高温胁迫六斑月瓢虫对其生物学特性及其捕食作用的影响*

金海峰[1, 2**] 付步礼[1***] 邱海燕[1] 杨石有[2] 周世豪[2]
马晓彤[1, 3] 李善光[1] 张方平[1] 唐良德[1] 刘 奎[1***]

（1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室，海南省热带作物病虫害生物防治工程技术研究中心，海口 571101；2. 海南大学林学院，海口 570228；3. 华中农业大学植物科学技术学院，武汉 430070）

摘 要 **【目的】** 为明确高温胁迫下对六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculates* 的生物学特性及其捕食作用的影响。**【方法】** 在 35 ℃高温处理不同时长（3、6、9 h）的胁迫下，探究六斑月瓢虫的生长发育、存活、繁殖力和虫态特征的变化规律，同时评估了其对豆蚜 *Aphis craccivora* 的捕食功能与寻找效应。**【结果】** 与 25 ℃饲喂相比，高温胁迫下六斑月瓢虫的幼期历期和雌雄虫寿命随着胁迫时长的增加而缩短，且高温胁迫不同程度降低了六斑月瓢虫的产卵量、卵孵化率和幼期存活率，而对六斑月瓢虫 4 龄幼虫、成虫的体长和虫重无影响。通过研究捕食作用，与常温 25 ℃相比，35 ℃高温胁迫在一定程度上促进了六斑月瓢虫对蚜虫的捕食效能，其中在高温胁迫 9 h 后，其捕食能力（a'/T_h）和寻找效应（S）均高于 3 h 和 6 h 的。**【结论】** 高温对六斑月瓢虫的生物学特性产生负面的影响，而对其捕食活动具有正面的影响。研究结果为六斑月瓢虫的生物防治提供了科学依据，同时为全球气候变暖下天敌昆虫的保护与利用奠定了基础数据。

关键词 六斑月瓢虫；高温胁迫；生物学特性；捕食作用；生物防治

Effects of high temperature stress on the biology and predatory behavior of *Menochilus sexmaculates*

JIN Hai-Feng[1, 2**] FU Bu-Li[1***] QIU Hai-Yan[1] YANG Shi-You[2] ZHOU Shi-Hao[2]
MA Xiao-Tong[1, 3] LI Shan-Guang[1] ZHANG Fang-Ping[2] TANG Liang-De[1] LIU Kui[1***]

(1. The Ministry of Agriculture Key Laboratory of Integrated Pest Management of Tropical Crops, Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Engineering Research Center of Tropical Crops Pest Biological Control, Haikou 571101, China; 2. Institute of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract **[Objectives]** To clarify the influence of exposure to high temperature on the biology and predatory behavior of the ladybug *Menochilus sexmaculates*. [**Methods]** Ladybugs were exposed to 35 ℃ for 3, 6 and 9 h after which their development, survival, fecundity, morphological characteristics and predation on *Aphis craccivora*, were measured and compared. **[Results]** The results revealed that, compared to ladybugs kept at 25 ℃, exposure to 35 ℃ decreased adult longevity, egg production, immature survival and hatching rate, but had no effect on body length or weight. Moreover, the predation capacity (a'/T_h) and search efficiency (S) of *M. sexmaculates* with respect to *A. craccivora* were higher at 35 ℃ than 25 ℃, in particular after 6 and 9 h at 35 ℃. **[Conclusion]** High temperature appears to have an adverse impact on *M. sexmaculates* but also to some extent increases its capacity to prey on *A. craccivora*. These findings provide a scientific basis

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目（2017YFD0202100）；中国热带农业科学院院级创新团队（1630042017010）；“一带一路”热带项目课题（BARTP-08）；中央级科研院所基本业务费项目（1630042019007）

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

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：fubuli@163.com；lk0750@163.com

收稿日期 Received：2019-09-07；接受日期 Accepted：2019-12-03

for using *M. sexmaculates* as a biological control and increases understanding of the effects of global-warming on the natural enemies of pest insects.

Key words　*Menochilus sexmaculates*; high temperature exposure; biological characteristics; predation; biological control

全球气候变暖最明显的特征是温度升高，这势必将对地球上最重要生物类群——昆虫的生命活动带来影响，进而影响全球生态系统的稳定性。大量研究已表明，温度升高可对害虫产生生物学和行为学等影响效应，通过改变害虫种群发生而导致暴发成灾的可能性（高桂珍等，2012；Zeh *et al.*，2012；杨丽红等，2014；李干金等，2015；向敏等，2017）。同时，温度升高也将影响天敌昆虫的生命活动（刘文静等，2011；马荣琴等，2018）。但对于全球气候变暖大背景下“害虫-天敌”的互作关系或将如何改变？天敌昆虫在温度升高后其对害虫的自然控制作用究竟如何？对此，我们依然知之甚少。

