

纤丽瓢虫取食豆蚜的生长发育及繁殖特性*

刘志伟** 霍立志***

(广州市林业和园林科学研究院, 广州市生态园林科技协同创新中心, 广州 510405)

摘要 【目的】明确纤丽瓢虫 *Harmonia sedecimnotata* 在室内条件下取食豆蚜 *Aphis craccivora* 的生物学特性, 为其规模化扩繁提供基础数据。【方法】采用室内控制条件饲养, 构建实验种群生命表, 研究不同温度条件对纤丽瓢虫生长发育的影响, 以及在 (26 ± 1) °C 时纤丽瓢虫的繁殖特性。【结果】15–30 °C 时, 纤丽瓢虫均能发育, 且各阶段的发育历期随温度升高而缩短。纤丽瓢虫卵-成虫历期在 15、20、25 和 30 °C 时存在显著差异 ($P<0.001$), 分别为 (42.30 ± 1.21) 、 (31.86 ± 1.46) 、 (18.59 ± 0.89) 和 (15.73 ± 0.87) d。纤丽瓢虫幼虫各阶段和蛹在 25 °C 的存活率最高, 分别为 $95.08\%\pm 1.76\%$ 、 $96.18\%\pm 1.41\%$ 、 $98.63\%\pm 0.97\%$ 、 $94.63\%\pm 1.64\%$ 和 $97.80\%\pm 1.81\%$ 。纤丽瓢虫卵-成虫的存活率在 15、20、25 和 30 °C 时存在显著性差异 ($P<0.001$), 分别为 $20.00\%\pm 2.72\%$ 、 $41.11\%\pm 1.57\%$ 、 $64.76\%\pm 2.93\%$ 和 $48.89\%\pm 1.57\%$ 。纤丽瓢虫完成一个世代的发育起点温度为 9.411 °C, 有效积温为 300.703 日·度。纤丽瓢虫实验种群的雌性比为 0.51, 产卵期为 (79.56 ± 63.59) d, 单雌产卵量为 $(1\ 289.89\pm 724.70)$ 粒, 卵孵化率为 $77.67\%\pm 2.49\%$, 营养卵比例为 $10.67\%\pm 1.25\%$, 雌虫寿命与产卵量呈正相关, 世代净增长率 (R_0) 为 633.933, 平均世代历期 (T) 为 76.828, 内禀增长率 (r_m) 为 0.084, 周限增长率 (λ) 为 1.088。【结论】纤丽瓢虫具有较宽的温度适应范围和较高的繁殖能力, 在生物防治方面具有较好的应用潜力。

关键词 纤丽瓢虫; 发育历期; 繁殖力; 发育起点温度; 有效积温; 种群生命表

Development and fecundity of captive *Harmonia sedecimnotata* feeding on *Aphis craccivora*

LIU Zhi-Wei** HUO Li-Zhi***

(Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture, Guangzhou Collaborative Innovation Center on Science-Tech of Ecology and Landscape, Guangzhou 510405, China)

Abstract [Aim] To determine the biological characteristics of the ladybird, *Harmonia sedecimnotata*, feeding on *Aphis craccivora* under laboratory conditions, in order to provide basic dates to improve the mass-rearing of this species in captivity. [Methods] A population life table for a captive population fed using controlled feeding was completed, and the effects of different temperatures on the growth and development of *H. sedecimnotata* were measured. In addition, the reproductive characteristics of the population at (26 ± 1) °C are described. [Results] Although all ladybirds could complete their life-cycle at temperatures in the range of 15–30 °C, the development period of each stage shortened with increasing temperature. There were significant differences in the time required to develop from egg to adult at 15, 20, 25 and 30 °C ($P<0.001$), which were (42.30 ± 1.21) , (31.86 ± 1.46) , (18.59 ± 0.89) and (15.73 ± 0.87) d, respectively. The survival rates of 1st–4th instar larvae and pupae were highest at 25 °C ($95.08\%\pm 1.76\%$, $96.18\%\pm 1.41\%$, $98.63\%\pm 0.97\%$, $94.63\%\pm 1.64\%$ and $97.80\%\pm 1.81\%$, respectively). There were significant differences in the survival rate of all life stages at 15, 20, 25 and 30 °C ($P<0.001$), which were $20.00\%\pm 2.72\%$, $41.11\%\pm 1.57\%$, $64.76\%\pm 2.93\%$ and $48.89\%\pm 1.57\%$, respectively. The development threshold temperature and effective accumulated temperature of a generation of *H. sedecimnotata* were 9.411 °C and 300.703

*资助项目 Supported projects: 广州市林业和园林局部门预算项目: 林业园林科学技术研究经费-食蚜类瓢虫产业化关键技术研究(穗财编[2023]1号); 广州市科学技术局农业和社会发展科技项目(202206010058)

**第一作者 First author, E-mail: liuzw2020@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: huolizhicn@163.com

收稿日期 Received: 2024-04-20; 接受日期 Accepted: 2024-10-30

degree-days, respectively. The sex ratio of the experimental population was 0.51, the oviposition period was (79.56 ± 63.59) d, the number of eggs laid per female was $1\,289.89 \pm 724.70$. The hatchability was $77.67\% \pm 2.49\%$ and the number of trophic eggs was $10.67\% \pm 1.25\%$. There was a significant, positive correlation between fecundity and female longevity. The net reproductive rate (R_0), generation time (T), intrinsic rate of increase (r_m) and finite rate of increase (λ), were 633.933, 76.828, 0.084 and 1.088, respectively. **[Conclusion]** *H. sedecimnotata* can complete its life-cycle and has relatively high reproductive capacity at temperatures in the range of 15 to 30 °C. Consequently, this species should receive more consideration as a potential agent of biological control.

