

不同活体食物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响*

赵泽影^{1**} 周世民² 翟争光² 蔡海林² 邹喜明² 李帆²
陈坤² 谭琳¹ 曾维爱^{2***} 王玉生^{1***}

(1. 湖南农业大学植物保护学院, 长沙 410128; 2. 湖南省烟草公司长沙市公司, 长沙 410011)

摘要 【目的】明确以烟蚜 *Myzus persicae*、豆蚜 *Aphis craccivora*、银纹夜蛾 *Argyrogramma agnata* 和斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 1-2 龄幼虫为食物时异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 的室内饲养效果, 以期为异色瓢虫的规模化人工繁育提供参考。【方法】组建异色瓢虫取食 4 种活体食物的生殖力生命表, 同时比较了不同活体食物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响。【结果】取食不同活体食物的异色瓢虫幼虫生长发育历期、幼虫存活率、成虫产卵前期、单雌平均产卵量和卵孵化率均存在显著差异 ($P<0.05$)。其中, 取食豆蚜和烟蚜的异色瓢虫全幼虫期较短且存活率较高, 分别为 (8.38 ± 0.42) d、 $91.70\%\pm 7.50\%$ 和 (9.25 ± 0.39) d、 $90.00\%\pm 6.30\%$, 与取食银纹夜蛾 [(10.58 ± 0.49) d 和 $58.30\%\pm 7.50\%$] 和斜纹夜蛾 [(10.95 ± 0.66) d 和 $50.00\%\pm 8.90\%$] 1-2 龄幼虫的处理差异显著 ($P<0.05$)。取食斜纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫大部分个体 (约 90%) 不能产卵, 而取食豆蚜、烟蚜和银纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫能正常产卵且产卵前期较短、卵孵化率较高, 其产卵前期、单雌平均产卵量和卵孵化率分别为 (5.48 ± 0.17) d、 (792.47 ± 60.89) 粒、 $93.83\%\pm 6.89\%$, (5.87 ± 0.27) d、 (604.87 ± 77.17) 粒、 $94.07\%\pm 4.46\%$ 和 (5.70 ± 0.30) d、 (167.93 ± 47.73) 粒、 $90.94\%\pm 7.16\%$ 。【结论】以豆蚜和烟蚜为食物的异色瓢虫饲养效果较好, 而当蚜虫数量不足时, 银纹夜蛾 1-2 龄幼虫可作为异色瓢虫的替代食物。为进一步探索异色瓢虫的替代活体饲料, 实现规模化人工繁育提供了基础。

关键词 异色瓢虫; 活体食物; 生长发育; 生命表; 繁殖

Effects of prey species on the development and reproduction of *Harmonia axyridis*

ZHAO Ze-Ying^{1**} ZHOU Shi-Min² ZHAI Zheng-Guang² CAI Hai-Lin² ZOU Xi-Ming²
LI Fan² CHEN Kun² TAN Lin¹ ZENG Wei-Ai^{2***} WANG Yu-Sheng^{1***}

(1. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Changsha Tobacco Company of Hunan Province, Changsha 410011, China)

Abstract 【Aim】To determine the best prey species for the large-scale, captive rearing of *Harmonia axyridis*. 【Methods】Reproductive life tables were compiled for *H. axyridis* populations that were fed on one of four prey species; *Myzus persicae*, *Aphis craccivora*, 1st and 2nd instar larvae of *Spodoptera litura* or *Argyrogramma agnata*, and the effects of prey species on their growth, development and reproduction, of each population were compared. 【Results】Prey species had a significant effect on the larval period, survival rate, the pre-oviposition period, average fecundity and hatchability ($P<0.05$). Specifically, *H. axyridis* fed on *Ap. craccivora* and *M. persicae* had shorter larval periods [(8.38 ± 0.42) and (9.25 ± 0.39) d, respectively] and higher survival rates ($91.70\%\pm 7.50\%$ and $90.00\%\pm 6.30\%$, respectively), than those that were fed on *Ar. agnata* larvae [(10.58 ± 0.49) d and $58.30\%\pm 7.50\%$, respectively] and *S. litura* [(10.95 ± 0.66) d and $50.00\%\pm 8.90\%$, respectively] ($P<0.05$). Approximately 90% of *H. axyridis* that were fed *S. litura* larvae were unable to lay eggs. However, those that were fed *Ap.*

*资助项目 Supported projects: 湖南省烟草公司长沙市公司科技项目 (CS2024KJ01); 湖南省重点研发项目 (2023NK2013)

**第一作者 First author, E-mail: 2893020239@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors: E-mail: zwa10537@163.com; yushengwang01@163.com

收稿日期 Received: 2024-10-14; 接受日期 Accepted: 2025-01-10

craccivora, *M. persica* and *Ar. agnata* larvae laid eggs normally, had a shorter pre-oviposition period and higher egg hatching rate. The pre-oviposition periods of *H. axyridis* that were fed the above prey species were (5.48±0.17), (5.87±0.27), and (5.70±0.30) d, the average fecundities were (792.47±60.89), (604.87±77.17) and (167.93±47.73) grains/female, and the egg hatching rates were 93.83%±6.89%, 94.07%±4.46% and 90.94%±7.16%. **[Conclusion]** *Ap. craccivora* and *M. persica* larvae and the 1st and 2nd instar larvae of *Ar. agnata* were the most suitable of the four prey evaluated for captive rearing *H. axyridis*. When the number of aphids is insufficient, 1st and 2nd instar larvae of *Ar. agnata* can be provided as an alternative. These results should improve the large-scale, artificial breeding of *H. axyridis*.

