



杜雪勇, 李浩森, 陈培涛, 庞虹. 饲养瓢虫的替代食物: 利用地中海粉螟卵与油菜花粉连续多代饲喂稻红瓢虫 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (2): 305–314.

饲养瓢虫的替代食物: 利用地中海粉螟卵与油菜花粉连续多代饲喂稻红瓢虫

杜雪勇, 李浩森, 陈培涛, 庞虹*

(中山大学生命科学学院/生态学院, 生物防治国家重点实验室, 广州 510275)

摘要: 稻红瓢虫 *Micraspis discolor* (Fabricius) 是稻田害虫捕食性天敌优势种之一, 捕食包括蓟马、稻蚜、叶蝉、飞虱 *Delphacidae*、鳞翅目幼虫和卵等多种水稻害虫, 对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 有控制作用。为了筛选出稻红瓢虫系统化饲养适宜的替代食物, 本研究利用地中海粉螟 *Ephestia kuehniella* Zeller 卵和油菜花粉分别连续 4 代饲养稻红瓢虫, 分析各代不同食物处理后幼虫各龄的历期、死亡率、雌性比、雌雄体重间的差异, 同时也对比了两种处理 F_2 代间雌虫的繁殖力及雌雄成虫的寿命。实验发现, 食用地中海粉螟卵的稻红瓢虫比食用油菜花粉的表现力更佳, 具体表现为稻红瓢虫取食地中海粉螟卵的幼虫各代历期显著短于取食油菜花粉的处理 ($P < 0.05$), $F_1 \sim F_3$ 代取食地中海粉螟卵的稻红瓢虫比取食油菜花粉的稻红瓢虫具有较高的雌性比例 (38.46% ~ 41.07% vs 50.75% ~ 55.56%), 取食地中海粉螟卵的各代初羽化稻红瓢虫体重始终大于取食油菜花粉的各代稻红瓢虫。油菜花粉饲喂的 F_2 代雌性稻红瓢虫产卵前期大约是同期地中海粉螟卵处理的 2 倍多 ($P < 0.05$), 且稻红瓢虫取食地中海粉螟卵后的最初 30 天产卵量大于油菜花粉处理, 喂饲地中海粉螟卵的 F_2 代稻红瓢虫雌雄成虫寿命比喂饲油菜花粉的 F_2 代稻红瓢虫长。综合分析幼虫发育和繁殖力结果, 地中海粉螟卵比油菜花粉更适合稻红瓢虫的生长发育, 稻红瓢虫在连续多代饲喂地中海粉螟卵后比饲喂油菜花粉有着更稳定的幼虫发育指标, 表明地中海粉螟卵比油菜花粉更适合作为稻红瓢虫系统化扩繁的替代食物。

关键词: 稻红瓢虫; 地中海粉螟卵; 油菜花粉; 历期; 雌性比; 体重; 繁殖力; 寿命

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 02-0305-10

Alternative foods for the rearing of a ladybird: Successive generations of the *Micraspis discolor* fed on *Ephestia kuehniella* eggs and *Brassica campestris* pollen

DU Xue-Yong, LI Hao-Sen, CHEN Pei-Tao, PANG Hong* (State Key Laboratory of Biocontrol, School of Life Sciences/School of Ecology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: *Micraspis discolor* is one of the key predators in the rice agricultural system, preying on a variety of rice pests, including thrips, aphids, leafhoppers, plant hoppers, and larvae and eggs of Lepidoptera, and it also has potential for the control of brown planthopper. To obtain a suitable alternative food for the rearing of *M. discolor*, we used *Ephestia kuehniella* eggs and *Brassica campestris* pollen as food for 4 successive generations, and assessed the larval periods, mortalities, female rates, female/male weight; also, the fecundity and female/male life span of the F_2 was compared among the two treatments.

基金项目: 广州市科技计划项目 (201904020041); 国家科技基础条件平台工作重点项目 (2005DKA21402); 国家动物标本资源库资助

作者简介: 杜雪勇, 男, 1995 年生, 四川康定人, 博士研究生, 主要研究方向为天敌瓢虫的遗传选育, E-mail: duxy28@mail2.sysu.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence: 庞虹, 女, 博士, 教授, 研究方向为昆虫分类与系统进化以及天敌昆虫资源研究与利用, E-mail: Lsshupang@mail.sysu.edu.cn

Lsshupang@mail.sysu.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-08-13; 接受日期 Accepted: 2021-01-09

Ladybirds fed with the *E. kuehniella* eggs performed better than those offered *B. campestris* pollen: larvae developed faster on *E. kuehniella* eggs than on *B. campestris* pollen in each generation; the $F_1 \sim F_3$ generations of *M. discolor* fed with *E. kuehniella* eggs had a higher rate of females than those given pollen (38.46% ~41.07% vs 50.75% ~55.56%), and the newly-emerged adults fed with *E. kuehniella* eggs were heavier than those maintained on *B. campestris* in each generation. The pre-oviposition period of *M. discolor* on *B. campestris* pollen was about two fold longer than on *E. kuehniella* eggs in F_2 , whereas the latter were more fecund than the former in the first 30 days; the female and male adults in F_2 fed with the *E. kuehniella* eggs had a longer life span than their counterparts offered pollen. Based on the ladybird's developmental and reproductive performance over successive generations, *E. kuehniella* eggs are more suitable than *B. campestris* pollen as the alternative food in the mass rearing of *M. discolor*.