Key words *Harmonia sedecimnotata*; development period; fecundity; development threshold temperature; effective accumulated temperature; population life table

生物防治具有安全、有效、环保、低能耗等优点,是保障农业可持续发展的重要措施,也是降低化学农药使用量的根本手段(张礼生和陈红印, 2014)。瓢虫作为生物防治中常用的一类天敌,对控制蚜虫、介壳虫、粉虱、叶螨等农林害虫发挥着重要作用(任顺祥等, 2009; 王兴民等, 2014)。全球已记录瓢虫 6 896 种,中国记录 1 072 种(王兴民和陈晓胜, 2022),其中约四分之三为捕食性瓢虫,表明瓢虫资源极为丰富。在我国,研究和应用较多的瓢虫种类包括龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*、孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri*、六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata*、多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 和深点食螨瓢虫 *Stethorus punctillum* 等(郭建英等, 2006; Koch and Costamagna, 2017; 唐良德等, 2017; Wu *et al.*, 2018; 张娜等, 2019; Li *et al.*, 2021; 姜岩等, 2022)。

纤丽瓢虫 *Harmonia sedecimnotata* 属于和谐瓢虫属 *Harmonia*, 广泛分布于南亚和东南亚地区,在我国主要分布于西南和华南地区(任顺祥等, 2009)。据调查,该瓢虫在广州市的公园及其他绿地均有分布且数量较多,为本地优势种类。目前,关于纤丽瓢虫的研究主要在捕食功能和部分生物学特性方面,例如, Semyanov 和 Vaghina (2003) 研究了纤丽瓢虫取食桃蚜 *Myzus persicae* 和麦蛾 *Sitotroga cerealella* 卵的寿命、繁殖力和捕食量等生物学特征; Reznik 和 Vaghina (2006) 研究了纤丽瓢虫营养诱导和终止过程中脂肪含量的动态变化; Boopathi 等 (2020) 研究了纤丽瓢虫的部分生物学特性和对棉蚜

Aphis gossypii 的捕食效应并开展了田间应用评价。对于该虫的规模化繁育尚未见相关研究。

豆蚜 *A. craccivora* 是我国蚕豆、豇豆、苜蓿等农作物的重要害虫(戴爱梅等, 2022; 韩明港等, 2023), 由于其繁殖速度快、室内饲养方便、自然天敌种类广泛,成为人工扩繁七星瓢虫、异色瓢虫、龟纹瓢虫等天敌昆虫的饵料蚜虫(腾树兵和徐志强, 2005; 刘挺等, 2023)。多项研究表明,以豆蚜繁育瓢虫,其发育历期、寿命、繁殖能力等生物学特征表现更佳(Zhang *et al.*, 2012; Pervez *et al.*, 2020)。种群生命表作为描述某个种群在其生命周期内不同阶段的存活率、死亡率和繁殖力等参数的生态学工具(Boopathi *et al.*, 2020),已成为评估昆虫生物防治应用潜力的重要工具(Chi and Getz, 1988)。目前,种群生命表已被用于评估七星瓢虫、异色瓢虫、六斑月瓢虫等多种天敌昆虫的生防应用潜力(唐良德等, 2017; Aziz *et al.*, 2020; 孙丽娟等, 2020)。

本研究采用种群生命表的方法,对纤丽瓢虫取食豆蚜的生长发育特性及繁殖能力进行了研究,旨在为纤丽瓢虫的规模化扩繁提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

纤丽瓢虫于 2022 年采自广州流花湖公园紫薇树,在室内使用豆蚜饲养多代,遗传背景一致、生物学特征稳定、健康状况良好。豆蚜于 2021 年采自广州市内,使用生长 15 d 后的蚕豆苗繁

育。豆蚜和瓢虫的繁育条件为: 温度(26±1)℃, 相对湿度 70%±5%, 光周期为 14 L: 10 D。

1.2 实验方法

1.2.1 不同温度条件下纤丽瓢虫取食豆蚜的发育历期及存活率 随机选取羽化 7 d 的成虫, 按照雌雄比为 1:1 的比例准备成虫 20 头, 将成虫放入饲养盒(长 25 cm、宽 15 cm、高 20 cm), 使用带蚕豆苗的豆蚜进行饲养, 豆蚜接入量约 2 000 头, 同时饲养盒放入少许瓦楞纸方便产卵。随机挑取当天产的卵置于培养皿(直径 9 cm、高 1.5 cm)中, 每个培养皿 100 粒卵, 每处理重复 3 次, 卵的孵化条件同 1.1 节。每天上午 9:00 和下午 18:00 记录卵的孵化数量、时间以及营养卵数量。随机挑取 8 h 内孵化的 1 龄幼虫, 单头饲养在培养皿(直径 9 cm、高 1.5 cm)中, 每日清理培养皿并添加新鲜豆蚜, 30 头为 1 个处理, 重复 3 次。设置 4 个温度梯度, 分别为 15、20、25 和 30℃, 相对湿度和光周期同 1.1 节, 实验在人工气候箱(PG-450, 迅能仪器(北京)有限公司中进行)。每天上午 9:00 和下午 18:00 记录各虫态的发育历期和死亡数量。

1.2.2 纤丽瓢虫取食豆蚜的繁殖情况 随机挑取 12 h 内羽化的 15 对雌雄成虫, 单对饲养在自制饲养盒(直径 9 cm、高 9.5 cm)中, 每日清理并添加新鲜豆蚜约 300 头, 每天下午 17:00 记录产卵前期和产卵量, 直至所有成虫死亡。实验在人工气候箱中进行, 饲养条件同 1.1 节。