Key words *Harmonia axyridis*; living diets; growth and development; life table; reproduction

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 隶属鞘翅目 Coleoptera 瓢甲科 Coccinellidae, 是一种常见的捕食性天敌昆虫, 对蚜虫、木虱、蚧壳虫、粉虱、鳞翅目幼虫等农林害虫有良好的控制效果(王甦等, 2007; Edward, 2009)。异色瓢虫分布广泛, 具有数量多、寿命长、定殖快等优点(崔亚琴等, 2022), 在生物防治中极具前景。天敌昆虫的规模化繁殖是实现害虫生物防治应用的关键, 而实现异色瓢虫的规模化繁殖需要解决其食物问题。因此, 探究不同活体食物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响意义重大。

早在 20 世纪 70 年代国内外学者便对异色瓢虫的人工饲料展开了研究, 包括化学规定饲料、非昆虫源饲料和昆虫源饲料(孙贝贝等, 2016)。目前对化学规定饲料的研究较少, 研究认为大部分化学规定饲料不能满足异色瓢虫生长发育和繁殖需求(陈鹏, 2021)。研究发现, 用基于猪肝制作的非昆虫源饲料饲养异色瓢虫时, 其幼虫发育历期较长, 成虫产卵量较低(Sighinolfi *et al.*, 2008); 用添加玉米花粉与玫瑰花粉(孙元星等, 2023)的非昆虫源饲料饲喂异色瓢虫能提高幼虫存活率, 但是其成虫产卵量较低; 用添加了不同凝固剂的昆虫源饲料饲养异色瓢虫, 其幼虫发育历期较长、存活率较低(陈江峰等, 2020)。由此可见, 化学规定饲料和非昆虫源饲料对异色瓢虫的饲养效果均不理想。而以活体食物饲养异色瓢虫时, 取食蚜虫的饲养效果最佳, 如烟蚜 *Myzus persicae*、豆蚜 *Aphis craccivora*(喻会平等, 2018)、萝卜蚜 *Lipaphis erysimi*(孙丽娟等, 2020)和紫藤蚜 *Aulacophoroides hoffmanni*(孙小莉, 2019)。然而, 蚜虫的扩繁受季节、寄主植物限制, 异色瓢虫规模化生产时很难稳定地提供

大量的蚜虫(王红托等, 2012)。吴钰薇等(2023)利用东方黏虫 *Mythimna separate* 的卵粒、低龄幼虫和高龄幼虫作为替代活体饲料饲养异色瓢虫, 发现三者均能满足异色瓢虫生长发育的需要, 而且取食卵粒能满足异色瓢虫的繁殖需求; 利用地中海粉螟 *Ephestia kuehniella* 卵能提高异色瓢虫成虫获得率和产卵量(Specty *et al.*, 2003); 用白蛾周氏啮小蜂 *Chouicia cunea* 蛹饲喂异色瓢虫, 异色瓢虫能完成生活史, 平均单雌产卵量为 200 粒, 而且卵孵化率较高(高爽, 2018); 用家蚕 *Bombyx mori* 低龄幼虫饲喂异色瓢虫, 异色瓢虫幼虫存活率较高、发育历期较短(卢绍辉等, 2009)。虽然部分替代活体食物对异色瓢虫的饲养效果不错, 但目前暂无适用于异色瓢虫规模化扩繁的替代活体食物。因此, 尚需进一步探索异色瓢虫的替代活体饲料。

银纹夜蛾 *Argyrogramma agnata* 和斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 均属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 均具有繁殖速度快、寄主范围广、食性杂等特点(陈然等, 2015; 马好运等, 2020)。银纹夜蛾主要为害豆类作物和十字花科蔬菜(王娜等, 2012), 斜纹夜蛾可为害甘薯、棉花、大豆以及十字花科、茄科、葫芦科等多种作物(焦文哲等, 2023)。研究发现, 异色瓢虫能够捕食甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*(吴钰薇, 2023)、番茄潜叶蛾 *Phthorimaea absoluta*(杨桂群等, 2022)、斜纹夜蛾(Yasir, 2021)、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*(周丽君等, 2022)等鳞翅目害虫的卵和幼虫。前期研究发现, 异色瓢虫能捕食银纹夜蛾的卵和幼虫, 而且银纹夜蛾繁殖速度较快, 容易扩繁, 因此将银纹夜蛾作为异色瓢虫的活体饲料具有可行性。基于此, 本文利用烟蚜、豆

蚜、银纹夜蛾和斜纹夜蛾低龄幼虫饲养异色瓢虫,明确这 4 种活体食物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响,以期为异色瓢虫的规模化饲养提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

所有试虫均为湖南省烟草天敌昆虫繁育中心室内人工饲养的稳定种群。烟蚜和豆蚜分别采用烟草和蚕豆苗为寄主饲养,银纹夜蛾和斜纹夜蛾分别采用甘蓝和人工饲料饲养,异色瓢虫则采用烟蚜进行扩繁。饲养条件:温度(26 ± 1) $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $65\% \pm 5\%$,光周期 14 L:10 D。其中斜纹夜蛾人工饲料配方为兔粮 160 g、小麦胚芽粉 150 g、蒸馏水 900 mL、酵母粉 10 g、复合维生素 B 2 g、琼脂粉 30 g、山梨酸 1 g、抗坏血酸 8 g 和对羟基苯甲酸甲酯 3.8 g。

1.2 不同食物对异色瓢虫生长发育和存活的影响

将发育良好的异色瓢虫初孵幼虫放入圆台形饲养盒(上底直径 55 mm,下底直径 44 mm,高 31 mm)中单头饲养,分别用充足的烟蚜、豆蚜、斜纹夜蛾 1-2 龄幼虫、银纹夜蛾 1-2 龄幼虫饲喂。饲养盒置于温度(26 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $65\% \pm 5\%$ 、光周期 14 L:10 D 的人工气候箱(ARMA-580 型,宁波江南仪器厂制造)中,直至异色瓢虫羽化。每日定时观察(8:00 和 16:00)并记录幼虫发育历期、各龄期幼虫存活率和化蛹率。10 头异色瓢虫幼虫为 1 组,每个处理进行 6 次重复。

1.3 不同食物对异色瓢虫成虫体重的影响

采用烟蚜、豆蚜、斜纹夜蛾和银纹夜蛾 1-2 龄幼虫饲养同一批异色瓢虫初孵幼虫(约 200 头),成虫羽化后第 1 天,采用 Motic SMZ-161 体视显微镜根据第 5 和 6 腹板特征辨别雌雄(王延鹏等,2007),随机挑选不同食物饲喂下的雌雄成虫,以 4 头为 1 组,每个处理 5 次重复,采用 Xing Yun JA303P 电子分析天平称重并记录。