捕食性瓢虫是一类极其重要的天敌昆虫资源，在对诸多农业害虫的生物防治中发挥着重要作用（颜金龙等，2016；王佳佳等，2018）。我国瓢虫资源十分丰富，具有广阔的开发应用前景（王兴民等，2014）。其中，六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculates* 是我国天敌瓢虫的常见种类，在诸多地区均有分布（陈文胜等，2005）。该瓢虫具有寿命长、捕食量大和繁殖力高等优点，对蚜虫（程立生等，1993；吴淼生，2000；段金花和张润杰，2004；杨鹤和郑发科，2007）、木虱（于华利等，2013）、螺旋粉虱（吴红胜等，2010）等害虫具有良好的捕食控害作用和生物防治潜能。

为避免天敌昆虫释放后在开放空间中逃逸从而降低其生防效能，因此天敌生物防治更适合于封闭系统内（如温室、网室或大棚等设施农业）。当天敌昆虫释放于温室等封闭空间后，自身将处于封闭空间的高温环境。对此，天敌昆虫将如何适应封闭空间的高温环境？其捕食控害效能又将如何？这是值得深入研究的问题。因此，为模拟高温对六斑月瓢虫的影响效应，本研究在 35 ℃高温胁迫下，探究处理不同时长（3、6、9 h）的六斑月瓢虫的生长发育、存活、繁殖力和虫态特征的变化规律，同时评估了其对豆蚜 *Aphis craccivora* 的捕食功能与寻找效应。研究结果为六斑月瓢虫的生物防治提供科学依据，同时为全球气候变暖下天敌昆虫的保护与利用提供基础数据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

六斑月瓢虫：成虫虫源采于海口市郊区田间，置于自制的养虫管（将 50 mL 离心管管壁开 2 cm×3 cm 的小口，并将纱布用热熔胶粘于开孔处）中，以剪取带有豆蚜的蚕豆苗作为饲料供其生长发育，每个养虫管饲养 15-20 头，置于人工气候箱中养殖当代和下一代繁殖，每隔 12 h 更换一次食物。试验前用细毛笔刷挑取相同龄期、大小一致、行动敏捷的瓢虫作为供试昆虫。

豆蚜：采于海口市周边豇豆田，在人工气候箱中以种植的蚕豆苗进行继代饲养。试验前挑取发育良好、虫态大小一致的无翅成虫作为供试昆虫。

1.2　试验方法

1.2.1　短时高温处理对六斑月瓢虫的生物学特征的影响　根据 1.1 供试昆虫，选择同一批当天产下的卵 800 头，每个处理 200 头，将带有六斑月瓢虫卵的叶片装入保鲜盒（19.5 cm× 13.5 cm× 7.3 cm）中，依照 1.1 养虫管制作方法在保鲜盒盖上开 12 cm×6 cm 的透气口，分别放入 4 个培养箱中进行温度胁迫处理。实验设置温度条件分别为：25 ℃：35 ℃（24 h：0 h）；25 ℃：35 ℃（21 h：3 h）；25 ℃：35 ℃（18 h：6 h）；25 ℃：35 ℃（15 h：9 h）4 个处理。温度胁迫处理结束后，置于温度（26± 1）℃，湿度（70±5）%，光照 16 L：8 D 的人工气候箱内，待卵孵化后，记录孵化率及孵化时间，并统计卵期。

每个处理随机挑选出同一时段刚孵化的 1

龄幼虫各 50 头，用细毛笔刷转移到养虫管中（同 1.1）单独饲养，每隔 12 h 记录一次数据并更换饲料。统计幼虫历期、幼虫存活率、蛹羽化率及成虫获得率。

待成虫羽化，从不同处理中挑取 20 对初羽化的六斑月瓢虫成虫转移到养虫管中，分别放入 4 个培养箱中，试验温度条件设置同上。将温度胁迫处理结束的成虫转移至人工气候箱继续饲养，每天记录其产卵量以及雌雄虫寿命。每个处理重复 4 次。

1.2.2 短时高温处理对六斑月瓢虫形态特征的影响 根据 1.2.1 试验方法，从每个处理中随机挑选 4 龄幼虫、雌成虫各 10 头，将其固定后置于体视镜下观察，利用成像系统拍照后用 Motic Images Plus 2.0 软件（精确到 0.01 mm）测量体长及体宽，并用细毛笔刷挑置玻璃培养皿中用电子天平测量其体重。每个处理重复 3 次。

