

# 南方小花蝽与六斑月瓢虫对马铃薯上 三种媒介昆虫的捕食作用\*

张晓媛<sup>1,2\*\*</sup> 赵林<sup>3</sup> 王萆<sup>1,2</sup> 查旭榕<sup>1,2</sup>  
张宏瑞<sup>1,2\*\*\*</sup> 答庆安<sup>1,2\*\*\*</sup>

(1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201; 3. 曲靖市植保植检站, 曲靖 655000)

**摘要** 【目的】明确南方小花蝽 *Orius strigicollis* 和六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculata* 对马铃薯上 3 种传毒媒介昆虫西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*、烟蚜 *Myzus persicae* 和马铃薯长管蚜 *Macrosiphum euphorbiae* 的生物防控潜能。【方法】在室内测定南方小花蝽与六斑月瓢虫雌成虫对 3 种猎物若虫和成虫的捕食功能反应、天敌自身密度对其捕食作用的影响, 以及笼罩条件下释放单一天敌与联合释放天敌组合对 3 种媒介昆虫的防控效果。【结果】南方小花蝽与六斑月瓢虫对 3 种猎物的捕食功能反应均符合 Holling II 模型。南方小花蝽对 3 种媒介昆虫成虫日最大捕食量分别为 66.23、36.90 和 49.26 头/d, 六斑月瓢虫对 3 种媒介昆虫成虫的日最大捕食量分别为 312.50、153.85 和 263.16 头/d, 且 2 种天敌昆虫对媒介昆虫若虫的日最大捕食量均大于成虫。南方小花蝽对 3 种媒介昆虫的干扰系数分别为 0.25、0.11 和 0.19, 六斑月瓢虫对 3 种媒介昆虫的干扰系数分别为 0.07、0.06 和 0.05。笼罩条件下, 与不释放天敌的空白对照相比, 不同处理天敌昆虫释放 16 d 后, 3 种媒介昆虫的虫口数量均得到了有效控制。其中, 南方小花蝽和六斑月瓢虫联合释放, 对蓟马和蚜虫均具有较好的防控效果。【结论】南方小花蝽与六斑月瓢虫对马铃薯上 3 种害虫均具有良好的防控潜能, 两种天敌昆虫联合释放防控马铃薯媒介昆虫防效更好。

**关键词** 南方小花蝽; 六斑月瓢虫; 媒介昆虫; 捕食功能反应; 生物防治

## The effectiveness of using *Orius strigicollis* in combination with *Cheilomenes sexmaculata* as biological control agents for three insect potato disease vectors

ZHANG Xiao-Yuan<sup>1,2\*\*</sup> ZHAO Lin<sup>3</sup> WANG Ting<sup>1,2</sup>  
ZHA Xu-Rong<sup>1,2</sup> ZHANG Hong-Rui<sup>1,2\*\*\*</sup> ZAN Qing-An<sup>1,2\*\*\*</sup>

(1. Plant Protection College, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;  
2. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resources in Yunnan, Kunming 650201, China; 3. Qujing Plant Protection and Quarantine Station, Qujing 655000, China)

**Abstract** [Aim] To determine the effectiveness of using *Orius strigicollis*, in combination with *Cheilomenes sexmaculata*, as biological controls for three important insect potato disease vectors, *Frankliniella occidentalis*, *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae*. [Methods] The functional response of *O. strigicollis* and *C. sexmaculata* was measured, as was the predation rate of each species at different population densities. Finally, the effectiveness of releasing either *O. strigicollis*, *C. sexmaculata*, or both species together, was determined in indoor experiments. [Results] The predatory functional responses of both species to all three insect pests were consistent with the Holling II functional response model. The predation number of *O. strigicollis* to *F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae* was 66.23, 36.90 and 49.26, respectively, whereas

\*资助项目 Supported projects: 华坪县农民院士科技服务站 (云科协联[2023]9 号); 国家自然科学基金 (32360129)

\*\*第一作者 First author, E-mail: 2833030649@qq.com

\*\*\*共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: hongruizh@126.com; kmzqa@126.com

收稿日期 Received: 2023-09-20; 接受日期 Accepted: 2024-03-23

that of *C. sexmaculata* was 312.50, 153.85 and 263.16, respectively. Both *O. strigicollis* and *C. sexmaculata* had a greater predatory capacity for nymphal instars of the three pest species than they did for adults of these species. The interference coefficients of *O. strigicollis* with respect to *F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae* were 0.25, 0.11 and 0.19, respectively, whereas those of *C. sexmaculata* were 0.07, 0.06 and 0.05, respectively. Compared to the control (no natural enemies), releasing either *O. strigicollis*, *C. sexmaculata*, or a combination of these species, effectively controlled all three pests after 16 d. **[Conclusion]** Releasing both predator species may have been more effective for controlling thrips and aphids. Releasing both *O. strigicollis* and *C. sexmaculata* has the potential to effectively control three species of insect potato disease vectors.