1.4 不同食物对异色瓢虫繁殖特性的影响

将上述相同日龄的异色瓢虫成虫雌雄配对后,放入 50 mL 圆台形饲养盒中,每盒 1 对,饲养条件和饲喂不同食物处理同幼虫。每日更换新鲜食物,定时观察(8:00 和 16:00)并记录雌成虫产卵前期、产卵量等数据,同时,待雌雄成虫死亡后,记录其寿命。5 对异色瓢虫为 1 组,每个处理 6 次重复。随机收集各处理的异色瓢虫卵块,记录卵粒数(45-55 粒),放入培养皿中,每隔 4 h 观察卵粒孵化情况,记录初孵幼虫数量并及时将其取出,防止取食卵粒和自相残杀。每个处理设 10 次重复。

1.5 取食不同食物的异色瓢虫种群生命表的组建

参考喻会平等(2018)方法,根据上述试验参数组建异色瓢虫取食烟蚜、豆蚜、斜纹夜蛾和银纹夜蛾 1-2 龄幼虫的生殖力生命表,计算净增殖率 R_0 、内禀增长率 r_m 、世代平均历期 T 、周限增长率 λ 和种群加倍时间 t 等生命表参数,计算公式如下:

$$\text{种群净增殖率 } R_0 = \sum l_x m_x,$$

$$\text{内禀增长率 } r_m = \ln R_0 / T,$$

$$\text{世代平均历期 } T = \sum x l_x m_x / R_0,$$

$$\text{周限增长率 } \lambda = e^{r_m},$$

$$\text{种群加倍时间 } t = \ln 2 / r_m.$$

式中 x 为以 d 为单位的时间时长, l_x 表示在 x 区间内异色瓢虫的存活率, m_x 表示在 x 区间内异色瓢虫的平均单雌产卵量。每个处理设 6 次重复。

1.6 数据统计与分析

采用 Excel 2019 和 Origin 2018 软件进行数据整理、绘制图表,用 IBM SPSS Statistics 26.0 进行数据统计分析。经正态性和方差齐性检验后,幼虫发育历期、成虫体重、成虫寿命、繁殖力和生命表参数采用 One-way ANOVA 的 Tukey's 法进行多重比较;存活率采用非参数检验 Kruskal-Wallis 法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同食物对异色瓢虫发育历期的影响

不同食物对异色瓢虫的发育历期有显著影响(全幼虫期: $F_{3,20}=34.00$, $P<0.05$; 蛹期: $F_{3,20}=55.92$, $P<0.05$)(图 1), 其中取食豆蚜的异色瓢虫全幼虫期为 (8.38 ± 0.42) d, 显著短于

取食烟蚜[(9.25 ± 0.39) d]、银纹夜蛾[(10.58 ± 0.49) d]和斜纹夜蛾[(10.95 ± 0.66) d]的处理组($P<0.05$)。取食豆蚜的异色瓢虫蛹期为 (4.31 ± 0.08) d, 显著短于其他处理($P<0.05$); 而取食烟蚜和银纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫蛹期分别为 (4.55 ± 0.13) 和 (4.54 ± 0.12) d, 二者间差异不显著($P>0.05$), 但显著短于取食斜纹夜蛾 1-2 龄幼虫的处理组[(5.31 ± 0.21) d]。

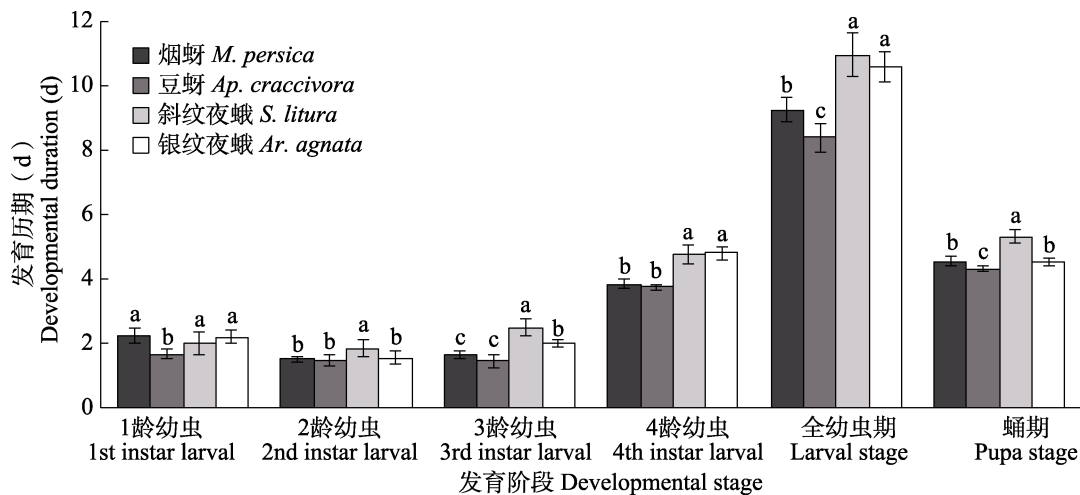


图 1 取食不同食物的异色瓢虫发育历期

Fig. 1 Developmental duration of *Harmonia axyridis* feeding on different diets

图中数据是平均值±标准误, 柱上不同字母表示经 Tukey's 多重比较在 $P<0.05$ 水平差异显著。图 3 和图 4 同。

Data in the figure are presented as mean±SE. Histograms with different letters indicate significant difference by Tukey's multiple range test at $P<0.05$ level. The same for Fig. 3 and Fig. 4.

