温度对广重粉蛉生长发育和繁殖的影响*

梁建锋[1**] 韩阅叶[2] 张龙杰[3] 关月姗[1] 王兴民[1, 4***]

（1. 广东省生物农药创制与应用重点实验室，华南农业大学植物保护学院昆虫学系，广州 510642；
2. 中华人民共和国淮安海关，淮安 223001；3. 湖南省怀化市农业综合服务中心，怀化 418000；
4. 岭南现代农业科学与技术广东省实验室茂名分中心，茂名 525099）

摘 要 **【目的】** 明确温度对广重粉蛉 *Semidalis aleyrodiformis* 生长发育和繁殖的影响，为天敌昆虫广重粉蛉在生物防治领域的开发和利用提供理论依据。**【方法】** 在不同恒定温度条件下，测定广重粉蛉的发育历期和存活率，并构建实验种群生命表。**【结果】** 随着温度的上升，广重粉蛉幼虫各阶段的发育历期逐步缩短。在 26 ℃，成虫前期存活率最高，达 85.00%，高温和低温均降低幼虫存活率；广重粉蛉成虫寿命和产卵量随温度的上升而下降，在 23 ℃时产卵量最高（445.00 粒），且与 26 ℃无显著差异。在 26 ℃下，广重粉蛉实验种群的净增值力 R_0、内禀增长率 r_m 和周限增长率 λ 均达到最大值。**【结论】** 广重粉蛉对温度的适应范围在 23-29 ℃，最佳温度为 26 ℃，在我国南方有很好的生物防治应用前景。

关键词 广重粉蛉；烟粉虱；温度；发育历期；生命表；生物防治

Effects of temperature on the development and reproduction of *Semidalis aleyrodiformis* (Neuroptera: Coniopterygidae)

LIANG Jian-Feng[1**] HAN Yue-Ye[2] ZHANG Long-Jie[3]
GUAN Yue-Shan[1] WANG Xing-Min[1, 4***]

(1. Key Laboratory of Bio-Pesticide Innovation and Application, College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Huai An Customs District P. R. China, Huai'an 223001, China;
3. Agricultural Integrated Service Center of Huaihua, Huaihua 418000, China;
4. Maoming Branch, Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Maoming 525099, China)

Abstract **[Objectives]** To provide baseline information on the effects of temperature on the development and reproduction of *Semidalis aleyrodiformis* in order to facilitate the application of this species as a biological control agent. **[Methods]** Developmental duration and survival rate were measured under different temperature regimes and a life table constructed. **[Results]** The developmental duration of each larval stage decreased with increasing temperature. The survival rate of adults was highest at 26 ℃, whereas that rate of larvae decreased at both high and low temperatures. The longevity and oviposition period of adults decreased with increasing temperature. The highest fecundity (445.00 eggs) was observed at 23 ℃, and was not significantly different to that observed at 26 ℃. The maximum net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r_m) and finite rate of increase (λ), were highest at 26 ℃. **[Conclusion]** *S. aleyrodiformis* can breed and develop at temperatures within the range of 23 ℃ to 29 ℃ but the optimal temperature is 26 ℃. This suggests that this species has potential as a biological control agent in Southern China.

Key words *Semidalis aleyrodiformis; Bemisia tabaci; temperature*; developmental duration; life table; biological contro

烟粉虱 *Bemisia tabaci*（Gennadius）是一种 世界性害虫，危害寄主植物超过 600 种（Oliveira

*资助项目 Supported projects：中国烟草总公司重大科技项目（110202101053（LS-13））；云南省烟草公司科技计划项目(2021530000242035，2021530000242001)

