Mealybugs of the World (Insecta: Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae and Putoidae) with Data on Geographical Distribution, Host plants, Biology and Economic Importance. Intercept Limited, Andover, UK. 686 pp.
- Ben-Dov Y, Gottlieb Y, Sando T, 2005. First record of *Phenacoccus parvus* Morrison (Hemiptera: Coccoidea: Pseudococcidae) from the Palaearctic region. *Phytoparasitica*, 33(4): 325 – 326.
- Cao J, Xiao TG, Qin L, Yang ZX, Liu H, 2013. Behavioural responses of *Bemisia tabaci* B-biotype to three host plants and their volatiles. *Crop Res.*, 27(3): 269 – 272. [曹婧, 肖铁光, 秦琳, 杨中侠, 刘慧, 2013. 扶桑绵粉蚧寄主植物种类调查及危害研究. 作物研究, 27(3): 269 – 272]
- Carter W, 1960. *Phenococcus solani* Ferris, a toxicogenic insect. *J. Econ. Entomol. Soc.*, 53(2): 322 – 323.
- Chatzidimitriou E, Simonato M, Watson GW, Martinezsañudo I, Tanaka H, Zhao J, Pellizzari G, 2016. Are *Phenacoccus solani* Ferris and *P. defectus* Ferris (Hemiptera: Pseudococcidae) distinct species? *Zootaxa*, 4093(4): 539 – 551.
- Chen HS, Huang LF, Jiang JJ, Zhou ZS, Wang WL, Meng X, Yang L, 2019. Host selection behavior of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley and its correlation with the contents of biochemical substances in host leaves. *J. South. Agric.*, 50(4): 768 – 774. [陈红松, 黄立飞, 姜建军, 周忠实, 王伟兰, 孟醒, 杨朗, 2019. 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. 南方农业学报, 50(4): 768 – 774]
- Chen SP, Chen CN, Wong CY, 2002. A new pest of Taiwan: *Phenacoccus solani* Ferris (Homoptera: Pseudococcidae). *China Agric. Res.*, 51(2): 79 – 82. [陈淑佩, 陈秋男, 翁振宇, 2002. 台湾新记录害蟲-石蒜綿粉介殼蟲 (*Phenacoccus solani* Ferris) (Homoptera: Pseudococcidae). 中華農業研究, 51(2): 79 – 82]
- Culik MP, Gullan PJ, 2005. A new pest of tomato and other records of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) from Espirito Santo, Brazil. *Zootaxa*, 964(1): 1 – 8.
- Dewar Y, Abdel-Fattah RS, Schneider SA, 2018. Molecular and morphological identification of the mealybug, *Phenacoccus solani* Ferris (Hemiptera: Pseudococcidae): first report in Egypt. *EPPO Bull.*, 48(1): 155 – 159.
- FAO, 2018. ISPM 37 Determination of host status of fruit to fruit flies (Tephritidae). Available on the International Phytosanitary Portal (IPP) at <https://www.ippc.int/coreactivities/standards-setting/ispm>.
- Ferris GF, 1918. The California Species of Mealybugs. Leland Stanford, Junior University Publications, California. 1 – 78.
- Gao HS, Han DB, Zhou FC, Shi YY, Zhang XN, Wu YH, 2019. Control effects of intercropping trapping host plants among peppers on *Bemisia tabaci*. *J. Changjiang Veg.*, (12): 73 – 76. [高红胜, 韩杜斌, 周福才, 石英跃, 张心宁, 鄢亚红, 2019. 间作嗜好植物对辣椒烟粉虱的控制作用. 长江蔬菜, (12): 73 – 76]
- Gautam RD, Saxena U, Gautam S, Khan MA, Gautam CPN, 2007. Studies on *Solanum* mealy bug, *Phenacoccus solani* Ferris (Hemiptera: Pseudococcidae) its parasitoids and predator complex, reproductive potential and utilization as laboratory prey for rearing the ladybird and green lacewing predators. *J. Entomol. Res.*, 31(3): 259 – 264.
