应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2019, 56(1): 72−78. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2019.008

地中海粉斑螟卵饲喂的异色瓢虫对豆蚜捕食作用评价*

孙 莉[1, 2, 3, 4**] 陈 霞[1, 2, 3 ,4] 张艳璇[1, 2, 3, 4***] 赵玲玲[2] 林坚贞[1, 2]

（1. 福建省农业科学院植物保护研究所，福州 350002；2. 福建省农作物害虫天敌资源工程技术研究中心，福州 350002；3. 福建省作物有害生物监测与治理重点实验室，福州 350002；4. 农业部福州作物有害生物科学观测实验站，福州 350002）

摘 要 **【目的】**以地中海粉螟 *Ephestia kuehniella* Zeller 卵为饲料人工繁育的异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas 为对象，测定其对豆蚜 *Aphis craccivora* Koch 的最佳寻找密度和捕食功能，明确不同饲料处理对异色瓢虫控害能力的影响，为其大量繁殖应用提供依据。**【方法】** 室内测定分别饲喂不同处理地中海粉斑螟卵和豆蚜的异色瓢虫成虫对豆蚜的捕食功能反应及寻找效应。**【结果】** 不同处理的异色瓢虫成虫对豆蚜的捕食功能反应均符合 Holling-Ⅱ型模型，取食新鲜卵、紫外线杀灭卵、冷冻卵、冷冻卵加蜂蜜、豆蚜的异色瓢虫对豆蚜的理论日最大捕食量分别为 88.20、97.73、78.64、101.81、107.70 只，各处理间无显著性差异；相同猎物密度下，各处理的异色瓢虫寻找效应相近；在无竞争状态下最佳寻找密度以豆蚜处理最大，为 31.89 只，紫外线处理卵、冷冻卵加蜂蜜处理次之（30.40 只，30.27 只）。**【结论】** 与饲喂豆蚜处理相比，地中海粉斑螟卵饲养的异色瓢虫成虫对豆蚜的捕食功能反应模型无影响，仅会影响数值，但是冷冻卵加蜂蜜的处理，捕食功能各指标与豆蚜处理最为相近，且冷冻卵易保存易使用，可在大量饲养中采用。

关键词 异色瓢虫；地中海粉斑螟卵；豆蚜；捕食作用

Effectiveness of *Harmonia axyridis* Pallas reared on *Ephestia kuehniella* Zeller eggs as a biological control for *Aphis craccivora* Koch

SUN Li[1, 2, 3, 4**] CHEN Xia[1, 2, 3, 4] ZHANG Yan-Xuan[1, 2, 3, 4***]
ZHAO Ling-Ling[2] LIN Jian-Zhen[1, 2]

(1. Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agriculture Sciences, Fuzhou 350002, China;
2. Research Center of Engineer and Technology of Natural Enemy Resource of Crop Pest in Fujian, Fuzhou 350002, China;
3. Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Fuzhou 350002, China;
4. Fuzhou Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests of Ministry of Agriculture, Fuzhou 350002, China)

Abstract **[Objectives]** To assess the effectiveness of *Harmonia axyridis* Pallas, reared on *Ephestia kuehniella* Zeller eggs, as a biological control for adult bean aphids, *Aphis craccivora* Koch, and determine the optimum *H. axyridis* release density required for effective biological control of this aphid. **[Methods]** The predatory efficiency of *H. axyridis* reared on either *E. kuehniella* eggs or aphids, on adult bean aphids, *A. craccivora*, was assessed in a laboratory. **[Results]** Predation by newly emerged *H. axyridis* adults on *A. craccivora* was of the Holling-Ⅱ type. The theoretical maximum predation rates of *H.* axyridis reared on fresh eggs, UV-killed eggs, frozen eggs , frozen eggs with honey, or aphids, were 88.20, 97.73, 78.64, 101.81, 107.70 prey · d^{-1}, respectively, and there was no significant difference between these 5 treatments in average predation rate on aphids. At the same prey density, the search efficiency of *H.* axyridis reared on these five different diets was also very

