

# 两种替代猎物对日本刀角瓢虫生长发育及生殖力的影响

丁雪玲<sup>1</sup>, 姚凤奎<sup>1,2</sup>, 郑宇<sup>1</sup>, 卢学松<sup>1</sup>, 何玉仙<sup>1,2\*</sup>

(1. 福建省农业科学院植物保护研究所/福建省作物有害生物监测与治理重点实验室/农业部福州作物有害生物科学观测实验站, 福州 350013;  
2. 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002)

**摘要:** 为明确替代猎物对日本刀角瓢虫人工饲养的效果, 以烟粉虱卵为对照, 研究了地中海粉螟卵和米蛾卵对日本刀角瓢虫生长发育及繁殖力的影响。结果表明, 饲喂米蛾卵的日本刀角瓢虫存活率为 17.16%, 发育历期显著延长, 雌虫寿命显著缩短; 饲喂地中海粉螟卵处理的存活率为 77.82%, 雌虫寿命显著延长。瓢虫幼虫期和成虫期营养对成虫产卵能力有明显影响: 幼虫期饲喂地中海粉螟卵, 成虫期分别饲喂米蛾卵和地中海粉螟卵, 产卵量极显著降低(分别为 64.45 粒和 53.82 粒); 幼虫期饲喂地中海粉螟卵, 成虫期饲喂烟粉虱卵, 产卵量(539.10 粒)与对照组无显著差异; 幼虫期饲喂烟粉虱卵, 成虫期分别饲喂地中海粉螟卵和米蛾卵, 产卵量极显著降低(分别为 59.30 粒和 71.38 粒)。因此, 米蛾卵不适于日本刀角瓢虫饲养, 地中海粉螟卵可作为瓢虫幼虫期饲养的替代猎物。

**关键词:** 日本刀角瓢虫; 地中海粉螟卵; 米蛾卵; 生长发育; 繁殖力

**中图分类号:** S476.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2019)06-0855-06

## Effects of Two Alternative Prey Species on Development and Fecundity of *Serangium japonicum* (Coleoptera:Coccinellidae)

DING Xueling<sup>1</sup>, YAO Fengluan<sup>1,2</sup>, ZHENG Yu<sup>1</sup>, LU Xuesong<sup>1</sup>, HE Yuxian<sup>1,2\*</sup>

(1. Fuzhou Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests of Ministry of Agriculture/Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests/Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** Eggs of two alternative prey species *Ephestia kuehniella* and *Corcyra cephalonica* were evaluated for effects on development and fecundity of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), with *Bemisia tabaci* eggs as the control. Compared with the control, *S. japonicum* fed *C. cephalonica* eggs showed lower cumulative survival rate (17.16%), longer developmental time and shorter lifespan. *S. japonicum* fed *E. kuehniella* eggs showed no significant difference in cumulative survival rate from the control, but had a longer lifespan. The study also found that feeding different foods during larval and adult stages had a great effect on fecundity. When fed *E. kuehniella* eggs during larval stage and *E. kuehniella* or *C. cephalonica* eggs during adult stage, *S. japonicum* was of significantly reduced fecundity (64.45 and 53.82 eggs, respectively). There was no significant difference in fecundity of *S. japonicum* fed *E. kuehniella* eggs during larval stage and *B. tabaci* eggs during adult stage (539.10 eggs) compared with the control. When fed on *B. tabaci* eggs during larval stage and *E. kuehniella* or *C. cephalonica* eggs during adult stage, *S. japonicum* also exhibited significantly reduced fecundity (59.30 and 71.38 eggs, respectively). Therefore, *C. cephalonica* eggs are not suitable for *S. japonicum*, while *E. kuehniella* eggs are suitable for rearing the larvae.

