

温度对沙巴拟刀角瓢虫生长发育和繁殖的影响*

杨果润^{1**} 赵冬梅² 梁建锋¹ 关月姍¹ 杨仪韩¹ 王兴民^{1,3***}

(1. 广东省生物农药创制与应用重点实验室, 广东省农业害虫生物防治工程研究中心, 华南农业大学植物保护学院昆虫学系, 广州 510642; 2. 浙江大学山东(临沂)现代农业研究院, 临沂 276034; 3. 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】明确不同温度对沙巴拟刀角瓢虫 *Serangiella sababensis* 生长发育和繁殖的影响, 为烟粉虱天敌的应用提供理论依据。【方法】在 17、20、25、30 和 32 °C 的恒温条件下, 测定沙巴拟刀角瓢虫的存活率和发育历期, 计算出发育起点温度、有效积温和生命表参数。【结果】成虫前期存活率和产卵量在 25 °C 时最高, 分别为 80.78%±6.42% 和 (284.00±59.71) 粒。从卵发育至成虫的发育历期在 17 °C 时最长 (57.06±1.28) d, 30 °C 时最短 (13.85±0.12) d。成虫前期的发育起点温度和有效积温分别为 (11.29±1.86) °C 和 (271.40±34.44) 日·度。在 25 °C 时, 沙巴拟刀角瓢虫种群的净增殖力 R_0 最高, 内禀增长率 r_m 在 30 °C 最高。【结论】沙巴拟刀角瓢虫的最适温区为 25–30 °C, 与烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 的最适温区相近, 可以在烟粉虱暴发的时期大量应用。

关键词 沙巴拟刀角瓢虫; 温度; 发育历期; 繁殖力; 生命表; 烟粉虱

Effects of temperature on the development and reproduction of *Serangiella sababensis* Sasaji (Coleoptera: Coccinellidae)

YANG Guo-Run^{1**} ZHAO Dong-Mei² LIANG Jian-Feng¹ GUAN Yue-Shan¹
YANG Yi-Han¹ WANG Xing-Min^{1,3***}

(1. Key Laboratory of Bio-Pesticide Innovation and Application of Guangdong Province, Engineering Research Center of Biological Control of Agricultural Pests of Guangdong Province, Department of Entomology, College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Shandong (Linyi) of Modern Agriculture, Zhejiang University, Linyi 276034, China; 3. Maoming Branch, Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Maoming 525099, China)

Abstract 【Objectives】To determine the effects of different temperatures on the development and reproduction of *Serangiella sababensis*, so as to provide information to guide the use of this species as a biological control for *Bemisia tabaci*. 【Methods】The survival rate and developmental duration of *S. sababensis* were measured at constant temperatures of 17, 20, 25, 30 and 32 °C, and the development threshold temperature, effective accumulated temperature and life table parameters were calculated. 【Results】The survival rate 80.78%±6.42% and preadult fecundity (284.00±59.71) eggs were highest at 25 °C. The developmental duration from egg to adult was longest at 17 °C (57.06±1.28) d and shortest at 30 °C (13.85±0.12) d. The developmental threshold temperature and effective accumulated temperature in the preadult stage were (11.29±1.86) °C and (271.40±34.44) degree-days, respectively. The net reproductive rate (R_0) was highest at 25 °C, and the intrinsic rate of increase (r_m) was highest at 30 °C. 【Conclusion】25–30 °C is a suitable temperature range for raising *S. sababensis*. Because this is similar to the preferred temperature range for *B. tabaci*, *S. sababensis* has high potential as a biological control during *B. tabaci* outbreaks.

Key words *Serangiella sababensis*; temperature; developmental duration; fecundity; life table; *Bemisia tabaci*

*资助项目 Supported projects: 广州市科技计划重点项目 (201804020070); 广东省科技计划项目 (2017A020208060)

**第一作者 First author, E-mail: 1600186107@qq.com

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

收稿日期 Received: 2021-03-23; 接受日期 Accepted: 2021-08-19

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 属半翅目 Hemiptera 粉虱科 Aleyrodidae 害虫, 自 20 世纪 80 年代以来, 烟粉虱经花卉、蔬菜和苗木的运输, 在全球范围内迅速传播和蔓延(任顺祥等, 2004; Liu *et al.*, 2013)。烟粉虱具有寄主范围广、繁殖快及传播途径多等特点, 已成为国际上农业生产的重大害虫之一(张灿等, 2015; 关雪和胡琼波, 2020)