**Key words** *Orius strigicollis*; *Cheilomenes sexmaculata*; vector insect; predatory functional response; biological control

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*、烟蚜 *Myzus persicae* 和马铃薯长管蚜 *Macrosiphum euphorbiae* 是我国马铃薯西南混作区的 3 种重要害虫, 不仅可以通过直接取食造成植株叶片皱缩卷曲, 影响光合作用, 降低马铃薯产量, 还可传播多种马铃薯病毒 (任广伟等, 2006; 徐进等, 2019; 杜霞等, 2020)。烟蚜与马铃薯长管蚜是马铃薯 S 病毒 (Potato virus S, PVS)、马铃薯 Y 病毒 (Potato virus Y, PVY) 和马铃薯卷叶病毒 (Potato leafroll virus, PLVR) 的主要传播载体 (钟婷婷, 2007; 马雪青等, 2010; 杨小琴等, 2014)。西花蓟马是传毒蓟马群体的优势种, 是传播番茄斑萎病毒 (Tomato spotted wilt virus, TSWV) 与番茄环纹斑点病毒 (Tomato zonate spot virus, TZSV) 的重要媒介昆虫 (杜霞等, 2020)。西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜盛发期为 4-8 月, 常混合发生且空间生态位重叠, 严重威胁马铃薯产业发展 (林芳静等, 2014; 谢春霞等, 2018; 虞国跃和王合, 2019)。

目前, 我国马铃薯病虫害防控过度依赖化学农药, 化学农药的不合理使用导致田间节肢动物多样性降低、产生农药残留并使蚜虫和蓟马等害虫产生抗药性 (宫磊, 2023; 闫俊杰等, 2023)。利用天敌昆虫调控害虫种群是绿色防控的重要手段。使用单一天敌进行防治, 天敌易受外界环境因素干扰, 难以最大限度发挥其效能, 而利用多种天敌联合释放, 可增加相同食物链中的生物多样性, 降低天敌种群的自然衰退, 增强群落稳定性, 实现对害虫的持续稳定控制 (Heimpel and Mills, 2008; 王夸平等, 2013)。在选择多种天敌联合防治害虫时, 首先需平衡释放天敌种类,

降低组合天敌间的协同减效作用。李姝等 (2014) 利用东亚小花蝽 *Orius sauteri* 与丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 对不同虫态烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的取食偏好性, 协同防控烟粉虱, 发现组合释放的防控效果更佳; 王夸平等 (2013) 通过混合释放烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 与异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 防治烟蚜, 取得了更好的防治效果, 且减少了化学药剂的不利影响。

南方小花蝽 *Orius strigicollis* 与六斑月瓢虫 *Cheilomenes sexmaculata* 均属云南本地优势天敌昆虫, 对蚜虫、蓟马和粉虱等多种小型昆虫均具有良好的防控潜能, 且对不同猎物的捕食能力与捕食偏好性存在差异。南方小花蝽偏好捕食西花蓟马, 对西花蓟马的捕食能力强于豆蚜 *Aphis craccivora* (郅军锐等, 2011)。而六斑月瓢虫更喜捕食豆蚜, 最大捕食量可达 303.03 头, 远高于对烟粉虱的最大捕食量 (86.21 头) (唐良德等, 2015)。本研究在实验室条件下, 通过测定南方小花蝽与六斑月瓢虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜的捕食功能反应, 并在笼罩条件下设置单独释放南方小花蝽和六斑月瓢虫、组合释放 2 种天敌昆虫及不释放天敌昆虫 4 种处理, 分析其对混合发生的马铃薯媒介昆虫西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜的种群动态影响, 为多种天敌共同释放、协同防控马铃薯上媒介昆虫提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试虫源: 南方小花蝽与六斑月瓢虫均于

2021 年 5 月采自云南省大理白族自治州永平县烟田, 带回实验室后, 在温度 ( $25\pm 1$ ) °C、相对湿度  $70\%\pm 5\%$ 、光周期 16 L : 8 D 条件下, 使用西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜混合继代饲养。取同日羽化且已交配的雌成虫作为供试虫源。马铃薯长管蚜与烟蚜均于 2021 年 5 月采自云南农业大学后山马铃薯植株, 使用盆栽马铃薯植株于室内中饲养, 挑取生长大小一致的 2 龄若蚜与成蚜作为供试虫源。西花蓟马为实验室种群, 使用无筋豆长期饲养, 挑取同代活跃的 2 龄若虫与成虫作为供试虫源。