1.2.3 短时高温处理下六斑月瓢虫捕食蚜虫的捕食功能反应 试验中，六斑月瓢虫选用 1.2.1 节中经高温处理的卵孵化至 4 龄的幼虫、雌成虫各 10 头，供试猎物选用 1.1 节豆蚜成虫。将饥饿 12 h 的六斑月瓢虫置于恒温箱中进行短时高温处理，处理温度条件设置同 1.2.1。经短时高温胁迫处理后的六斑月瓢虫幼虫和成虫各 5 头分别接入猎物密度为 20、30、40、50、60 头/管和 60、70、80、90、100 头/管透明玻璃管中，以 25 ℃下饥饿饲养 12 h 的六斑月瓢虫作为对照组，且对应的猎物密度一致。透明玻璃管（直径为 2 cm，高为 7.5 cm）用保鲜膜封闭管口后用橡皮筋绑紧，并用大头针刺破几个小孔以保证氧气充足。24 h 后，记录豆蚜的残留虫口数。每处理重复 5 次。

捕食功能反应采用 Hollling Ⅱ（Holling，1959）型公式：N_a=a′TN / 1+$a'T_h N$ 进行拟合计算，式中 N 为猎物密度，N_a 为捕食量，T 为捕食者可利用发现猎物的时间（本试验持续时间为 24 h，T 取值为 1），a'为瞬时攻击率，T_h 为捕食者处理 1 头猎物所花费的时间，最大理论捕食量 N_a max = $1/T_h$。瞬时攻击率（a'）和处理时间（T_h）之比越大，则表示天敌对害虫的控制能力越强。

1.2.4 短时高温处理下六斑月瓢虫对蚜虫的寻找效应 根据 1.2.1 的试验方法与结果，六斑月瓢虫捕食豆蚜的寻找效应(S)按照公式 $S=a'/1+a'T_h N$ 进行计算，式中 S 代表寻找效应，a'、T_h、N 代表意义同 1.2.3。

1.3 试验条件

所有试验均在人工气候箱（韶关科力 PYX-400Q-A 型）内进行，条件设置温度为（26±1）℃，湿度为 70%±5%，光周期为 16 L∶8 D。

1.4 数据统计与分析

所获实验数据均采用 Microsoft Excel 2010 以及 SPSS21.0 进行统计与分析，计算平均值和标准误（SE），用线性回归分析对功能反应 Holling Ⅱ 圆盘方程进行拟合。并利用 Duncan's 新复极差法比较其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 短时高温处理对六斑月瓢虫的生长发育和生殖能力的影响

由表 1 可见，35 ℃高温处理对六瓣月瓢虫幼期发育历期与成虫寿命具有显著的影响作用。具体而言，与 25 ℃正常饲喂相比，高温处理使得瓢虫卵期、幼虫期和总发育历期均显著缩短（P<0.05），但对蛹期无明显影响（P>0.05）。发育历期随高温 35 ℃处理时长的增加（3、6 和 9 h）而逐步减小，但处理间无显著性差异（P>0.05）。对于成虫寿命，与 25 ℃相比，35 ℃高温处理下瓢虫雌、雄成虫的寿命均显著缩短（P<0.05）。随着高温处理时长的增加雌虫寿命显著降低（P<0.05），但在雄虫寿命上表现不明显（P> 0.05）。

由表 2 可知，35 ℃高温处理对六斑月瓢虫的生殖参数具有明显的影响作用。与 25 ℃饲喂相比，35 ℃处理后瓢虫的产卵量、卵孵化率、幼期存活率和成虫获得率均显著下降（P<0.05），而蛹羽化率显著上升（P<0.05）。对于 35 ℃处理不同时长而言，在 6 h 处理下产卵量与孵化率最高（P<0.05），但其幼虫存活率和成虫获得率较低（P<0.05）；3 h 处理下幼虫存活率与成虫获得率最高（P<0.05）；9 h 处理下蛹的羽化率最高（P<0.05）。

表 1　35 ℃高温不同处理下六斑月瓢虫的发育历期（d）

Table 1　Development time of *Menochilus sexmaculates* under 35 ℃ at periods of 3, 6 and 9 h

温度（℃）Temperature	处理时间（h）Exposure periods (h)	发育历期 Developmental time					
		卵期 Egg stage	幼虫期 Larva stage	蛹期 Pupa stage	未成熟期 Immature stage	成虫寿命 Adult longevity	
						雄虫 Male	雌虫 Female
25	–	4.00±0 a	7.24±0.35 a	3.36±0.3 a	14.60±0.64 a	86.39±8.56 a	87.11±1.64 a
35	3	3.00±0 b	6.73±0.30 b	3.13±0.07 a	12.86±0.49 b	77.22±6.3 b	70.28±1.66 c
35	6	3.00±0 b	6.58±0.29 b	3.21±0.29 a	12.79±0.63 b	77.5±5.35 b	78.22±3.90 b
35	9	3.00±0 b	5.85±0.29 c	3.38±0 a	12.23±0.18 b	76.61±5.58 b	72.95±4.71 c

同一行或列数据后标有不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平具有显著性差异（采用 Duncan's 新复极差法）。下表同。

Data followed by different small letters in the same line or row are significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test, respectively. The same below.