烟粉虱刺吸寄主植物汁液, 导致寄主缺乏营养、黄化、萎蔫及其他生理异常(Perring *et al.*, 1993)。同时烟粉虱排出大量蜜露, 易引发煤污病致叶片发黑, 影响植株光合作用(褚栋和张友军, 2018; 张友昌等, 2020)。除上述直接危害外, 烟粉虱还能传播多种病毒, 对寄主造成间接危害(赵鑫等, 2018; 卢丁伊慧等, 2020)。烟粉虱的主要防治方法仍依赖化学农药(张秀霞等, 2019), 然而烟粉虱的抗药性发展迅速(杨鑫等, 2014), 且化学农药会对生态环境造成破坏, 因此生物防治成为烟粉虱防治的重点研究方向(任顺祥等, 2004)。

我国烟粉虱的天敌种类繁多, 目前已发现捕食性天敌 109 种, 主要为瓢虫、草蛉、粉蛉、螳类和捕食螨等(窦文珺等, 2020)。其中研究较多的是引进的小黑瓢虫 *Delphastus catalinae*、本地的优势种日本刀角瓢虫 *Serangium japonica* Chapin 和淡色斧瓢虫 *Axinoscymnus cardilobus* 等(任顺祥等, 2004; 黄振等, 2008)。沙巴拟刀角瓢虫 *Serangiella sababensis* Sasaji 和小黑瓢虫、日本刀角瓢虫同属瓢虫科 Coccinellidae 刀角瓢虫族 Serangini, 原产于云南西双版纳, 是热带、亚热带地区粉虱害虫的本地优势天敌。2003 年引进至广东地区, 对烟粉虱有良好的捕食效果(苗静等, 2012), 但关于温度对沙巴拟刀角瓢虫的影响及其生物学特性尚未有报道。因此, 研究以烟粉虱为寄主的沙巴拟刀角瓢虫在不同恒温条件下的生长发育和繁殖, 并建立不同恒定温度下的生命表, 以期为沙巴拟刀角瓢虫的应用及产业化发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

烟粉虱种群以变叶木 *Codiaeum variegatum* 为寄主继代饲养, 并于广东省农业害虫生物防治工程研究中心实验室内保存。

沙巴拟刀角瓢虫采自昆明市官渡区的扶桑 *Hibiscus rosa-sinensis* 绿化带, 以变叶木上烟粉虱若虫为食物继代饲养, 保存于实验室。养虫室条件设置为温度 (26 ± 2) °C, 光周期 L:D=14:10。

1.2 温度对沙巴拟刀角瓢虫生长发育的影响

将带有沙巴拟刀角瓢虫卵块的叶片置于培养皿中的滤纸上, 在滤纸上滴几滴清水保湿, 放入人工气候箱(光周期 L:D=14:10, RH: $80\% \pm 5\%$) 中, 设置 17、20、25、30 和 32 °C 共 5 个恒温处理, 每处理取瓢虫卵 100 粒, 每个处理设置 4 个重复, 每日观察 2 次卵的孵化情况。新孵化的幼虫用软毛笔转移到指形管 (1.1 cm×5.5 cm) 中, 以变叶木上的烟粉虱若虫单头饲养, 指形管的管口用棉花塞封口, 每日更换 1 次新鲜食料, 每日观察 2 次幼虫的生长发育进度和存活情况, 直至羽化。

1.3 温度对沙巴拟刀角瓢虫繁殖的影响

试验设置 17、20、25、30 和 32 °C 共 5 个恒温处理, 光周期 L:D=14:10, RH: $80\% \pm 5\%$ 。将不同温度条件下羽化后的沙巴拟刀角瓢虫雌雄成虫在 4-5 d 内配对, 并置于培养皿 ($\phi=6$ cm) 中饲养, 每个温度处理观察 12 对成虫, 每天定时更换 1 次新鲜食料, 并逐日观察记录成虫的产卵前期、每天的产卵量及成虫的死亡情况, 直至瓢虫全部死亡。

1.4 数据处理

试验数据使用 SPSS 21.0 软件进行统计分析, 不同温度下沙巴拟刀角瓢虫的存活率(存活率比例数据先转化成反正弦平方根数据, 再进行方差分析)、发育历期、繁殖力和寿命采用