**第一作者 First author，E-mail：liangjf628@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：wangxmcn@scau.edu.cn

收稿日期 Received：2021-02-03；接受日期 Accepted：2021-06-23

et al.，2001）。烟粉虱若虫和成虫通过吮吸植物汁液并分泌蜜露引发煤污病，导致叶片变黑并抑制植物光合作用（Byrne and Bellows，1991）。此外，烟粉虱还能传播多种病毒（Hogenhout *et al.*，2008；Tiwari *et al.*，2013）。目前防治烟粉虱主要依赖化学农药，由于抗药性的迅速发展，传统杀虫剂难以有效控制烟粉虱（Palumbo *et al.*，2001；Dângelo *et al.*，2018；Wang *et al.*，2019），因此寻求替代化学农药控制烟粉虱的方法越来越重要，而生物防治是一种非常有效的害虫防治方法（Jonsson *et al.*，2017）。

粉蛉类天敌昆虫主要以粉虱、蚜虫、介壳虫和叶螨为食（Meinander，1972）。广重粉蛉 *Semidalis aleyrodiformis*（Stephens）是欧洲和亚洲果园中常见的天敌昆虫（Stelzl and Devetak，1999），能捕食各虫态的烟粉虱，具有广阔的应用前景（罗小龙等，2020）。然而尚未有关于温度对广重粉蛉影响的相关报道。温度作为昆虫生物变化中最重要的非生物因素，温度的变化对天敌的各项生物学特性影响巨大。为了探讨温度对广重粉蛉实验种群的影响，本文测定了广重粉蛉在不同温度下的生长发育和繁殖情况，为广重粉蛉扩繁和应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

广重粉蛉和烟粉虱均采自华南农业大学扶桑 *Hibiscus rosa-sinensis* 绿化带，继代保存于生物防治教育部工程研究中心网室内。

1.2　温度对广重粉蛉幼虫的发育历期和存活率的影响

将广重粉蛉成虫接入寄主为扶桑的烟粉虱养虫笼（60 cm×60 cm×60 cm）中产卵 24 h 后，将含有广重粉蛉卵的扶桑叶片置于垫有保湿滤纸的培养皿（φ=9 cm，h=1.5 cm）中。每个培养皿装 50 粒广重粉蛉卵后转移到温度为（17±1）、（20±1）、（23±1）、（26±1）、（29±1）、（32±1）和（35±1）℃的人工气候箱中（光周期 L：D=14：10，RH=75%±5%）。每组 3 个重复，每隔 12 h 记录广重粉蛉卵孵化情况，用软毛刷将初孵幼虫转移到的试管（φ=1 cm，h=7.5 cm）中，每管 1 头幼虫，以扶桑上烟粉虱若虫为食料，每天更换新鲜食料，每隔 12 h 观察 1 次幼虫的发育时间和存活情况，直至成虫羽化。

1.3　温度对广重粉蛉成虫的寿命和繁殖力的影响

将初羽化的广重粉蛉成虫雌雄配对后放入试管（φ=1.5 cm，h=12 cm）中，并转移到温度为（17±1）、（20±1）、（23±1）、（26±1）和（29±1）℃的人工气候箱中（光周期 L：D=14：10，RH=75%±5%），每个温度处理 10 对粉蛉成虫。每天更换新鲜食料，并逐日观察记录成虫的产卵及死亡情况，直至粉蛉全部死亡。

1.4　数据处理

试验数据使用 SPSS 21.0 的 ANOVA 方差分析不同温度下广重粉蛉发育和繁殖的数据，并进行 Tukey's 显著性差异检验（P=0.05）。

根据广重粉蛉实验种群的的特性年龄 x、存活率 l_x 和单雌逐日产雌数 m_x，根据 Birch（1948）的方法，建立了广重粉蛉不同温度下的生命表。各实验种群的生命表参数按以下公式计算：净增殖率 $R_0=\sum l_x m_x$、内禀增长率 $r_m=\frac{InR_0}{T}$、种群平均世代历期 $T=\frac{\sum x l_x m_x}{\sum l_x m_x}$、周限增长率 $\lambda=e^{r_m}$。

2　结果与分析

2.1　温度对广重粉蛉的发育历期和存活率的影响

不同温度下广重粉蛉幼虫各阶段的发育历期见表 1。广重粉蛉卵、幼虫和蛹的发育历期随处理温度的升高而缩短（P<0.05）。在 17、20、23、26、29、32 和 35℃的恒温条件下，广重粉蛉从卵到成虫的发育时间分别为 56.46、43.52、28.73、25.23、21.30 和 21.13 d，其中 29 ℃和 32 ℃处理下各阶段发育历期无显著差异（P>0.05）。不同温度下广重粉蛉幼虫各阶段的存活率见表 2。温度上升或下降都会显著降低广