*资助项目 Supported projects：省属公益类科研院所基本科研专项（ 2016R1023-3、2015R1024-3、2017R1025-6）；福建省农业科学院生物防治资源利用科技创新团队（STIT2017-2-2）；福建省农业科学院三农一合项目 A2017-24

**第一作者 First author，E-mail：215860250@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：xuan7616@sina.com

收稿日期 Received：2018-02-08；接受日期 Accepted：2018-12-20

similar. After fitting the new Holling functional response model, the highest possible *H.* axyridis density without inter-specific competition, 31.89, was the best for biological control of aphids. **[Conclusion]** *H. axyridis* adults raised on *E. kuehniella* eggs could control aphids as well as those raised on aphids and the predatory functional response model of both groups was of the Holling-Ⅱ type. The parameters of the predation function of *H.* axyridis fed on frozen eggs with honey were most similar to those of the control. Therefore, in terms of predation efficiency, frozen eggs with honey are the best diet for *H. axyridis*. Frozen eggs are easy to preserve and therefore suitable for the large-scale production of *H. axyridis*.

Key words *Harmonia axyridis* Pallas; eggs of *Ephestia kuehniella* Zeller; *Aphis craccivora* Koch; predatory effect

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas 隶属于鞘翅目瓢虫科，主要分布于中国、俄罗斯、蒙古、朝鲜、日本等地，在我国普遍分布，是农、林害虫的一种重要捕食性天敌，对蚜虫、蚧类、木虱、螨类具有较好的捕食作用，尤喜蚜虫，具有成虫寿命长、产卵量大、年发生世代数多、适应性强等优点，是一种非常值得开发利用的天敌昆虫（王小艺和沈佐锐，2002；Koch，2003；王甦等，2007；王延鹏等，2007）。国内外对异色瓢虫的人工饲料大量繁殖的研究较多，但由于营养不足、产卵量低或不产卵、卵孵化率低等问题，未能够实现大量繁殖（郭建英和万方浩，2001；杨洪等，2003；张帆等，2005；Sighinolfi，2013）。李连枝（2011）曾提出以菜苗饲养蚜虫再饲养异色瓢虫工厂化繁殖工艺，但是该技术需要足够的蚜虫，一旦蚜虫数量不足将影响瓢虫的饲养，李辰新等（2017）发现麦蛾 *Corcyra cephalonica* Stainton 卵和人工饲料使异色瓢虫发育历期延长、产卵量明显下降，仅可作为补充饲料。地中海粉螟 *Ephestia kuehniella* Zeller 属鳞翅目，斑螟科，仓储害虫。原产美国，现已遍布世界。中国吉林、河南、浙江、广东、云南等省区也有发生，其卵可用于瓢虫（Hamasaki and Matsui，2006）、赤眼蜂（St-Onge，2016）、捕食螨（Delisle，2015）的繁殖，Specty（2003）的研究发现，利用地中海粉螟卵可以使异色瓢虫完成生长发育，并且发现了饲喂地中海粉螟卵的瓢虫比饲喂蚜虫的成虫获得率更高、体重更重、产卵量更高。作者利用地中海粉斑螟卵作为饲料大量饲养异色瓢虫取得成功，寿命及产卵量都超过取食蚜虫及前人研究的人工饲料配方（另文报道）。

食物种类与营养是天敌生长、发育、捕获能力的重要基础，天敌的捕食功能反应是天敌控制害虫的一个重要指标。张天澍（2008）、张丽莉（2007）研究了人工饲料对龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* Thunberg 捕食蚜虫的影响，证明不同食物条件下，捕食功能反应类型均为 Holling-Ⅱ型，但模型的参数受食物影响。张岫（2014）研究了非虫源人工饲料对异色瓢虫的捕食行为，发现饲喂人工饲料的异色瓢虫对豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* Harris 的捕食功能反应也属 Holling-Ⅱ型，但是日最大捕食量、寻找效应均低于蚜虫喂养的瓢虫。为充分分析该食料的应用价值，作者在室内测定了分别饲喂不同处理地中海粉斑螟卵和豆蚜(*Aphis craccivora* Koch)繁殖的异色瓢虫成虫对豆蚜的捕食功能反应及寻找效应。以期明确不同饲料处理对异色瓢虫控害能力的影响，为其大量繁殖应用提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