Key words: *Micraspis discolor*; *Ephestia kuehniella* eggs; *Brassica campestris* pollen; period; female rate; weight; fecundity; life span

稻红瓢虫 *Micraspis discolor* (Fabricius) 是稻田害虫捕食性天敌优势种之一, 捕食稻田中包括蓟马、稻蚜、叶蝉、飞虱、鳞翅目幼虫和卵等多种水稻害虫 (表1), 对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 有控制作用 (周强等, 1997)。除了具有广谱的捕食性, 稻红瓢虫有取食水稻花粉的习性, 喜食水稻的花药, 但不损害雌花子房柱头, 故对授粉结实没有影响 (江永成和舒章明, 1985; 虞国跃, 2009)。有些学者认为它的植食性应视为暂时的转移 (章士美等, 1982; Afsana and Islam, 2001), 且捕食性昆虫取食植物花粉经常被认为是其面对食物紧缺时的一种适应环境变化的策略 (Cocuzza et al., 1997)。Shanker et al. (2012) 的食性偏好实验证明稻红瓢虫对水稻花粉更加青睐, 相较于没有花粉的水稻植株, 有花粉的水稻植株更受稻红瓢虫喜爱, 且雌性对花粉的偏好性比雄性更大 (Rattanapun, 2012)。本实验中的地中海粉螟 *Ephestia kuehniella* Zeller 隶属于鳞翅目 Lepidoptera 螟蛾科 Pyralidae, 其卵经过紫外光照射或者低温冷冻处理 (St-Onge et al., 2014) 失活后, 可作为生物防治中天敌昆虫的天然替代食物, 用以应对生物防治实践中各营养水平 (捕食者、猎物、猎物寄主) 间的不可持续性及高成本问题 (De Clercq et al., 2005)。据报道, 地中海粉螟卵常被用来作为一些生物防治天敌昆虫的种群扩大替代寄主, 如赤眼蜂 Trichogrammatidae (Bigler et al., 1987; Mandarawy et al., 2003; St-Onge et al., 2016), 以及捕食性蝽类 Heteroptera (Cocuzza et al., 1997; Honda et al., 1998; Oliveira et al., 2004; Mollá et al., 2014) 扩繁的替代猎物,

Kakimoto and Inoue (2005) 使用地中海粉螟卵成功地饲养了蓟马 *Haplothrips brevitubus* (Karny)。同时, 地中海粉螟卵也经常被用来连续饲养多种天敌瓢虫 Coccinellidae, 如 *Harmonia axyridis* Pallas (Daumal et al., 1975; Schanderl et al., 1988; Specty et al., 2003), *Adalia bipunctata* (L.) (De Clercq et al., 2005), *Propylea japonica* (Thunberg) (Hamasaki and Matsui, 2006), *Semiadalia undecimnotata* Schneider (Schanderl et al., 1988), *Pharoscyrnus semiglobosus* Karsch (Iperti et al., 1972), *Coccinella decempunctata* Linnaeus (Iperti et al., 1972), *Hippodamia convergens* Guérin-Meneville (Kato et al., 1999) 和 *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Maes et al., 2014)。

人工饲养稻红瓢虫通常使用天然猎物, 大量扩繁时受猎物获得和保存成本的限制; 猎物种群本身具有一定的消长趋势, 这使食物供应存在很大不确定性。而油菜花粉和地中海粉螟卵能够解决以上存在的问题, 需要考虑的是它们对稻红瓢虫的适合性。由于猎物品质对天敌昆虫的生长、发育和存活有着很大的影响, 尤其是瓢虫这样一类食性广泛的田间害虫天敌 (Hodek and Honek, 1996)。通过不同的食物质量对其生命史属性的影响, 可以评估食物对瓢虫的适合度 (Kalushkov and Hodek, 2001)。本研究选取地中海粉螟卵和油菜花粉连续饲养稻红瓢虫, 探究不同的食物来源对稻红瓢虫发育历期和繁殖力的影响, 从中选取适宜的替代食物, 探索高效和经济的人工扩繁稻红瓢虫条件, 有利于稻红瓢虫在害虫生物防治中的应用。

表 1 已报道的稻红瓢虫猎物名录
Table 1 Catalog of the reported predation range of *Micraspis discolor*

猎物分类 Prey taxon			参考文献 References
目 Order	总科/科 Super-/Family	种类 Species	
半翅目 Hemiptera	蚜总科 Aphidoidea	麦长管蚜 <i>Sitobion avenae</i> (Fabricius) 、棉蚜 <i>Aphis gossypii</i> Glover、苜蓿蚜 <i>A. craccivora</i> Koch. 、夹竹桃蚜 <i>A. nerii</i> Boyd. 、甘蓝蚜 <i>Brevicoryne brassicae</i> (Linnaeus) 、萝卜蚜 <i>Lipaphis erysimi</i> (Kaltentbach) 、竹色蚜 <i>Melanaphis bambusae</i> (Zehnter) 、桃蚜 <i>Myzus persicae</i> (Sulzer) 、玉米缢管蚜 <i>Rhopalosiphum maidis</i> (Fich) 、 <i>Uroleucon compositae</i> (Theobald)	章士美等 ,1982; Omkar and Bind , 1993; 江永成 , 1995; Omkar and Pervez , 2001 & 2002; Omkar <i>et al.</i> , 2005; Chowdhury <i>et al.</i> , 2008; Islam <i>et al.</i> , 2016.
		粉虱科 Aleyrodidae	Herting and Simmonds , 1972; Kumar <i>et al.</i> , 2018.
	飞虱科 Delphacidae	褐飞虱 (若虫和成虫) <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	章士美等 ,1982; Samal and Misra , 1985; Shepard and Rapusas , 1989; 江永成 , 1995; Begum <i>et al.</i> , 2002; Islam <i>et al.</i> , 2016.
	叶蝉科 Cicadellidae	黑尾叶蝉 (若虫) <i>Nephotettix</i> sp.	章士美等 ,1982; 江永成 , 1995; Rattanapun , 2012.
缨翅目 Thysanoptera	蓟马科 Thripidae	稻蓟马 <i>Thrips oryzae</i> Williams	章士美等 ,1982; 江永成 , 1995.
鳞翅目 Lepidoptera	螟蛾科 Pyralidae	稻纵卷叶螟 <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée、二化螟 <i>Chilo suppressalis</i> (Walker) 的卵及小幼虫	章士美等 ,1982; 江永成 , 1995.