**Key words:** *Serangium japonicum*; *Ephestia kuehniella* eggs; *Corcyra cephalonica* eggs; development; fecundity

收稿日期: 2019-02-19

基金项目: 福建省属公益类科研院所基本科研专项(2016R1023-4, 2017R1025-1); 福建省科技重大专项(2017NZ0003-1)

作者简介: 丁雪玲, 助理研究员, E-mail: xue95711@163.com; \*通信作者, 研究员, E-mail: yuxianhe\_faas@sina.cn.

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.06.004

日本刀角瓢虫 *Serangium japonicum* 是粉虱类害虫的一种重要天敌,广泛分布于我国南方地区,国外仅在日本有分布<sup>[1,2]</sup>,其各龄幼虫和成虫均可取食不同虫态的烟粉虱,尤嗜食卵<sup>[3]</sup>,具有繁殖周期短,产卵量大等优点,能短时间内有效控制烟粉虱种群数量的增长<sup>[4-6]</sup>,极具开发利用价值。人工规模化饲养是天敌瓢虫应用的重要基础。日本刀角瓢虫传统的饲养方法主要依赖于自然猎物,这种植物-害虫-天敌的饲养体系成本较高,难以长期维持。加之缺乏适宜的人工饲料,限制了日本刀角瓢虫的规模化生产。本试验着眼于此,探究扩繁日本刀角瓢虫的适合猎物,以期日本刀角瓢虫的人工饲养提供借鉴。

瓢虫的饲养研究主要集中于人工饲料和替代猎物两方面。目前,针对七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*<sup>[7,8]</sup>、异色瓢虫 *Harmonia axyridis*<sup>[9,10]</sup>、龟纹瓢虫 *Propylea japonica*<sup>[11,12]</sup>、孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri*<sup>[13,14]</sup>等多种捕食性瓢虫人工饲料的研究结果表明,人工饲料对天敌瓢虫的成虫重量、化蛹率、存活率等生物学特征均存在不利影响,尤其是利用人工饲料饲养的天敌瓢虫,其生殖能力显著下降,甚至不能正常繁殖后代。替代猎物是人工规模化饲养天敌昆虫的有效方法,特别是利用容易大量获得且成本较低的昆虫卵。近年来,许多国内外学者相继开展了利用鳞翅目昆虫的卵作为替代猎物进行天敌昆虫的人工规模化饲养的研究。例如,地中海粉螟卵已被成功应用于饲养异色瓢虫、龟纹瓢虫<sup>[15,16]</sup>,米蛾卵也被成功应用于大草蛉、小花蝽等的饲养<sup>[17,18]</sup>。地中海粉螟卵和米蛾卵作为两种良好的替代猎物应用已经十分广泛,但其对日本刀角瓢虫的饲养研究尚未见报道。因此,本文以地中海粉螟卵和米蛾卵作为替代猎物,测定比较了其作为替代猎物对日本刀角瓢虫生长发育和繁殖力的影响,以期明确利用替代猎物进行日本刀角瓢虫规模化饲养的可行性,为大规模繁殖和有效利用其进行粉虱类害虫的生物防治提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

日本刀角瓢虫采自福建省福州市郊区甘薯田,在温度(25±1)℃、相对湿度(65±5)%、光周期 14L:10D 的养虫室中以烟粉虱为猎物长期饲养的试验种群。烟粉虱采自福建省福州市郊区番茄田,养虫室内用棉花苗连代饲养的试验种群,饲养条件同日本刀角瓢虫。米蛾卵由北京市农林科学院提供,地中海粉螟卵由福建省农业科学院提供。

### 1.2 两种替代猎物对日本刀角瓢虫生长发育及繁殖的影响

将日本刀角瓢虫初孵幼虫置于塑料养虫皿(直径 3 cm,高 1 cm,以纱网为上盖,皿底铺有琼脂用于保湿,琼脂上面铺有无虫棉花叶)内单头饲养,分别饲喂足量米蛾卵、地中海粉螟卵和烟粉虱卵(琼脂上面铺有带有足量烟粉虱卵的棉花叶片),每 2 d 更换一次猎物。每个处理重复 40~50 头,每天定时观察记录各虫态发育历期和死亡数,并对新羽化成虫称量鲜重。