1.1.1　供试虫源　异色瓢虫：采自福建省农业科学院植物保护研究所（福州市）长豆角，室内用地中海粉斑螟卵饲养 2 代以上；

豆蚜：采自福建省农业科学院植物保护研究所（福州市）长豆角，以蚕豆饲养至成蚜或 4 龄若蚜；

地中海粉斑螟卵：福建艳璇生物防治有限公司提供，进行 3 种处理：新鲜卵（保存于 4 ℃冰箱中，3 d 内用完）；紫外线处理卵（20 W 紫外灯下 30 cm 处理 30-40 min，4℃冰箱中保存，3 天内用完）；冷冻处理卵（－18℃-－20℃冰箱中处理 24 h 以上）。

1.1.2 饲养盒 塑料盒体上口径 75 mm、下底直径 55 mm、高 38 mm，容积约为 100 mL，塑料盒侧面开设 20 mm×20 mm 的开口，用 100 目的纱网封在开口上，作为透气窗口；塑料盒中放置 1 块 10 mm×10 mm×10 mm 的海绵块，浸湿，提供水分或蜂蜜水。

1.2 试验方法

1.2.1 饲料处理 试验设以下处理：(1) 新鲜卵加水；(2) 紫外线杀灭卵加水；(3) 冷冻卵加水；(4) 冷冻卵加蜂蜜；(5) 豆蚜为对照。

1.2.2 幼虫的饲养 将异色瓢虫 1 龄幼虫放入饲养盒中，单头饲养。每天提供充足的饲料（按试验设计）。每周更换饲养盒以保证环境清洁，直至羽化。饲养条件为 25 ℃、70%-80% RH、16L∶8D 的恒温箱。

1.2.3 捕食功能反应试验 每个饲养盒中放入豆蚜，豆蚜的密度分别为 10、20、40、80、160、250 只，将不同食物饲养的初羽化成虫饥饿 24 h 后每盒放入 1 只，每处理 5 重复，25 ℃、70%-80% RH、16L∶8D 的恒温箱中培养 24 h 后观察记录蚜虫的被取食情况。

1.2.4 数据分析 DPS7.05 软件非线性方程进行圆盘方程的拟合，不同处理间差异性分析用 DPS7.05 软件 Turkey 多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 异色瓢虫对豆蚜的捕食功能反应

异色瓢虫对豆蚜的实际日捕食量经过显著性差异分析后（表 1），在相同猎物密度情况下，各处理对豆蚜的实际捕食量无显著性差异，说明取食不同处理地中海粉螟卵发育至成虫的异色瓢虫，对豆蚜的控制能力都是相近的；但 CK 组饲喂豆蚜得到的异色瓢虫成虫对豆蚜的捕食量是最大的，试验组中取食冷冻卵加蜂蜜的处理与 CK 组是最接近的，而冷冻卵处理是最低的，两相对比，食料中加入蜂蜜可提高异色瓢虫的捕猎能力。

由表 1 也可得出，在豆蚜密度 10-160 只/盒区间内，随着豆蚜数量的增加，异色瓢虫对豆蚜的捕食量呈上升趋势，当达到 160 只/盒密度时，瓢虫的捕食量达到饱和，其后的捕食量则不会再随着猎物密度升高而增加，形成的曲线属于负加速曲线型（图 1），符合 Holling-Ⅱ型功能反应。所以异色瓢虫与豆蚜的关系可以用 Holling 圆盘方程模拟（Holling，1959），$N_a=aT_hN_0/(1+aT_hN_0)$，其中 N_a 为被捕食的猎物的数量，a 为瞬时攻击率，T_h 为捕食时间，即处理一只猎物的时间，N_0 为猎物密度。

表 1 不同处理地中海粉斑螟卵饲喂的异色瓢虫对豆蚜的实际日捕食量

Table 1 Daily consumption of *Harmonia axyridis* on different foods to bean aphids