1 材料与方法

1.1 供试瓢虫和食物准备

实验供试稻红瓢虫分别于 2018 年 10 月采自海南省文昌市文城镇 (19. 6° N , 110. 7° E) 和海南省五指山市水满乡 (18. 9° N , 109. 6° E) 杨花期水稻。首先在实验室内扩大种群, 于 25 ± 1℃ , 光周期 L : D = 16 h : 8 h , 相对湿度 60% ± 5% 条件下饲喂于直径 38 cm , 高 42 cm 的 120 目圆柱形尼龙网内, 提供破壁油菜花粉、地中海粉螟卵、糖水作为食物, 笼内放置健康的蚕豆苗用以保湿和充当产卵基质。观察发现稻红瓢虫偏好于在脱脂棉上产卵, 所以在笼内提供若干脱脂棉球供雌虫产卵。每天观察产卵情况, 取出卵块放置于直径 75 mm , 高 1. 5 mm 的塑料培养皿内, 于条件为

25 ± 1℃ , 光周期 L : D = 16 h : 8 h , 相对湿度 75% ± 5% 的恒温箱内孵化。孵化的幼虫按 5 ~ 7 头/皿的密度用相同的混合食物饲喂并放置于恒温箱内, 每天更换新鲜食物和清理残渣。羽化后的成虫再混合饲喂于养虫笼中自由交配产卵, 收集卵块。重复以上过程即可扩大实验室种群。

实验所用油菜花粉为直接购买的商品。地中海粉螟卵本实验室 (中山大学经济昆虫种质保藏中心) 饲养提供, 于 - 20℃ 中冷藏使之胚胎死亡, 按实验需要量取出低温冷藏的地中海粉螟卵于 4℃ 中保存待实验所用 (4℃ 放置不超过 10 d) 。

1.2 瓢虫食物处理实验及数据收集

将初孵稻红瓢虫幼虫立即单独置于直径 35 mm , 高 1. 5 mm 的塑料培养皿中, 整个实验过程都在条件为 25 ± 1℃ , 光周期 L : D = 16 h : 8 h , 相对湿度 75% ± 5% 的恒温箱内进行, 记为 F₁ 代。

在每个培养皿内提供充足的地中海粉螟卵及纯净水浸润过的脱脂棉球后,给每个皿编号,分别记录实验开始时间,每天观察幼虫发育和蜕皮,每两天更换食物和清理残渣,记录幼虫每次蜕皮时间,死亡情况,以及化蛹时间和羽化时间,对刚羽化的成虫记录性别和体重。将 F_1 代初羽化的成虫按雌雄人工配对,提供相同的饲养条件单独饲养,给每一对稻红瓢虫按配对的时间顺序编号并记录人工配对时间,每天更新食物和观察产卵,直至皿内成虫死亡。期间剔除未产卵及雌雄都死亡的观察对象。若有产卵,记录产卵时间与产卵数量。产在脱脂棉上的卵块直接转移至洁净的培养皿中,产在皿身的卵块需要将成虫移至新的塑料培养皿内,装有卵块的培养皿与脱脂棉上的卵块一起放入恒温箱内孵化,每天观察,记录孵化时间、孵化数量。新孵化的幼虫记为 F_2 ,继续重复以上实验至 F_4 代。油菜花粉处理实验与地中海粉螟卵处理实验方法和条件一致,区别为食物替换为油菜花粉。

1.3 数据分析与统计

实验数据统计及作图用 GraphPad Prism 5 (GraphPad Software, 美国) 进行,用 One-Way ANOVA 对实验数据进行差异性分析,以 $P < 0.05$ 作为显著性差异检验值。添加图注使用 Adobe Photoshop CS6 (美国)。

2 结果与分析

2.1 $F_1 \sim F_4$ 代两食物处理同代间的比较

$F_1 \sim F_4$ 代饲喂地中海粉螟卵的稻红瓢虫幼虫平均历期显著大于同期饲喂油菜花粉的稻红瓢虫 ($P < 0.05$, 图 1-F)。 F_1 代饲喂油菜花粉的稻红瓢虫幼虫存活率和雌性比都小于饲喂地中海粉螟卵的稻红瓢虫 (存活率: 68.42% vs 76.38%, 雌性比: 38.46% vs 55.56%), F_1 代两处理雄虫体重间存在显著差异 ($P < 0.05$); F_2 和 F_3 代饲喂油菜花粉的稻红瓢虫幼虫存活率大于饲喂地中海粉螟卵的稻红瓢虫 (F_2 : 66.67% vs 61.45%, F_3 : 93.33% vs 83.08%), 雌性比小于地中海粉螟卵处理 (F_2 : 41.07% vs 50.75%, F_3 : 39.29% vs 51.85%), F_2 代和 F_3 代两处理间雌雄体重差异显著 ($P < 0.05$); F_4 代饲喂油菜花粉的稻红瓢虫幼虫存活率大于饲喂地中海粉螟卵的稻红瓢虫

(84.75% vs 76.92%), 油菜花粉处理雌性比大于地中海粉螟卵处理 (58.00% vs 30.00%), 两处理间雄虫体重存在显著差异 ($P < 0.05$, 表 2)。

2.2 $F_1 \sim F_4$ 代两食物连续饲养的稻红瓢虫的生活史比较

2.2.1 油菜花粉连续饲养的稻红瓢虫的生活史

稻红瓢虫连续 4 代饲喂油菜花粉后, 1~3 龄历期随代数增加逐渐缩短 (图 1-A, B, C), 但只有 1 龄的 F_1 、 F_4 代的历期 (4.77 ± 0.83 d vs 3.66 ± 0.82 d, $P < 0.05$) 和 3 龄的 F_1 、 F_4 代的历期 (4.77 ± 1.09 d vs 3.98 ± 0.62 d, $P < 0.05$) 间具有显著性的差异 (图 1-A, C), 4 龄幼虫在 F_3 代时历期最长 (图 1-D, 6.43 ± 0.88 d)。蛹期随代数增加先发生了轻微的延长, 再缩短 (图 1-E, 3.92 ± 0.28 d, 4.20 ± 0.67 d, 4.64 ± 0.87 d, 4.38 ± 0.67 d), 幼虫整个发育历期随代数增加历期显著性缩短 (图 1-F, $P < 0.05$)。存活率随代数增加先降低后升高再降低, 在 66.67% ~ 93.33% 之间。 $F_1 \sim F_3$ 代雌性比较低, 在 38.46% ~ 41.07% 之间, F_4 代显著升高至 58.00%。 F_1 、 F_3 和 F_4 代雌虫体重显著大于雄虫 ($P < 0.05$), 雌虫体重随代数增加先降低后升高, 但不显著, 雄虫体重随代数增加保持稳定 (表 2)。