成虫羽化后,随机选取新羽化成虫进行雌雄配对,每个养虫皿放入 1 对成虫,继续饲喂和幼虫期相同的猎物。每天记录其产卵量,直至成虫全部死亡。日本刀角瓢虫开始产卵后,将卵放置于人工气候箱内饲养,每天定期观察记录卵孵化数量,连续统计 10 d。每个处理重复 8~12 对。

日本刀角瓢虫置于(25±1)℃、光周期为 14L:10D、相对湿度为(65±5)%的人工气候箱内饲养。

### 1.3 幼虫期和成虫期喂饲不同饲料对成虫生殖能力的影响

试验设 5 个处理,(1)幼虫期饲喂地中海粉螟卵,成虫期饲喂米蛾卵;(2)幼虫期饲喂地中海粉螟卵,成虫期饲喂烟粉虱卵;(3)幼虫期饲喂烟粉虱卵,成虫期饲喂地中海粉螟卵;(4)幼虫期饲喂烟粉虱卵,成虫期饲喂米蛾卵;(5)幼虫期及成虫期均饲喂烟粉虱卵。

按上述处理,在养虫皿内放入 1 对新羽化的日本刀角瓢虫雌雄成虫和足量的饲料,每天记录日本刀角瓢虫的产卵情况,直至成虫全部死亡。日本刀角瓢虫开始产卵后将卵放置于人工气候箱内饲养,每天定期观察记录卵孵化数量,连续统计 10 d。每个处理重复 8~12 对。

日本刀角瓢虫置于(25±0.5)℃、光周期 14L:10D、相对湿度(65±5)%的人工气候箱内饲养。

### 1.4 数据统计与分析

所有数据采用 Excel 和 DPS 7.5 版软件进行统计分析,采用单因素方差分析法在  $\alpha=0.05$  水平上进行差异显著性检验,利用 LSD 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 替代猎物饲养对日本刀角瓢虫生长发育的影响

2.1.1 替代猎物饲养对日本刀角瓢虫幼虫期存活率的影响 饲喂不同猎物对日本刀角瓢虫 1 龄幼虫的存活率没有显著影响, 对 2~4 龄幼虫、蛹和幼虫+蛹期的存活率有显著影响。其中, 饲喂米蛾卵的日本刀角瓢虫, 2~4 龄幼虫存活率逐渐下降, 幼虫期+蛹期存活率仅为 17.16%, 极显著低于饲喂烟粉虱卵对照组 ( $P < 0.01$ ); 饲喂地中海粉螟卵的日本刀角瓢虫, 其各龄幼虫存活率与饲喂烟粉虱卵的无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 幼虫期+蛹期存活率达到 77.82% (表 1)。

表 1 不同猎物饲养条件下日本刀角瓢虫不同发育阶段的存活率  
Table 1 Survival rates in each stage of *S. japonicum* on different prey

猎物 Prey	存活率 Survival rate (%)					
	1 龄	2 龄	3 龄	4 龄	蛹	幼虫+蛹
地中海粉螟卵 <i>E. kuehniella</i> eggs	85.36±1.42 a	93.49±4.45 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	97.5±4.17 a	77.82±5.49 a
米蛾卵 <i>C. cephalonica</i> eggs	84.38±3.59 a	73.80±5.19 b	63.20±2.77 b	60.54±4.25 b	80.36±3.95 b	17.16±2.20 b
烟粉虱卵 <i>B. tabaci</i> eggs (CK)	88.08±2.76 a	95.11±5.73 a	97.73±4.54 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	82.01±8.35 a

注: 表中数值为平均值±标准差。同一列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The data in the table are mean±SD, and data within the same column followed by different letters are significantly different at 0.05 level.