ANOVA 法进行单因素方差分析,并用 Tukey 法进行显著性检验 ($P=0.05$)。

发育起点温度和有效积温计算公式参考黄芊等 (2018):

$$T = C + KV$$

K 为有效积温; C 为发育起点温度; V 为发育速率,即发育历期的倒数; T 为环境温度。

按照 Birch (1948) 的方法构建不同温度下沙巴拟刀角瓢虫实验种群生命表,各参数计算公式如下:净增殖率 $R_0 = \sum l_x m_x$; 内禀增长率 $r_m =$

$$\frac{\ln R_0}{T}; \text{种群平均世代历期 } T = \frac{\sum x l_x m_x}{\sum l_x m_x}; \text{周限}$$

增长率 $\lambda = e^{r_m}$ 。 x 为特征年龄、 l_x 为特征年龄存活率和 m_x 为单雌逐日产雌数。

2 结果与分析

2.1 温度对沙巴拟刀角瓢虫存活率的影响

在不同温度下沙巴拟刀角瓢虫各虫态的存

活率见表 1。沙巴拟刀角瓢虫从卵发育到成虫,不同的温度对其存活率影响极显著 ($F_{4, 15}=17.669, P<0.001$)。在 25 °C 时瓢虫的世代存活率最大,为 80.78%±6.42%; 在 17 °C 时最小,为 20.00%±2.83%,与 32 °C 下的世代存活率 27.90%±3.01% 无显著差异 ($P=0.900$)。试验结果表明低温和高温均不利于沙巴拟刀角瓢虫存活。

2.2 温度对沙巴拟刀角瓢虫发育历期的影响

不同温度下沙巴拟刀角瓢虫各虫态的发育历期见表 2。在温度为 17、20、25、30 和 32 °C 下,沙巴拟刀角瓢虫均能完成整个世代。在 17-30 °C 范围内,沙巴拟刀角瓢虫各虫态的发育历期随温度的升高而缩短,30 °C 下成虫前期为 (13.85±0.12) d,显著低于 17、20 和 25 °C ($F_{4, 15}=794.718, P<0.001$),与 32 °C 下的成虫前期无显著差异 ($P=0.950$)。

2.3 沙巴拟刀角瓢虫发育起点和有效积温

沙巴拟刀角瓢虫各虫态的发育起点温度及

表 1 沙巴拟刀角瓢虫在不同温度下的存活率 (%)
Table 1 The survivorship of *Serangiella sababensis* at different temperatures

温度 (°C) Temperature (°C)	卵 Egg	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	蛹 Pupa	成虫前期 Preadults
17	55.00±2.52b	68.45±8.71a	83.75±9.87a	100.00±0.00a	78.33±7.88ab	85.42±8.59a	20.00±2.83c
20	64.00±7.12b	80.68±7.30a	94.38±3.29a	100.00±0.00a	93.30±3.80a	100.00±0.00a	48.16±11.52bc
25	88.00±7.12a	93.91±2.03a	97.92±2.08a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	80.78±6.42a
30	81.00±3.42ab	92.50±4.79a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	97.50±2.50a	100.00±0.00a	72.70±3.28ab
32	75.00±3.00ab	72.50±4.79a	92.71±4.30a	96.43±3.57a	62.17±8.29b	95.00±5.00a	27.90±3.01c

表中数据为平均值±标准误,同一列数据后标有相同小写字母表示在 0.05 水平上差异不显著 (单因素 ANOVA 和 Tukey 检验)。表 2 同。

Data are mean±SE, and followed by the same lowercase letters in the same column indicate no significant difference at 0.05 level (One-way ANOVA, Tukey test). The same as table 2.

表 2 沙巴拟刀角瓢虫在不同温度下的发育历期 (d)
Table 2 Developmental duration of *Serangiella sababensis* at different temperatures

温度 (°C) Temperature (°C)	卵 Egg	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	蛹 Pupa	成虫前期 Preadults
17	13.88±0.36a	6.66±0.63a	4.72±0.11a	5.86±0.33a	14.94±0.85a	12.02±0.17a	57.06±1.28a
20	6.81±0.27b	2.99±0.10b	2.24±0.08b	2.70±0.14b	6.32±0.09b	6.32±0.02b	27.31±0.48b
25	5.34±0.17c	1.88±0.04cd	1.60±0.03c	1.68±0.03c	4.21±0.07c	4.05±0.02c	18.77±0.17c
30	3.91±0.16d	1.64±0.09d	1.14±0.02d	1.13±0.05c	3.02±0.05c	3.05±0.02d	13.85±0.12d
32	4.30±0.32cd	1.81±0.13cd	1.20±0.06d	1.13±0.05c	3.35±0.14c	3.00±0.07d	14.50±0.37d