供试植株: 马铃薯品种为丽薯 6 号, 植株长高至 50 cm 供试; 无筋豆为市场购买。

## 1.2 方法

**1.2.1 南方小花蝽与六斑月瓢虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜捕食量测定** 将饥饿处理 24 h 后的南方小花蝽与六斑月瓢虫分别单头接入自制养虫盒 ( $d=4$  cm,  $h=10$  cm) 中, 每盒接入猎物情况如下: 南方小花蝽-西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜: 10、20、30、40 和 50 头。六斑月瓢虫-西花蓟马: 50、100、150、200 和 250 头; 六斑月瓢虫-烟蚜和马铃薯长管蚜: 40、60、80、100 和 120 头。共 30 个处理, 每个处理重复 5 次。将养虫盒置于温度 ( $25\pm 1$ ) °C、相对湿度  $70\%\pm 5\%$ 、光周期 16 L : 8 D 的人工气候箱 (宁波赛福实验仪器有限公司, PRX-600D) 内, 24 h 后检查养虫盒内猎物被取食情况, 统计南方小花蝽与六斑月瓢虫在不同猎物密度下的日捕食量。

**1.2.2 南方小花蝽与六斑月瓢虫自身密度对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜的捕食量影响** 饥饿处理南方小花蝽与六斑月瓢虫雌成虫, 方法同 1.2.1 节。根据预试验结果, 将南方小花蝽和西花蓟马、烟蚜、马铃薯长管蚜分别按 1 : 60、2 : 60、3 : 60、4 : 60 和 5 : 60; 六斑月瓢虫和西花蓟马、烟蚜、马铃薯长管蚜分别按 1 : 800、2 : 800、3 : 800、4 : 800 和 5 : 800 的比例接入养虫盒内, 管内放入适量的马铃薯叶片供猎物取食栖息, 共 30 个处理, 每个处理重复 5 次。将养虫盒置于温度 ( $25\pm 1$ ) °C、相对湿度  $70\%\pm 5\%$ 、

光周期 16 L : 8 D 人工气候培养箱 (宁波赛福实验仪器有限公司, PRX-600D) 内, 24 h 后统计各猎物被取食情况。

**1.2.3 南方小花蝽与六斑月瓢虫组合释放对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜的防控作用** 实验室条件下, 将 2 盆 ( $d=30$  cm,  $h=28$  cm) 马铃薯植株放入 100 目纱网养虫笼 ( $50$  cm  $\times$   $50$  cm  $\times$   $100$  cm) 内, 定期浇水施肥, 不施用任何化学农药, 待马铃薯长高至 50 cm 左右, 在每株马铃薯上接种西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜成虫各 100 头, 每隔 4 d 调查一次种群动态。调查时, 将马铃薯叶片分为上、中、下 3 层, 每层随机选取 3 片叶, 统计并计算西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜数量。待其种群定殖并开始扩繁后, 作如下处理: a. 释放 6 头南方小花蝽雌成虫; b. 释放 6 头六斑月瓢虫雌成虫; c. 释放 3 头南方小花蝽雌成虫和 3 头六斑月瓢虫雌成虫; d. 不释放任何天敌作空白对照。每个处理设置 3 个重复。调查过程中, 发现天敌产卵及时移除卵粒。

## 1.3 数据分析

捕食功能反应: 采用逻辑回归分析猎物被捕食量与初始密度之间的关系, 从而确定天敌昆虫的功能反应类型 (Butt and Xaaceph, 2015; Varshney *et al.*, 2018)。回归方程为  $N_a/N_0 = \exp (P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3) / [1 + \exp (P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)]$ , 式中  $N_0$  为初始猎物密度,  $N_a$  为被捕食猎物数量,  $P_0$ 、 $P_1$ 、 $P_2$  和  $P_3$  分别为常数、线性系数、二次方系数和三次方系数。使用  $P_1$  和  $P_2$  确定功能反应类型, 当  $P_1 < 0$ , 则反应类型为 Holling II 型; 若  $P_1 > 0$  且  $P_2 < 0$ , 则功能反应类型为 Holling III 型 (Loko *et al.*, 2017)。Holling II 模型 (Holling, 1959): 采用  $N_a = a N_0 T / (1 + a T_h N_0)$  进行拟合分析。其中,  $N_a$  为天敌捕食猎物头数;  $a$  为天敌对猎物的瞬间攻击率;  $N_0$  为猎物密度;  $T$  为试验总时间 1 d;  $T_h$  为天敌处理猎物的时间。