不同食物处理 Different treatments of food	蚜虫密度（只/盒）Densities of aphids (number/box)					
	10	20	40	80	160	250
D1：新鲜卵 Fresh eggs	9.6±0.55f	20.0ef	36.0±6.16 bcdef	54.8±9.93 abcde	57.0±17.20 abcd	65.0±15.75 abcd
D2：紫外线杀灭卵 UV-killed eggs	9.8±0.45f	19.8±0.45 ef	33.8±5.26 def	56.8±16.75 abcde	76.2±16.07 abc	70.0±17.86 abcd
D3：冷冻卵 Frozen eggs	9.6±0.55f	20.0ef	36.0±6.16 cdef	54.0±9.938 abcde	57.0±17.20 abcde	65.0±15.75 abcd
D4：冷冻卵加蜂蜜 Frozen eggs with honey	10.0f	20.0ef	37.4±5.81 bcdef	56.4±18.24 abcde	82.8±12.03 a	71.4±15.42 abcd
CK：豆蚜 *A. craccivora*	10.0f	20.0ef	36.4±8.05 bcdef	60.4±19.55 abcd	81.8±26.35 a	76.6±25.24 ab

表中数据为平均数±标准误。数据后标有不同小写字母为 Turkey 新复极法进行的显著性差异分析（ $P\leq0.05$）。

Data are presented as mean ± SD, and followed by different lower-case letters indicate significant difference at 0.05 level analysed by Turkey's new repolarization method.

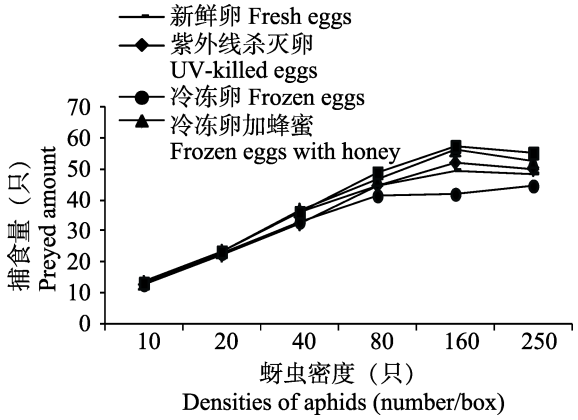

图 1　不同处理地中海粉斑螟卵饲喂的异色瓢虫对豆蚜的捕食功能曲线

Fig. 1　Predatory function curve of *Harmonia axyridis* on different foods to bean aphids

经拟合后，功能反应方程中 $1/N_0$ 与 $1/N_a$ 之间的线性相关系数（r）均大于 $r_{0.01}$（=0.917），表明捕食者与猎物密度间呈极显著相关，通过对实际捕食量和理论捕食量进行卡方检验，D1、D2、D3、D4、CK 的 Person 卡方值分别为 8.84、8.54、7.79、9.77、9.38，均小于 $P_{0.05}$=11.07，误差不显著，说明理论值与观察值较吻合拟合出来的功能反应模型较好地反映各处理异色瓢虫成虫对豆蚜的捕食规律。

捕食功能反应参数中 a/T_h 值用以描述天敌对害虫的控害能力，值越大，则控害能力越强，a/T_h 值以 CK 组最大，为 160.66 只，D4 组次之，为 154.32 只，D3 组最小，为 124.89 只；理论日最大捕食量也以 CK 组最大，为 107.70 只，D4 组次之，为 101.81 只，D3 组最小，为 78.64 只。该结果表明，取食豆蚜发育至成虫的异色瓢虫对豆蚜的捕食效能最为优异，地中海粉斑螟卵喂养的异色瓢虫中又以冷冻卵加蜂蜜处理的各数值最为接近豆蚜处理。

表 2　不同处理地中海粉斑螟卵饲喂的异色瓢虫对豆蚜的捕食功能反应

Table 2　Predation functional response of *Harmonia axyridis* on different foods to bean aphids