表 2　35 ℃高温不同处理下六斑月瓢虫的的生殖参数

Table 2　Reproductive parameters of *Menochilus sexmaculates* under 35 ℃ at periods of 3, 6 and 9 h

温度（℃）Temperature	处理时间（h）Exposure periods	产卵量 Egg production	孵化率 Egg hatching rate (%)	幼虫成活率 Larval survival rate (%)	蛹的羽化率 Emergence rate (%)	成虫获得率 Adult harvest rate (%)
25	–	907.85±13.99 a	84.62±3.32 a	71.11±4.43 a	81.11±1.11 c	57.78±4.44 a
35	3	530.63±22.04 c	74.87±7.31 b	65.36±3.46 b	83.64±3.64 c	54.86±3.48 ab
35	6	643.20±15.16 b	80.67±7.99 a	43.19±1.93 d	88.89±5.56 b	38.36±2.76 c
35	9	433.83±12.06 d	69.95±2.32 b	54.55±4.12 c	95.83±4.17 a	52.38±3.06 b

2.2　短时高温处理对六斑月瓢虫形态特征的影响

35 ℃高温处理不同时间使六斑月瓢虫子代的部分形态特征发生变化（表 4），其中高温处理 6 h 4 龄幼虫体长与对照差异性显著（$P<0.05$），其他特征无明显变化，其形态特征变化主要表现在 4 龄幼虫的体长随高温处理时间增加而增长。

2.2.1　短时高温处理下对六斑月瓢虫捕食功能的影响　经过 35 ℃高温处理的六斑月瓢虫幼虫、成虫对豆蚜的捕食量，随着供试猎物密度的增大而逐步增加，并逐渐趋于平缓（图 1）。

根据 HollingⅡ圆盘方程对捕食功能进行拟合，表明短时高温处理下六斑月瓢虫各虫态对豆蚜成虫捕食符合 HollingⅡ型方程（表 4）。通

表 3　35 ℃高温不同处理下六斑月瓢虫的形态特征参数

Table 3　Morphological character of *Menochilus sexmaculates* under 35 ℃ at periods of 3, 6 and 9 h

温度（℃）Temperature	处理时间（h）Exposure periods	4 龄幼虫 4th-instar larva			成虫 Adult		
		体长（cm）Body length	体宽（cm）Body width	体重（g）Body weight	体长（cm）Body length	体宽（cm）Body width	体重（g）Body weight
25	–	0.620 2±0.010 0 b	0.248 7±0.007 1 a	0.009 0±0 a	0.507 2±0.005 5 a	0.397 0±0.008 5a	0.014 9±0 b
35	3	0.630 1±0.024 5 ab	0.237 1±0.024 5 a	0.009 0±0 a	0.504 4±0.022 8 a	0.409 8±0.025 9a	0.016 4±0 ab
35	6	0.641 2±0.030 0 ab	0.249 6±0 a	0.009 9±0 a	0.508 6±0.003 2 a	0.411 6±0 a	0.015 4±0 b
35	9	0.677 4±0.010 0 a	0.248 7±0.003 2 a	0.010 4±0 a	0.498 6±0.017 3 a	0.401 5±0.017 3a	0.018 0±0 a

表 4 35 ℃高温不同处理下六斑月瓢虫幼虫、成虫捕食蚜虫的功能反应

Table 4 Functional response of *Menochilus sexmaculates* (larva and adult) to aphids under 35 ℃ at periods of 3, 6 and 9 h

处理温度（℃） Temperature	处理时间（h） Exposure periods	天敌虫态 Predator ages	功能反应模型 Functional response type	相关系数 R^2 Correlation efficient	瞬时攻击率 a	处理单头猎物时间 T_h	捕食能力 a/T_h	捕食上限 $1/T_h$
25	–	幼虫 Larva	N_a=0.678 5N/(1+0.006 8N)	0.882 3	0.678 5	0.010 0	67.850 0	100.00
35	3		N_a=0.720 8N/(1+0.004 8N)	0.962 0	0.720 8	0.006 7	107.582 1	149.25
35	6		N_a=0.675 7N/(1+0.007 7N)	0.899 3	0.675 7	0.011 4	59.271 9	87.72
35	9		N_a=0.834 7N/(1+0.006 9N)	0.869 0	0.834 7	0.008 3	100.566 3	120.48
25	–	成虫 Adult	N_a=3.763 6N/(1+0.061 0N)	0.294 0	3.763 6	0.016 2	232.321 0	61.73
35	3		N_a=2.351 3N/(1+0.032 2N)	0.369 4	2.351 3	0.013 7	171.627 7	72.99
35	6		N_a=0.950 0N/(1+0.006 6N)	0.953 2	0.950 0	0.006 9	137.681 2	144.93
35	9		N_a=6.013 2N/(1+0.102 8N)	0.517 5	6.013 2	0.017 1	351.649 1	58.48

