



于静亚, 董立坤, 王志华, 刘超, 康凯丽, 聂超仁, 毛润萍, 谭淑娟. 龟纹瓢虫成虫对 3 种害虫的捕食作用 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (1): 189–195.

龟纹瓢虫成虫对 3 种害虫的捕食作用

于静亚, 董立坤*, 王志华, 刘超, 康凯丽, 聂超仁, 毛润萍, 谭淑娟

(武汉市园林科学研究院, 武汉 430081)

摘要: 为明确天敌昆虫龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 对 3 种害虫莲缢管蚜 *Rhopalosiphum nymphaeae*、紫薇长斑蚜 *Sarucallis kahawaluokalani* 和红带滑胸针蓟马 *Selenothrips rubrocinctus* 的捕食效应, 分别在室内测定了龟纹瓢虫成虫对莲缢管蚜 3~4 龄若蚜、紫薇长斑蚜 3~4 龄若蚜和红带滑胸针蓟马 2~3 龄若虫的捕食作用。结果表明: 龟纹瓢虫成虫对 3 种害虫的捕食效果可用 Holling-II 模型进行拟合, 对红带滑胸针蓟马 2~3 龄若虫的捕食能力最强, 为 192.14, 对莲缢管蚜的捕食能力最弱, 为 91.12。龟纹瓢虫成虫对莲缢管蚜、紫薇长斑蚜和红带滑胸针蓟马的寻找效应呈线性相关, 猎物密度越大寻找效应越低。龟纹瓢虫成虫对 3 种害虫的最佳搜寻密度分别为 48.35、23.48 和 36.48 头。由此可知, 龟纹瓢虫对莲缢管蚜、紫薇长斑蚜和红带滑胸针蓟马具有一定的控害作用。

关键词: 龟纹瓢虫; 莲缢管蚜; 紫薇长斑蚜; 红带滑胸针蓟马; 捕食作用

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 01-0189-07

Predation functional response of *Propylea japonica* adults to three kinds of pests

YU Jing-Ya, DONG Li-Kun*, WANG Zhi-Hua, LIU Chao, KANG Kai-Li, NIE Chao-Ren, MAO Run-Ping, TAN Shu-Juan (Wuhan Institute of Landscape Architecture, Wuhan 430081, China)

Abstract: To study the predation by *Propylea japonica* adults on *Rhopalosiphum nymphaeae*, *Sarucallis kahawaluokalani* and *Selenothrips rubrocinctus*, predation of *P. japonica* on 3rd ~ 4th instar *R. nymphaeae* and *S. kahawaluokalani*, 2nd ~ 3rd instar of *S. rubrocinctus* were investigated in laboratory. The study indicated that functional response of adult *P. japonica* to the three kinds of pests could be fitted by Holling-II model. *P. japonica* has the strongest predation capacity to the *S. rubrocinctus* which was 192.14, and the weakest predation capacity to *R. nymphaeae* which was 91.12. There was a Linear correlation between searching efficiency of *P. japonica* adults on *R. nymphaeae*, *S. kahawaluokalani* and *S. rubrocinctus*, the higher prey density, the lower of searching efficiency. The best searching densities of adult *P. japonica* for the three kinds pests were 48.35, 23.48 and 36.48 respectively. The study showed that *P. japonica* has the potential to be predator of *R. nymphaeae*, *S. kahawaluokalani* and *S. rubrocinctus*.

Key words: *Propylea japonica*; *Rhopalosiphum nymphaeae*; *Sarucallis kahawaluokalani*; *Selenothrips rubrocinctus*; predatory functional

莲缢管蚜 *Rhopalosiphum nymphaeae* 为桃、紫叶李、樱花等蔷薇科植物和莲、睡莲、慈姑等水

生植物上的害虫 (虞国跃和王合, 2019), 其主要群集在植物幼茎、嫩叶和嫩叶叶柄以及花蕾上繁

基金项目: 武汉市园林和林业局项目 (武园林发 [2018] 28 号)

作者简介: 于静亚, 女, 硕士, 工程师, 主要从事园林植物病虫害防治, E-mail: 17612748269@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 董立坤, 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事园林植物病虫害防治, E-mail: dlikun@sohu.com