不同食物处理 Different treatments of food	参数 Parameter					
	圆盘方程 Holling equation	相关系数（r） Related coefficient	瞬时攻击率（a） Instantaneous attack rate	处理时间（T_h）（d） Treatment time	瞬时攻击率/处理时间 a/T_h Instantaneous attack rate/ Treatment time	理论日最大捕食量（只） Theoretical daily maximum predation
D1：新鲜卵 Fresh eggs	N_a=1.606 1 N_0/(1+0.018 2 N_0)	0.984 5	1.606 1	0.011 3	141.66	88.20
D2：紫外线杀灭卵 UV-killed eggs	N_a=1.446 2 N_0/(1+0.014 8N_0)	0.981 2	1.446 2	0.010 2	141.34	97.73
D3：冷冻卵 Frozen eggs	N_a=1.588 1 N_0/(1+0.020 2N_0)	0.985 9	1.588 1	0.012 7	124.89	78.64
D4：冷冻卵加蜂蜜 Frozen eggs with honey	N_a=1.515 7 N_0/(1+0.014 9 N_0)	0.972 6	1.515 7	0.009 8	154.32	101.81
CK：豆蚜 *A. craccivora*	N_a=1.491 7 N_0/(1+0.013 9 N_0)	0.983 6	1.491 7	0.009 3	160.66	107.70

2.2　异色瓢虫对豆蚜的寻找效应

寻找效应是描述捕食性天敌在捕食过程中对猎物攻击的行为效应，猎物密度不同，捕食者寻找猎物的时间也不同（梁洪柱等，2007），应该是随着猎物的种群密度的增加而降低。Holling 提出寻找效应估算用 $S=a/(1+aT_hN_0)$进行分析拟合，S 为寻找效应，a 为瞬时攻击率，T_h 为捕食时间，即处理一只猎物的时间。

在不同猎物密度下，异色瓢虫成虫对豆蚜的寻找效应见表 3，结果可以看出，取食不同食物发育至成虫的异色瓢虫对豆蚜的寻找效应随猎物密度的增加而减少，在相同猎物密度下，试验组中冷冻卵加蜂蜜处理的异色瓢虫对豆蚜的寻找效应高于其他处理。

表 3 取食不同食物的异色瓢虫寻找效应与豆蚜密度的关系
Table 3 The relationship between searching efficiency of *Harmonia axyridis* on different foods and the bean aphids density

不同食物处理 Different treatments of food	蚜虫密度（只/盒）Densities of aphids(number/box)					
	10	20	40	80	160	250
D1：新鲜卵 Fresh eggs	1.358 7	1.177 3	0.929 2	0.653 7	0.410 4	0.289 3
D2：紫外线杀灭卵 UV-killed eggs	1.259 8	1.115 9	0.908 5	0.662 2	0.429 4	0.307 7
D3：冷冻卵 Frozen eggs	1.321 3	1.131 2	0.878 5	0.607 2	0.375 3	0.262 6
D4：冷冻卵加蜂蜜 Frozen eggs with honey	1.319 3	1.167 9	0.950 0	0.691 8	0.448 2	0.321 0
CK：豆蚜 *A. craccivora*	1.310 2	1.168 1	0.959 9	0.707 6	0.463 8	0.334 3

2.3 异色瓢虫对豆蚜的最佳寻找密度预测

汪世泽和夏楚贵（1988）认为，天敌搜索攻击行为的积极性并非始终如一，在某种最佳的猎物密度条件下才能发挥最大的积极性，并据此提出了 Holling 功能反应新模型，用于估算天敌对猎物的最佳寻找密度。方寅昊等(2013)进行了异色瓢虫最佳寻找密度估算，20 其数学模型表达式：$N_a=a\cdot\exp(-b/N_0)$，式中 N_a 为捕食量的猎物数量，N_0 为供试猎物密度，a 为天敌最大捕食量，b 为无竞争状态下的最佳寻找密度。