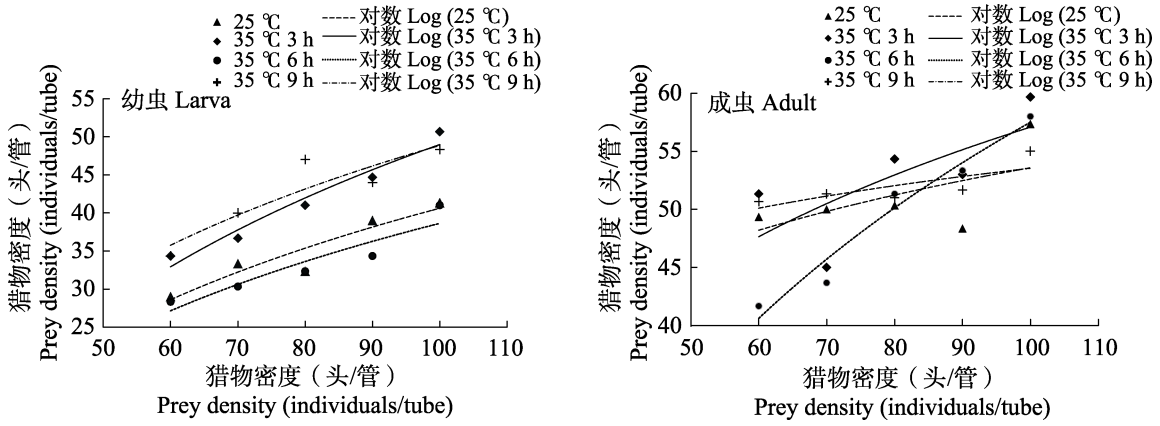


图 1 35 ℃高温不同处理下六斑月瓢虫幼虫、成虫捕食蚜虫成虫的捕食功能反应拟合曲线

Fig. 1 Fitting curves of preying function of *Menochilus sexmaculates* (larva and adult) to adult of *aphid* under 35 ℃ at periods of 3, 6 and 9 h

过相关参数比较发现，短时高温处理的六斑月瓢虫幼虫其瞬时攻击力（a'）、捕食能力（a'/T_h）、捕食上限（$1/T_h$）大小顺序一致，表现为：35 ℃处理 3 h>35 ℃处理 9 h>25 ℃处理 24 h>35 ℃处理 6 h，其处理单头猎物时间（T_h）顺序为 35 ℃处理 6 h>25 ℃处理 24 h>35 ℃处理 9 h>35 ℃处理 3 h；六斑月瓢虫成虫其瞬时攻击力（a'）、捕食能力（a'/T_h）、处理单头猎物时间（T_h）大小顺序一致，表现为 35 ℃处理 9 h>25 ℃处理 24 h>35 ℃处理 3 h>35 ℃处理 6 h，其捕食上限（$1/T_h$）大小顺序为 35 ℃处理 6 h>35 ℃处理 3 h>25 ℃处理 24 h>35 ℃处理 9 h。

2.2.2 短时高温处理对六斑月瓢虫寻找效应的影响 根据表 1 中的相关参数值，可计算出六斑月瓢虫不同时间高温处理捕食豆蚜成虫的寻找效应（图 2）。六斑月瓢虫幼虫、成虫对豆蚜成虫的寻找效应均随着猎物密度的增大而降低，就整体而言六斑月瓢虫幼虫 35 ℃ 处理 9 h、35 ℃处理 3 h 的寻找效应较高，35 ℃处理 6 h、25 ℃处理 24 h 的寻找效应较低，而六斑月瓢虫成虫寻找效应表现为 35 ℃ 处理 6 h 较低。其余表现较高。