有效积温见表 3。卵的发育起点温度最低, 为 (9.93±2.87)℃; 3 龄幼虫的发育起点温度最高, 为 (13.19±0.99)℃。成虫前期的发育起点温度为 (11.29±1.86)℃, 有效积温为 (271.40±34.44) 日·度。

2.4 温度对沙巴拟刀角瓢虫繁殖力和寿命的影响

沙巴拟刀角瓢虫成虫在不同温度下的繁殖力和寿命见表 4。沙巴拟刀角瓢虫的产卵前期随着温度的升高而缩短, 在 32℃ 时最短, 为 (5.33±

0.29) d, 17℃ 时最长, 为 (25.44±0.44) d。温度对沙巴拟刀角瓢虫的单雌产卵量有显著的影响 ($F_{4, 55}=8.550, P<0.001$), 在 25℃ 时产卵量最高, 与 30℃ 时无显著差异 ($P=0.808$); 17℃ 时产卵量最低, 与 32℃ 时无显著差异 ($P=1.000$)。沙巴拟刀角瓢虫的成虫寿命随着温度的升高而缩短, 在 17℃ 时成虫寿命最长, 雌虫寿命为 (127.11±18.99) d, 雄虫寿命为 (205.67±12.42) d; 在 32℃ 时成虫寿命最低, 雌虫为 (40.56±2.42) d, 雄虫为 (56.67±2.24) d。

表 3 沙巴拟刀角瓢虫不同虫态的发育起点温度和有效积温
Table 3 Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Serangiella sababensis*

发育阶段 Development stage	回归方程 Recursive equation	发育起点温度 (℃) Threshold temperature (°C)	有效积温 (日·度) Accumulated temperature (degree·day)	R
卵 Egg	$V=0.012\ 0T - 0.119\ 6$	9.93±2.87	83.00±15.04	0.954 1
1 龄幼虫 1st instar	$V=0.032\ 4T - 0.367\ 0$	11.33±3.46	30.87±7.38	0.924 0
2 龄幼虫 2nd instar	$V=0.044\ 5T - 0.508\ 4$	11.41±1.84	22.45±2.82	0.976 8
3 龄幼虫 3rd instar	$V=0.050\ 2T - 0.662\ 0$	13.19±0.99	19.93±1.52	0.991 3
4 龄幼虫 4th instar	$V=0.017\ 4T - 0.212\ 2$	12.21±2.21	57.53±9.25	0.963 3
蛹 Pupa	$V=0.017\ 3T - 0.198\ 2$	11.46±1.14	57.81±4.56	0.990 8
成虫前期 Preadults	$V=0.003\ 7T - 0.041\ 6$	11.29±1.86	271.40±34.44	0.976 7

表中发育起点温度和有效积温数值为平均值±标准误。
Data of threshold temperature and accumulated temperature in the table are mean±SE.

表 4 沙巴拟刀角瓢虫在不同温度下的繁殖力和寿命
Table 4 Fecundity and longevity of *Serangiella sababensis* at different temperatures

温度 (℃) Temperature (°C)	产卵前期 (d) Preoviposition period (d)	单雌产卵量 (粒) Eggs laid per female	雌虫寿命 (d) Female lifetime (d)	雄虫寿命 (d) Male lifetime (d)
17	25.44±0.44a	41.33±7.30b	127.11±18.99a	205.67±12.42a
20	17.91±0.71b	184.36±28.36ab	111.27±12.54a	163.27±14.01ab
25	7.75±0.45c	284.00±59.71a	125.42±11.60a	141.33±16.69bc
30	6.08±0.40cd	230.17±31.32a	82.75±8.37ab	99.33±8.90cd
32	5.33±0.29d	43.33±5.54b	40.56±2.42b	56.67±2.24d

表中数值为平均值±标准误, 在同一列数据后标有相同字母表示在 0.05 水平上差异不显著 (Tukey 法)。
Data are mean±SE, and followed by the lowercase letters in the same column indicate no significant difference at 0.05 level by Tukey test.