1.2.3 纤丽瓢虫发育起点温度和有效积温估算 利用不同温度条件下纤丽瓢虫各阶段发育历期数据, 参考宋墩福等(2015)估算昆虫发育起点温度及有效积温的方法, 构建温度关于发育速率的线性回归模型:

$$T = vK + C$$

上式中, T 表示实验温度; v 表示发育速率, 即发育历期的倒数; K 表示有效积温; C 表示发育起点温度。

1.2.4 纤丽瓢虫实验种群生命表构建 从卵期开始, 记录每个虫态发育历期、死亡数、每日产卵量、成虫寿命等指标, 用于构建实验种群生命表。参考林昌善(1964)和赵志模等(1985)的

方法, 根据记录的数据计算特征年龄(X)、特征存活率(L_x)、年龄特征产雌率(M_x)。参考李秋荣等(2020)的方法, 通过相关公式构建纤丽瓢虫取食豆蚜的实验种群生命表, 计算世代净增殖率(R_0)、平均世代历期(T)、内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ), 公式如下:

$$R_0 = \sum(L_x M_x),$$

$$T = [\sum(x L_x M_x)] / R_0,$$

$$r_m = (\ln R_0) / T,$$

$$\lambda = \exp(r_m).$$

上式中, R_0 表示每雌虫经历 1 个世代所产生的雌性个体数; T 表示昆虫经历 1 个世代所需的平均时间; r_m 表示种群在无限时间、空间、食物等优越条件下特定瞬时增长率; λ 表示每雌虫经过单位时间后的增长倍数。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 整理原始数据, 并计算平均值和标准差; 采用 SPSS 21.0 软件开展 One-way ANOVA 方差分析和线性回归分析, 使用 Duncan's 多重比较进行差异显著分析, 设置显著水平为 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同温度条件下纤丽瓢虫取食豆蚜的发育历期

不同温度条件下纤丽瓢虫卵($df=3$, $F=2\,214.463$)、1 龄幼虫($df=3$, $F=408.005$)、2 龄幼虫($df=3$, $F=507.857$)、3 龄幼虫($df=3$, $F=140.084$)、4 龄幼虫($df=3$, $F=109.515$)、蛹($df=3$, $F=155.622$)和卵-成虫($df=3$, $F=1\,384.720$)的发育历期见图 1。15-30℃时, 纤丽瓢虫均能发育, 且各阶段的发育历期随温度升高而缩短。15℃的各阶段发育历期最长, 分别为卵期(9.48±0.43)d、1 龄(5.43±0.53)d、2 龄(6.70±0.78)d、3 龄(6.25±0.50)d、4 龄(6.75±0.69)d、蛹期(7.60±0.66)d 和卵-成虫(42.30±1.21)d; 30℃的各阶段发育历期最短, 分别为卵期(2.11±0.25)d、1 龄(2.15±0.29)d、2 龄(2.13±0.22)d、3 龄(2.54±0.46)d、4 龄

(4.15 ± 0.23) d、蛹期 (2.73 ± 0.68) d 和卵-成虫 (15.73 ± 0.87) d。25 和 30 °C 的卵期和幼虫期无显著性差异 ($P > 0.05$), 15 和 20 °C 的卵期和幼虫期差异显著 ($P < 0.05$), 但蛹期无显著性差异 ($P > 0.05$), 均在 7-8 d 之间。15、20、25 和 30 °C 的卵-成虫历期存在显著差异 ($P < 0.001$), 分别为 (42.30 ± 1.21)、(31.86 ± 1.46)、(18.59 ± 0.89) 和 (15.73 ± 0.87) d。

2.2 不同温度条件下纤丽瓢虫取食豆蚜的存活率

不同温度条件下纤丽瓢虫卵 ($df=3$, $F=2.000$)、1 龄幼虫 ($df=3$, $F=12.999$)、2 龄

幼虫 ($df=3$, $F=16.507$)、3 龄幼虫 ($df=3$, $F=23.498$)、4 龄幼虫 ($df=3$, $F=5.504$)、蛹 ($df=3$, $F=1.481$) 和卵-成虫 ($df=3$, $F=132.38$) 的存活率见图 2。在 15、20、25 和 30 °C 条件下, 纤丽瓢虫卵和蛹的存活率无显著性差异 ($P > 0.05$), 分别在 76%-80% 和 88%-98% 之间。15 °C 的卵和幼虫阶段存活率最低, 分别为 $70.00\% \pm 5.45\%$ 、 $76.49\% \pm 4.96\%$ 、 $66.85\% \pm 4.67\%$ 、 $78.18\% \pm 3.93\%$ 和 $79.63\% \pm 6.55\%$ 。不同温度条件显著影响卵-成虫存活率 ($P < 0.001$), 其中 25 °C 的卵-成虫存活率最高, 为 $64.76\% \pm 2.93\%$; 15 °C 的卵-成虫存活率最低, 为 $20.00\% \pm 2.72\%$ 。

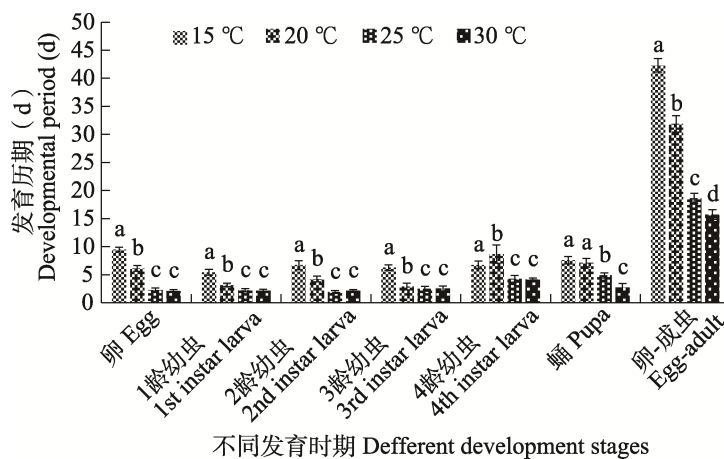


图 1 不同温度条件下纤丽瓢虫取食豆蚜的发育历期

Fig. 1 The developmental period of *Harmonia sedecimnotata* at different temperatures feeding on *Aphis craccivora*

图中数据为平均值±标准差, 柱上不同字母表示显著差异 ($P < 0.05$, Duncan's 多重比较检验)。下图同。

Data in the figure are presented as mean±SD, and different letters above bars indicate significant difference ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test). The same below.