2.2.2 地中海粉螟卵连续饲养的稻红瓢虫的生活史

稻红瓢虫连续 4 代饲喂地中海粉螟卵后, 1 龄、3 龄、4 龄的平均历期随饲养代数增加未发生显著性差异 (图 1-A, C, D), 分别在 3.03 ~ 3.33 d, 2.70 ~ 3.12 d, 4.98 ~ 5.20 d 之间, 2 龄幼虫随代数增加, 历期发生了显著波动 (图 1-B, $2.09 \sim 2.91$ d, $P < 0.05$)。 F_1 代蛹期显著短于 F_4 代蛹期 (图 1-E, 4.17 ± 0.75 d vs 4.70 ± 0.84 d, $P < 0.05$)。幼虫整个发育历期随代数增加出现了先升高后降低的显著性波动, F_2 代幼虫历期最长 (图 1-F, 18.93 ± 1.40 d)。存活率随代数增加先降低后升高再降低, 在 61.45% ~ 83.08% 之间。 $F_1 \sim F_3$ 代雌性比相对正常, 在 50.75% ~ 55.56% 之间, F_4 代显著降低至 30.00%。 F_2 和 F_3 代雌雄体重差异显著 ($P < 0.05$), 初羽化雌成虫体重随代数增加先升高后降低, F_3 代雌虫体重显著大于 F_1 代 ($P < 0.05$), 初羽化雄成虫体重随代数增加先降低后升高, F_2 代雄成虫体重显著性低于 F_1 代 ($P < 0.05$, 表 2)。

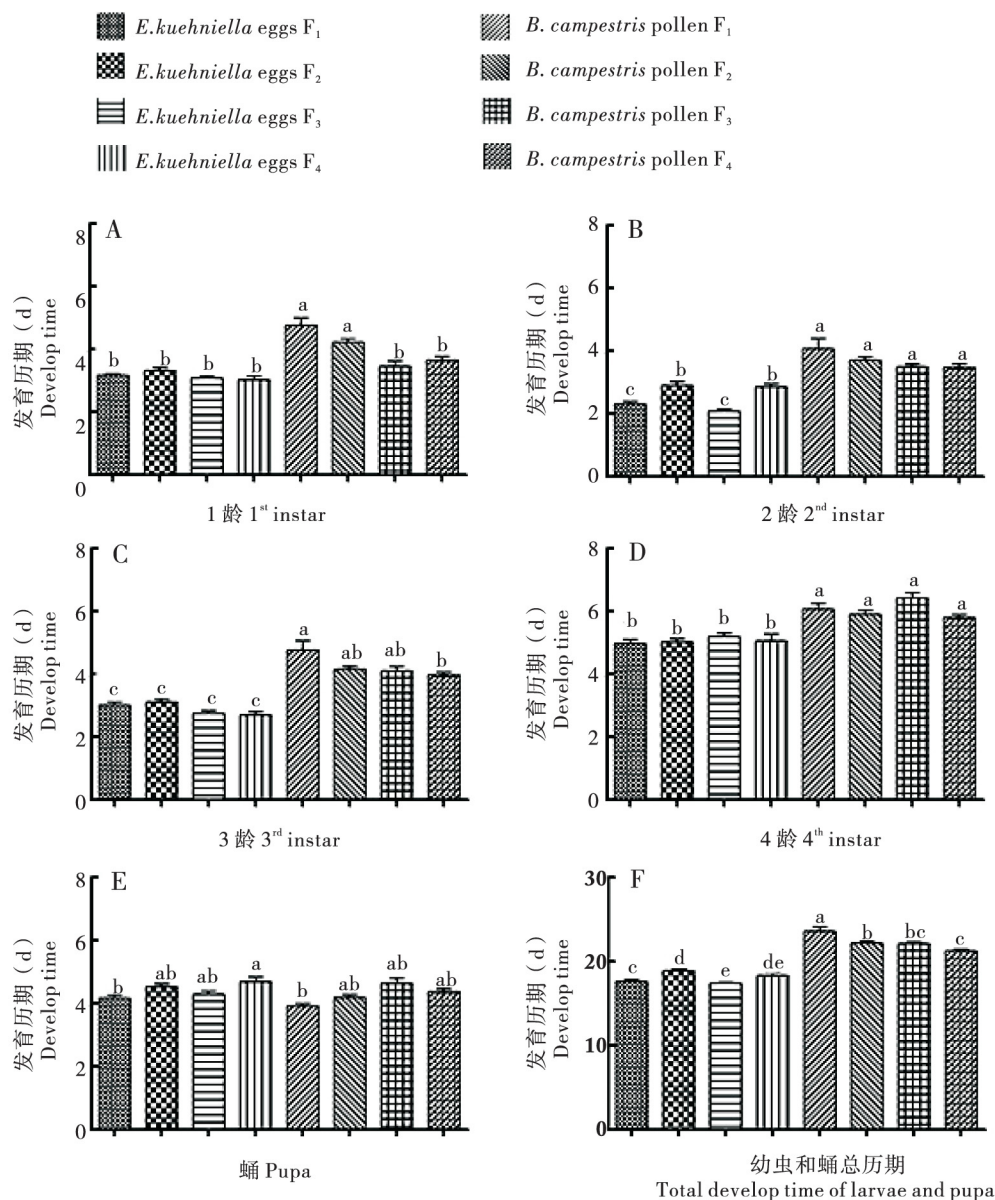


图 1 F₁ ~ F₄ 代稻红瓢虫幼虫饲喂地中海粉螟卵或油菜花粉后各阶段历期

Fig. 1 Develop times of *Micraspis discolor* fed with *Ephestia kuehniella* eggs or *Brassica campestris* pollen in the first (F₁) to the fourth generation (F₄)

注: 数据为平均值 ± 标准差。柱子顶部相同的小写字母代表该数据之间没有显著性差异 ($P > 0.05$)。Note: All values were expressed as the mean ± SD. The same lowercase letters above the bars represent there were no significant differences between the data ($P > 0.05$).