2.5 不同温度下沙巴拟刀角瓢虫的生命表参数

不同温度下沙巴拟刀角瓢虫的实验种群生命表见表 5。沙巴拟刀角瓢虫实验种群净增殖力 R_0 在 25℃ 时 (135.270 3) 最高, 其次是 30℃

时 (84.199 4), 最低为 17℃ 时 (3.546 1)。在 17-32℃ 范围内, 沙巴拟刀角瓢虫平均世代历期 T 随着温度的增高而缩短, 17℃ 时 (128.627 3) 最高, 32℃ 时 (35.469 2) 最低。内禀增长率 r_m 在 30℃ 时 (0.083 4) 最高, 其次是 25℃

表 5 不同温度下沙巴拟刀角瓢虫的生命表参数

Table 5 Life table parameters of *Serangiella sababensis* at different temperatures

温度 (°C) Temperature (°C)	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	3.546 1	128.627 3	0.009 8	1.009 9
20	40.264 5	90.134 6	0.041 0	1.041 9
25	135.270 3	84.534 0	0.058 1	1.059 8
30	84.199 4	53.177 7	0.083 4	1.086 9
32	6.303 9	35.469 2	0.051 9	1.053 3

时 (0.058 1), 最低为 17 °C 时 (0.009 8)。周限增长率 λ 在 30 °C 时 (1.086 9) 最高, 其次是 25 °C 时 (1.059 8), 最低为 17 °C 时 (1.009 9)。

3 结论与讨论

影响昆虫生长发育和繁殖的非生物因子中, 温度对其影响最为显著, 昆虫只有在有效温区内才能维持种群发展 (Campbell *et al.*, 1974; 陈瑜和马春森, 2010)。本研究测定了不同恒定温度对沙巴拟刀角瓢虫生长发育、繁殖和种群增长的影响。结果表明, 在一定温度范围内, 沙巴拟刀角瓢虫发育历期随着温度的升高逐渐缩短, 这与捕食性瓢虫拟小食螨瓢虫 *Stethorus* (*Allosstethorus*) *parapauperculus* 和六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculatus* 的发育历期随着温度的升高逐渐缩短的研究结果一致 (王祥林等, 2012; 耿召良等, 2016)。沙巴拟刀角瓢虫在低温 (17-20 °C) 和高温 (32 °C) 条件下, 都出现世代存活率低和产卵量低的现象, 这可能是因为昆虫在低温时取食行为减少及摄入能源降低, 同时需要消耗更多的能量表达抗逆性蛋白以维持机体代谢 (Krebs and Holbrook, 2001; Zhong *et al.*, 2017); 而高温虽然能加快昆虫发育速度, 但同时减少了能量的积累并缩短了产卵前期, 导致繁殖力下降 (蒋丰泽等, 2015)。

生命表参数能对种群发展进行综合评价 (Nisar and Rizvi, 2020)。本研究结果表明, 沙巴拟刀角瓢虫的净增殖力 R_0 和内禀增长率 r_m 分别在 25 °C 和 30 °C 时达最大值; 在 25-30 °C 时, 瓢虫的世代存活率较高, 范围在 72.70%±3.28%-

80.78%±6.42%; 从卵发育至成虫的发育历期在 30 °C 时最短 (13.85±0.12) d; 综合以上指标说明, 25-30 °C 是沙巴拟刀角瓢虫种群繁殖和生长发育的最适温度。肖林云等 (2015) 报道烟粉虱的最适温区在 24-27 °C, 这与沙巴拟刀角瓢虫的最适温度区间重叠, 因此, 有利于沙巴拟刀角瓢虫较好地发挥对烟粉虱的控制作用。

通过研究温度对沙巴拟刀角瓢虫生长发育和繁殖的影响, 为沙巴拟刀角瓢虫的规模化扩繁和应用提供理论依据, 有关光照、湿度和食物等其他因素的影响有待进一步探讨。

参考文献 (References)

- Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *Journal of Animal Ecology*, 17(1): 15–26.
- Campbell A, Frazer BD, Gilbert N, Gutierrez AP, Mackauer M, 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology*, 11(2): 431–438.
- Chen Y, Ma CS, 2010. Effect of global warming on insect: A literature review. *Acta Ecologica Sinica*, 30(8): 2159–2172. [陈瑜, 马春森, 2010. 气候变暖对昆虫影响研究进展. 生态学报, 30(8): 2159–2172.]
- Chu D, Zhang YJ, 2018. Research progress on the damages and management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China over the past 10 years. *Plant Protection*, 44(5): 51–55. [褚栋, 张友军, 2018. 近 10 年我国烟粉虱发生为害及防治研究进展. 植物保护, 44(5): 51–55.]
- Dou WJ, Yang SW, Liu Q, Chen GH, Zhang XM, 2020. Progress in the control of predatory and parasitic natural enemies of *Bemisia tabaci* in China. *Journal of Environmental Entomology*, 42(2): 342–354. [窦文珺, 羊绍武, 柳青, 陈国华, 张晓明, 2020. 我国烟粉虱主要捕食和寄生性天敌控制能力研究进展. 环境昆虫学报, 42(2): 342–354.]
- Geng ZL, Wu WJ, Ma HB, Chen JY, Zhang FP, Han DY, Fu YG,