收稿日期 Received: 2021-10-30; 接受日期 Accepted: 2022-04-12

殖为害 (蒋杰贤和严巍, 2007; 陈琪等, 2013), 发生严重时引起嫩叶、嫩茎失水萎蔫, 引起花蕾脱落, 严重影响植物的观赏性及经济作物的价值。紫薇长斑蚜 *Sarucallis kahawaluokalani* 为紫薇上一种危害较严重的刺吸性害虫, 以成、若虫群集在紫薇叶背为害, 引发叶片扭曲和煤污病 (王恩, 2015; Tatjana *et al.*, 2015)。红带滑胸针蓟马 *Selenothrips rubrocinctus* 又名红带网纹蓟马, 可危害杨梅、合欢、蚊母、杜鹃、珊瑚树、海棠和悬铃木等多种园林植物, 主要以成若虫群集在叶背锉吸为害, 受害叶片正面密布黄白或灰白色针尖大小的点, 发生严重时叶片失绿变白, 极易脱落, 且红带滑胸针蓟马易传播病毒, 诱发病毒病 (王焱, 2007; 沈敏东和徐元元, 2017)。这 3 种害虫对园林植物造成严重危害, 影响植物长势及其观赏价值, 需要采取一定措施对其进行防治。

研究表明, 啮虫脍、吡虫啉和吡蚜酮对连缢管蚜均有较好的防治效果 (沈迎春和张怡等, 2016)。关于紫薇长斑蚜的防治, 多为使用杀虫剂。高德良和宋化稳 (2019) 筛选出结构新颖的氟啶虫胺脒、氟啶虫酰胺、螺虫乙酯及苦参碱对紫薇长斑蚜进行防治。室内条件下, 甲维盐对红带滑胸针蓟马有较好的防治效果 (万宝荣和杜晓英等, 2013)。由此可见, 生产实践中对 3 种园林害虫的防治多为传统的农药防治, 极易对环境造成污染, 给人的身心健康造成影响, 急需寻找一种环境友好型的生物防治方法对其进行控制。

龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 属鞘翅目 Coleoptera 瓢虫科 Coccinellidae, 可捕食多种蚜虫、介壳虫、飞虱、叶蝉和鳞翅目低龄幼虫、卵等。有研究证明龟纹瓢虫幼虫对 1 龄、2 龄番茄潜叶蛾 *Tuta absoluta* 幼虫具有较好的防控效果 (杨桂群等, 2021); 龟纹瓢虫不同龄期的幼虫和成虫对扶桑绵粉蚧 *Phenacoccus solenopsis* 1 龄幼虫和柑橘木虱 *Diaphorina citri* 5 龄若虫均有较好的控害潜能 (崔志富, 2015; 周军辉等, 2020)。因此, 龟纹瓢虫是一种非常有应用价值的天敌昆虫, 可在农田、林业和园林上广泛应用。在此背景下, 本文研究了龟纹瓢虫成虫在室内对连缢管蚜、紫薇长斑蚜和红带滑胸针蓟马的捕食能力, 以期为此 3 种害虫的生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

龟纹瓢虫在武汉江夏安山中试基地采集, 带回温度为 25℃, 相对湿度为 70%, 光周期为 L:D = 16 h:8 h 的人工气候室内用禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* 和豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 继代饲养, 选取羽化时间一致的龟纹瓢虫成虫饥饿 24 h 用于实验。连缢管蚜在武汉市园林科普公园荷花上采集, 3~4 龄若蚜供试。紫薇长斑蚜在武汉市园林科普公园内的紫薇上采集, 3~4 龄若蚜供试。红带滑胸针蓟马在武汉市园林科普公园内 1 年生法桐苗上采集, 2~3 若虫供试。

1.2 实验方法

实验在光周期为 L:D = 16 h:8 h, 温度为 25℃ 的人工气候室内进行。连缢管蚜、紫薇长斑蚜和红带滑胸针蓟马密度设为 20、40、60、80、100、120、140 头 7 个密度, 放入直径为 7 cm、高为 2 cm 的带盖透明塑料盒内, 盒盖打孔, 塞棉花球保持通风透气, 每盒内放入 1 头龟纹瓢虫成虫。连缢管蚜处理组放入带虫荷叶 (需将荷叶片裁剪成合适大小), 紫薇长斑蚜处理组放入带虫紫薇叶片, 红带滑胸针蓟马处理组放入带虫悬铃木叶片。每处理设 4 个重复, 24 h 后统计捕食猎物数量。