模型方程拟合的结果可预测取食不同食物发育至成虫的异色瓢虫在不同食物条件下的最佳寻找密度，根据表 4 的结果，在无竞争状态下最佳寻找密度以豆蚜处理最大，为 31.89 只；取食紫外线杀灭卵和冷冻卵加蜂蜜的处理对豆蚜的最佳寻找密度极为接近豆蚜处理，为 30.40 只和 30.27 只，取食新鲜卵和冷冻卵的处理略差。依此结果，地中海粉斑螟卵饲喂所得的异色瓢虫成虫对豆蚜的搜索和攻击并无明显减弱，而且通过添加蜂蜜可增强异色瓢虫的捕猎能力。大田释放可依照此结果，拟定地中海粉螟卵饲喂所得异色瓢虫成虫对豆蚜高龄若蚜或成蚜控制的益害比例为 1∶31。

3 讨论

捕食功能反应用以描述捕食者对猎物的捕食能力，一般 Holling-Ⅱ模型适用于模拟昆虫的捕食功能反应。张岩等（2006）、李英梅（2015）、张晓曼等（2015）、巫鹏翔等（2017）的研究相类似，异色瓢虫对枸杞木虱 *Paratrioza sinica* Yang *et* Li、菜缢管蚜 *Lipaphis erysimi pseudobrassicae*

表 4 Holling 功能反应新模型及最佳寻找密度预测
Table 4 The new Holling functional response model and prediction of best searching densities

不同食物处理 Different treatments of food	参数			
	方程 Equation	相关系数（r） Related coefficient	最大捕食量（a） Maximum predation	最佳寻找密度（b） Optimum search density
D1：新鲜卵 Fresh eggs	$N_a=77.572\ 1\times\exp(-26.187\ 8/N_e)$	0.991 2	77.57	26.19
D2：紫外线杀灭卵 UV-killed eggs	$N_a=83.671\ 5\times\exp(-30.401\ 5/N_e)$	0.982 4	83.67	30.40
D3：冷冻卵 Frozen eggs	$N_a=69.629\ 2\times\exp(-23.877\ 6/N_e)$	0.992 2	69.63	23.88
D4：冷冻卵加蜂蜜 Frozen eggs with honey	$N_a=87.261\ 5\times\exp(-30.269\ 1/N_e)$	0.975 0	87.26	30.27
CK：豆蚜 *A. craccivora*	$N_a=91.410\ 5\times\exp(-31.885\ 3/N_e)$	0.985 7	91.41	31.89

Davis、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* Linnaeus、白杨毛蚜 Chaitophorus populeti Panzer、胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heraclei* Takahashi、桃蚜 *Myzus persicae* Sulzer 的捕食作用均属于 Holling-Ⅱ型圆盘方程。人工饲料对捕猎能力有一定的影响，张天澍（2008）、张丽莉（2007）研究了人工饲料对龟纹瓢虫捕食蚜虫的影响，以及张岫（2014）研究的非虫源人工饲料对异色瓢虫的捕食行为，均发现饲喂人工饲料的异色瓢虫对蚜虫的捕食功能反应也属 Holling-Ⅱ型，但是日最大捕食量、寻找效应均低于蚜虫喂养的瓢虫，本研究结果也类似，不同处理的地中海粉斑螟卵饲喂所得的异色瓢虫成虫对豆蚜的捕食功能均可以用 Holling-Ⅱ型圆盘方程来拟合，并通过卡方检验，证实理论值与观察值相吻合，说明拟合出来的模型可较好反映各处理瓢虫对豆蚜的捕食规律，饲喂地中海粉斑螟卵不会影响异色瓢虫对豆蚜的捕食功能类型。

以地中海粉斑螟卵为猎物饲养所得的异色瓢虫成虫对豆蚜的搜索和攻击无明显减弱，尤其以冷冻的地中海粉斑螟卵加蜂蜜处理最为接近取食蚜虫的处理，而冷冻卵加水的处理则表现较差，说明加入蜂蜜后，可提高异色瓢虫的捕猎能力。新鲜卵和紫外线杀灭卵不易长期保存，而冷冻卵则可在 - 18 ℃的冰箱中保存数月，且处理方式简单，只需注意密封即可，蜂蜜也易得，所以在大量饲养中，可以偏向于选择冷冻卵加蜂蜜作为饲料。