2016. Effects of temperature on the development and fecundity of *Stethorus (Allostethorus) parapauperculus* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Environmental Entomology*, 38(2): 280–285. [耿召良, 吴伟坚, 马华博, 陈俊谕, 张方平, 韩冬银, 符悦冠, 2016. 温度对拟小食螨瓢虫发育和繁殖的影响. 环境昆虫学报, 38(2): 280–285.]
- Guan X, Hu QB, 2020. Research progress of plant virus disease transmitted by *Bemisia tabaci* and chemical control. *Guangdong Agricultural Sciences*, 47(6): 63–69. [关雪, 胡琼波, 2020. 烟粉虱传播的植物病毒病及其化学防治研究进展. 广东农业科学, 47(6): 63–69.]
- Huang Q, Jiang XB, Ling Y, Jiang T, Long D, Chen YC, Fu CQ, Wu BQ, Huang SS, Li C, Huang FK, Long LP, 2018. Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Leucania loreyi* (Duponchel) (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 865–869. [黄芊, 蒋显斌, 凌炎, 蒋婷, 龙迪, 陈玉冲, 符诚强, 吴碧球, 黄所生, 李成, 黄凤宽, 龙丽萍, 2018. 劳氏粘虫发育起点温度和有效积温研究. 应用昆虫学报, 55(5): 865–869.]
- Huang Z, Ren SX, Yao SL, 2008. Population control of *Axinoscymnus cardilobus* to *Bemisia tabaci*. *Acta Ecologica Sinica*, 28(7): 3075–3081. [黄振, 任顺祥, 姚松林, 2008. 淡色斧瓢虫(*Axinoscymnus cardilobus*)对烟粉虱(*Bemisia tabaci*)种群的控制作用. 生态学报, 28(7): 3075–3081.]
- Jiang FZ, Zheng LY, Guo JX, Zhang GR, 2015. Effects of temperature stress on insect fertility and its physiological and biochemical mechanisms. *Journal of Environmental Entomology*, 37(3): 653–663. [蒋丰泽, 郑灵燕, 郭技星, 张古忍, 2015. 温度对昆虫繁殖力的影响及其生理生化机制. 环境昆虫学报, 37(3): 653–663.]
- Krebs RA, Holbrook SH, 2001. Reduced enzyme activity following Hsp70 overexpression in *Drosophila melanogaster*. *Biochemical Genetics*, 39(1): 73–82.
- Liu BM, Preisser EL, Jiao XG, Pan HP, Xie W, Wang SL, Wu QJ, Zhang YJ, 2013. Plant-mediated changes in the feeding behavior of an invasive whitefly. *Environmental Entomology*, 42(5): 980–986.
- Lu DYH, Liu Y, Ge DQ, Zhang ZH, Zhang DY, Tan XQ, Shi XB, 2020. The damage characteristics and integrated control technologies of *Bemisia tabaci*. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2020(18): 69–71. [卢丁伊慧, 刘勇, 戈大庆, 张战泓, 张德咏, 谭新球, 史晓斌, 2020. 烟粉虱为害特点及其综合防治技术. 长江蔬菜, 2020(18): 69–71.]
- Miao J, Xue X, Fan MH, Ren SX, 2012. Time allocation in two ladybird beetles *Serangiella sababensis* and *Axinoscymnus apioides* preying on *Bemisia tabaci* nymphs under laboratory conditions. *Journal of Biosafety*, 21(3): 195–200. [苗静, 薛夏, 范梅红, 任顺祥, 2012. 2种瓢虫捕食烟粉虱行为的时间分配策略. 生物安全学报, 21(3): 195–200.]
- Nisar S, Rizvi PQ, 2020. Host fitness of different aphid species for *Diaeretiella rapae* (M'Intosh): A life table approach. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(4): 787–799.
- Perring TM, Cooper AD, Rodriguez RJ, Farrar CA, Bellows TS, 1993. Identification of a whitefly species by genomic and behavioral studies. *Science*, 259(5091): 74–77.
- Ren SX, Huang Z, Yao SL, 2004. Advances in studies on predators of *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Natural Enemies of Insects*, 26(1): 34–42. [任顺祥, 黄振, 姚松林, 2004. 烟粉虱捕食性天敌研究进展. 昆虫天敌, 26(1): 34–42.]
- Wang XL, Chen WJ, Su DM, 2012. Influence of temperature on the growth, development and reproduction of *Menochilus sexmaculatus*. *Journal of Southwest Forestry University*, 32(4): 76–80. [王祥林, 陈文静, 苏达明, 2012. 温度对六斑月瓢虫生长发育及繁殖的影响. 西南林业大学学报, 32(4): 76–80.]
- Xiao LY, Wang JY, Yu H, Wang YB, Wang SS, 2015. Effects of temperature on the experimental populations of *Bemisia tabaci* Asia II 3. *Plant Protection*, 41(1): 55–58. [肖林云, 王家云, 余昊, 王运兵, 王森山, 2015. 温度对烟粉虱亚洲 II 3 隐种实验种群生命参数的影响. 植物保护, 41(1): 55–58.]
- Yang X, Xie W, Wang SL, Wu QJ, Xu BY, Zhou XM, Zhang YJ, 2014. Resistance status of the whitefly, *Bemisia tabaci*, in Beijing, Shandong and Hunan areas and relative levels of *CYP4v2* and *CYP6CX1* mRNA expression. *Plant Protection*, 40(4): 70–75. [杨鑫, 谢文, 王少丽, 吴青君, 徐宝云, 周小毛, 张友军, 2014. 北京、山东和湖南地区烟粉虱抗性及其 *CYP4v2* 和 *CYP6CX1* mRNA 水平表达量分析. 植物保护, 40(4): 70–75.]
- Zhang C, Wang XM, Qiu BL, Ge F, Ren SX, 2015. Review of current research on *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(1): 32–46. [张灿, 王兴民, 邱宝利, 戈峰, 任顺祥, 2015. 烟粉虱热点问题研究进展. 应用昆虫学报, 52(1): 32–46.]
- Zhang XX, Mao XH, Gao Q, Bai TT, Zhang AX, 2019. Toxicity test and field efficacy of 3 biological insecticides to *Bemisia tabaci* on tobacco. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 35(20): 99–103. [张秀霞, 毛晓红, 高强, 白婷婷, 张安盛, 2019. 3种生物杀虫剂防治烟草烟粉虱的室内毒力及田间药效试验. 中国农学通报, 35(20): 99–103.]
- Zhang YC, Zhang JH, Wang XG, Xia SB, Wu YG, Bie S, 2020. Harmful characteristics and integrated control techniques of *Bemisia tabaci* in cotton fields under the development of facility agriculture. *Cotton Sciences*, 42(6): 45–47. [张友昌, 张教海, 王孝纲, 夏松波, 吴永刚, 别墅, 2020. 设施农业发展下棉田烟粉虱的危害特征和综合防治技术. 棉花科学, 42(6): 45–47.]
- Zhao X, Yao RP, Li MY, Zhao DH, Jiao Y, Ji W, 2018. Analysis on the harm of *Bemisia tabaci* and comprehensive control measures. *South China Agriculture*, 12(18): 36–37. [赵鑫, 姚润鹏, 李明英, 赵殿辉, 焦悦, 纪炜, 2018. 烟粉虱的为害及综合防治措施分析. 南方农业, 12(18): 36–37.]
- Zhong BZ, Lv CJ, Qin WQ, 2017. Effect of temperature on the population growth of *Tirathaba rufivena* (Lepidoptera: Pyralidae) on *Areca catechu* (Arecaceae). *Florida Entomologist*, 100(3): 578–582.