3 结果与讨论

本研究表明，与 25 ℃饲喂（对照）相比，35 ℃高温胁迫下随着处理时间的增加，六斑月

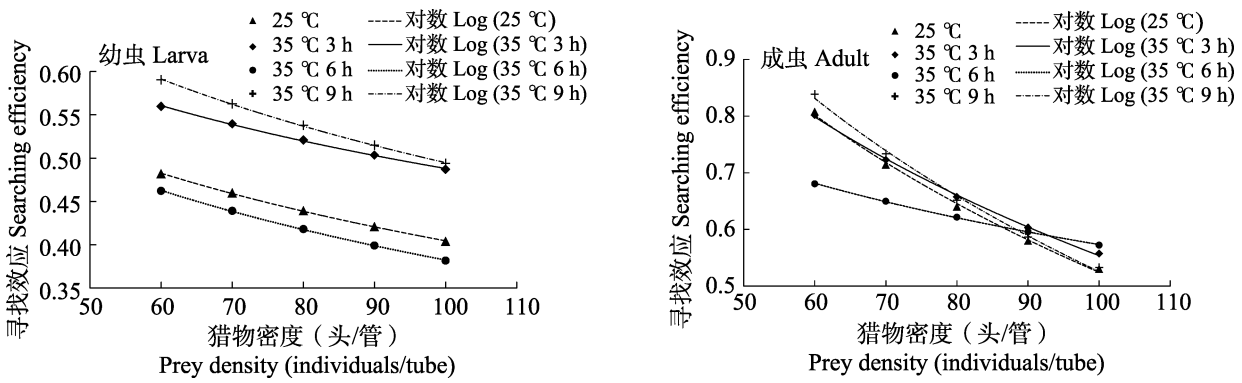


图 2　35 ℃高温不同处理下六斑月瓢虫幼虫、成虫对豆蚜成虫寻找效应

Fig. 2　The searching efficiency of *Menochilus sexmaculates* (larva and adult) to adult of aphid under 35 ℃ at periods of 3, 6 and 9 h

瓢虫的发育历期与雌雄虫寿命逐渐缩短，其产卵量、孵化率和幼虫存活率显著降低，而蛹的羽化率有所升高，但对虫态特征无明显的影响作用。同时，35 ℃高温胁迫下六斑月瓢虫对蚜虫的捕食作用有所增强。由此可见，六斑月瓢虫在温度升高或处于高温环境中，其生命活动（生物学特性、捕食行为）将受到不同的影响作用。

昆虫是变温动物，当外界环境温度超过一定限度时，昆虫的生物学特性及行为活动即会受到严重影响（Hoffmann，1985；李素平等，2014）。本研究结果发现，六斑月瓢虫的卵及成虫在高温处理下，其发育、生存及繁殖力出现显著性变化，发育历期整体缩短，就幼虫历期而言，蛹及幼虫期表现较为突出。从产卵量、幼虫存活率等生殖特性指标来看，9 h 处理下的产卵量不足对照的 50%。幼虫存活率随时间增加而下降，孵化率与成虫获得率明显下降。就六斑月瓢虫繁殖和生存特性方面，并没有随着处理时间的逐渐增加呈现上升或下降的趋势，在高温处理 6 h 下子代产卵量及孵化率最高，而幼虫存活率和成虫获得率最低，说明高温胁迫持续时间范围对六斑月瓢虫生殖及生存的可能存在一定的阈值，分布趋势分别表现为 U 型和抛物线型，高温一定持续时间内可能会促进其生殖而抑制其存活，达到某一阈值会发生相应改变，从而影响种群动态变化。从前人对高温处理下异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、小黑瓢虫 *Delphastus catalinae* 及拟小食螨瓢虫 *Stethorus* (*Allosstethorus*) *parapauperculus* Pang 发育及生殖等特性的影响中也得到验证（陈洁等，2008；刘其全，2010；耿召良等，2016）。初步结果表明六斑月瓢虫在高温下其发生期缩短、对生殖能力产生抑制作用，将会影响种群动态发生，因此在田间利用天敌进行控害时，应避开高温气候条件以及选择合理释放方案，能够提高田间种群数量及环境适应性。

在生物防治研究上，捕食反应能够充分反映捕食性天敌昆虫对于其靶标猎物的防治效果，从而能够利用捕食作用正确评价该天敌昆虫所具有的生物防治潜能。通过室内短时高温处理，六斑月瓢虫幼虫及成虫捕食功能受到不同程度影响，与对照相比较，幼虫及成虫其瞬时攻击力（a'）、捕食能力（a'/T_h）在 9 h 时都表现为最高，其幼虫处理单头猎物所需时间（T_h）也随之缩短，说明高温下幼虫及成虫捕食力在某一时间范围内都有所提升。与高温下拟小食螨瓢虫以及多异瓢虫捕食功能反应结果相一致，捕食力随温度升高有所增加（符悦冠等，2007；孔晓霞等，2018），且六斑月瓢虫幼虫、成虫在高温处理时间为 3 h 和 9 h 时其寻找效应表现较高。通过前人实验也印证该结果，异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 在高温环境中，其爬行搜索能力较强（韩宗礼等，2017）。说明在田间控制害虫时，在某段时间范围内高温对六斑月瓢虫捕食能力、活跃程度及搜寻效果起到促进作用，提高捕食量，一定程度上增加其生防效果。

本试验研究结果有助于提高对六斑月瓢虫种群预测预报的准确性和增强其种群保护机制，同时为进一步的田间网室扩繁及利用释放提供理论依据。

参考文献 (References)

Chen J, Qin QJ, Sun WY, He YZ, 2008. Influence of temperature on experimental populations of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Acta Phytophylacica Sinica*, 35(5): 405–409. [陈洁, 秦秋菊, 孙文琰, 何运转, 2008. 温度对异色瓢虫实验种群的影响. 植物保护学报, 35(5): 405–409.]