2.1.2 替代猎物饲养对日本刀角瓢虫幼虫期发育历期的影响 取食地中海粉螟卵和米蛾卵的日本刀角瓢虫幼虫+蛹的发育历期分别为 13.25 d 和 13.31 d, 均高于取食烟粉虱卵的对照组, 但前两者之间没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。在幼虫期阶段, 取食米蛾卵的各龄幼虫发育历期与取食烟粉虱卵的无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 取食地中海粉螟卵的 2 龄幼虫发育历期显著高于取食烟粉虱卵的对照组 ( $P < 0.05$ ); 取食地中海粉螟卵的蛹期与烟粉虱卵组无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 取食米蛾卵的蛹期显著高于取食烟粉虱卵的对照组 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

表 2 不同猎物饲养条件下日本刀角瓢虫各虫态的发育历期  
Table 2 Developmental period in each stage of *S. japonicum* fed on different prey

猎物 Prey	发育历期 Developmental period (d)					
	幼虫期				蛹期	幼虫+蛹
	1 龄	2 龄	3 龄	4 龄		
地中海粉螟卵 <i>E. kuehniella</i> eggs	1.85±0.37 a	1.75±0.55 a	1.65±0.49 a	3.95±0.22 a	4.05±0.22 b	13.25±0.64 a
米蛾卵 <i>C. cephalonica</i> eggs	1.70±0.47 a	1.36±0.49 b	1.61±0.50 a	3.86±0.36 a	5.07±0.62 a	13.31±0.75 a
烟粉虱卵 <i>B. tabaci</i> eggs (CK)	1.68±0.48 a	1.32±0.48 b	1.47±0.51 a	3.95±0.23 a	4.00±0.33 b	12.42±0.69 ab

注: 表中数值为平均值±标准差。同一列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The data in the table are mean±SD, and data within the same column followed by different letters are significantly different at 0.05 level.

2.1.3 替代猎物饲养对日本刀角瓢虫成虫重量和寿命的影响 日本刀角瓢虫雌虫重量在 3 种饲喂处理间存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。其中, 饲喂米蛾卵的日本刀角瓢虫雌虫重量显著低于地中海粉螟卵处理组和烟粉虱卵对照组 ( $P < 0.05$ ), 但后两者之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 3 种猎物对日本刀角瓢虫雄虫重量无显著影响 ( $P > 0.05$ )。饲喂地中海粉螟卵的日本刀角瓢虫雌虫、雄虫寿命均极显著高于烟粉虱卵对照组 ( $P < 0.01$ ), 饲喂米蛾卵的日本刀角瓢虫雌虫、雄虫寿命显著低于烟粉虱卵对照组 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。

### 2.2 两种替代猎物对日本刀角瓢虫生殖能力的影响

与烟粉虱卵对照组相比, 饲喂地中海粉螟卵和米蛾卵的雌虫产卵前期极显著延长 ( $P < 0.01$ ), 产卵量极显著降低 ( $P < 0.01$ ), 两者产卵量约为对照组的 7%~9%, 但 3 种猎物饲喂的日本刀角瓢虫卵的孵化率之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ) (表 4)。

表 3 不同猎物饲养条件下日本刀角瓢虫成虫的重量和寿命  
Table 3 Weight and longevity of *S. japonicum* adults fed on different preys

猎物 Prey	重量 Weight (mg/individual)		寿命 Longevity (d)	
	雌虫 Female	雄虫 Male	雌虫 Female	雄虫 Male
地中海粉螟卵 <i>E. kuehniella</i> eggs	1.07±0.21 a	1.02±0.24 a	125.24±20.01 a	108.00±15.66 a
米蛾卵 <i>C. cephalonica</i> eggs	0.95±0.19 b	0.95±0.20 a	51.14±4.82 c	44.15±6.09 c
烟粉虱卵 <i>B. tabaci</i> eggs (CK)	1.09±0.23 a	1.05±0.25 a	72.06±7.18 b	63.28±9.04 b

注：表中数值为平均值±标准差。同一列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The data in the table are mean±SD, and data within the same column followed by different letters are significantly different at 0.05 level.