1.3 数据统计与分析

1.3.1 龟纹瓢虫对 3 种害虫的捕食功能反应

采用 Holling-II 圆盘方程进行拟合, 拟合方程为 $N_a = aN_i T / (1 + aT_h N_i)$, 用最小二乘法对各参数进行估算, 其中 a 为捕食者对猎物的瞬时攻击率, N_a 为被捕食猎物数量, N_i 为猎物密度, T 为猎物暴露给捕食者的时间, 本研究中 T 为 1 d, T_h 为捕食 1 头猎物所需的时间 (Atefeh *et al.*, 2019)。

1.3.2 龟纹瓢虫对 3 种害虫最佳搜寻密度估算

最佳搜寻密度可通过 Holling-III 型功能反应新模型 $N_a = a' \exp \cdot (-b/N_i)$ 进行估算 (李盼等, 2021)。式中, N_a 为对猎物的捕食量, N_i 为供试猎物密度, a' 为 $N_i \rightarrow \infty$ 时捕食者的最大捕食量, b 为天敌密度为 1 时的最佳搜寻密度。将 Holling-III 功能反应方程 $N_a = a' \exp \cdot (-b/N_i)$ 中的 N_i 进行倒数处理, 将方程转化为 $N_a = a' \exp \cdot (-bN)$ 指数模型, $N = 1/N_i$, 将不同密度下的捕食量与猎物密度的倒数进行曲线拟合。

1.3.3 龟纹瓢虫对 3 种害虫寻找效应的影响

依据拟合的 Holling-Ⅱ 型功能反应所得的参数对搜寻效应进行拟合, 搜寻效应 (S) 与寄主密度 (N_i) 的关系为 $S = a / (1 + aT_h N_i)$, S 为搜寻效应值, 其余参数同 Holling-Ⅱ 型方程式 (Kooij and Zegeling, 2019)。

2 结果与分析

2.1 龟纹瓢虫对 3 种刺吸类害虫的捕食功能反应

当猎物密度为 20、40 头时, 龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马的平均捕食率要高于莲缢管蚜, 与紫薇长斑蚜无差异。当猎物密度为 60、80 头时, 对 3 种害虫的平均捕食率没有显著性差异, 当猎物密度为 100、120、140 头时, 龟纹瓢虫对红带滑胸针蓟马的捕食率要显著高于对莲缢管蚜和紫薇长斑蚜的捕食率 (图 1)。龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马 2~3 龄若虫、莲缢管蚜 3~4 龄若蚜和紫薇长斑蚜 3~4 龄若蚜的日最大捕食量分别为

204.65、203.06 和 88.81 头, 可知龟纹瓢虫成虫对紫薇长斑蚜的日最大捕食量最小。另外龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马若虫、紫薇长斑蚜 3~4 龄若蚜和莲缢管蚜 3~4 龄若蚜的捕食能力分别为 192.14、114.18 和 91.12 头, 说明龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马的捕食能力最强 (表 1)。

2.2 龟纹瓢虫对 3 种刺吸类害虫的最佳搜寻密度估算

龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马若虫、莲缢管蚜 3~4 龄若蚜和紫薇长斑蚜 3~4 龄若蚜的捕食作用可用 Holling-Ⅲ 功能反应新模型拟合, 且对 3 种害虫的日捕食量分别为 94.05、68.82 和 62.98 头, 对其最佳寻找密度分别为 36.48、48.35 和 23.48 头 (表 2)。由此可知, 在野外通过释放龟纹瓢虫成虫防治红带滑胸针蓟马 2~3 龄若虫、莲缢管蚜 3~4 龄若蚜和紫薇长斑蚜 3~4 龄若蚜的实验时, 可将 1:37、1:49、1:24 的益害比作为一个释放比例进行释放。