根据异色瓢虫在无竞争状态下最佳寻找密度，可拟定在田间释放比例为益害比 1∶31，但由于室内饲养环境单一，而田间环境复杂，所以此比例仅作为田间释放的参考，需进一步进行田间释放试验进行评价。

天敌的繁育和释放是生物防治的两个重点，繁育出的天敌可以保证优秀的捕猎能力，才能达到生物防治的目的，本研究表明利用地中海粉斑螟卵饲喂所得的异色瓢虫对豆蚜的捕食效能未出现消减，依然可有效控制豆蚜，说明地中海粉斑螟卵是适合大量繁育异色瓢虫的食料。而如何提高人工繁育的异色瓢虫捕猎能力，也有待进一步研究。

参考文献（**References**）

Delisle JF, Brodeur J, Shipp L, 2015. Evaluation of various types of supplemental food for two species of predatory mites, *Amblyseius swirskii* and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 65(4): 483–494.

Fang YH, Tao M, Ma J, Cao KQ, Chen GH, Li Q, 2013. Study of the predation functional responses of *Leis axyridis* Pallas to *Aphis citricol* Vander Goot. *Journal of Yunnan Agricultural University* (*Natural Science*), 28(3): 306–309. [方寅昊, 陶玫, 马钧, 曹克强, 陈国华, 李强, 2013. 异色瓢虫对绣线菊蚜捕食功能研究. 云南农业大学学报(自然科学), 28(3): 306–309.]

Guo JY, Wan FH, 2001. Effect of three diets on development and fecundity of the ladybeetles *Harmonia axyridis* and *Propylaea japonica*. *Chinese Journal of Biological Control*, 17(3): 116–120. [郭建英, 万方浩, 2001. 三种饲料对异色瓢虫和龟纹瓢虫的饲喂效果. 中国生物防治, 17(3): 116–120.]

Hamasaki K, Matsui M, 2006. Development and reproduction of an aphidophagous coccinellid *Propylea japonica* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae), reared on an alternative diet, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) eggs. *Applied Entomology and Zoology*, 41(2): 233–237.

Holling CS, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7): 385–398.

Koch RL, 2003. The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: a review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. *Journal of Insect Science*, 3(32): 1–16.

Li CX, Liang C, Liu TH, Li XB, Han SP, He YZ, 2017. Effects of three diets on growth and reproduction of *Harmonia axyridis* (Pallas). *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 32(2): 169–173. [李辰新, 梁超, 刘廷辉, 李新兵, 韩世鹏, 何运转, 2017. 3 种饲料对异色瓢虫生长发育的影响. 河北林果研究, 32(2): 169–173.]

Li LZ, 2011. Study on factorization breeding technology of *Leis axyridis* (Pallas). *Shanxi Forestry Science and Technology*, 40(1): 28–30. [李连枝, 2011. 异色瓢虫工厂化繁殖技术研究. 山西林业科技, 40(1): 28–30.]

Li YM, Tan Q, Zhang F, Hong B, Zhang SL, Chen ZJ, 2015. The predation functional response of *Harmonia axyridis* to *Myzus persicae* in greenhouse. *Journal of Environmental Entomology*, 37(5): 1081–1084. [李英梅, 谭巧, 张锋, 洪波, 张淑莲, 陈志杰, 2015. 异色瓢虫对设施栽培桃树桃蚜的捕食功能反应研

究. 环境昆虫报, 37(5): 1081–1084.]

Liang HZ, Hu YJ, Chen Q, Hou ZR, Tian HP, Liang XM, 2007. Functional responses of *Harmonias axyridis* preying on *Aphis sophoricola*. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(Suppl. 1): 103–106. [梁洪柱, 胡雅君, 陈倩, 侯峥嵘, 田会鹏, 梁晓梅, 2007. 异色瓢虫对槐蚜的捕食功能反应. 中国生物防治, 23(增刊 1): 103–106.]

Sighinolfi L, Febvay G, Dindo ML, Rey M, Francois J, Pageaux GF, 2013. Biochemical content in fatty acids and biological parameters of *Harmonia axyridis* reared on artificial diet. *Bulletin of Insectology*, 66(2): 283–290.