- Ge F, 2008. Principles and Methods of Insect Ecology. Higher Education Press, Beijing. 203 – 211. [戈峰, 2008. 昆虫生态学原理与方法. 北京: 高等教育出版社. 203 – 211]
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People’s Republic of China, 2015. About the warning notice against *Phenacoccus solani* Ferris of succulent plants sent by mail. Available at: http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk13386/ywxx/dzwjy/201511/t20151130_455183.htm. [国家质量监督检验检疫总局, 2015. 关于严防石蒜绵粉蚧随邮寄的多肉植物非法进境的警示通报. http://www.aqsiq.gov.cn/xxgk_13386/ywxx/dzwjy/201511/t20151130_455183.htm]
- Germain JF, Devarieux A, Laplace D, Matile-Ferrero D, 2016. An updated checklist of the scale insects from French Guiana (French overseas department in South America). *EPPO Bull.*, 46: 588 – 593.
- Gullan PJ, Kosztarab M, 1997. The adaptations in scale insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 42: 23 – 50.
- Guzmán-Kantún S, Espinosa-Carrillo LO, Campos-Figueroa M, Domínguez-Monge S, 2017. Reporte Nuevo de *Phenacoccus solani* Ferris sobre *Cyperus esculentus* L. en el Valle de México. *Southwest. Entomol.*, 42(1): 305 – 308.
- He J, Zhou FC, Chen XH, Su HH, Yang AM, Heng S, 2016. Effects of physical characteristics of pepper leaves on host selection of *Bemisia tabaci*. *Chin. J. Ecol.*, 35(11): 3045 – 3050. [何菁, 周福才, 陈学好, 苏宏华, 杨爱民, 衡森, 2016. 辣椒叶片物理性状对烟粉虱寄主选择的影响. 生态学杂志, 35(11): 3045 – 3050]
- Huang F, Zhang WJ, Zhang JC, Wu ZY, 2019. Prediction of potential distribution of *Phenacoccus solani* in China by BIOCLIM model. *Acta Agric. Zhejiang.*, 31(8): 1331 – 1336. [黄芳, 张文俊, 张建成, 吴志毅, 2019. 基于 BIOCLIM 模型的石蒜绵粉蚧在中国的适生区分析. 浙江农业学报, 31(8): 1331 – 1336]
- Kaydan MB, Erkiş L, Kozar F, 2008. First record of *Phenacoccus solani* Ferris from Turkey (Hem., Coccoidea, Pseudococcidae). *Bull. Soc. Eentomol. Fr.*, 113(3): 364.
- Li SY, Wang JR, Lai QL, Zhang SJ, Shao WD, Xu ZH, 2018. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of *Phenacoccus solani* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Acta Entomol. Sin.*, 61(10): 1170 – 1176. [李思怡, 王吉锐, 赖秋利, 张胜娟, 邵炜冬, 徐志宏, 2018. 温度对石蒜绵粉蚧生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 61(10): 1170 – 1176]
- Lü MC, Ruan YM, Wang YY, Lin LM, Zhang JP, Chen CC, Lin YX, 2013. Effects of different host plants on the development and reproduction of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. *J. Zhejiang Normal*

- Univ. (Nat. Sci.)*, 36(2): 213–216. [吕茂翠, 阮永明, 王媛媛, 林乐敏, 张吉萍, 陈崇崇, 林遥雪, 2013. 寄主植物对扶桑绵粉蚧生长发育和繁殖的影响. 浙江师范大学学报(自然科学版), 36(2): 213–216]
- Mazzeo G, Longo S, Pellizzari G, Porcelli F, Suma P, Russo A, 2014. Exotic scale insects (Coccoidea) on ornamental plants in Italy: a never-ending story. *Acta Zool. Bulg.*, Suppl. 6: 55–61.
- Mazzeo G, Russo A, Suma P, 1999. *Phenacoccus solani* Ferris (Homoptera Coccoidea) on ornamental plants in Italy. *Boll. Zool. Agr. Bachic.*, 31(1): 31–35.
- Mckenzie HL, 1967. Mealybugs of California, with Taxonomy, Biology, and Control of North American Species (Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae). UC Berkeley, Berkeley. 526 pp.