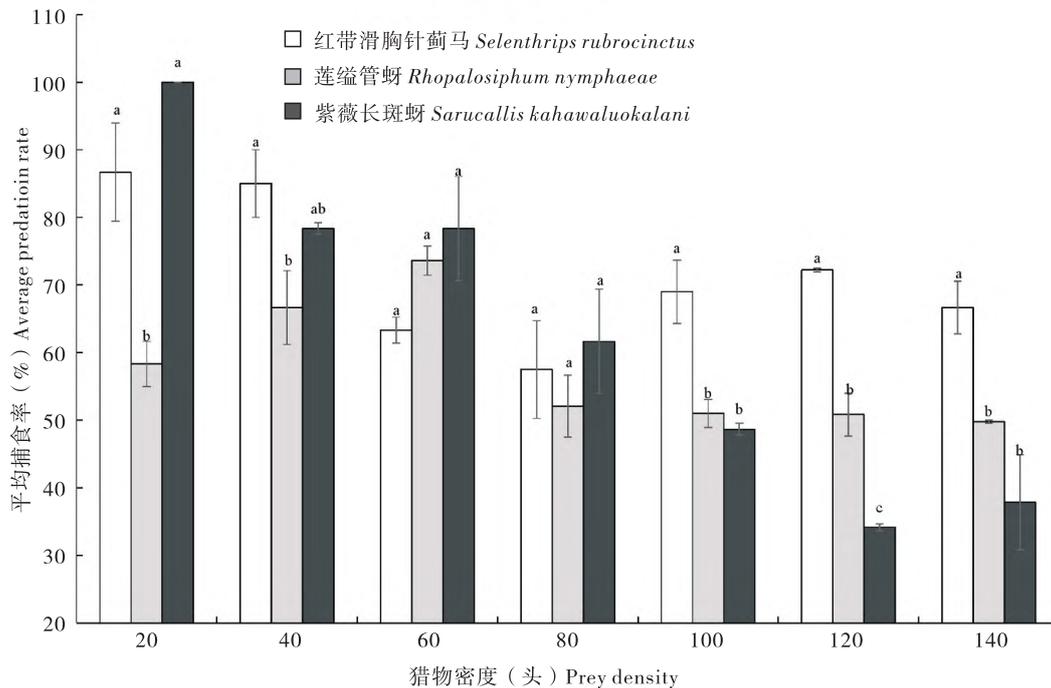


图 1 龟纹瓢虫成虫对 3 种害虫的平均捕食率

Fig. 1 Average predation rate of *Propylea japonica* adults to *Rhopalosiphum nymphaeae*, *Sarucallis kahawaluokalani* and *Selenthrips rubrocinctus*

注: 同一猎物密度下数据上的不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Note: Different lowercase letters on the data under the same prey density indicated significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

表 1 龟纹瓢虫成虫对 3 种害虫捕食作用的 Holling-II 模型拟合结果

Table 1 Predatory functional response of *Propylea japonica* adults to *Rhopalosiphum nymphaeae*, *Sarucallis kahawaluokalani* and *Selenthrips rubrocinctus* determined with Holling-II

猎物种类 Prey species	圆盘方程 Holling-II equation	瞬时攻 击率 (a) Instant attack rate	处理时间 (T_h) Handling time	日最大捕 食量 ($1/T_h$) Daily maximum predation amount	捕食能力 (a/T_h) Predation capacity	相关系数 (r) Correlation coefficient
莲缢管蚜 <i>Rhopalosiphum nymphaeae</i>	$N_a = 0.4465N_t / (1 + 0.0022N_t)$	0.4465	0.0049	203.06	91.12	0.981
紫薇长斑蚜 <i>Sarucallis kahawaluokalani</i>	$N_a = 1.2902N_t / (1 + 0.0146N_t)$	1.2902	0.0113	88.81	114.18	0.967
红带滑胸针蓟马 <i>Selenthrips rubrocinctus</i>	$N_a = 0.9415N_t / (1 + 0.0046N_t)$	0.9415	0.0049	204.65	192.14	0.966

表 2 龟纹瓢虫成虫对 3 种害虫捕食作用的 Holling-III 模型拟合结果

Table 2 Predatory functional response of *Propylea japonica* adults to *Rhopalosiphum nymphaeae*, *Sarucallis kahawaluokalani* and *Selenthrips rubrocinctus* determined with Holling-III

猎物种类 Prey species	圆盘方程 Holling-III equation	日最大捕食量 ($1/T_h$) Daily maximum predation amount	最佳寻找密度 Best searching density	相关系数 (r) Correlation coefficient
莲缢管蚜 <i>Rhopalosiphum nymphaeae</i>	$Na = 68.822 \exp(-48.35/N_t)$	68.82	48.35	0.983
紫薇长斑蚜 <i>Sarucallis kahawaluokalani</i>	$Na = 62.978 \exp(-23.48/N_t)$	62.98	23.48	0.967
红带滑胸针蓟马 <i>Selenthrips rubrocinctus</i>	$Na = 94.053 \exp(-36.48/N_t)$	94.05	36.48	0.814