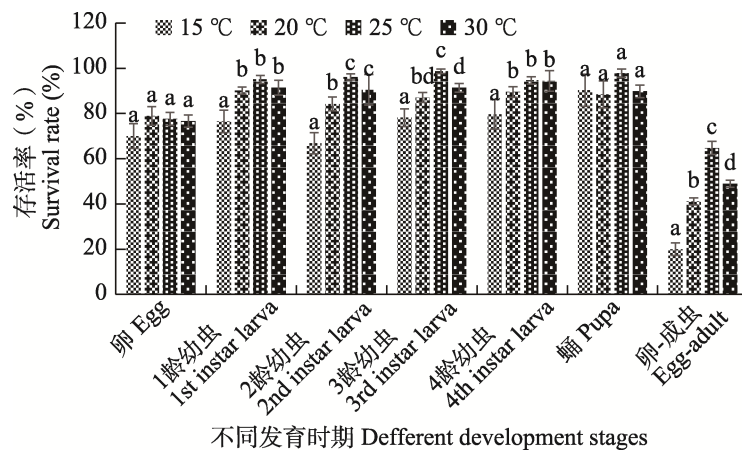


图 2 不同温度条件下纤丽瓢虫取食豆蚜的存活率

Fig. 2 The survival rate of *Harmonia sedecimnotata* at different temperatures feeding on *Aphis craccivora*

2.3 纤丽瓢虫取食豆蚜的繁殖力

纤丽瓢虫取食豆蚜的繁殖情况见表 1。实验条件下, 纤丽瓢虫雌性比例为 0.51, 雌雄比较为平衡。雌雄成虫平均寿命分别为 (90.44±62.09) 和 (89.33±60.40) d。平均每雌产卵量为 (1 289.89±724.70) 粒, 显示样本离散程度较大, 说明个体间产卵量存在较大差异。纤丽瓢虫卵的孵化率

为 77.67%±2.49%, 营养卵占比 10.67%±1.25%。

2.4 纤丽瓢虫产卵期和雌虫寿命与产卵量之间的相关性分析

将雌虫寿命与产卵量采用 lg(x+1)进行数值转化, 再进行线性回归分析, 结果见图 3。纤丽瓢虫雌成虫寿命与产卵量呈线性关系, 产卵量随雌成虫寿命延长而增加。

表 1 纤丽瓢虫取食豆蚜的繁殖特性
Table 1 The fecundity characteristics of *Harmonia sedecimnotata* feeding on *Aphis craccivora*

繁殖参数 Reproductive parameters	数值 Values
雌性比 (%) Female ratio (%)	0.51
产卵前期 (d) Preoviposition period (d)	10.11±1.59
产卵期 (d) Spawning period (d)	79.56±63.59
雌虫寿命 (d) Female longevity (d)	90.44±62.09
雄虫寿命 (d) Male longevity (d)	89.33±60.40
平均每雌产卵量 (粒) Fecundity per female (grains)	1 289.89±724.70
最高产卵量 (粒) Maximum fecundity (grains)	2 499
最低产卵量 (粒) Minimum fecundity (grains)	275
卵孵化率 (%) Hatchability (%)	77.67±2.49
营养卵 (%) Trophic egg (%)	10.67±1.25

表中数值为平均值±标准差。Data in the table are presented as mean±SD.

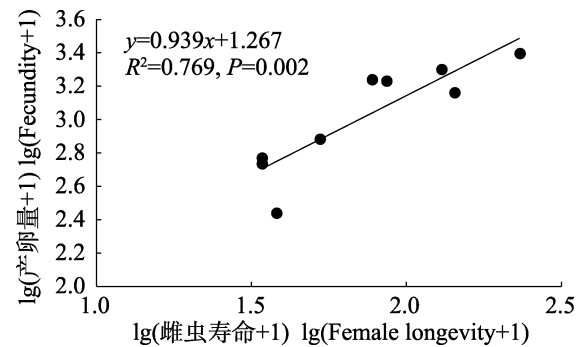


图 3 纤丽瓢虫雌虫寿命与产卵量的相关关系

Fig. 3 Correlation between female longevity and fecundity of *Harmonia sedecimnotata*

2.5 纤丽瓢虫各发育阶段发育起点温度和有效积温估算

纤丽瓢虫各发育阶段温度与发育速率的关系见表 2。纤丽瓢虫卵的发育起点温度为 14.218 ℃, 有效积温为 26.055 日·度。纤丽瓢虫完成一个世代的发育起点温度为 9.411 ℃, 有效

积温为 300.703 日·度。1 龄幼虫发育起点温度最低, 为 9.287 ℃; 蛹的发育起点温度最高, 为 17.123 ℃; 卵的有效积温最低, 为 26.055 日·度; 4 龄幼虫的有效积温最高, 为 54.861 日·度。