2.3 F₂ 代稻红瓢虫饲喂地中海粉螟卵和油菜花粉后雌虫的繁殖力和雌雄成虫寿命

F₂ 代稻红瓢虫饲喂油菜花粉后 (表 3), 雌虫平均产卵前期是地中海粉螟卵处理的 2 倍多 ($P < 0.05$), 雌虫最初 30 d 平均产卵量略微小于地中海粉螟卵处理。F₂ 代两处理间平均卵期差异不显著, 饲喂花粉的雌性稻红瓢虫平均卵期要轻微地长于地中海粉螟卵处理, 但是平均孵化率略微低于地

中海粉螟卵处理。F₂ 代饲喂地中海粉螟卵和油菜花粉的稻红瓢虫雌成虫寿命都大于雄性稻红瓢虫 (图 2, 161 ± 19.32 d vs 147.40 ± 30.81 d, 140.67 ± 57.20 d vs 105.17 ± 16.53 d), 且饲喂油菜花粉的稻红瓢虫雌雄寿命差值最大, 但都不显著。稻红瓢虫饲喂地中海粉螟卵的成虫寿命均大于饲喂油菜花粉的稻红瓢虫。

表 2 $F_1 \sim F_4$ 代稻红瓢虫幼虫饲喂地中海粉螟卵或油菜花粉后幼虫存活率及初羽化雌雄体重和雌性比 (%)
Table 2 Survival rates , weight of newly-emerged adults and sex ratio (% females) of *Micraspis discolor* in the first (F_1) to the fourth generation (F_4) of feeding with *Ephestia kuehniella* eggs or *Brassica campestris* pollen

世代 Generation	食物 Foods	存活率 (%) Survival rates	雌性比 (%) Percentage of females	初羽化成虫体重 (mg) Weight of newly-emerged adults	
				雌性 Female	雄性 Male
F_1	油菜花粉 <i>B. campestris</i> pollen	68.42	38.46	7.4 ± 0.70 Abc (5)	5.8 ± 0.66 Bc (8)
	地中海粉螟卵 <i>E. kuehniella</i> eggs	76.83	55.56	7.7 ± 0.86 Ab (35)	7.8 ± 0.89 Aa (28)
F_2	油菜花粉 <i>B. campestris</i> pollen	66.67	41.07	6.6 ± 0.87 Ac (23)	6.1 ± 0.69 Ac (33)
	地中海粉螟卵 <i>E. kuehniella</i> eggs	61.45	50.75	8.1 ± 1.11 Aab (34)	6.7 ± 0.59 Bb (33)
F_3	油菜花粉 <i>B. campestris</i> pollen	93.33	39.29	6.9 ± 0.48 Abc (11)	6.0 ± 0.31 Bc (17)
	地中海粉螟卵 <i>E. kuehniella</i> eggs	83.08	51.85	8.5 ± 0.72 Aa (28)	7.1 ± 0.69 Bab (26)
F_4	油菜花粉 <i>B. campestris</i> pollen	84.75	58.00	7.2 ± 0.59 Abc (29)	6.1 ± 0.41 Bc (21)
	地中海粉螟卵 <i>E. kuehniella</i> eggs	76.92	30.00	7.8 ± 1.24 Aab (9)	7.3 ± 0.59 Aab (21)

注: 存活率指的是从 1 龄幼虫到羽化的总存活率, 最终的羽化数量比上最初的幼虫重复数量为幼虫的存活率。初羽化的稻红瓢虫体重用平均值 ± 标准差表示, 同一行相同的大写字母及同一列相同的小写字母代表着数据之间差异不显著 ($P > 0.05$), 括号内的值代表重复数量。Note: The survival rate were the total survival rate from 1st instar to the emergence , the final emerged adults divided by the initial number of 1st instar are the survival rates. For the weight of newly-emerged adults (mean ± SD) , the same capital letters within the same row and the same lowercase letters within the column meant the data were not significant different ($P > 0.05$) , values in parentheses indicated the number of replicates.

表 3 F_2 代分别饲喂地中海粉螟卵或油菜花粉后稻红瓢虫繁殖参数 (平均值 ± 标准差)
Table 3 Reproductive parameters of *Micraspis discolor* in the second generation (F_2) of feeding with *Ephestia kuehniella* eggs or *Brassica campestris* pollen (means ± SD)

世代 Generation	产卵前期 (d) Pre-oviposition	繁殖力 Fecundity	卵孵化期 (d) Egg incubation period	卵孵化率 (%) Egg hatch
F_2 饲喂油菜花粉 F_2 feeding with <i>B. campestris</i> pollen	40.17 ± 5.23 a (6)	40.57 ± 17.01 a (7)	4.50 ± 0.53 a (3)	36.67 ± 24.22 a (3)
F_2 饲喂地中海粉螟卵 F_2 feeding with <i>E. kuehniella</i> eggs	18.87 ± 6.33 b (15)	62.12 ± 33.95 a (15)	4.15 ± 0.60 a (4)	40.72 ± 12.89 a (4)

注: 繁殖力用每个处理中雌性个体前 30 d 的产卵量表示。同一列的相同小写字母代表数据间差异不显著 ($P > 0.05$), 括号内的值代表重复数量。Note: Fecundity was expressed as the first 30 day's mean total oviposition. The lowercase within the same column meant the data were not significantly different ($P > 0.05$) , values in parentheses indicated the number of replicates.

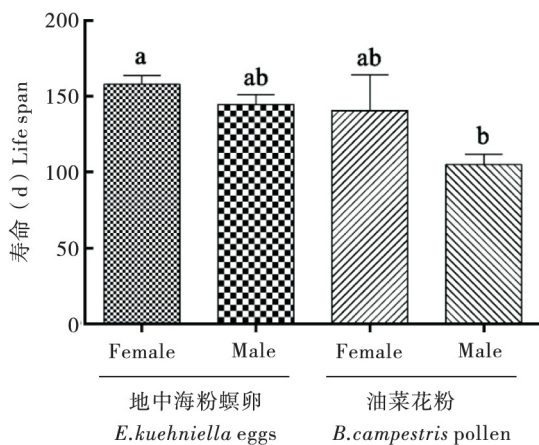


图2 F_2 代稻红瓢虫饲喂地中海粉螟卵和油菜花粉后雌雄成虫的寿命 (平均值 $\pm$ 标准差)

Fig. 2 Longevity (means $\pm$ SD) of adult females and males of *Micraspis discolor* in the second generation (F_2) of feeding with *Ephesia kuehniella* eggs or *Brassica campestris* pollen
注: 每个柱形图上相同的小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。Note: The same lowercase letters above the bars represent there were no significant differences between the data ($P > 0.05$).