2.3 龟纹瓢虫对 3 种刺吸类害虫的寻找效应

随着猎物密度的增大, 龟纹瓢虫的搜寻时间越短。龟纹瓢虫成虫对莲缢管蚜若蚜的瞬时攻击率 a 为 0.4465, 处理时间 T_h 为 0.0049, 寻找效应方程 $S = 0.4465 / (1 + 0.0022N_t)$ (图 2-A); 龟纹瓢虫成虫对紫薇长斑蚜若蚜的瞬时攻击率 a 为 1.2902, 处理时间 T_h 为 0.0113, 寻找效应方程 $S =$

$1.2902 / (1 + 0.0146N_t)$ (图 2-B); 龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马若虫的瞬时攻击率 a 为 0.9415, 处理时间 T_h 为 0.0049, 寻找效应方程 $S = 0.9415 / (1 + 0.0046N_t)$ (图 2-C)。所得方程的相关系数如表 3 所示, 说明龟纹瓢虫成虫的搜寻效应与猎物密度呈显著的相关性。

表 3 龟纹瓢虫成虫对莲缢管蚜、紫薇长斑蚜和红带滑胸针蓟马的寻找效应方程

Table 3 Search effect equation of *Propylea japonica* adults to *Rhopalosiphum nymphaeae*, *Sarucallis kahawaluokalani* and *Selenthrips rubrocinctus*

猎物种类 Prey species	寻找效应方程 Search effect equation	相关系数 (r) Correlation coefficient
莲缢管蚜 <i>Rhopalosiphum nymphaeae</i>	$S = 0.4465 / (1 + 0.0022N_t)$	0.998
紫薇长斑蚜 <i>Sarucallis kahawaluokalani</i>	$S = 1.2902 / (1 + 0.0146N_t)$	0.982
红带滑胸针蓟马 <i>Selenthrips rubrocinctus</i>	$S = 0.9415 / (1 + 0.0046N_t)$	0.993

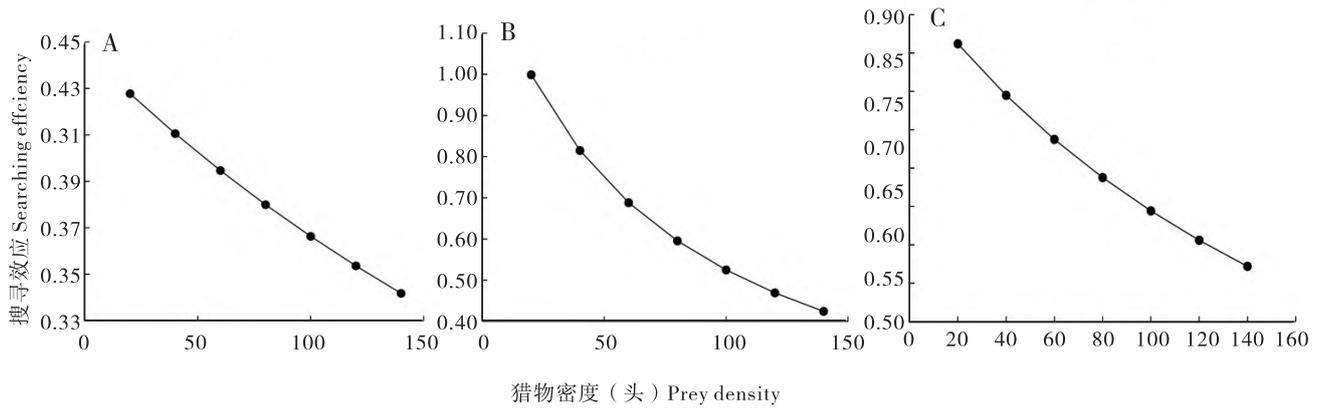


图2 龟纹瓢虫成虫对 3 种害虫的寻找效应

Fig. 2 Searching efficiency to three species of stinging and sucking pests on *Propylea japonica* adults

注: A, 莲缢管蚜; B, 紫薇长斑蚜; C, 红带滑胸针蓟马。Note: A, *Rhopalosiphum nymphaeae*; B, *Sarucallis kahawaluokalani*; C, *Selenethrips rubrocinctus*.