寻找效应利用方程:  $S = a / (1 + a T_h N_0)$  进行拟合分析, 其中  $S$  为搜寻效应,  $N_0$  为猎物密度, 瞬间攻击率  $a$  和处理时间  $T_h$  均由 Holling II 模型拟合得到。

种内干扰反应：采用 Hassell 模型公式 (Hassell, 1969) 进行拟合计算以评估干扰效应。其公式为： $E=QP^m$ ，其中  $E$  为平均捕食率， $Q$  为搜索常数， $P$  为捕食者密度， $m$  为干扰系数。

数据使用 Excel 2019 和 SPSS 26.0 进行统计分析，利用 Tukey 法进行差异显著性检验，使用 Origin 2021 软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 南方小花蝽与六斑月瓢虫对 3 种猎物的日捕食量

南方小花蝽对西花蓟马、烟蚜、马铃薯长管蚜 2 龄若虫和成虫捕食量见表 1，结果表明，在

设置猎物密度范围内，随着猎物密度的增加，南方小花蝽捕食量也在增加，捕食量增长呈逐渐减小趋势。整体而言，当猎物密度  $\geq 30$  头/盒时，南方小花蝽对猎物捕食量大小差异不显著，捕食量逐渐趋近饱和，但显著大于其他密度下的捕食量（南方小花蝽-西花蓟马若、成虫： $F=23.29$ ， $P<0.01$ 、 $F=30.07$ ， $P<0.01$ ；南方小花蝽-烟蚜若、成虫： $F=23.29$ ， $P<0.01$ 、 $F=9.20$ ， $P<0.01$ ；南方小花蝽-马铃薯长管蚜若、成虫： $F=22.17$ ， $P<0.01$ 、 $F=17.55$ ， $P<0.01$ ），对 3 种猎物的捕食量大小依次为：西花蓟马>马铃薯长管蚜>烟蚜，且对同种猎物若虫捕食量高于成虫。六斑月瓢虫对西花蓟马、烟蚜、马铃薯长管蚜成虫和 2 龄若虫捕食量见表 2，当蚜虫密度  $\geq 100$  头/盒、西花

表 1 南方小花蝽雌成虫对不同密度西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜若虫和成虫的日捕食量

Table 1 Daily predation number of *Orius strigicollis* female adult against nymph and adult of *Frankliniella occidentalis*, *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* at different densities

| 猎物<br>Prey                     | 虫态<br>Insect stage        | 猎物密度 (头) Density of prey (ind.) |             |             |             |            |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|                                |                           | 10                              | 20          | 30          | 40          | 50         |
| 西花蓟马<br><i>F. occidentalis</i> | 2 龄若虫<br>2nd instar nymph | 9.0±0.7 c                       | 16.6±2.9 b  | 21.8±2.6 ab | 27.0±4.9 a  | 28.2±4.5 a |
|                                | 成虫 Adult                  | 7.0±1.0 c                       | 12.0±2.3 b  | 15.8±2.9 b  | 24.0±1.9 a  | 25.0±5.6 a |
| 烟蚜<br><i>M. persicae</i>       | 2 龄若虫<br>2nd instar nymph | 8.8±1.3 c                       | 15.4±4.0 b  | 19.0±2.0 ab | 21.4±2.6 a  | 23.0±2.3 a |
|                                | 成虫 Adult                  | 7.2±0.8 c                       | 13.4±1.7 b  | 15.6±2.9 ab | 16.6±4.2ab  | 18.8±4.9 a |
| 马铃薯长管蚜<br><i>M. euphorbiae</i> | 2 龄若虫<br>2nd instar nymph | 7.8±1.5 c                       | 15.0±2.1 b  | 23.2±6.0 a  | 28.2±5.6 a  | 29.0±4.4 a |
|                                | 成虫 Adult                  | 8.0±1.6 d                       | 13.2±2.3 cd | 18.4±3.9 bc | 22.0±4.5 ab | 24.0±4.2 a |

表中数据为平均值±标准误，同行不同小写字母表示经 Tukey 法检验差异显著 ( $P<0.05$ )。下表同。

Data in the table are mean±SE, and different lowercase letters within the same row indicate significant differences by Tukey test ( $P<0.05$ ). The same below.