表 4 不同猎物条件下日本刀角瓢虫的生殖能力  
Table 4 Fecundity of *S. japonicum* fed on different foods

猎物 Prey	产卵前期	产卵期	产卵量	孵化率
	Preoviposition period (d)	Oviposition period (d)	Fecundity (eggs/female)	Hatchability (%)
地中海粉螟卵 <i>E. kuehniella</i> eggs	17.82±1.83 b	29.08±2.31 b	53.82±8.04 b	82.09±5.14 a
米蛾卵 <i>C. cephalonica</i> eggs	19.40±1.51 a	27.78±2.66 b	44.89±10.06 b	81.74±4.86 a
烟粉虱卵 <i>B. tabaci</i> eggs (CK)	5.43±0.76 c	56.42±5.79 a	585.4±91.118 a	85.57±5.09 a

注：表中数值为平均值±标准差。同一列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The data in the table are mean±SD, and data within the same column followed by different letters are significantly different at 0.05 level.

### 2.3 幼虫期与成虫期饲喂不同饲料对成虫生殖力的影响

为进一步明确幼虫期和成虫期的营养对日本刀角瓢虫生殖能力的影响，分别比较了幼虫期和成虫期阶段性饲喂不同饲料的日本刀角瓢虫的产卵情况。除了卵孵化率外，猎物对瓢虫产卵前期、产卵期和产卵量均有显著影响。其中，幼虫期饲喂地中海粉螟卵，成虫期饲喂米蛾卵，产卵前期极显著高于对照组 ( $P<0.01$ )；产卵量极显著低于对照组 ( $P<0.01$ )。幼虫期饲喂地中海粉螟卵，成虫期饲喂烟粉虱卵，其产卵前期和产卵量与对照组无显著差异 ( $P>0.05$ )。幼虫期饲喂烟粉虱卵，成虫期饲喂地中海粉螟卵或米蛾卵，其产卵前期极显著高于对照组 ( $P<0.01$ )；产卵量极显著低于对照组 ( $P<0.01$ ) (表 5)。

表 5 阶段性饲喂不同饲料下日本刀角瓢虫的生殖力比较  
Table 5 Fecundity of *S. japonicum* at different stages feeding different foods

幼虫期食物/成虫期食物 Larval food/Adult' food	产卵前期 Preoviposition period (d)	产卵期 Oviposition period (d)	产卵量 (粒/雌) Fecundity (eggs/female)	卵孵化率 Hatchability (%)
地中海粉螟卵/米蛾卵 <i>E. kuehniella</i> eggs/ <i>C. cephalonica</i> eggs	17.27±1.19 a	30.64±4.03 c	64.45±13.16 b	82.09±5.14 a
地中海粉螟卵/烟粉虱卵 <i>E. kuehniella</i> eggs/ <i>B. tabaci</i> eggs	5.59±0.71 c	53.20±4.78 a	539.10±101.36 a	86.17±7.63 a
烟粉虱卵/地中海粉螟卵 <i>B. tabaci</i> eggs/ <i>E. kuehniella</i> eggs	16.60±1.58 b	34.30±5.36 c	59.30±12.25 b	83.85±6.17 a
烟粉虱卵/米蛾卵 <i>B. tabaci</i> eggs/ <i>C. cephalonica</i> eggs	16.25±1.05 b	39.63±5.93 b	71.38±15.32 b	83.97±5.38 a
烟粉虱卵/烟粉虱卵 <i>B. tabaci</i> eggs/ <i>B. tabaci</i> eggs	5.43±0.76 c	56.42±5.79 a	585.40±91.12 a	85.57±5.09 a

注：表中数值为平均值±标准差。同一列数据后标有不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The data in the table are mean±SD, and data within the same column followed by different letters are significantly different at 0.05 level.