Chen WS, Cui ZX, Ren JJ, Wang YB, 2004. Functional responses of *Menochilus sexmaculatus* to peach aphid under different temperature. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 20(1): 69–70. [陈文胜, 崔志新, 任吉君, 王蕴波, 2004. 不同温度下六斑月瓢虫对桃蚜功能反应的研究. 农业系统科学与综合研究, 20(1): 69–70.]

Cheng LS, Su HY, Lan YJ, 1993. Study on the predation of several aphids by *Menochilus sexmaculates* adults of the genus *Echinochloa*. *Fujian Science and Technology of Tropical Crops*, (2): 10–14. [程立生, 苏海燕, 蓝勇军, 1993. 六斑月瓢虫成虫对几种蚜虫捕食作用的研究. 福建热作科技, (2): 10–14.]

Duan JH, Zhang RJ, 2004. Predation of *Menochilus sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) on *Macrosiphoniella sanborni* (Homoptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 47(2): 213–218. [段金花, 张润杰, 2004. 六斑月瓢虫对菊小长管蚜的捕食作用. 昆虫学报, 47(2): 213–218.]

Fu YG, Geng ZL, Zhang FP, Jin QA, Wu WJ, 2007. Effects of temperature on predatory functional responses of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus piercei* adult. *Chinese Journal of Ecology*, 26(9): 1397–1401. [符悦冠, 耿召良, 张方平, 金启安, 吴伟坚, 2007. 温度对拟小食螨瓢虫捕食皮氏叶螨成螨功能反应的影响. 生态学杂志, 26(9): 1397–1401.]

Gao GZ, Zhang JG, Lü ZZ, 2012. Effects of different temperatures and density on the survival and reproduction of *Aphis gossypii* on cotton plants. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 895–899. [高桂珍, 张江国, 吕昭智, 2012. 不同的高温模式对不同密度棉蚜存活和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 49(4): 895–899.]

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* (*Allosstethorus*) *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.]

Han Zl, Tan Xl, Chen Jl, 2017. Effect of environmental temperature variations on flight and locomotory behavior of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Chinese Journal of Biological Control*, 33(4): 433–441. [韩宗礼, 谭晓玲, 陈巨莲, 2017. 环境温度变化对异色瓢虫的飞行与运动能力的影响. 中国生物防治学报, 33(4): 433–441.]

Hoffmann KH, 1985. Metabolic and enzyme adaptation to temperature//Hoffmann KH (ed.). Environmental Physiology and Bioehemistry of Inseets Berlin, Heidelberg. New York and Tokyo：Springer Verlag. 1–2.

Holling CS, 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, 91: 385–398.

Kong XX, Meng BB, Guo PF, Wang PL, 2018. Predation functional response of adult of *Adonia variegata* (Goeze) to *Aphis gossypii* Glover at different temperatures. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 55(7): 1314–1318. [孔晓霞, 蒙冰冰, 郭鹏飞, 王佩玲, 2018. 温度对多异瓢虫成虫捕食功能的影响. 新疆农业科学, 55(7): 1314–1318.]

Li GJ, Xu XH, Zhang HL, Zhu M, Cui XH, 2015. Effects of short-term exposure to high temperature on the survival and fecundity of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). *Scientia Agricultura Sinica*, 48(9): 1747–1755. [李干金, 徐显浩, 张海亮, 朱敏, 崔旭红, 2015. 短时高温暴露对褐飞虱存活和生殖特性的影响. 中国农业科学, 48(9): 1747–1755.]

Li SP, Li XQ, Liu MX, Li CM, Li YQ, Chen LT, Zhang XL, Liu GR, Cao S, 2014. Analysis on relationship between rainfall and occurrence and damage of *Athetis lepigone*. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 4(1): 15–19. [李素平, 李秀芹, 刘明霞, 李长明, 李彦青, 陈立涛, 张小龙, 刘桂荣, 曹烁, 2014. 二点委夜蛾发生和为害与降雨关系分析. 农业灾害研究, 4(1): 15–19.]

Liu QQ, 2010. Studies on reproductive biology, mass rearing and artificial diets of *Delphastus catalinae* (Horn). Doctoral dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry Univserity. [刘其全, 2010. 小黑瓢虫的生殖生物学、人工繁殖及人工饲料的研究. 博士论文. 福州: 福建农林大学.]

Liu WJ, Zhang AS, Li LL, Men XY, Zhang SC, Zhou XH, Yu Y, Xu F, 2011. Effects of two live diets on the development and reproduction of *Orius sauteri* (Heteroptera: Anthocoridae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 566–568. [刘文静, 张安盛, 李丽莉, 门兴元, 张思聪, 周仙红, 于毅, 徐富, 2011. 二种活体饲料对东亚小花蝽生长发育和生殖的影响. 应用昆虫学报, 48(3): 566–568.]