3 结论与讨论

结果表明, 稻红瓢虫饲喂油菜花粉和地中海粉螟卵后均能完成生活史并产生后代, 但稻红瓢虫对不同食物处理随代数增加所呈现的幼虫各阶段历期、幼虫存活率、雌性比、雌雄成虫体重以及 F_2 代雌性繁殖能力和寿命存在一定的差异。从两食物处理同代间的比较来看, 各代饲喂地中海粉螟卵的稻红瓢虫幼虫始终比饲喂油菜花粉的稻红瓢虫幼虫能够更快地发育到成虫, 与 Berkvens *et al.* (2008) 报道的花粉饲喂异色瓢虫比地中海粉螟卵饲喂的异色瓢虫花费更长的发育时间结果一致; 在本实验相同的温湿度饲养条件下, 与 Begum *et al.* (2002) 和 Islam *et al.* (2016) 报导的稻红瓢虫饲喂褐飞虱后的幼虫历期 (分别为 20.2 ± 0.2 d, 19.20 ± 0.83 d) 相比, 稻红瓢虫幼虫各代饲喂油菜花粉比饲喂褐飞虱花费更长的时间发育至成虫, 各代饲喂地中海粉螟卵比饲喂褐飞虱花费更短的时间发育至成虫。Omkar *et al.* (2005) 在 $27 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $65\% \pm 5\%$ 的条件下对比了稻红瓢虫分别饲喂 *R. maidis*, *A. gossypii*, *A. craccivora* 3 种蚜虫后的生长发育情况, 发现

3 种蚜虫饲喂稻红瓢虫幼虫后, 历期由短到长依次为 *R. maidis* (14.00 ± 0.67 d) $<$ *A. gossypii* (14.35 ± 0.43 d) $<$ *A. craccivora* (5.53 ± 0.87 d)。所以从以上文献报导的稻红瓢虫幼虫发育历期可知: 取食地中海粉螟卵比取食褐飞虱更能使稻红瓢虫幼虫快速地发育至成虫, 油菜花粉最慢, 并且猜想适宜的蚜虫猎物可能会极大地缩短稻红瓢虫幼虫发育历期, 但还需要进一步在相同条件下测定。比较有趣的是, 各代饲喂地中海粉螟卵的稻红瓢虫比饲喂油菜花粉的稻红瓢虫具有更高的雌性比 (除 F_4 代以外), Omkar *et al.* (2005) 发现在 $27 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $65\% \pm 5\%$ 条件下 3 种蚜虫 (*R. maidis*, *A. gossypii*, *A. craccivora*) 饲喂稻红瓢虫后的雌性比分别为 0.63、0.57、0.64, Srivastava and Omkar (2004) 的研究表明食物的质量在性别比的调控中发挥着重要作用, 越适合的猎物更能促使雌性比变高, 但是 Majerus *et al.* (2000) 和 Majerus and Majerus (2000) 认为在一些瓢虫种类中, 雌性比偏高是因为其中存在一些能够杀死雄性的共生体和细菌造成。总之, 雌性比偏高对种群规模的扩大具有促进作用。各代饲喂地中海粉螟卵的稻红瓢虫雌雄体重都分别大于各代饲喂油菜花粉的雌雄稻红瓢虫体重, 可能是由于地中海粉螟卵比油菜花粉在营养构成上能使稻红瓢虫获得更重的体重。

从两种食物处理各自不同代之间的发育指标来看, 存活率等其它指标随代数增加发生了改变。而猎物质量很大程度上影响着捕食者的存活率和其它发育指标, 由于人为饲喂非适宜的猎物, 进而引发捕食者对非适宜猎物取食减少, 进而导致幼虫处于半饥饿状态, 最终引起发育减缓和存活率下降 (Kawauchi, 1979)。所以根据稻红瓢虫取食地中海粉螟卵后的发育指标推断稻红瓢虫能够很好地适应地中海粉螟卵, 虽然在连续代数之间适应性 (发育指标) 存在波动, 但差异不大。稻红瓢虫 F_1 和 F_2 代饲喂油菜花粉后获得的较低存活率和雌性比表明稻红瓢虫最初对油菜花粉具有低的适应性, 随着 F_3 和 F_4 代的存活率、雌性比和体重的上升, 说明稻红瓢虫逐渐适应了花粉。以上结果表明在不同食物连续饲喂稻红瓢虫后, 稻红瓢虫对地中海粉螟卵和油菜花粉都能适应, 但是稻红瓢虫对地中海粉螟卵的适应比对油菜花粉的适应更快。

根据 F_2 代两种处理的繁殖力结果对比, F_2 代

饲喂油菜花粉的稻红瓢虫产卵前期是地中海粉螟卵处理的 2 倍多, 且 F_2 代两种处理的产卵前期远大于已报道的相同温湿度范围内其它食物处理的产卵前期 (Begum *et al.*, 2002; Islam *et al.*, 2016), 油菜花粉处理和地中海粉螟卵处理的稻红瓢虫雌虫在同一处理间雌性个体产卵量差异较大, 故表中只比较了最初 30 d 的产卵量。实际统计的油菜花粉处理的产卵范围为 20 ~ 297 粒/头, 低于与本实验相同温度、湿度范围内已报导的豆蚜和褐飞虱处理的稻红瓢虫产卵量 (Islam *et al.*, 2016); 地中海粉螟卵处理的产卵范围为 119 ~ 641 粒/头, 其中只有少量雌性个体产卵量能与 Islam *et al.* (2016) 的记录保持一致。两种食物处理卵的孵化率相近, 且都低于 Islam *et al.* (2016) 的记录, 可能是因为营养卵占较大比例。即使两种食物处理的孵化率差不多, 但是地中海粉螟卵处理的雌性稻红瓢虫通过较大的产卵基数保证了后代数量的稳定。 F_2 代两种处理间卵期差异性不大, 且都远大于相同温湿度范围内的已知的其它食物处理的卵期 (Begum *et al.*, 2002; Islam *et al.*, 2016), 说明了稻红瓢虫取食不同的食物后其卵期也随食物变化。对比 F_2 代两种处理雌雄的寿命发现, F_2 代稻红瓢虫饲喂地中海粉螟卵和油菜花粉后雌雄成虫的寿命相对于已知其它食物处理实增加了约 3 ~ 4 倍 (Begum *et al.*, 2002; Islam *et al.*, 2016), 饲喂地中海粉螟卵的稻红瓢虫寿命比饲喂油菜花粉的稻红瓢虫寿命稍微地延长, 且两种处理中的雌性稻红瓢虫寿命大于雄性稻红瓢虫, 饲喂油菜花粉的稻红瓢虫雌雄寿命差距最大。