## 3 讨论

取食地中海粉螟卵的日本刀角瓢虫，其幼虫存活率、成虫重量与取食烟粉虱卵的对照组相当，表明地中海粉螟卵能完全满足瓢虫幼虫期营养的需求。取食米蛾卵的日本刀角瓢虫幼虫期存活率只有 17.16%，说明其不适于瓢虫幼虫期的饲养。郭建英等<sup>[19]</sup>报道，米蛾卵饲喂龟纹瓢虫和异色瓢虫在低龄幼虫时即已全部

死亡,但梁伟霞等<sup>[20]</sup>报道小黑瓢虫取食米蛾卵后不仅能完成生长发育而且成虫获得率较高。这些差异可能由于瓢虫种类不同,完成生长发育所需的营养不同而导致的饲喂效果差别较大。

繁殖代价是一种重要的生活史理论,昆虫的生殖发育需要消耗营养与能量,因而与不育个体相比,付出了寿命缩短、抗逆境胁迫能力下降等一系列代价<sup>[21,22]</sup>。这种生殖与寿命的关系亦可理解为生活史权衡取舍的关系,如产卵量大的个体寿命更短。本试验中,地中海粉螟卵处理组的成虫寿命显著延长,可能是日本刀角瓢虫对生殖与寿命取舍的结果。因为取食地中海粉螟卵的个体产卵少,与对照组相比不需为满足生殖发育而牺牲生存能力,所以寿命显著延长。取食米蛾卵的瓢虫产卵量也少,但寿命显著缩短。试验中观察到日本刀角瓢虫幼虫不喜食米蛾卵,拒食作用或取食量减少可导致昆虫体重降低、寿命缩短、不能正常产卵或产卵量降低<sup>[23]</sup>。

为进一步明确幼虫期或成虫期的营养对成虫生殖能力的影响,分别在日本刀角瓢虫幼虫期和成虫期阶段性地饲喂不同猎物。结果表明,不论幼虫期食物条件如何,成虫期改喂地中海粉螟卵或米蛾卵时均导致成虫产卵能力大幅下降,而幼虫期饲喂替代猎物成虫期改喂自然猎物则对生殖能力影响较小,说明瓢虫生殖能力的关键在于成虫期的营养。在七星瓢虫和龟纹瓢虫成虫期饲喂饲料的不同对其产卵有较大影响<sup>[7,19]</sup>。梁伟霞等<sup>[20]</sup>研究发现,小黑瓢虫分别经15、25、35 d的替代饲料饲喂后均未产卵,但改喂自然猎物后都能恢复产卵。瓢虫取食替代饲料后生殖力下降的可能原因有:成虫期营养的积累达不到或者不满足营养成分的平衡,导致生殖细胞发育迟缓<sup>[24]</sup>,以及激素调控受阻影响内分泌系统的活动<sup>[25]</sup>等。因此,后续考虑从促进取食、添加激素、完善营养结构等角度来改进日本刀角瓢虫替代猎物在产卵方面的缺陷。

综上,米蛾卵不适于日本刀角瓢虫饲养,利用地中海粉螟卵进行日本刀角瓢虫规模化人工饲养具备可行性,建议在日本刀角瓢虫幼虫阶段用地中海粉螟卵饲养,成虫期阶段用自然猎物(烟粉虱卵)饲养。