重粉蛉的存活率（P<0.05），在 26 ℃处理下广重粉蛉的成虫前期存活率最高，为 85.00%；在 23 ℃和 29 ℃处理下，成虫获得率为 68.00%和 73.00%，差异不显著（P>0.05）；在 32 ℃下，成虫获得率仅有 6.67%；广重粉蛉卵在 35 ℃条件下无法孵化。

表 1 不同温度下广重粉蛉各虫态的发育历期（d）

Table 1 Developmental duration of *Semidalis aleyrodiformis* at different temperatures

温度（℃） Temperature	发育阶段 Development states						
	卵 Egg	1 龄 First instar	2 龄 Second instar	3 龄 Third instar	4 龄 Fourth instar	蛹 Pupa	成虫前期 Preadults
17	16.74±0.05a	6.13±0.12a	4.55±0.23a	3.81±0.18a	4.34±0.26a	20.88±0.05a	56.46±0.20a
20	12.95±0.04b	3.62±0.10b	3.11±0.11b	3.31±0.09a	3.00±0.05b	17.53±0.12b	43.52±0.09b
23	9.34±0.21c	2.25±0.05c	1.90±0.07c	2.19±0.07b	2.08±0.23bc	10.97±0.07c	28.73±0.04c
26	7.95±0.09d	1.92±0.01cd	1.80±0.15c	2.06±0.13bc	1.85±0.11c	9.66±0.08d	25.23±0.12d
29	6.94±0.02e	1.78±0.02d	1.53±0.05c	1.57±0.10c	1.89±0.12c	7.58±0.06e	21.30±0.06e
32	6.66±0.24e	1.72±0.07d	1.56±0.19c	1.56±0.06c	1.57±0.35c	7.75±0.63e	21.13±0.86e
35	—	—	—	—	—	—	—

表中数据为平均数±标准误，同一列数据后标有不同字母表示差异显著（P<0.05，Tukey's 检验）。在 35 ℃条件下广重粉蛉各虫态无法存活，—表示无法得到相应数据。下表同。

Data in the table are mean ± SE, and followed by difference letters in a column indicate significant differences at the 0.05 level by Tukey's test. None of each state of *S. aleyrodiformis* survived at 35 ℃, — indicates no data obtained. The same beolow.

表 2 不同温度下广重粉蛉各虫态的存活率（%）

Table 2 Survival rate of *Semidalis aleyrodiformis* at different temperatures

温度（℃） Temperature	存活率 Survival rate						
	卵 Egg	1 龄 First instar	2 龄 Second instar	3 龄 Third instar	4 龄 Fourth instar	蛹 Pupa	成虫前期 Preadults
17	62.00±2.08c	72.19±2.39b	89.66±3.52a	92.43 ±1.64a	95.45±0.98a	95.21±1.07a	33.67±1.86d
20	82.33±1.20b	89.87±3.30a	90.48±1.52a	93.55±0.16a	89.95±5.87a	96.36±1.88a	54.00±2.08c
23	83.00±0.58b	89.17±1.32a	98.20±0.45a	99.09±0.46a	96.74±1.25a	97.62±0.44a	68.00±1.16b
26	92.67±1.33a	95.00±1.85a	98.48±0.38a	98.45±0.40a	100.00±0.00a	99.60±0.40a	85.00±1.73a
29	80.00±1.16b	96.26±0.70a	97.82±0.46a	98.67±0.02a	99.09±0.46a	99.10±0.45a	73.00±1.53b
32	45.00±2.89d	54.13±6.74c	73.79±2.34b	72.11±4.60b	68.80±8.52b	76.77±6.07b	6.67±0.88e
35	0.00±0.00e	—	—	—	—	—	—