2.6 纤丽瓢虫实验种群生命表

纤丽瓢虫实验种群生命表各参数见表 3。实验条件下, 纤丽瓢虫内禀增长率和周限增长率分别为 0.084 和 1.088, 说明纤丽瓢虫具有较高的增殖速度。

3 讨论

本研究在室内控制条件下, 采用豆蚜饲养纤丽瓢虫, 通过 4 个温度梯度处理得出纤丽瓢虫一系列生物学特征数据。包括各虫态的发育历期、存活率、繁殖力特征指标, 为纤丽瓢虫的后续研究和生物防治应用提供了一定的参考价值。

表 2 纤丽瓢虫各发育阶段温度与发育速率的线性回归模型

Table 2 The linear regression of temperature and growth rate in each development stage of *Harmonia sedecimnotata*

发育阶段 Developmental stage	线性回归方程 Equation of linear regression	Pearson 相关系数 Pearson related coefficient	F	R^2	P
卵 Egg	$T=26.055V+14.218$	0.889	464.724	0.791	<0.001
1 龄幼虫 1st instar larva	$T=35.640V+9.287$	0.871	335.527	0.758	<0.001
2 龄幼虫 2nd instar larva	$T=28.090V+12.641$	0.862	276.362	0.742	<0.001
3 龄幼虫 3rd instar larva	$T=28.080V+13.386$	0.836	203.451	0.689	<0.001
4 龄幼虫 4th instar larva	$T=54.861V+12.785$	0.753	107.180	0.567	<0.001
蛹 Pupa	$T=32.688V+17.123$	0.785	121.974	0.616	<0.001
卵-成虫 Egg-adult	$T=300.703V+9.411$	0.949	626.400	0.901	<0.001

表 3 纤丽瓢虫实验种群生命表参数

Table 3 The life table parameters of *Harmonia sedecimnotata* feeding on *Aphis craccivora*

世代净增长率 R_0 Net reproductive rate R_0	世代平均历期 T Generation time T	内禀增长率 r_m Intrinsic rate of increase r_m	周限增长率 λ Finite rate of increase λ
633.933	76.828	0.084	1.088

研究表明,食物会影响瓢虫的生长发育和繁殖特性 (Ferrer *et al.*, 2008)。例如,以玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* 为食物的六斑月瓢虫世代历期比以烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和豆蚜为食物的群体要短,其存活率和繁殖力也更高(唐良德等, 2017)。Boopathi 等 (2020) 在近似的饲养条件下[温度 (23 ± 1) °C、湿度 $70\%\pm 1\%$], 用棉蚜饲养纤丽瓢虫, 各虫态发育历期均高于本研究结果; 每雌最高产卵量为 1 080 粒, 远低于本研究中的 2 499 粒; 内禀增长率和周限增长率分别是 0.109 6 和 1.115 9, 而本研究中外禀增长率和周限增长率分别是 0.084 和 1.088, 两者接近。推测纤丽瓢虫取食不同猎物的繁殖能力表现出一定差异, 豆蚜可能更适合大量繁育该瓢虫。节肢动物在可捕食多种猎物的情况下, 取食最适宜的猎物能够显著提高其存活率、繁殖力, 以及缩短发育历期 (Zhang *et al.*, 2007; 张昌容等, 2012)。因此, 在今后的研究中, 可丰富猎物种类和调整环境设定条件, 探索不同的猎物和环境条件下纤丽瓢虫生长发育及繁殖特性, 明确最适生长条件和猎物。

温度是影响昆虫取食、生长发育、存活率、繁殖力和行为的重要因素 (Andrey *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2022)。本研究测定了不同温度条件下纤丽瓢虫的发育历期。结果表明, 纤丽瓢虫在 15-30 °C 的温度范围内均能完成世代发育, 且其发育历期随温度升高而缩短, 这与七星瓢虫、异色瓢虫、孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri*、圆斑弯叶毛瓢虫 *Nephus ryuguus*、龟纹瓢虫、越南斧瓢虫 *Axinoscyrnus apioides*、柯氏素瓢虫 *Illeis koebele* 的研究结果一致(李莹等, 2003; Katsarou *et al.*, 2005; 陈洁等, 2009; Zhou *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2018; Islam *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2022)。本研究基于不同温度与瓢虫各阶段发育历期数据, 采用线性回归模型能较好模拟温度与发育速率之间的关系, 估算纤丽瓢虫一个世代的发育起点温度为 9.411 °C, 有效积温为 300.703 日·度, 这与越南斧瓢虫、七星瓢虫和六斑月瓢虫的特性相近 (Katsarou *et al.*, 2005; 王祥林等, 2012; Zhou *et al.*, 2017)。推测这是部分捕食性瓢虫共通的特点。

温度对瓢虫的捕食能力和繁殖力有着显著

影响。例如, 异色瓢虫在 15 °C 时对豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 的捕食能力和繁殖力最强 (Islam *et al.*, 2022), 七星瓢虫在 23 °C 时对桃蚜 *Myzus persicae* 的捕食量最大 (Katsarou *et al.*, 2005)。菱斑巧瓢虫 *Oenopia globata* 在 25 °C 时对木虱 *Agonosca pistaciae* 的捕食能力表现最佳 (Sanati *et al.*, 2020)。柯氏素瓢虫的产卵量在 20.3-29.3 °C 的温度范围内随温度升高而降低, 而在 25.12 °C 时存活率最高 (Lee *et al.*, 2018)。本研究中纤丽瓢虫的繁殖特征数据是在 (26±1) °C 下测定的, 虽然这一温度范围被认为是许多瓢虫繁殖的最佳温度 (Omkar and Kumar, 2016; Zhou *et al.*, 2017; 杨果润等, 2022), 但可能并非纤丽瓢虫的最佳温度条件。未来将探索不同温度条件下纤丽瓢虫的捕食能力和繁殖力变化, 为其在生物防治应用中提供更加详尽的数据支持。