2.2 不同食物对异色瓢虫存活率的影响

取食不同食物对异色瓢虫全幼虫期和蛹期存活率均有显著影响(全幼虫期: $F_{3,20}=18.61$, $P<0.05$; 蛹期: $F_{3,20}=17.43$, $P<0.05$)(图 2)。取食不同食物的异色瓢虫全幼虫期存活率由高到低依次为豆蚜组 ($91.70\%\pm7.50\%$)、烟蚜组 ($90.00\%\pm6.30\%$)、银纹夜蛾组 ($58.30\%\pm7.50\%$)、斜纹夜蛾组 ($50.00\%\pm8.90\%$), 取食烟蚜和豆蚜处理显著高于银纹夜蛾和斜纹夜蛾处理($P<0.05$); 其中, 取食烟蚜和豆蚜的异色瓢虫 4 龄幼虫存活率显著高于取食银纹夜蛾和斜纹夜蛾 ($P<0.05$), 而取食银纹夜蛾的异色瓢虫 1-3 龄幼虫的存活率与取食烟蚜和豆蚜处理无显著差异($P>0.05$)。取食烟蚜和豆蚜的异色瓢虫

蛹期存活率分别为 $100.00\%\pm0.00\%$ 和 $98.20\%\pm4.50\%$, 显著高于斜纹夜蛾组 ($83.10\%\pm4.00\%$) ($P<0.05$), 但与银纹夜蛾组 ($91.50\%\pm4.80\%$) 无显著差异($P>0.05$)。

2.3 不同食物对异色瓢虫繁殖的影响

取食不同食物对异色瓢虫的单雌平均产卵量和产卵历期有显著影响(单雌平均产卵量: $F_{2,15}=154.80$, $P<0.05$; 产卵历期: $F_{2,15}=89.51$, $P<0.05$)(图 3: A, D)。其中, 取食烟蚜和豆蚜的异色瓢虫能够正常繁殖, 完成世代发育, 单雌平均产卵量分别为 (604.87 ± 77.17) 和 (792.47 ± 60.89) 粒, 最高产卵量分别为 1 022 和 1 611 粒(图 3: A)。取食烟蚜和豆蚜的异色瓢虫产卵历期分别为 (30.87 ± 3.62) 和 (22.70 ± 2.96) d, 均显

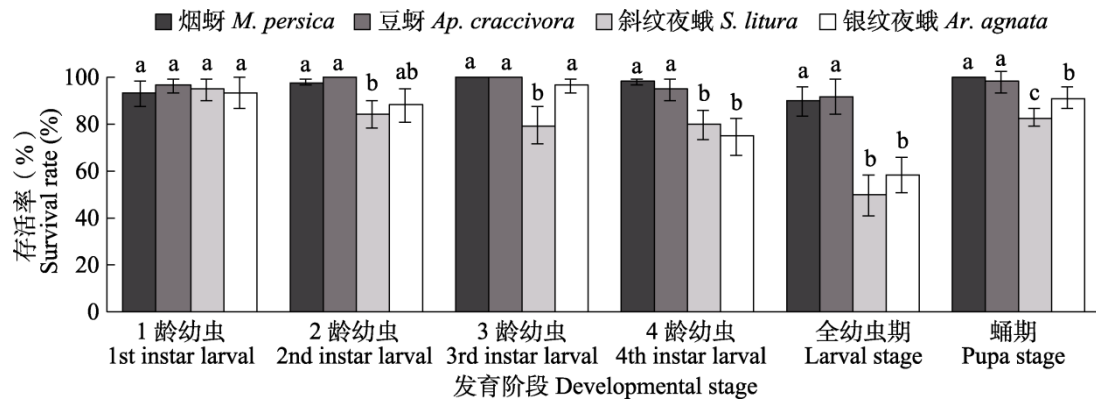


图 2 取食不同食物的异色瓢虫生存情况

Fig. 2 Survival conditions of *Harmonia axyridis* feeding on different diets

图中数据是平均值±标准误, 柱上标有不同字母表示经 Kruskal-Wallis 分析在 $P < 0.05$ 水平差异显著。
Data in the figure are presented as mean±SE. Histograms with different letters indicate significant difference by Kruskal-Wallis test at $P < 0.05$ level.

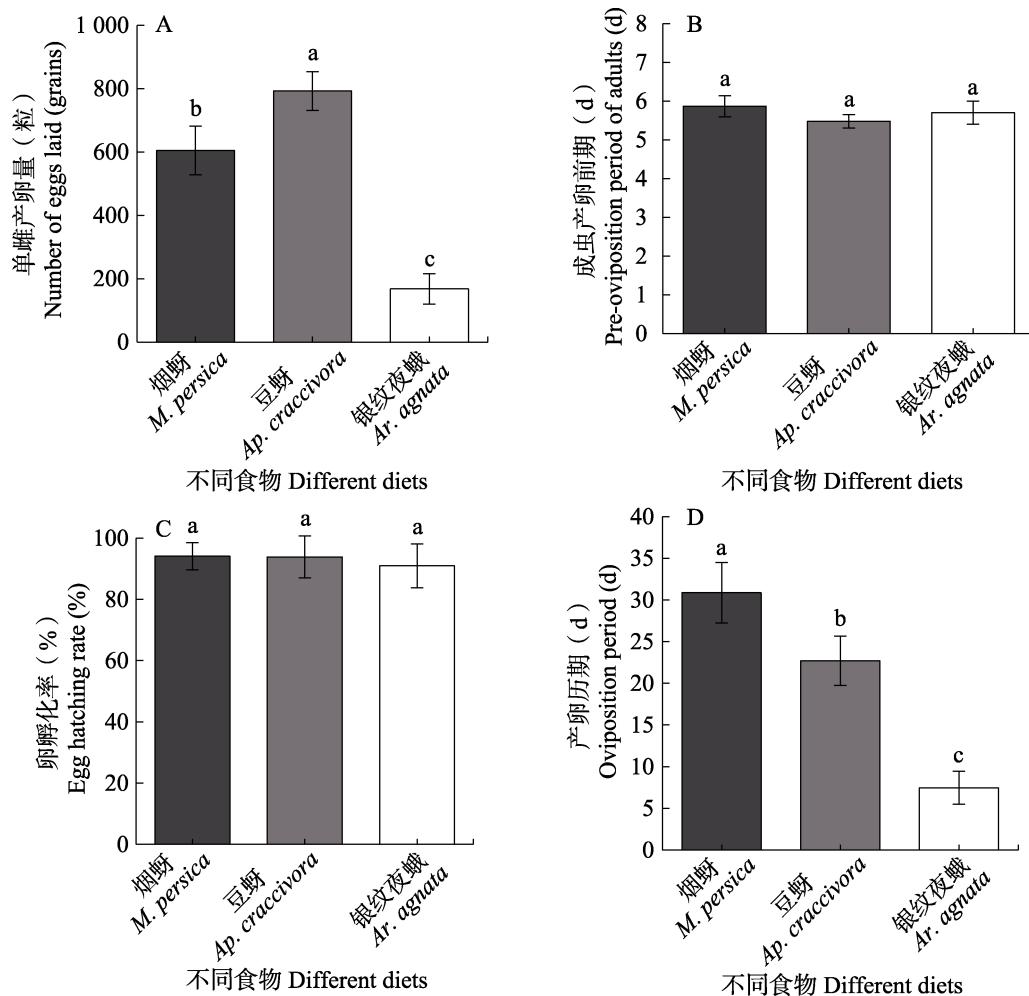


图 3 取食不同食物对异色瓢虫雌成虫繁殖力的影响

Fig. 3 The fecundity of *Harmonia axyridis* female adults feeding on different diets