2.2 温度对广重粉蛉成虫的寿命和繁殖力的影响

不同温度处理下广重粉蛉成虫的寿命和繁殖力见表 3。在 17-29 ℃条件下，随着温度的升高，成虫的寿命、产卵前期和产卵期均呈下降趋势。广重粉蛉雌虫在 23 ℃处理下产卵量最高，为 445.00 粒，与 26 ℃处理（414.30 粒）无显著差异（P>0.05）；在 29 ℃条件下，雌虫产卵显著降低（P<0.05），仅产 92.80 粒。

从广重粉蛉雌虫的逐日存活率和逐日平均产卵量（图 1）可以看出，在不同温度下广重粉蛉雌虫具有相似的产卵特性，日产卵量在产卵期开始后快速达到峰值，并随着日龄增长缓慢下降。不同温度下成虫羽化后存活率较高，在 29 ℃下成虫在第 15 天存活率迅速降低，而在 17 ℃基本存活至第 52 天才出现死亡。

表 3　温度对广重粉蛉的寿命和繁殖力的影响

Table 3　Longevity and fecundity (mean±SE) of *Semidalis aleyrodiformis* adults at different temperatures

温度（℃）Temperature	生物学参数 Ecological parameters				
	雌虫寿命（d）Female longevity	产卵前期（d）Preoviposition period	产卵期（d）Oviposition period	单雌产卵量（粒）Eggs laid per female	雄虫寿（d）Male longevity
17	67.40±5.52a	10.50±0.83a	54.00±6.29a	155.00±37.45bc	47.50±4.70a
20	57.00±4.00a	7.20±0.73b	49.80±4.32ab	278.20±43.16b	42.90±4.55a
23	56.70±3.99a	3.40±0.31c	53.00±4.08a	445.00±45.81a	41.20±4.51a
26	43.30±3.35b	3.60±0.31c	39.50±3.66b	414.30±62.47a	42.50±2.28a
29	26.10±1.77c	3.60±0.31c	19.10±1.19c	92.80±10.82c	22.30±2.65b