在实验条件下, 饲喂豆蚜的纤丽瓢虫表现出强大的繁殖能力, 平均每雌产卵量达到 (1 289.89±724.70) 粒, 世代净增殖率为 633.933, 内禀增长率为 0.084, 周限增长率为 1.088。这些指标与在棉蚜和萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* 等多种蚜虫饲养条件下的异色瓢虫和七星瓢虫的生命表指标相近 (Aziz *et al.*, 2020; 孙丽娟等, 2020), 而后两者已被广泛研究并大规模应用于生产实践 (Rondoni *et al.*, 2021; Twardowski *et al.*, 2021)。此外, 瓢虫体型大小与繁殖能力呈正相关 (Hodek *et al.*, 2012)。纤丽瓢虫的体长为 6.0-7.0 mm, 体宽为 5.0-6.1 mm, 这与异色瓢虫相近 (任顺祥等, 2009)。因此, 纤丽瓢虫作为一种优秀的天敌昆虫, 具备广阔的应用前景, 其研究和开发值得进一步重视。

田间释放应用是瓢虫研究开发的重要目的。天气状况将会影响瓢虫田间定殖效果, 雨天、干旱等天气降低瓢虫卵块的孵化率和成虫的留置 (高福宏等, 2012; 伍兴隆等, 2022)。在控制条件下, 纤丽瓢虫卵至成虫各阶段都会出现不同程度的死亡, 即使纤丽瓢虫具有较高的繁殖能力, 在田间复杂环境条件下, 该瓢虫各发育阶段的死亡率可能会增加, 进而导致种群增长速

度变慢。因此, 在田间释放纤丽瓢虫防治蚜虫时, 应尽量避免不利的天气情况, 提高卵的孵化率, 保证种群增长速度, 以快速响应防控蚜虫危害。

参考文献 (References)

- Andrey O, Sergey R, Olga BM, Natalia B, 2022. Walking activity of a predatory ladybird, *Cheilomenes propinqua*: Impacts of photoperiod, temperature, and starvation. *BioControl*, 67(5): 513–522.
- Aziz MA, Sadaf H, Iftikhar A, Hafeez F, 2020. Influence of crapemyrtle aphid, *Tinocallis kahawaluokalani* (Hemiptera: Aphididae) on population characteristics of three aphidophagous ladybird beetles. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40(2): 361–371.
- Boopathi T, Singh SB, Dutta SK, Dayal V, Singh AR, Chowdhury S, Ramakrishna Y, Aravintharaj R, Shakuntala I, Lalhrupui K, 2020. *Harmonia sedecimnotata* (F.): Predatory potential, biology, life table, molecular characterization, and field evaluation against *Aphis gossypii* Glover. *Scientific Reports*, 10(1): 3079.
- Chi H, Getz WM, 1988. Mass rearing and harvesting based on an age-stage, two-sex life table: A potato tuberworm (Lepidoptera: Gelechiidae) case study. *Environment Entomology*, 17(1): 18–25.
- Chen J, Qin QJ, He YZ, 2009. Effects of temperature on laboratory population of *Propylea japonica* (Thunberg). *Journal of Agricultural University of Hebei*, 32(6): 69–72, 79. [陈洁, 秦秋菊, 何运转, 2009. 温度对龟纹瓢虫实验种群生长发育的影响. 河北农业大学学报, 32(6): 69–72, 79.]
- Dai AM, Ding ZM, Zhang HJ, Chen XR, Dai QP, Lu YY, 2022. Evaluation of the control effect of azadirachtin and fatty acid methyl ester spray adjuvant on *Aphis craccivora* (Koch). *Journal of Environmental Entomology*, 44(5): 1301–1307. [戴爱梅, 丁志梅, 张海军, 陈先荣, 戴秋萍, 2022. 印楝素与脂肪酸甲酯联合使用对豆蚜的防治效果. 环境昆虫学报, 44(5): 1301–1307.]
- Ferrer A, Dixon AFG, Hemptinne JL, 2008. Prey preference of ladybird larvae and its impact on larval mortality, some life-history traits of adults and female fitness. *Bulletin of Insectology*, 61(1): 5–10.
- Gao FH, Pan Y, Kong NC, Gong XG, Yue N, Wang KP, 2012. Progress of *Harmonia axyridis* release technology. *Hubei Agricultural Sciences*, 51(11): 2172–2173, 2193. [高福宏, 潘悦, 孔宁川, 弓新国, 岳宁, 王夸平, 2012. 异色瓢虫释放技术概况. 湖北农业科学, 51(11): 2172–2173, 2193.]
- Guo JY, Wu M, Wu JZ, Wan FH, 2006. Field evaluation of control efficacy of ladybirds and imidacloprid on wheat aphids. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(4): 508–513. [郭建英, 吴岷, 武吉兆, 万方浩, 2006. 释放天敌瓢虫和施用化学农药吡虫啉对麦