3 结论与讨论

龟纹瓢虫是一种捕食性较广的天敌昆虫, 可捕食烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Yang *et al.*, 2017; 刘鹏远, 2020)、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 卵和低龄幼虫 (蒋骏等, 2019)、褐软蚧 *Coccus hesperidum* 1 龄若虫 (胡长效等, 2019)、棉蚜 *Aphis gossypii* (杨帆等, 2016)、苹果黄蚜 *Aphis citricola* (Feng *et al.*, 2018) 等多种农田、林业和园林害虫。本研究结果表明龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马 2~3 龄若虫、莲缢管蚜 3~4 龄若蚜和紫薇长斑蚜 3~4 龄若蚜在室内的捕食结果可用 Holling-Ⅱ 圆盘方程进行拟合。另外, 龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马 2~3 龄若虫捕食能力最强, 对莲缢管蚜 3~4 龄若蚜的捕食能力最弱。可能原因是红带滑胸针蓟马体型偏小, 且该害虫在叶背群集为害, 不喜转移, 因此捕食效果较好, 而莲缢管蚜体型相对较大, 较为活跃, 搜寻及取食时间增加, 且取食量偏小。不同龄期异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 对莲缢管蚜的捕食作用, 表明不同龄期异色瓢虫对莲缢管蚜的捕食反应均符合 Holling-Ⅱ 方程 (葛有茂等, 2006)。异色瓢虫成虫对紫薇长斑蚜的捕食功能也符合 Holling-Ⅱ 方程 (于炜和刘锦, 2019)。关于利用天敌昆虫防治红带滑胸针蓟马的相关报道较少, 除异色瓢虫外, 相用其他天敌昆虫防治紫薇长斑蚜和莲缢管蚜的相关报道也较少, 因此, 本研究龟纹瓢虫对 3 种害虫的捕食效果, 为其生物防治提供了一种新的

思路。另外, 这 3 种园林害虫在 7~8 月份为发生高峰期 (王恩, 2015; 虞国跃和王合, 2019), 此时气温较高, 不利于部分天敌昆虫活动取食, 但龟纹瓢虫成虫可耐受 35℃ 的高温 (刘鹏远, 2020), 可在盛夏期间广泛用于生物防治。因此, 盛夏季节可释放龟纹瓢虫成虫对这 3 种害虫的生物防治。

天敌昆虫从捕食或寄生的过程来看, 天敌或者猎物密度的变化不仅影响天敌捕食猎物机会的大小, 也对天敌本身的攻击积极性产生影响。在一个限定的空间范围内, 猎物密度若较低, 则会降低以至失去招引天敌的条件, 因此, 天敌只在某种最佳猎物密度条件下发挥其最大的积极性 (汪世泽和夏楚贵, 1988)。本研究中, 龟纹瓢虫成虫的搜寻效应与猎物密度呈显著的相关性, 随猎物密度增加, 搜寻效应逐渐降低。龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马 2~3 龄若虫、莲缢管蚜 3~4 龄若蚜和紫薇长斑蚜 3~4 龄若蚜的最佳搜寻密度为 36.48、48.35 和 23.48 头, 说明在特定的空间内, 当红带滑胸针蓟马 2~3 龄若虫、莲缢管蚜 3~4 龄若蚜和紫薇长斑蚜 3~4 龄若蚜的密度为 36.48、48.35 和 23.48 头时龟纹瓢虫成虫的捕食能力达到最大。但龟纹瓢虫对猎物的捕食效果受多种因素影响 (Barry *et al.*, 2016), 在防治烟蚜 *Myzus persicae* 时蚕豆载体系统更有利于瓢虫控害 (张平贵等, 2020), 不同虫态及龄期龟纹瓢虫的捕食结果不同 (Feng *et al.*, 2018), 因此, 评价龟纹瓢虫对猎物的控制能力时, 应综合考虑各种因素的影响。在野外通过释放龟纹瓢虫防治这 3 种

害虫时, 还需通过野外实验确定最终的最佳释放比例及释放次数。

另外, 本文仅研究了龟纹瓢虫成虫对红带滑胸针蓟马 2~3 龄若虫、莲缢管蚜 3~4 龄若蚜和紫薇长斑蚜 3~4 龄若蚜的室内捕食作用, 龟纹瓢虫不同龄期幼虫, 以及雌雄成虫分别对这 3 种害虫不同龄期的防控能力还需进行深入研究。天敌昆虫在捕食时, 对猎物的选择存在偏好性, 本文仅研究了龟纹瓢虫成虫单独对 3 种害虫的捕食作用, 并没有对其偏好性进行研究, 后期可对此内容进行深层次的研究。但总体来说, 龟纹瓢虫对此 3 种害虫具有一定的防控能力, 可在生产实践中进行推广应用。