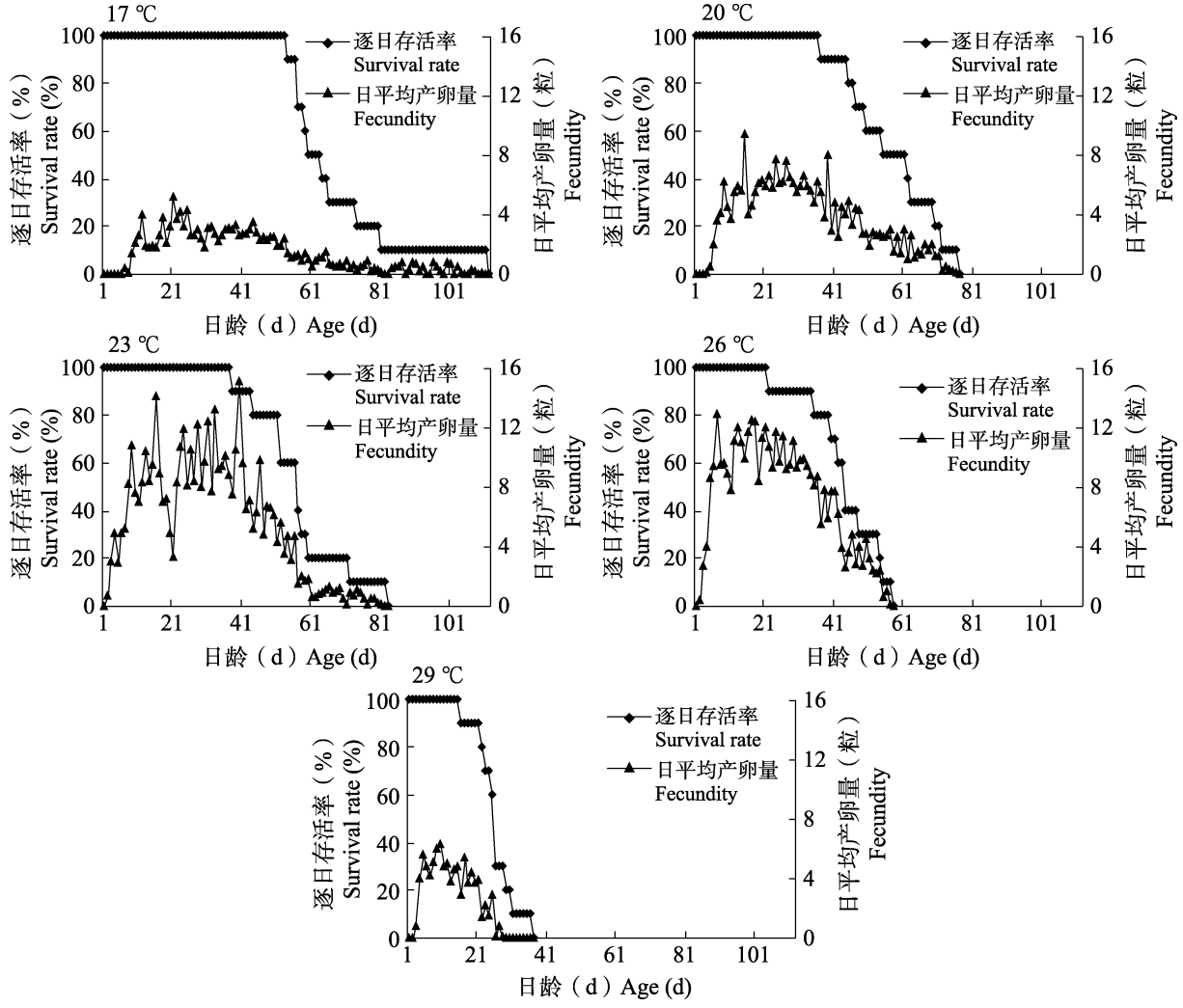

图 1　不同温度处理下广重粉蛉雌虫的逐日存活率和日平均产卵量

Fig. 1　Survival rate and fecundity of *Semidalis aleyrodiformis* female under different temperature treatments

2.3　不同温度下广重粉蛉的种群生命表参数

在 5 个恒定温度下构建的广重粉蛉生殖力表参数见表 4。广重粉蛉的净生殖力 R_0 在 26 ℃下最大，为 147.869 9，其次是 23 ℃（140.653 6），17 ℃（27.17）最低。随着温度的升高，平均世代历期 T 逐渐降低，17 ℃条件下 T 值约为 29 ℃的 2.6 倍。内禀增长率 r_m 和周限增长率 λ 在 26 ℃时最高（0.101 6 和 1.107 0），其次是 29 ℃（0.096 8 和 1.100 7），最低为 17 ℃（0.035 7 和 1.036 4）。

表 4 不同温度下广重粉蛉种群生命表参数

Table 4 Life table parameters of *Semidalis aleyrodiformis* at different temperatures

温度（℃） Temperature	净增殖力（R_0） Net reproductive rate	平均世代历期（T） Generation time	内禀增长率（r_m） Intrinsic rate of increase	周限增长率（λ） Finite rate of increase
17	27.174 8	92.425 1	0.035 7	1.036 4
20	82.781 8	74.782 7	0.059 1	1.060 8
23	140.653 6	58.029 8	0.085 2	1.089 0
26	147.869 9	49.153 4	0.101 6	1.107 0
29	31.374 0	34.595 9	0.096 8	1.100 7