A. 单雌产卵量; B. 成虫产卵前期; C. 卵孵化率; D. 产卵历期。

A. Fecundity; B. Pre-oviposition period of adults; C. Egg hatching rate; D. Oviposition period.

著长于取食银纹夜蛾 1-2 龄幼虫组[(7.47±1.99) d] ($P<0.05$) (图 3: D)。取食银纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫单雌平均产卵量为 (167.93±47.73) 粒, 最高产卵量为 326 粒, 显著低于取食烟蚜和豆蚜处理 ($P<0.05$) (图 3: A); 其成虫产卵前期为 (5.70±0.30) d, 与烟蚜组[(5.87±0.27) d] 和豆蚜组[(5.48±0.17) d] 不存在显著差异 ($F_{2,15}=3.46, P>0.05$) (图 3: B); 其卵孵化率为 90.94%±7.16%, 与烟蚜组 (94.07%±4.46%) 和豆蚜组 (93.83%±6.89%) 同样不存在显著差异 ($F_{2,27}=0.77, P>0.05$) (图 3: C)。然而, 取食斜纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫, 仅有约 10% 的个体能够产卵, 而且单雌平均产卵量仅为 (5.00±7.01) 粒, 明显低于其他处理, 故未进行数据展示。

2.4 不同食物对异色瓢虫成虫体重和寿命的影响

不同食物对异色瓢虫成虫体重有显著影响

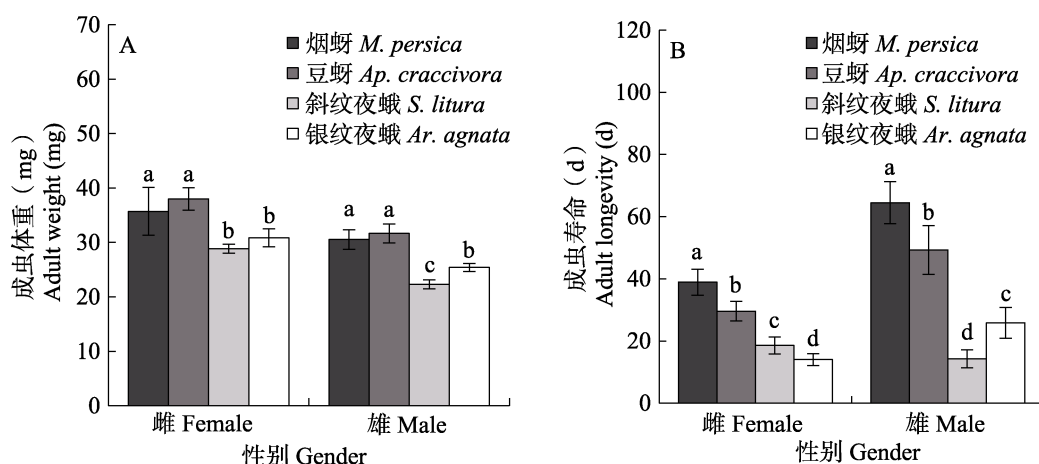


图 4 取食不同食物的异色瓢虫成虫体重 (A) 和寿命 (B)

Fig. 4 Body weight (A) and longevity (B) of *Harmonia axyridis* adults feeding on different diets

2.5 不同食物对异色瓢虫种群生命表参数的影响

不同食物对异色瓢虫的内禀增长率 r_m ($F_{2,15}=41.17, P<0.05$)、净增殖率 R_0 ($F_{2,15}=169.22, P<0.05$)、周限增长率 λ ($F_{2,15}=40.32, P<0.05$)、世代平均历期 T ($F_{2,15}=22.16, P<0.05$) 和种群加倍时间 t ($F_{2,15}=39.97, P<0.05$) 均具有

(雌成虫体重: $F_{3,16}=13.25, P<0.05$; 雄成虫体重: $F_{3,16}=51.11, P<0.05$), 其中取食豆蚜和烟蚜的异色瓢虫雌成虫体重较高, 分别为 (38.00±2.07) 和 (35.70±4.40) mg, 二者之间无明显差异 ($P>0.05$), 但显著高于取食银纹夜蛾 1-2 龄幼虫组[(30.85±1.64) mg] 和斜纹夜蛾 1-2 龄幼虫组[(28.85±0.80) mg] ($P<0.05$); 取食 4 种食物的异色瓢虫雄成虫体重由高到低依次为豆蚜组[(31.65±1.76) mg]、烟蚜组[(30.55±1.80) mg]、银纹夜蛾组[(25.40±0.74) mg] 和斜纹夜蛾组[(22.30±0.84) mg] (图 4: A)。不同食物对异色瓢虫成虫的寿命亦有显著影响 (雌成虫寿命: $F_{3,20}=77.40, P<0.05$; 雄成虫寿命: $F_{3,20}=88.13, P<0.05$), 其中取食烟蚜组的雌成虫寿命显著高于取食豆蚜、银纹夜蛾和斜纹夜蛾 1-2 龄幼虫的处理 ($P<0.05$); 而取食不同食物的异色瓢虫雄成虫寿命最高的同样是烟蚜组[(64.50±6.74) d], 最低的是斜纹夜蛾组[(14.23±2.88) d]; 且各处理间差异显著 ($P<0.05$) (图 4: B)。

显著影响。其中, 取食豆蚜的异色瓢虫的内禀增长率 r_m 、净增殖率 R_0 和周限增长率 λ 分别为 0.20±0.01、652.19±59.34 和 1.22±0.01, 均显著高于其他处理 ($P<0.05$)。取食烟蚜和豆蚜的异色瓢虫的世代平均历期 T 分别为 (34.37±2.63) 和 (32.03±1.43) d, 显著长于取食银纹夜蛾 1-2 龄幼虫处理[(27.41±1.12) d]。取食豆蚜的异色