参考文献 (References)

- Atefeh S, Fatemeh Y, Nooshin ZS. Functional response of the predatory species *Albidipennis reuter* (Hemiptera: Anthocoridae) to two life stages of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2019, 29 (1): 1-6.
- Barry A, Kazuro O. Alterations in foraging behavior of *Coccinella septempunctata* and *Propylea japonica* mediated by a novel defended prey affect their predatory potential [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2016, 161 (1): 31-38.
- Chen Q, Ma L, Zhu J, et al. Biological characteristics and control of *Rhopalosiphum nymphaeae* (Linnaeus, 1761) [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2013, 18: 116-118. [陈琪, 马力, 朱捷, 等. 莲缢管蚜生物学特性及防治研究概况 [J]. 长江蔬菜, 2013, 18: 116-118]
- Cui ZF, Cao FQ, Lin JT, et al. Predation of *Propylea japonica* Thunberg of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (4): 834-842. [崔志富, 曹凤勤, 林进添, 等. 龟纹瓢虫对扶桑绵粉蚧的捕食功能反应 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (4): 834-842]
- Feng Y, Zhou ZX, An MR, et al. Conspecific and heterospecific interactions modify the functional response of *Harmonia axyridis* and *Propylea japonica* to *Aphis citricola* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2018, 166 (11-12): 873-882.
- Gao DL, Song HW, Lv J, et al. Bioactivity and field efficacy of several novel insecticides against *Tinocallis kahawaluokalani* [J]. *Northern Horticulture*, 2019, 23: 68-73. [高德良, 宋化稳, 吕娟, 等. 几种新颖杀虫剂对紫薇长斑蚜的室内毒力测定及田间药效评价 [J]. 北方园艺, 2019, 23: 68-73]
- Ge YM, Wan L, Zhao SX. Predation of *Homonias axyridis* Pallas on *Rhopalosiphum nymphaeae* Linne (Homoptera, Aphididae) [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2006, 28 (2): 208-212. [葛有茂, 万玲, 赵士熙. 异色瓢虫对莲缢管蚜的捕食作用研究 [J]. 江西农业大学学报, 2006, 28 (2): 208-212]
- Hu CX, Cao D, Xu WT. Effect of different temperatures and spatial scales on predation of coccus hesperidum by *Propylaea japonica* [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2019, 48 (12): 73-78. [胡长效, 曹丹, 徐万泰. 不同温度和空间对龟纹瓢虫捕食褐软蚧的影响 [J]. 河南农业科学, 2019, 48 (12): 73-78]
- Jiang WJ, Yan W. Early Warning and Control of Pests in Urban Green Space [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2007: 368. [蒋杰贤, 严巍. 城市绿地有害生物预警及控制 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2007: 368]
- Jiang J, Zhang YX, Wang WW, et al. Predation of *Propylaea japonica* to the eggs and young larvae of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (3): 188-193. [蒋骏, 张熠场, 王文文, 等. 龟纹瓢虫对草地贪夜蛾卵和低龄幼虫的捕食作用 [J]. 植物保护, 2020, 46 (3): 188-193]
- Kooij RE, Zegeling A. Predator-prey models with non-analytical functional response [J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2019, 123: 163-172.
- Liu PY. Research on Artificial Breeding of *Propylaea japonica* and the Control Techniques of *Propylaea japonica* Combined with *Encarsia formosa* Release for *Bemisia tabaci* [D]. Taian: Shandong Agricultural University Master Thesis, 2020. [刘鹏远. 龟纹瓢虫人工繁育及其与丽蚜小蜂联合防控烟粉虱技术研究 [D]. 泰安: 山东农业大学硕士论文, 2020]
- Li P, Zhu JX, Mo XN, et al. The functional response of *Menochilus sexmaculata* on *Megalurothrips usitatus* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 38 (1): 140-148. [李盼, 朱津贤, 莫小娜, 等. 六斑月瓢虫对普通大蓟马的捕食功能反应 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 38 (1): 140-148]
- Shen YC, Zhang Y, Guo HF, et al. Insecticidal activity of three pesticides against *Rhopalosiphum nymphaeae* in lotus and their safety to crops [J]. *Plant Protection*, 2016, 42 (3): 236-243. [沈迎春, 张怡, 郭慧芳, 等. 3 种农药对莲缢管蚜的杀虫活性和安全性 [J]. 植物保护, 2016, 42 (3): 236-243]
- Shen MD, Xu YY, Cai P. Occurrence and control of *Selenothrips rubrocinctus* [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2017, 3: 118-119. [沈敏东, 徐元元, 蔡平. 红带滑胸针蓟马的发生与防治 [J]. 上海农业科技, 2017, 3: 118-119]
- Tatjana MM, Gabrijel S, Maja P, et al. Grape myrtle aphid *Sarucallus kahawaluokalani* (Kirkaldy 1906) and tulip-tree aphid *Illinoia lirioidendri* (Monell 1879) - pests in urban areas [J]. *Glasiolo Biljne Zaštite*, 2015: 403-410.
- Wang E. Garden Plant Diseases and Insect Pests Map of Hangzhou [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2015: 58. [王恩. 杭州园林植物病虫害图鉴 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2015: 58]
- Wang Y. Forestry Diseases and Insects in Shanghai [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2007: 94. [王焱. 上海林业病虫害 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2007: 94]
- Wan BR, Du XY, Li CR. Toxicity effect of low-toxic insecticides against *Selenothrips rubrocinctus* in Lab [J]. *Forestry Technology*, 2013, 38 (2): 23-25. [万宝荣, 杜晓英, 李传仁. 低毒杀虫剂对红带网纹蓟马的室内毒力测定 [J]. 林业科技, 2013,