- Ministry of Agriculture and General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2009. Notice No. 1147. Available at: http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGSL/201006/t20100606_1534246.htm. [国家质量监督检验检疫总局农业部, 2009. 第1147号公告. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGSL/201006/t20100606_1534246.htm]
- Ministry of Agriculture and General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, 2011. Notice No. 1600. Available at: http://www.moa.gov.cn/nybg/2011/dqq/201805/t20180522_6142774.htm. [国家质量监督检验检疫总局农业部, 2011. 第1600号公告. http://www.moa.gov.cn/nybg/2011/dqq/201805/t20180522_6142774.htm]
- Nakahira K, Arakawa R, 2006. Development and reproduction of an exotic pest mealybug, *Phenacoccus solani* (Homoptera: Pseudococcidae) at three constant temperatures. *Appl. Entomol. Zool.*, 41(4): 573–575.
- Wang SS, Wu SA, 2009. A new pest of China: *Phenacoccus solani* Ferris (Homoptera: Pseudococcidae). *Plant Quar.*, 23(4): 35–37. [王珊珊, 武三安, 2009. 中国大陆新纪录种: 石蒜绵粉蚧 (*Phenacoccus solani* Ferris). 植物检疫, 23(4): 35–37]
- Williams DJ, 2004. Mealybugs of Southern Asia. The Natural History Museum, Southdene, Kuala Lumpur. 896 pp.
- Williams DJ, Blair BW, Khasimuddin S, 1985. *Phenacoccus solani* Ferris infesting tobacco in Zimbabwe (Homoptera, Coccoidea, Pseudococcidae). *Entomol. Gaze*, 121(1448/1451): 87–88.
- Xu C, Wang Z, Zhu XL, Lu XJ, Zhao D, Qi GH, Guo W, Li RJ, 2019. Analysis of nutritional components in plant leaves affecting the feeding, longevity and fecundity of *Holotrichia parallela* (Coleoptera: Scarabaeoidea) adults. *Acta Entomol. Sin.*, 62(10): 1205–1211. [徐畅, 王哲, 朱秀蕾, 陆秀君, 赵丹, 齐国辉, 郭巍, 李瑞军, 2019. 影响暗黑鳃金龟成虫取食、寿命及生殖力的植物叶片营养成分分析. 昆虫学报, 62(10): 1205–1211]
- Yuan W, 2013. Effects of Diet and Mating Status on Ovarian Development in an Omnivorous Bug *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae). MSc Thesis, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing. 21–49. [苑伟, 2013. 食物和交配对绿盲蝽卵巢发育影响的研究. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文. 21–49]
- Zhang HH, Chen JH, Ji QE, Luo MJ, 2015. Overview in the study and application of the influencing factors on oviposition behavior of insects. *J. Environ. Entomol.*, 37(2): 432–440. [张贺贺, 陈家骅, 季清娥, 骆米娟, 2015. 影响昆虫产卵行为的因素及其应用研究概述. 环境昆虫学报, 37(2): 432–440]
- Zhao M, Ji JC, Guo XR, Yan FM, 2011. Advance in the studies on the resistance mechanism of piercing-sucking insects on host plants. *Entomol. Res. Central China*, 7(1): 171–175. [赵曼, 姬继超, 郭线茹, 闫凤鸣, 2011. 寄主植物对刺吸式昆虫的抗性机制研究进展. 华中昆虫研究, 7(1): 171–175]
- Zhao XN, Cui XH, Chen L, Huang WF, Zheng D, Shang HW, 2012. Ontogenesis and adaptability of mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera, Coccoidea, Pseudococcidae) on different varieties of cotton. *Cotton Sci.*, 24(6): 496–502. [赵新宁, 崔旭红, 陈玲, 黄伟峰, 郑丹, 商晗武, 2012. 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. 棉花学报, 24(6): 496–502]
- Zheng SZ, Gao Y, Fan XH, 2015. Invasion risk analysis of *Phenacoccus solani* Ferris in China. *China Plant Prot.*, 35(4): 75–77. [郑斯竹, 高渊, 樊新华, 2015. 石蒜绵粉蚧传入我国风险分析. 中国植保导刊, 35(4): 75–77]
- Zhi FY, Huang F, Huang J, Li WD, Lu YB, 2018. Biological characteristics of the solanum mealybug, *Phenacoccus solani* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Acta Entomol. Sin.*, 61(7): 871–876. [智伏英, 黄芳, 黄俊, 酆卫弟, 吕要斌, 2018. 石蒜绵粉蚧生物学特性. 昆虫学报, 61(7): 871–876]

(责任编辑: 赵利辉)