瓢虫的种群加倍时间 t 为 (3.43 ± 0.13) d, 显著短于其他处理 ($P < 0.05$)。取食烟蚜、豆蚜、银纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫的周限增长率 λ 分别为 1.20 ± 0.01 、 1.22 ± 0.01 和 1.17 ± 0.01 , 均大于

1, 表明取食这 3 种食物的异色瓢虫的种群数量均呈增长趋势 (表 1)。然而, 取食斜纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫大部分不产卵, 且产卵个体的产卵量也极低, 未能成功组建生命表。

表 1 取食不同食物的异色瓢虫生命表参数
Table 1 Life table parameters of *Harmonia axyridis* feeding on different diets

参数 Parameters	烟蚜 <i>M. persica</i>	豆蚜 <i>Ap. craccivora</i>	斜纹夜蛾 <i>S. litura</i>	银纹夜蛾 <i>Ar. agnata</i>
内禀增长率 r_m Intrinsic rate of increase	0.18 ± 0.01 b	0.20 ± 0.01 a	—	0.16 ± 0.01 c
净增殖率 R_0 Net reproductive rate	488.45 ± 74.22 b	652.19 ± 59.34 a	—	78.00 ± 16.66 c
周限增长率 λ Finite rate of increase	1.20 ± 0.01 b	1.22 ± 0.01 a	—	1.17 ± 0.01 c
世代平均历期 T (d) Mean generation time (d)	34.37 ± 2.63 a	32.03 ± 1.43 a	—	27.41 ± 1.12 b
种群加倍时间 t (d) Population doubling time (d)	3.85 ± 0.26 b	3.43 ± 0.13 c	—	4.38 ± 0.14 a

表中数据为平均值±标准误, —表示大部分成虫未产卵。同行不同字母表示经 Tukey's 多重比较在 0.05 水平差异显著。
Data in the table are presented as mean±SE, and — indicates that most of adults had no oviposition. Data with the different letters within the same row indicate significant difference by Tukey's multiple range test at $P < 0.05$ level.

3 结论与讨论

不同食物对异色瓢虫的生长发育和繁殖具有重要影响, 如孙丽娟等 (2020) 比较了胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heracleid*、萝卜蚜、烟蚜和瓜蚜 *Aphis gossypii* 对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响, 结果表明, 胡萝卜微管蚜对异色瓢虫的饲养效果较好, 明显优于萝卜蚜和瓜蚜。本研究则比较了两种蚜虫 (烟蚜、豆蚜) 及两种易于规模化饲养的替代活体食物 (斜纹夜蛾、银纹夜蛾) 对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响, 结果表明, 取食豆蚜的异色瓢虫发育历期、幼虫存活率、单雌产卵量、内禀增长率 r_m 、净增殖率 R_0 和周限增长率 λ 等指标皆优于烟蚜等其他处理。同时, 烟蚜往往使用烟草植株繁育, 其成本高、管理难, 且烟苗生长速度相对缓慢; 由于蚕豆育苗周期较短、管理容易, 且蚕豆苗载蚜量较高, 利用蚕豆苗繁育豆蚜则较为容易 (喻会平等, 2018)。因此, 当蚜虫数量充足时, 可以将豆蚜作为异色瓢虫的活体食物。

取食银纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫能完成正常的生长发育和繁殖, 其全幼虫期 [(10.58 ± 0.49) d] 和成虫产卵前期 [(5.70 ± 0.30) d] 较短, 卵孵化率较高 ($90.94\% \pm 7.16\%$), 而且在不添加任何其他辅助食料 (如糖类物质) 的情况下, 最高单雌产卵量达 326 粒。同时, 取食银纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫的周限增长率 λ 大于 1, 表明异色瓢虫的种群数量呈增长趋势, 且卵孵化率和成虫产卵前期与取食烟蚜、豆蚜无明显差异; 其产卵能力约为活体豆蚜饲养组的 20%, 而以冷冻豆蚜为替代食物时, 其产卵能力不足活体豆蚜处理的 10% (韩明港等, 2023)。由此可见, 取食银纹夜蛾 1-2 龄幼虫可在一定程度上满足异色瓢虫生长发育和繁殖的需求。此外, 银纹夜蛾繁殖力强, 容易饲养, 银纹夜蛾在食料适宜的情况下极少出现自相残杀现象, 可以进行群体饲养。目前可以培植大量的甘蓝苗并通过靠接法繁殖银纹夜蛾 (杨峰山等, 2004), 该饲养方式简单, 省时省力, 饲养成本较低, 因此, 当蚜虫数量不足时, 可以将银纹夜蛾 1-2 龄幼虫作为异色

瓢虫的替代活体食物。然而, 本研究中取食斜纹夜蛾 1-2 龄幼虫的异色瓢虫幼虫发育历期较长、全幼虫期存活率较低、成虫体重较轻、产卵前期较长、产卵量低, 这与取食同属鳞翅目的银纹夜蛾幼虫的结果有较大差异。这一现象可能因斜纹夜蛾、银纹夜蛾体内的营养物质不同, 而本研究中斜纹夜蛾采用人工饲料饲养是否对其体内营养物质产生影响尚需后续深入研究。

蛋白质、糖类、脂类、维生素和矿物质等营养成分在昆虫生长发育过程中不可或缺 (Simpson and Raubenheimer, 2012; 郭义等, 2017; 张杨等, 2021)。提高人工饲料的天然蛋白质含量能使七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 的成虫体重、存活率和产卵量增加, 但卵孵化率降低 (程英等, 2023); 添加猪油则能缩短其幼虫历期、提高存活率 (Cheng *et al.*, 2022)。在异色瓢虫的人工饲料中添加 β -胡萝卜素可提高幼虫存活率 (Sun *et al.*, 2018)。用东方黏虫或黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 幼虫饲养异色瓢虫时添加糖源物质, 可以显著提高异色瓢虫产卵量 (万银平, 2021; 吴钰薇等, 2024)。本研究以银纹夜蛾 1-2 龄幼虫饲养的异色瓢虫, 幼虫发育历期、幼虫存活率和单雌产卵量等指标也与取食活体豆蚜和烟蚜存在明显差异。因此, 后续研究中应深入解析不同食物及其关键营养物质对异色瓢虫生长发育和繁殖的调控机制, 探索其应用模式, 以为异色瓢虫的规模化人工繁育和生防应用提供参考。