Ma RQ, Wang LL, Heng H, Zhou ZY, Li Z, 2018. Cloning of ferritin gene *AmFer3HCH* and its response to temperature stress in the Italian honeybee, *Apis mellifera ligustica* (Hymenoptera: Apidae). *Acta Entomologica Sinica*, 61(9): 1029−1039. [马荣琴, 王林玲, 衡惠, 周泽扬, 李治, 2018. 意大利蜜蜂铁蛋白基因 *AmFer3HCH* 的克隆及其在温度胁迫下的应答. 昆虫学报, 61(9): 1029−1039.]

Wang JJ, Ma YL, Ye LF, Fu X, Du S, Zhou GF, 2018. Biological control of *Harmonia axyridis* on insect pests in corn fields: Research progress, *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 34(26): 128−133. [王佳佳, 马艳龙, 叶乐夫, 付雪, 杜升, 周改芳, 2018. 异色瓢虫对玉米田害虫控害功能的研究进展. 中国农业通报, 34(26): 96−100.]

Wang XM, Chen XS, Qiu BL, Ren SX, 2014. Methods and technologies for collecting, surveying and sampling predatory ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1362−1366. [王兴民, 陈晓胜, 邱宝利, 任顺祥, 2014. 捕食性瓢虫采集与调查取样技术. 应用昆虫学报, 51(5): 1362−1366.]

Wu HS, Han SC, Zhang YH, Li ZG, Zheng JH, 2010. Predation of *Lemnia biplagiata* and *Menochilus sexmaculatus* adults to larvae of *Aleuro dicus dispersus*. *Joumal of Environmental Entomology*, 32(3): 380−383. [吴红胜, 韩诗畴, 张宇宏, 李志刚, 郑基焕, 2010. 双带盘瓢虫与六斑月瓢虫成虫对螺旋粉虱幼虫的捕食作用. 环境昆虫学报, 32(3): 380−383.]

Wu MS, 2000. A preliminary study on the feeding habits and predation ability of the ladybugs of *Menochilus sexmaculates*. *Jiangxi Plant Protection*, 23(2): 33−35. [吴森生, 2000. 六斑月瓢虫食性及捕食能力初步研究. 江西植保, 23(2): 33−35.]

Xiang M, Hu HX, Yu F, Ji R, Wang H, 2017. Effects of brief exposure to high temperatures on *HSP70* expression in oogenesis of *Calliptamus italicus*. *Pratacultural Science*, 34(6): 1299−1305. [向敏, 扈鸿霞, 于非, 季荣, 王晗, 2017. 短时高温处理对意大利蝗卵子发生期 HSP70 蛋白表达的影响. 草业科学, 34(6): 1299−1305.]

Yan JL, Chen QX, Shi L, Cheng JY, Li J, 2016. Functional responses of *Coccinella septempunctata* larval for the predation of three species of aphids in the field. *Tianjin Agricultural Sciences,* 22(6): 96−100. [颜金龙, 陈全兴, 史磊, 程金艳, 李洁, 2016. 田间七星瓢虫成幼虫捕食 3 种蚜虫功能反应初步研究. 天津农业科学, 22(6): 96−100.]

Yang H, Zhang FK, 2007. Study on functional response of *Menochilus sexmaculates* Fab. adults to *Aphis robiniae* Macchiati. *Sichuan Animals*, 26(4): 907−909. [杨鹤, 郑发科, 2007. 六斑月瓢虫成虫捕食洋槐蚜的功能反应研究. 四川动物, 26(4): 907−909.]

Yang LH, Huang H, Wang JJ, 2014. Effect of exposure to heat stress on survival and fecundity of *Panonychus citri*. *Scientia Agricultura Sinica*, 47(4): 693−701. [杨丽红, 黄海, 王进军, 2014. 高温胁迫对柑橘全爪螨存活及生殖的影响. 中国农业科学, 47(4): 693−701.]

Yu HL, Wang XL, Li YX, 2013. Control action of *Menochilus sexmaculates* to *Pseudophacopteron canarium* on *Canarium album* tree. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 33(6): 55−59. [于华利, 王祥林, 李奕震, 2013. 六斑月瓢虫对橄榄星室木虱的控制作用. 中南林业科技大学学报, 33(6): 55−59.]

Zeh JA, Bonilla MM, Su EJ, Padua MV, Anderson RV, Kaur D, Yang DS, Zeh DW, 2012. Degrees of disruption: Projected temperature increase has catastrophic consequences for reproduction in a tropical ectotherm. *Global Change Biology*, 18(6): 1833−1842.