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.

St-Onge M, Cormier D, Todorova S, Lucas E, 2016. Conservation of *Ephestia kuehniella* eggs as hosts for *Trichogramma ostriniae*. *Journal of Applied Entomology*, 140(3): 161–240.

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 SZ, Xia CG, 1988. New model of Holling-Ⅲ functional response. *Journal of Ecology*, 7(1): 1–3. [汪世泽, 夏楚贵, 1988. Holling-Ⅲ型功能反应新模型. 生态学杂志, 7(1): 1–3.]

Wang XY, Shen ZR, 2002. Progress of applied research on multicolored Asian ladybird beetle. *Entomological Knowledge*, 39(4): 255–261. [王小艺, 沈佐锐, 2002. 异色瓢虫的应用研究概况. 昆虫知识, 39(4): 255–261.]

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 PX, Ma BX, Xu J, He J, Zhang R, Zhang RZ, 2017. Predation of *Poratrioza sinica* Yang & Li by *Harmonia axyridis* adults. *Journal of Plant Protection*, 44(4): 582–588. [巫鹏翔, 马宝旭, 徐婧, 何嘉, 张蓉, 张润志, 2017. 异色瓢虫成虫对枸杞木虱的捕食作用. 植物保护学报, 44(4): 582–588.]

Yang H, Xiong JW, Zhang F, 2003. Advances of artificial diet for *Harminia axyridis*. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 22(2): 169–172. [杨洪, 熊继文, 张帆, 2003. 异色瓢虫人工饲料研究进展. 山地农业生物学报, 22(2): 169–172.]

Zhang F, Yang H, Zhang JM, Wang B, 2005. Observations on the raising *Harminia axyridis* with three substitutive diets//Study on Prevention and Control of Agricultural Biological Disasters. Beijing: Chinese Agricultural science and Technology Press. 965–966. [张帆, 杨洪, 张君明, 王兵, 2005. 三种代饲料对异色瓢虫饲养效果评价//农业生物灾害预防与控制研究. 北京: 中国农业科学技术出版社. 965–966.]

Zhang LL, 2007. Effect of different lipid diets on the growth, reproduction and predation of *Propylea japonica* (Thunberg). Master thesis. Shanghai: East China Normal University. [张丽莉, 2007. 不同脂肪源饲料对龟纹瓢虫(*Propylaea japonica*)生长、繁殖和捕食效应的影响. 硕士学位论文. 上海: 华东师范大学.]

Zhang S, 2014. Study on effects of an artificial diet with non-insect ingredient on biological, biochemical and predatory characteristics of *Harmonia axyridis* (Pallas). Master thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [张岫, 2014. 非虫源人工饲料对异色瓢虫生物学、生化特性及捕食行为影响的研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Zhang TS, Li K, Zhang LL, Wang B, 2008. The effect of the artificial diets on *Propylea japonica* predation function. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(5): 791–794. [张天澍, 李恺, 张丽莉, 王斌, 2008. 人工饲料对龟纹瓢虫捕食功能的影响. 昆虫知识, 45(5): 791–794.]

Zhang XM, Xi YM, Wang S, Luo C, Zhang F, 2015. Assessment of potential control of *Semiaphis heraclei* by *Harmonia axyridis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(3): 317–321. [张晓曼, 奚一名, 王甦, 罗晨, 张帆, 2015. 异色瓢虫对胡萝卜微管蚜防治潜能评价. 中国生物防治学报, 31(3): 317–321.]

Zhang Y, Liu S, Qin QJ, He YZ, 2006. Predation of *Harmonia axyridis* (Pallas) on aphid species, *Chaitophorus populeti* (Panzer), *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) and *Lipaphis erysimi* (Kalteback). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 22(12): 323–326. [张岩, 刘顺, 秦秋菊, 何运转, 2006. 异色瓢虫对菜缢管蚜、禾谷缢管蚜和白杨毛蚜的捕食作用. 中国农学通报, 22(12): 323–326.]