参考文献 (References)

- Chen JF, Zhao JW, Xiao HC, Yin L, Jin Y, Sun YX, 2020. Effect of artificial diet supplemented with different coagulants on development of *Harmonia axyridis*. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 51(1): 14–18. [陈江峰, 赵继伟, 肖慧昌, 殷磊, 金燕, 孙元星, 2020. 人工饲料添加不同凝固剂对异色瓢虫生长发育的影响. 甘肃农业科技, 51(1): 14–18.]
- Chen P, 2021. The effect of artificial diet on the reproduction of *Harmonia axyridis*. Doctor dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [陈鹏, 2021. 人工饲料对异色瓢虫生殖的影响. 博士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Chen R, Liang GW, Zhang ZY, Zeng R, Xian JD, 2015. The functional response of *Cahtheconidea furcellata* (Hemiptera: Asopinae) to *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 401–406. [陈然, 梁广文, 张拯研, 曾嵘, 洗继东, 2015. 叉角厉蝽对斜纹夜蛾的捕食功能反应. 环境昆虫学报, 37(2): 401–406.]
- Cheng Y, Yu Y, Zhou YH, Li FL, 2022. An improved artificial diet for larvae of the seven-spotted ladybird beetle *Coccinella septempunctata* L. *Biological Control*, 171: 104949.
- Cheng Y, Zhou YH, Ran HY, Jin JX, Li FL, 2023. An orthogonal design to improve an artificial diet for adult of *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(5): 1618–1625. [程英, 周宇航, 冉海燕, 金剑雪, 李凤良, 2023. 正交试验优化七星瓢虫成虫人工饲料. 应用昆虫学报, 60(5): 1618–1625.]
- Cui YQ, Wang T, Gao J, 2022. Predatory response of *Harmonia axyridis* to *Acyrtosiphon pisum*. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 50(1): 130–134. [崔亚琴, 王拓, 高洁, 2022. 异色瓢虫对豌豆蚜的捕食效应. 山西农业科学, 50(1): 130–134.]
- Edward EW, 2009. Lady beetles as predators of insects other than Hemiptera. *Biological Control*, 51(2): 255–267.
- Gao S, 2018. Artificial breeding and storage technology of *Harmonia axyridis*. Master dissertation. Baoding: Hebei Agricultural University. [高爽, 2018. 异色瓢虫人工繁育与贮藏技术研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]
- Guo Y, Wang MZ, Zhang CH, Yi ZJ, Yang ZY, Liu CX, Zhang LS, Wang MQ, Chen HY, 2017. Effects of different sugars on the feeding preferences and fecundity of *Arma chinensis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 33(3): 331–337. [郭义, 王曼姿, 张长华, 易忠经, 杨在友, 刘晨曦, 张礼生, 王孟卿, 陈红印, 2017. 几种糖类物质对蠊蛄取食行为选择和繁殖力的影响. 中国生物防治学报, 33(3): 331–337.]
- 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.]
- Jiao WZ, Ma J, Gao B, Li XH, Chen SL, Wang RY, 2023. Effects of feeding on different host plants on the growth and development of *Spodoptera litura*. *China Plant Protection*, 43(12): 11–14, 50. [焦文哲, 马娟, 高波, 李秀花, 陈书龙, 王容燕, 2023. 取食不同寄主植物对斜纹夜蛾生长发育的影响. 中国植保导刊, 43(12): 11–14, 50.]
- Lu SH, Song HW, Mei XX, Feng N, Chen FJ, 2009. Preliminary