3 讨论

环境温度的变化直接导致昆虫体温和代谢能力的变化（Powell and Logan，2005）。广重粉蛉在 17-29 ℃均可完成世代发育，各虫态的发育历期随温度的升高而缩短。同是捕食性天敌的二星瓢虫 *Adalia bipunctata* 和普通草蛉 *Chrysoperla carnea* 在一定温度范围内表现出同样的变化，发育速度随着温度的升高而加快（Jalali *et al.*，2009；Nadeem *et al.*，2012）。在 29 ℃和 32 ℃处理下，尽管广重粉蛉的发育历期无显著差异，但 32 ℃处理下成虫前期存活率仅有 6.67%，而 29 ℃处理下成虫前期存活率为 73.00%。Briere 等（1999）认为昆虫处于最适温度以上的环境，存活率将迅速下降。低温和高温都不利于广重粉蛉幼虫的存活，特别是相对脆弱的卵和 1 龄幼虫。笔者通过试验发现广重粉蛉卵在 35 ℃无法孵化。新孵化的幼虫对环境的适应性较差，对不利其生长发育的因素更敏感（Auad *et al.*，2014）。从成虫前期存活率来看，广重粉蛉幼虫期发育的适宜温度为 23-29 ℃，最佳温度为 26 ℃。

在 17-29 ℃的温度范围内，随着温度的升高，广重粉蛉成虫的寿命、产卵前期和产卵期均呈下降趋势。在相同温度下雌虫寿命比雄虫长，特别是在 17 ℃时相差近 19.9 d。扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* 和黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* 的雌雄寿命差异也随着温度的下降而增大（Cao *et al.*，2018；Waqas *et al.*，2020）。温度的变化对昆虫产卵量影响很大，高温和低温环境都会降低广重粉蛉雌虫的产卵量，尤其是高温环境，29 ℃处理下单雌产卵量仅为 92.8 粒。生殖力的降低可能是低温时性腺发育不能发育成熟，而高温影响卵巢结构和胚胎发育（Dâumal and Boinel，1994；刘键柏等，2021）。

生命表参数是昆虫种群发展和动态的重要指标（Razmjou *et al.*，2006）。广重粉蛉种群的 r_m 和 R_0 在 26 ℃条件下最大，其次是 23 ℃条件下。因此，广重粉蛉种群发育的最适温度为 23-26 ℃。Xie 等（2011）报道烟粉虱种群数量在 24 ℃以上迅速增长。广重粉蛉与烟粉虱具有相同的适宜温度，是控制烟粉虱的潜力天敌。

综上所述，广重粉蛉发育繁殖的适宜温度范围为 23-29 ℃，最适温度为 26 ℃，对温度的适应范围较广，适合作为我国南方地区的天敌昆虫进行开发利用。本实验是在实验室内不同的恒定温度下进行的，然而野外的温度、光照、猎物和其它因素的动态变化也会对昆虫种群产生影响（Jalali *et al.*，2009；匡先钜等，2016；武德功等，2018；Ferreira *et al.*，2020；Waqas *et al.*，2020），这些因素的动态变化对广重粉蛉的种群发育繁殖的影响值得进一步研究。

参考文献 (References)

Auad AM, Santos JC, Fonseca MG, 2014. Effects of temperature on development and survival of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) fed on *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae). *Florida Entomologist*, 97(4): 1353–1363.

Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *Journal of Animal Ecology*, 17(1): 15–26.

Briere JF, Pracros P, Roux AYL, Pierre JS, 1999. A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environmental Entomology*, 28(1): 22–29.

Byrne DN, Bellows JTS, 1991. Whitefly biology. *Annual Review of Entomology*, 36: 431–457.

Cao Y, Li C, Yang WJ, Meng YL, Wang LJ, Shang BZ, Gao YL, 2018. Effects of temperature on the development and reproduction of *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(2): 755–760.

Dângelo RAC, Michereff-Filho M, Campos MR, Silva PSD, Guedes RNC, 2018. Insecticide resistance and control failure likelihood of the whitefly *Bemisia tabaci* (MEAM1; B biotype): A Neotropical scenario. *Annals of Applied Biology*, 172(1): 88–99.

Dâumal J, Boinel H, 1994. Variability in fecundity and plasticity of oviposition behavior in *Anagasta kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 87(2): 250–256.

Ferreira LF, Silva-Torres CSA, Venette RC, Torres JB, 2020. Temperature and prey assessment on the performance of the mealybug predator *Tenuisvalvae notata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Austral Entomology*, 59(1): 178–188.

Hogenhout SA, Ammar ED, Whitfield AE, Redinbaugh MG, 2008. Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. *Annual Review of Phytopathology*, 46: 327–359.