- 田蚜虫的控制效果评价. 昆虫知识, 43(4): 508–513.]
- Han MG, Liu QY, Zhao HY, Chen K, He YZ, Liu S, Qin QJ, 2023. Effects of frozen *Aphis craccivora* as prey on the development and reproduction of *Harmonia axyridis*. *Plant Protection*, 49(4): 204–210. [韩明港, 刘倩宇, 赵洪洋, 陈科, 何运转, 刘顺, 秦秋菊, 2023. 冷冻豆蚜为猎物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响. 植物保护, 49(4): 204–210.]
- Hodek I, Emden HFV, Honek A, 2012. Ecology and Behaviour of the Ladybird Beetles (Coccinellidae). UK: Wiley-Blackwell. 57–97.
- Islam Y, Güncan A, Fan YD, Zhou XM, Naeem A, Shah FM, 2022. Age-stage, two-sex life table and predation parameters of *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae), reared on *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (Hemiptera: Aphididae), at four different temperatures. *Crop Protection*, 159: 106029.
- Jiang Y, Xiu CL, Wang DM, Liu J, Pan HS, Liu XN, 2022. Research progress on biological ecology, conservation and utilization of *Hippodamia variegata* (Goeze). *Chinese Journal of Biological Control*, 38(1): 50–62. [姜岩, 修春丽, 王冬梅, 刘建, 潘洪生, 刘小宁, 2022. 多异瓢虫生物生态学特性及保育利用研究进展. 中国生物防治学报, 38(1): 50–62.]
- Katsarou I, Margaritopoulos JT, Tsitsipis JA, Perdakis DC, Zarpas KD, 2005. Effect of temperature on development, growth and feeding of *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia convergens* reared on the tobacco aphid, *Myzus persicae* nicotianae. *BioControl*, 50(4): 565–588.
- Khan J, Khan A, Ahmed N, Alhag SK, Almadiy AA, Sayed S, Alam P, Ullah F, 2022. Age and stage-specific life table parameters of *Harmonia dimidiata* (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) at different temperatures. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32(1): 1–9.
- Koch RL, Costamagna AC, 2017. Reaping benefits from an invasivespecies: Role of *Harmonia axyridis* in natural biological control of *Aphis glycines* in North America. *BioControl*, 62(3): 331–340.
- Li Y, Tian MY, Ren SX, Liang MS, Liu YK, 2003. Influence of temperature on the development of *Nephus ryuguus*. *Entomological Knowledge*, 40(3): 244–247. [李莹, 田明义, 任顺祥, 梁铭生, 刘永康, 2003. 温度对圆斑弯叶毛瓢虫生长发育的影响. 昆虫知识, 40(3): 244–247.]
- Lin CS, 1964. The theoretical and laboratory studies of animal population dynamics II. A study of innate capacity for increase (r_m) of *Tribolium confusum* (H.) under certain experimental conditions. *Acta Zoologica Sinica*, 10(3): 323–338. [林昌善, 1964. 动物种群数量变动的理论与试验研究 II. 杂拟谷盗 *Tribolium confusum* (H.) 的内禀增长能力(r_m)的研究. 动物学报, 10(3): 323–338.]
- Li QR, Qi QM, Lai YP, 2020. Study on predation of *Coccinella undecimpunctata* Linnaeus on *Aphis gossypii* Glover. *Journal of Environmental Entomology*, 42(6): 1472–1481. [李秋荣, 祁全梅, 来有鹏, 2020. 十一星瓢虫对枸杞棉蚜的捕食作用研究. 环境昆虫学报, 42(6): 1472–1481.]
- Li HS, Huang YH, Chen ML, Ren Z, Qiu BY, De Clercq P, Heckel G, Pang H, 2021. Genomic insight into diet adaptation in the biological control agent *Cryptolaemus montrouzieri*. *BMC Genomics*, 22(1): 135.
- Liu T, Liu DY, Tian SS, Yu JM, Wang Y, Jiang LQ, Guo SP, Li B, Wu XL, Xiao KJ, Liu HL, Pu DQ, 2023. Effects of different female-male ratios and feeding density on spawning capacity and hatchability of *Coccinella septempunctata*. *Hubei Agricultural Sciences*, 62(7): 69–72, 79. [刘挺, 刘东阳, 田水生, 余佳敏, 王勇, 江连强, 郭仕平, 李斌, 伍兴隆, 科军, 刘虹伶, 蒲德强, 2023. 不同雌、雄比例及饲养密度对七星瓢虫产卵量及孵化率的影响. 湖北农业科学, 62(7): 69–72, 79.]
- Lee YS, Baek S, Lee JG, Lee HA, Lee JH, 2018. Temperature-dependent development and oviposition models of *Illeis koebelei* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(3): 984–993.
- Oliveira CM, Silva Torres CSA, Torres JB, Silva GDS, 2022. Estimation of population growth for two species of lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) under different temperatures. *Biocontrol Science and Technology*, 32(1): 74–89.
- Omkar O, Kumar B, 2016. Effects of temperature and photoperiod on predation attributes and development of two *Coccinella* species (Coleoptera: Coccinellidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(1): 64–76.
- Pervez A, de Holanda Nunes Maia A, Bozdoğan H, 2020. Reproduction and demography of an aphidophagous ladybird, *Hippodamia variegata* on six aphid species. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40(3): 541–548.
- Ren SX, Wang XM, Pang H, Peng ZQ, Zeng T, 2009. Colored Pictorial Handbook of Ladybird Beetles in China. Beijing: Science Press. 2–19. [任顺祥, 王兴民, 庞虹, 彭正强, 曾涛, 2009. 中国瓢虫原色图鉴. 北京: 科学出版社. 2–19.]
- Reznik SY, Vaghina NP, 2006. Dynamics of fat content during induction and termination of “trophic diapause” in *Harmonia sedecimnotata* Fabr. females (Coleoptera, Coccinellidae). *Entomological Review*, 86(2): 125–132.
- Rondoni G, Borges I, Collatz J, Conti E, Costamagna AC, Dumont F, Evans EW, Grez AA, Howe AG, Lucas E, Maisonhaute JÉ, Soares AO, Zaviezo T, Cock MJW, 2021. Exotic ladybirds for biological control of herbivorous insects—a review. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 169(1): 6–27.
- Sanati S, Goldasteh S, Shirvani A, Rashki M, 2020. Functional response of *Oenopia conglobata* contaminata (Coleoptera:

- Coccinellidae) to *Agonosцена pistaciae* (Hemiptera: Psyllidae) at two different temperatures. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40(3): 621–628.
- Semyanov VP, Vaghina NP, 2003. Effect of the trophic diapause on the fecundity and longevity of a tropical coccinellid, *Harmonia sedecimnotata* (Fabr.) (Coleoptera, Coccinellidae). *Entomological Review*, 83(8): 915–916.
- Song DF, Chen YS, Tu XY, 2015. Study on development threshold and sum of effective temperatures of *Dastarcus helophoroides* Gannan population. *China Plant Protection*, 35(6): 58–60, 44. [宋墩福, 陈元生, 涂小云, 2015. 花绒寄甲赣南种群发育起点温度与有效积温研究. 中国植保导刊, 35(6): 58–60, 44.]
- Sun LJ, Yu HX, Zheng CY, 2020. Effects of four aphid species on development and reproduction of *Harmonia axyridis*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 31(10): 3554–3558. [孙丽娟, 于海霞, 郑长英, 2020. 4种蚜虫对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响. 应用生态学报, 31(10): 3554–3558.]
- Tang LD, Li F, Zhao HY, Wu JH, Ren SX, 2017. Influence of three prey species on the development and fecundity of *Menochilus sexmaculata* Fabricius. *Acta Ecologica Sinica*, 37(17): 5765–5770. [唐良德, 李飞, 赵海燕, 吴建辉, 任顺祥, 2017. 六斑月瓢虫取食不同猎物的生长发育及繁殖特性. 生态学报, 37(17): 5765–5770.]
- Teng SB, Xu ZQ, 2005. The cold storage conditions of *Harmonia axyridis* eggs and adults in mass rearing. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(2): 180–183. [滕树兵, 徐志强, 2005. 人工扩繁代异色瓢虫卵和成虫最适冷藏条件的探讨. 昆虫知识, 42(2): 18–183.]
- Twardowski JP, Hurej M, Twardowska K, 2021. Effect of ingestion exposure of selected insecticides on *Coccinella septempunctata* and *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Insects*, 12(5): 434.
- 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.]
- Wang XM, Chen XS, 2022. Illustrated Handbook of Ladybird Beetles in China. Fuzhou: The Straits Publishing & Distributing Group. 1–30. [王兴民, 陈晓胜, 2022. 中国瓢虫图鉴. 福州: 海峡出版发行集团. 1–30.]
- 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.]
- Wu XL, Yu JM, Wang Y, Liu DY, Jiang LQ, Guo SP, Li B, Xiao KJ, Liu HL, Yang ML, Pu DQ, 2022. Colonization and spreading ability of artificially released *Coccinella septempunctata* in tobacco fields. *Chinese Tobacco Science*, 43(6): 39–44. [伍兴隆, 余佳敏, 王勇, 刘东阳, 江连强, 郭仕平, 李斌, 肖科军, 刘虹伶, 杨明禄, 蒲德强, 2022. 人工投放七星瓢虫在烟田的定殖扩散能力. 中国烟草科学, 43(6): 39–44.]
- Wu G, Wang Y, Wang JN, Chen XZ, Hu QX, Yang YF, Liu QQ, 2018. Vitality and stability of insecticide resistance in adult *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Insect Science*, 18(6): 16.
- Yang GR, Zhao DM, Liang JF, Guan YS, Yang YH, Wang XM, 2022. Effects of temperature on the development and reproduction of *Serangiella sababensis* Sasaji (Coleoptera: Coccinellidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(2): 386–391. [杨果润, 赵冬梅, 梁建锋, 关月姗, 杨仪韩, 王兴民, 2022. 温度对沙巴拟刀角瓢虫生长发育和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 59(2): 386–391.]
- Zhang CR, Zhi JR, Mo LF, 2012. The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of *Orius similis* Zheng. *Acta Ecologica Sinica*, 32(18): 5646–5652. [张昌容, 郑军锐, 莫利锋, 2012. 四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响. 生态学报, 32(18): 5646–5652.]
- Zhang LS, Chen HY, 2014. Advances in research and application of biological control agents in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 30(5): 581–586. [张礼生, 陈红印, 2014. 生物防治作用物研发与应用的进展. 中国生物防治学报, 30(5): 581–586.]
- Zhang N, Liu YS, Xie LX, 2019. Advances in research on *Stethorus punctillum*, an important predator of the spider mite. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 662–671. [张娜, 刘玉升, 谢丽霞, 2019. 叶螨的重要天敌: 深点食螨瓢虫的研究进展. 应用昆虫学报, 56(4): 662–671.]
- Zhang SZ, Zhang F, Hua BZ, 2007. Suitability of various prey types for the development of *Propylea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, 104(1): 149–152.
- Zhang SZ, Li JJ, Shan HW, Zhang F, Liu TX, 2012. Influence of five aphid species on development and reproduction of *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control*, 62(3): 135–139.
- Zhao ZM, Zhu WB, Ye H, Li Q, 1985. Construction and analysis on life table for experimental population of *Panonychus citri* McGregor. *Journal of Southwest Agricultural College*, 7(3): 30–39. [赵志模, 朱文炳, 叶辉, 李强, 1985. 桔全爪螨(*Panonychus citri* McGregor)实验种群生命表的组建与分析. 西南农学院学报, 7(3): 30–39.]
- Zhou HP, Ali S, Wang XM, Chen XS, Ren SX, 2017. Temperature influences the development, survival, and life history of *Axinoscymnus apioides* Kuznetsov & Ren (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of whitefly. *Turkish Journal of Zoology*, 41(3): 495–501.