- report on rearing *Harmonia axyridis* with *Bombyx mori* larvae as prey. *Journal of Henan Forestry Science and Technology*, 29(3): 14, 32. [卢绍辉, 宋宏伟, 梅象信, 冯宁, 谌馥佳, 2009. 利用家蚕幼虫饲养异色瓢虫研究初报. 河南林业科技, 29(3): 14, 32.]
- Ma HY, Li H, Wang LY, Weng AZ, Zhao HY, Mei XD, Zhe DM, Ning J, 2020. Synthesis and activity of sex pheromone analogues of *Argyrogramma agnata* (Staudinger). *Modern Agrochemicals*, 19(5): 15–19. [马好运, 李慧, 王留洋, 翁爱珍, 赵红盈, 梅向东, 折冬梅, 宁君, 2020. 银纹夜蛾性信息素类似物的合成与活性研究. 现代农药, 19(5): 15–19.]
- Sighinolfi L, Febvay G, Dindo ML, Rey M, Pageaux J, Baronio P, Grenier S, 2008. Biological and biochemical characteristics for quality control of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera, Coccinellidae) reared on a liver-based diet. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 68(1): 26–39.
- Simpson SJ, Raubenheimer D, 2012. The nature of nutrition: A unifying framework from animal adaptation to human obesity. *American Journal of Human Biology*, 25(2): 231–232.
- Specty O, Febvay G, Grenier S, Delobel B, Piotte C, Pageaux JF, Ferran A, Guillaud J, 2003. Nutritional plasticity of the predatory ladybeetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae): Comparison between natural and substitution prey. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 52(2): 81–91.
- Sun BB, Yin Z, Hou ZR, Li JP, 2016. Progress on artificial breeding and application of *Harmonia axyridis*. *Current Biotechnology*, 6(2): 141–145. [孙贝贝, 尹哲, 侯峥嵘, 李金萍, 2016. 异色瓢虫人工繁育与应用进展. 生物技术进展, 6(2): 141–145.]
- 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.]
- Sun XL, 2019. Studies on the biological characters of *Harmonia axyridis* Pallas and its artificial breeding using *Aulacophoroides hoffmanni* Takahashi. Master dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [孙小莉, 2019. 利用紫藤蚜食料的异色瓢虫生物学及人工繁育技术研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Sun YX, Chen MJ, Li ML, Qin YL, Zhong MJ, 2023. Effects of pollen-added artificial diets on the development of *Harmonia axyridis* larvae. *Chinese Journal of Biological Control*, 39(5): 1058–1065. [孙元星, 陈明娟, 李明娟, 秦亚龙, 钟明娟, 2023. 人工饲料添加花粉对异色瓢虫幼虫生长发育的影响. 中国生物防治学报, 39(5): 1058–1065.]
- Sun YX, Hao YN, Liu TX, 2018. A β -carotene-amended artificial diet increases larval survival and be applicable in mass rearing of *Harmonia axyridis*. *Biological Control*, 123: 105–110.
- Wan YP, 2021. Effects of different sugar sources on proliferations and pest control of *Harmonia axyridis*. Master dissertation. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science and Technology. [万银平, 2021. 不同糖源对异色瓢虫增殖和控害的影响. 硕士学位论文. 秦皇岛: 河北科技师范学院.]
- Wang HT, Zhang WD, Chen XZ, Zheng JF, Miao L, Qin QL, 2012. Mass rearing the multicolored Asian lady beetle on beet armyworm larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1726–1731. [王红托, 张伟东, 陈新中, 郑建峰, 苗麟, 秦启联, 2012. 异色瓢虫规模化生产技术与瓢虫工厂的建立. 应用昆虫学报, 49(6): 1726–1731.]
- Wang N, Wei JS, Dang L, Wang JB, Hua BZ, 2012. Ultramorphology of sensilla on the proboscis in three noctuid moths (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(7): 877–884. [王娜, 魏劲松, 党露, 王建波, 花保祯, 2012. 三种夜蛾成虫口器感器的超微形态. 昆虫学报, 55(7): 877–884.]
- Wang S, Zhang RZ, Zhang F, 2007. Research progress on biology and ecology of *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(9): 2117–2126. [王甦, 张润志, 张帆, 2007. 异色瓢虫生物生态学研究进展. 应用生态学报, 18(9): 2117–2126.]
- Wang YP, Lu F, Wang ZP, 2007. Progress of *Harmonia axyridis* (Pallas) utilization. *Entomological Journal of East China*, 16(4): 310–314. [王延鹏, 吕飞, 王振鹏, 2007. 异色瓢虫开发利用研究进展. 华东昆虫学报, 16(4): 310–314.]
- Wu YW, 2023. Studies on large-scale feeding of *Harmonia axyridis* and its potential for preying on *Spodoptera exigua*. Master dissertation. Changchun: Jilin Agricultural University. [吴钰薇, 2023. 异色瓢虫规模化饲养及其捕食甜菜夜蛾的潜能研究. 硕士学位论文. 长春: 吉林农业大学.]
- Wu YW, Gao P, Zheng LH, Shi WQ, Tan XC, Li FW, Li QY, Xu WJ, 2023. Effects of *Mythimna separata* on development and fecundity of *Harmonia axyridis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 39(6): 1295–1300. [吴钰薇, 高鹏, 郑林浩, 石文倩, 谭喜昌, 李飞武, 李启云, 徐文静, 2023. 东方粘虫对异色瓢虫生长发育及繁殖的影响. 中国生物防治学报, 39(6): 1295–1300.]
- Wu YW, Shang Y, Zheng LH, Li SR, Zhu LH, Zhang GC, Li FW, Xu WJ, 2024. Effects of sugar sources on the feeding system of

- “*Mythimna separate-Harmonia axyridis*”. *Chinese Journal of Biological Control*, 40(4): 828–833. [吴钰薇, 商晔, 郑林浩, 李姝睿, 朱立贺, 张国春, 李飞武, 徐文静, 2024. 糖源对“东方黏虫-异色瓢虫”饲养体系的影响. *中国生物防治学报*, 40(4): 828–833.]
- Yang FS, Zhang YJ, Zhang WJ, Xu BY, Wu QJ, 2004. A artificial rearing method of diamondback moth by *Brassica napus*. *Entomological Knowledge*, 41(5): 483–486. [杨峰山, 张友军, 张文吉, 徐宝云, 吴青君, 2004. 用甘蓝苗连续饲养小菜蛾的技术. *昆虫知识*, 41(5): 483–486.]
- Yang GQ, Fan W, Zhang Q, Li M, Jiang ZX, Duan P, Hu CX, Chen GH, Zhang XM, 2022. Predatory function of *Harmonia axyridis* and *Propylea japonica* larvae to young larvae of *Tuta absoluta*. *Chinese Journal of Biological Control*, 38(4): 959–966. [杨桂群, 范苇, 张倩, 李貌, 蒋正雄, 段盼, 胡昌雄, 陈国华, 张晓明, 2022. 异色瓢虫和龟纹瓢虫幼虫对番茄潜叶蛾低龄幼虫的捕食功能反应. *中国生物防治学报*, 38(4): 959–966.]
- Yasir I, 2021. Predating potential and fitness of *Harmonia axyridis* on *Spodoptera litura* and *Acyrtosiphon pisum*. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [Yasir I, 2021. 异色瓢虫对斜纹夜蛾与豌豆蚜的捕食潜力及适应性研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Yu HP, Wang Z, Long GY, Yang H, 2018. Effects of three prey species on development and oviposition of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Plant Protection*, 44(4): 105–109. [喻会平, 王召, 龙贵云, 杨洪, 2018. 三种猎物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响. *植物保护*, 44(4): 105–109.]
- Zhang Y, Xiu DY, Wang XD, Jiang HT, Zhang XD, Li KY, 2021. Influence of diet nutrients on insect biological and physiological characteristics. *Journal of Jilin Forestry Science and Technology*, 50(4): 39–43. [张杨, 修冬莹, 王晓丹, 姜宏涛, 张旭东, 李奎友, 2021. 饲料营养物质对昆虫生物学及生理特性的影响. *吉林林业科技*, 50(4): 39–43.]
- Zhou LJ, Yang DH, Hu QL, Shi LZ, Cao HQ, Li GT, Jiang XC, 2022. Prey selectivity and predatory functional response of *Harmonia axyridis* to *Spodoptera frugiperda* and *Rhopalosiphum padi*. *Plant Protection*, 48(2): 111–117. [周丽君, 杨灯海, 胡其磊, 石凌志, 操海群, 李桂亭, 蒋兴川, 2022. 异色瓢虫对草地贪夜蛾和禾谷缢管蚜的捕食功能反应及捕食选择性研究. *植物保护*, 48(2): 111–117.]