## 参 考 文 献

- [1] Li S J, Xue X, Ahmed M Z, *et al.* Host plants and natural enemies of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in China[J]. *Insect Science*, 2011, 18(1): 101-120.
- [2] 马丽君. 日本刀角瓢虫和丽蚜小蜂种间作用及对烟粉虱的控制效果[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [3] Ren S X, Wang Z Z, Qiu B L, *et al.* The pest status of *Bemisia tabaci* in China and non-chemical control strategies[J]. *Insect Science*, 2001, 8(3): 279-288.
- [4] 姚松林, 任顺祥, 黄振. 烟粉虱天敌日本刀角瓢虫的捕食行为[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(3): 509-513.
- [5] Yao F L, Zheng Y, Zhao J W, *et al.* Lethal and sublethal effects of thiamethoxam on the whitefly predator *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae) through different exposure routes[J]. *Chemosphere*, 2015, 128: 49-55.
- [6] 姚凤奎, 郑宇, 丁雪玲, 等. 日本刀角瓢虫对烟粉虱种群的控制作用评价[J]. *福建农业学报*, 2018, 33(5): 520-524.
- [7] 孙毅, 万方浩. 七星瓢虫人工饲料的研究现状及发展对策[J]. *中国生物防治*, 1999, 15(1): 169-173.
- [8] Ashraf M, Ishtiaq M, Asif M, *et al.* A study on laboratory rearing of lady bird beetle (*Coccinella Septempunctata*) to observe its fecundity and longevity on natural and artificial diets[J]. *International Journal of Biology*, 2010, 2(1): 165-173.
- [9] Sighinolfi L, Febvay G, Dindo M L, *et al.* Biological and biochemical characteristics for quality control of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) reared on a liver-based diet[J]. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 2008, 68(1): 26-39.
- [10] Ali I, Zhang S, Luo J Y, *et al.* Artificial diet development and its effect on the reproductive performances of *Propylea japonica* and *Harmonia axyridis*[J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2016, 19(2): 289-293.
- [11] 王利娜, 陈红印, 张礼生, 等. 龟纹瓢虫幼虫人工饲料的研究[J]. *中国生物防治*, 2008, 24(4): 306-311.
- [12] 张天澍, 李恺, 张丽莉, 等. 人工饲料对龟纹瓢虫捕食功能的影响[J]. *昆虫知识*, 2008, 45(5): 791-794.
- [13] 李丽英. 我国孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* 研究及应用展望[J]. *昆虫天敌*, 1993, 15(3): 142-150.
- [14] 庞虹, 李丽英, 汤才. 孟氏隐唇瓢虫成虫的人工饲料保种技术[J]. *天敌昆虫*, 1996, 18(2): 64-66.
- [15] Specty O, Febvay G, Grenier S, *et al.* Nutritional plasticity of the predatory ladybeetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae): comparison

- between natural and substitution prey[J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2003, 52: 81-91.
- [16] Hamasaki K, Matsui M. Development and reproduction of an aphidophagous coccinellid, *Propylea japonica* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae), reared on an alternative diet, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) eggs[J]. Applied Entomology and Zoology, 2006, 41(2): 233-237.
- [17] 党国瑞, 张莹, 陈红印, 等. 人工饲料对大草蛉生长发育及繁殖力的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(23): 4818-4825.
- [18] 杨丽文, 王甦, 张志勇, 等. 米蛾卵饲养东亚小花蝽的关键点研究[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(6): 971-977.
- [19] 郭建英, 万方浩. 三种饲料对异色瓢虫和龟纹瓢虫的饲喂效果[J]. 中国生物防治, 2001, 17(3): 116-120.
- [20] 梁伟霞, 王竹红, 黄建. 替代饲料与自然猎物交替饲喂对小黑瓢虫产卵的影响[J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(5): 600-605.
- [21] Bell G, Koufopanou V. The cost of reproduction[J]. Oxford Surveys in Evolutionary Biology, 1986, 3: 83-131.
- [22] Stearns S C. Trade-offs in life-history evolution[J]. Functional Ecology, 1989, 3(3): 259-268.
- [23] 于飞, 曾鑫年, 张帅, 等. 取食量对昆虫生长发育影响的研究[J]. 广东农业科学, 2004(1): 42-44.
- [24] 陈志辉, 钦俊德, 范学民, 等. 人工饲料中添加脂类和昆虫保幼激素类似物对七星瓢虫取食和生殖的影响[J]. 昆虫学报, 1984, 27(2): 136-146.
- [25] 龚和, 翟启慧, 魏定义, 等. 七星瓢虫的卵黄发生: 卵黄原蛋白的发生和取食代词料的影响[J]. 昆虫学报, 1985, 28(3): 252-256.