所以从本实验获得的结果并与以往的研究结果综合分析, 虽然稻红瓢虫饲喂地中海粉螟卵比饲喂油菜花粉在虫体发育和繁殖力方面更佳, 但达不到与天然猎物如褐飞虱相当的效果。而地中海粉螟卵在获得和保存方面比天然猎物更占优势, 这点刚好满足了稻红瓢虫扩繁系统所需的食物条件。除此之外, 结果还说明油菜花粉也能使稻红瓢虫完成发育并且繁殖后代, 但油菜花粉在长期饲养稻红瓢虫中需要较长的发育历期以及具有较弱的繁殖力, 这两点将是限制其作为稻红瓢虫系扩繁系统中替代食物的主要因素, 虽然油菜花粉比地中海粉螟卵更加容易获得和保存, 其适合度还是排在地中海粉螟卵之后, 可作为补充食物。稻红瓢虫以花粉为食比以地中海粉螟卵为食表现出了较慢的发育速率和弱的生殖力, 还表明了

目前的研究中使用的的花粉和地中海粉螟卵的营养构成可能存在很大的差异, 猜想可能导致稻红瓢虫营养代谢与解毒机制发生很大的改变, 这为后续测定基因组和转录组深入挖掘稻红瓢虫营养代谢与解毒相关的基因调控机制提供了良好的研究思路。

致谢: 非常感谢同事唐雪飞和徐泽宇协助采集昆虫材料, 马丽君女士协助昆虫饲养。感谢比利时根特大学 Patrick De Clercq 教授对论文英文内容的指正, 最后感谢福建省农业科学院植物保护研究所张艳璇研究员团队提供的地中海粉螟卵。

参考文献 (References)

- Afsana N, Islam Z. Effects of the ladybird beetle *Micraspis discolor* on yield components and grain yield of rice [J]. *International Rice Research Notes*, 2001, 26 (2): 43–44.
- Bigler F, Meyer A, Bosshart S. Quality assessment in *Trichogramma maidis* Pintureau et Voegelé reared from eggs of the factitious hosts *Ephesia kuehniella* Zell. and *Sitotroga cerealella* (Olivier) [J]. *Journal of Applied Entomology*, 1987, 104 (1–5): 340–353.
- Begum MA, Jahan M, Bari MN, *et al.* Potentiality of *Micraspis discolor* (F.) as a biocontrol agent of *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. *Online Journal of Biological Sciences*, 2002, 2 (9): 630–632.
- Berkvens N, Bonte J, Berkvens D, *et al.* Pollen as an alternative food for *Harmonia axyridis* [J]. *BioControl*, 2008, 53: 201–210.
- Cocuzza GE, De Clercq P, Veire MV, *et al.* Reproduction of *Orius laevigatus* and *Orius albidipennis* on pollen and *Ephesia kuehniella* eggs [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1997, 82: 101–104.
- Chowdhury SP, Ahad MA, Amin MR, *et al.* Biology of ladybird beetle *Micraspis discolor* (Fab.) (Coccinellidae: Coleoptera) [J]. *Int. J. Sustain. Crop Prod.*, 2008, 3 (3): 39–44.
- Daumal J, Voegelé J, Brun P. Les trichogrammes. II. Unité de production massive et quotidienne d'un hôte de substitution *Anagasta kuehniella* Zell. (Lep., Pyralidae) [J]. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 1975, 7: 45–59.
- De Clercq P, Bonte M, Speybroeck KV, *et al.* Development and reproduction of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) on eggs of *Ephesia kuehniella* (Lepidoptera: Phycitidae) and pollen [J]. *Pest Management Science*, 2005, 61: 1129–1132.
- Herting B, Simmonds FJ. A Catalogue of Parasites and Predators of Terrestrial Arthropods [M]. London: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1972.
- Hodek I, Honek A. Ecology of Coccinellidae [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996: 319–350.
- Honda JY, Nakashima Y, Hirose Y. Development, reproduction and longevity of *Orius minutus* and *Orius sauteri* (Heteroptera:

- Anthocoridae) when reared on *Ephesia kuehniella* eggs [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 1998, 33 (3): 449–453.
- Hamasaki K, Matsui M. Development and reproduction of an aphidophagous coccinellid, *Propylea japonica* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae), reared on an alternative diet, *Ephesia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) eggs [J]. *Appl. Entomol. Zool.*, 2006, 41 (2): 233–237.
- Iperti G, Brun J, Daumal J. Possibilité de multiplication des coccinelles coccidiphages et aphidiphages (Coleopt., Coccinellidae) à l'aide d'œufs d'*Anagasta kuhniella* Z. (Lepidopt. Pyralidae) [J]. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 1972, 4: 555–567.
- Islam MZ, Labani SA, Khan AB. Feeding propensity and cannibalism of *Micraspis discolor* (Fab.) to different prey species (*Aphis craccivora* and *Nilaparvata lugens*) under laboratory condition [J]. *J. Environ. Sci. & Natural Resources*, 2016, 9 (1): 81–85.
- Jiang YC, Shu ZM. The feeding habits and taxonomic status of the rice ladybird [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1985, 28 (1): 115–117. [江永成, 舒章明. 稻红瓢虫的食性及其分类地位 [J]. 昆虫学报, 1985, 28 (1): 115–117]
- Jiang YC. The biological characteristics and the protection of *Micraspis discolor* (Fabricius) [J]. *Entomological Knowledge*, 1995, 32 (2): 114–115. [江永成. 稻红瓢虫的生物学特性及其保护利用 [J]. 昆虫知识, 1995, 32 (2): 114–115]
- Kawauchi S. Effects of prey density on the rate of prey consumption, development and survival of *Propylea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Kontyu*, 1979, 47: 204–212.
- Kato CM, Bueno VHP, Moraes JC, et al. Criação de *Hippodamia convergens* Guérin – Meneville (Coleoptera: Coccinellidae) em ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 1999, 28 (3): 455–459.
- Kalushkov P and Hodek I. New essential aphid prey for *Anatis ocellata* and *Calvia quatuordecimguttata* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2001, 11 (1): 35–39.
- Kakimoto K, Inoue H. Minimum amount of an alternative diet, *Ephesia kuehniella* Zeller eggs, for development and reproduction of *Haplothrips brevitubus* (Karny) (Thysanoptera: Phlaeothripinae) [J]. *Kyushu Plant Protection Research*, 2005, 51: 69–72.
- Kumar MS, Bandyopadhyay U, Lalitha N, et al. Biology and feeding efficacy of *Micraspis discolor*, a potential biological control agent of whitefly, *Dialeuropora decempuncta* [J]. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2018, 6 (1): 938–941.
- Majerus MEN, Hinrich J, Schulenburg GVD, et al. Multiple causes of male killing in a single sample of the two – spot ladybird, *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) from Moscow [J]. *Heredity*, 2000, 84 (5): 605–609.
- Majerus MEN, Majerus TMO. Female – biased sex ratio due to male – killing in the Japanese ladybird, *Coccinula sinensis* [J]. *Ecological Entomology*, 2000, 25: 234–238.
- Mandarawy MBRE. Suitability of *Ephesia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) eggs for parasitisation by *Trichogramma evanescens* Westw and *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. *Pakistan Journal of Biological Science*, 2003, 6 (16): 1459–1462.
- Maes S, Antoons T, Grégoire J – C, et al. A semi – artificial rearing system for the specialist predatory ladybird *Cryptolaemus montrouzieri* [J]. *BioControl*, 2014, 59: 557–564.
- Mollá O, Biondi A, Alonso – Valiente M, et al. A comparative life history study of two mirid bugs preying on *Tuta absoluta* and *Ephesia kuehniella* eggs on tomato crops: implications for biological control [J]. *BioControl*, 2014, 59: 175–183.
- Omkar, Bind RB. Records of aphids – natural enemies complex of Uttar Pradesh. II. The Coccinellids [J]. *Journal of Advanced Zoology*, 1993, 14 (2): 96–99.
- Omkar, Pervez A. Prey preference of a ladybeetle, *Micraspis discolor* (Fabricius) [J]. *Entomon*, 2001, 26 (2): 195–197.
- Omkar, Pervez A. Influence of temperature on age – specific fecundity of the ladybeetle *Micraspis discolor* (Fabricius) [J]. *Insect Sci. Applic.*, 2002, 22 (1): 61–65.
- Oliveira HN, De Clercq P, Zanuncio JC, et al. Nymphal development and feeding preference of *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) on eggs of *Ephesia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) parasitised or not by *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. *Braz. J. Biol.*, 2004, 64 (3A): 459–463.
- Omkar, Pervez A, Singh SK. Development and immature survival of two aphidophagous ladybirds, *Coelophora biplagiata* and *Micraspis discolor* [J]. *Insect Science*, 2005, 12: 375–379.
- Rattanapun W. Biology and potentiality in biological control of *Micraspis discolor* (Fabricius) (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 2012, 77 (4): 541–548.
- Samal P, Misra BC. Morphology and biology of the coccinellid beetle *Verania discolor* Fab. (Coleoptera: Coccinellidae), a predator on rice brown plant hopper *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. *Oryza*, 1985, 22 (1): 58–60.
- Schanderl H, Ferran A, Garcia V. L' élevage de deux coccinelles *Harmonia axyridis* et *Semiadalia undecimnotata* à l' aide d' œufs d' *Anagasta kuehniella* tués aux rayons ultraviolets [J]. *Entomol. Exp. Appl.*, 1988, 49: 235–244.
- Shepard BM, Rapusas HR. Life cycle of *Micraspis* sp. on brown plant hopper (BPH) and rice pollen [J]. *International Rice Research Newsletter*, 1989, 14: 3, 40.
- 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.
- Srivastava S, Omkar. Fertility and mortality lifetables of an aphidophagous ladybird beetle, *Coccinella septempunctata* Linnaeus [J]. *Entomon*, 2004, 29: 101–110.
- Shanker C, Mohan M, Sampathkumar M, et al. Functional significance of *Micraspis discolor* (F.) (Coccinellidae: Coleoptera) in rice ecosystem [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2012, 137 (8):

601 – 609.

St-Onge M , Cormier D , Todorova S , *et al.* Comparison of *Ephesia kuehniella* eggs sterilization methods for *Trichogramma* rearing [J]. *Biological Control* , 2014 , 70: 73 – 77.

St-Onge M , Cormier D , Todorova S , *et al.* Conservation of *Ephesia kuehniella* eggs as hosts for *Trichogramma ostrinae* [J]. *Journal of Applied Entomology* , 2016 , 140 (3) : 218 – 222.

Yu GY. Chinese Lady Beetles (The Subfamily Coccinellinae) [M]. Beijing: Chemical Industry Press , 2009. [虞国跃. 中国瓢虫亚科图志 [M]. 北京: 化学工业出版社 , 2009]

Zhang SM , Jiang YC , Xue FS. The study of *Micraspis discolor* [J]. *Natural Enemies of Insects* , 1982 , 4 (3) : 28 – 31. [章士美, 江永成, 薛芳森. 稻红瓢虫研究 [J]. 昆虫天敌, 1982 , 4 (3) : 28 – 31]

Zhou Q , Zhang XW , Zhang GR , *et al.* A varieties of nature enemy on the control of rice planthopper in paddy fields [J]. *Plant Protection* , 1997 , 23 (2) : 3 – 6. [周强, 张学武, 张古忍等. 稻田中多种天敌对稻飞虱的控制作用 [J]. 植物保护, 1997 , 23 (2) : 3 – 6]