Jalali MA, Tirry L, Clercq PD, 2009. Effects of food and temperature on development, fecundity and life-table parameters of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Applied Entomology*, 133(8): 615–625.

Jonsson M, Kaartine R, Straub CS, 2017. Relationships between natural enemy diversity and biological control. *Current Opinion in Insect Science*, 20: 1–6.

Kuang XJ, Ge F, Xue FS, 2016. Influence of environment factors and individual differences to female fecundity in insect. *Journal of Environmental Entomology*, 38(6): 1275–1281. [匡先钜, 戈峰, 薛芳森, 2016. 环境因素和个体差异对雌虫产卵量的影响. 环境昆虫学报, 38(6): 1275–1281.]

Liu JB, Zhao T, Zhao PY, Wang FH, Li GH, 2021. Effects of different temperatures on the fecundity and vitellogenesis of Guangzhou population of *Musca domestica* adult. *Biotic Resources*, 43(2): 166–171. [刘键柏, 赵甜, 赵培雅, 王方海, 李广宏, 2021. 温度对家蝇广州种群成虫繁殖力及卵黄蛋白发生的影响. 生物资源, 43(2): 166–171.]

Luo XL, Han YY, Liang JF, Zhou Zhen, Wang XM, 2020. Predation of *Semidalis aleyrodiformis* (Stephens) on *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(2): 176–182. [罗小龙, 韩阅叶, 梁建锋, 周镇, 王兴民, 2020. 广重粉蛉对烟粉虱的捕食作用研究. 应用昆虫学报, 57(2): 176–182.]

Meinander M, 1972. A revision of the family Coniopterygidae (Planipennia). *Acta Zoologica Fennica*, 136: 1–357.

Nadeem S, Hamed M, Nadeem MK, Hasnain M, Ashfaq M, 2012. Comparative study of developmental and reproductive characteristics of *Chrysoperla carnea* (stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) at different rearing temperatures. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(2): 399–402.

Oliveira MRV, Henneberry TJ, Anderson P, 2001. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection*, 20(9): 709–723.

Palumbo JC, Horowitz AR, Prabhaker N, 2001. Insecticidal control and resistance management for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection*, 20(9): 739–765.

Powell JA, Logan JA, 2005. Insect seasonality: Circle map analysis of temperature-driven life cycles. *Theoretical Population Biology*, 67(3): 161–179.

Razmjou J, Moharramipour S, Fathipour Y, Mirhoseini SZ, 2006. Effect of cotton cultivar on performance of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) in Iran. *Journal of Economic Entomology*, 99(5): 1820–1825.

Stelzl M, Devetak D, 1999. Neuroptera in agricultural ecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 74(1): 305–321.

Tiwari SP, Nema S, Khare MN, 2013. Whitefly-a strong transporter of plant viruses. *International Journal of Phytopathology*, 2(2): 102–120.

Wang F, Liu J, Chen P, Li HY, Ma JJ, Liu YJ, Wang K, 2019. *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) insecticide resistance in Shandong province, China. *Journal of Economic Entomology*, 113(2): 911–917.

Waqas MS, Lin LL, Shoaib AAZ, Cheng XL, Zhang QQ, Elabasy ASS, Shi ZH, 2020. Effect of constant and fluctuating temperature on the development, reproduction, survival, and sex ratio of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Environmental Entomology*, 49(3): 553–560.

Wu DG, Zhan QW, Huang BH, Wang ZX, Huang WD, Bi YA, Liu CZ, Du JL, 2018. Effects of photoperiod on the population parameters of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 61(4): 511–518. [武德功, 詹秋文, 黄保宏, 王增霞, 黄伟东, 毕亚玲, 刘长仲, 杜军利, 2018. 不同光周期对高粱蚜种群参数的影响. 昆虫学报, 61(4): 511–518.]

Xie M, Wan FH, Chen YH, Wu G, 2011. Effects of temperature on the growth and reproduction characteristics of *Bemisia tabaci* B-biotype and *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Applied Entomology*, 135(4): 252–257.