- 38 (2): 23 – 25]
- Wang SZ, Xia CG. New model of Holling – III functional response [J]. *Journal of Ecology*, 1988, 7 (1): 1 – 3. [汪世泽, 夏楚贵. Holling – III 型功能反应新模型 [J]. 生态学杂志, 1988, 7 (1): 1 – 3]
- Yang GQ, Fan W, Zhang Q, et al. Predatory function of *Harmonia axyridis* and *Propylea japonica* larvae to young larva *Tuta absoluta* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2022, 38 (4): 959 – 966 [杨桂群, 范苇, 张倩, 等. 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 [J]. 中国生物防治学报, 2022, 38 (4): 959 – 966]
- Yang F, Lu YH, Xu JX. Effects of cotton aphid density on the intraguild predation among three ladybeetles (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2016, 32 (3): 299 – 304. [杨帆, 陆宴辉, 徐建祥. 棉蚜密度对瓢虫集团内捕食作用的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2016, 32 (3): 299 – 304]
- Yang F, Tan XL, Liu FH, et al. A functional response evaluation of pre-infestation with *Bemisia tabaci* cryptic species MEAM1 on predation by *Propylea japonica* of *myzus persicae* on host plant tomatoes [J]. *Arthropod-Plant Interactions*, 2017, 11 (6): 825 – 832.
- Yu GY, Wang H. Photographic Atlas of Beijing Aphids (Aphidoidea) [M]. Beijing: Science Press, 2019: 166. [虞国跃, 王合. 北京蚜虫生态图谱 [M]. 北京: 科学出版社, 2019: 166]
- Yu W, Liu J. Predation and control of *Harmonia axyridis* against *Tinocallis kahawaluokalani* [J]. *Journal Zhejiang for Science Technology*, 2019, 39 (1): 55 – 59. [于炜, 刘锦. 异色瓢虫对紫薇长斑蚜捕食及控制作用研究 [J]. 浙江林业科技, 2019, 39 (1): 55 – 59]
- Zhang PG, Yang ZX, Yang H, et al. Suitability evaluation of natural enemy insect banker plants in tobacco fields [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2020, 39 (6): 16 – 21. [张平贵, 杨志兴, 杨洪, 等. 烟田天敌昆虫载体植物的适宜性评价 [J]. 山地农业生物学报, 2020, 39 (6): 16 – 21]
- Zhou JH, Liu PL, Naiwuzhati ZN, et al. Functional response and predation preference of ladybeetle *Propylea japonica* to Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2020, 47 (5): 1062 – 1070. [周军辉, 刘鹏雷, 乃吾扎提·祖农, 等. 龟纹瓢虫对柑橘木虱的捕食功能反应及猎物偏好性 [J]. 植物保护学报, 2020, 47 (5): 1062 – 1070]