表 2 六斑月瓢虫雌成虫对不同密度西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜若虫和成虫的日捕食量

Table 2 Daily predation number of *Cheilomenes sexmaculata* female adult against nymph and adult of *Frankliniella occidentalis*, *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* at different densities

| 猎物<br>Prey                     | 虫态<br>Insect stage        | 蚜虫密度/西花蓟马密度 (头) Density of aphids/ <i>F. occidentalis</i> (ind.) |            |             |             |              |
|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|--------------|
|                                |                           | 40/50                                                            | 60/100     | 80/150      | 100/200     | 120/250      |
| 西花蓟马<br><i>F. occidentalis</i> | 2 龄若虫<br>2nd instar nymph | 43.6±4.5 d                                                       | 77.8±5.2 c | 111.8±7.5 b | 128.0±9.4 a | 133.2±12.1 a |
|                                | 成虫 Adult                  | 41.6±2.1 d                                                       | 74.8±5.3 c | 103.6±8.5 b | 121.2±8.0 a | 126.4±6.9 a  |
| 烟蚜<br><i>M. persicae</i>       | 2 龄若虫<br>2nd instar nymph | 39.0±3.3d                                                        | 54.6±3.0 c | 67.6±4.4 b  | 75.0±4.7a   | 79.0±6.7 a   |
|                                | 成虫 Adult                  | 35.6±3.2 d                                                       | 51.8±3.1 c | 62.4±7.3 b  | 66.0±6.0 ab | 73.6±8.1 a   |
| 马铃薯长管蚜<br><i>M. euphorbiae</i> | 2 龄若虫<br>2nd instar nymph | 39.0±5.1 d                                                       | 53.8±4.0 c | 71.6±5.3 b  | 86.2±8.8 a  | 90.8±6.1 a   |
|                                | 成虫 Adult                  | 37.0±3.3 b                                                       | 48.0±7.0 b | 71.0±8.6 a  | 76.4±9.5 a  | 82.0±11.6 a  |

蓟马密度 $\geq 200$ 头/盒时,六斑月瓢虫对猎物捕食量差异不显著,捕食量趋于稳定,但显著大于其他密度下的捕食量(六斑月瓢虫-西花蓟马若、成虫: $F=105.30$ ,  $P<0.01$ 、 $F=144.33$ ,  $P<0.01$ ; 六斑月瓢虫-烟蚜若、成虫: $F=69.08$ ,  $P<0.01$ 、 $F=30.94$ ,  $P<0.01$ ; 六斑月瓢虫-马铃薯长管蚜若、成虫: $F=74.51$ ,  $P<0.01$ 、 $F=26.15$ ,  $P<0.01$ )。

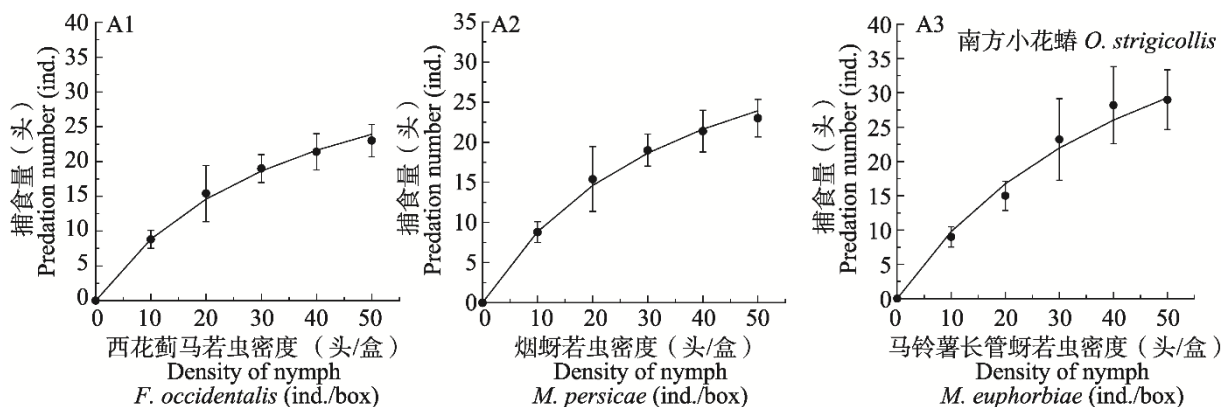
## 2.2 南方小花蝽和六斑月瓢虫对 3 种猎物的捕食功能反应

经逻辑回归分析得到南方小花蝽与六斑月瓢虫对 3 种猎物的功能反应类型(表 3),其线性系数  $P_1$  分别为 -0.120、-0.212、-0.109、-0.470、-0.064、-0.176、-0.027、-0.019、

-0.200、-0.147、-0.412 和 -0.260,均小于 0,符合 Holling II 模型。南方小花蝽(图 1: A1-B3)和六斑月瓢虫(图 1: C1-D3)对不同猎物的捕食量均随着猎物密度的升高而增加,但增长幅度逐渐减缓。南方小花蝽对马铃薯长管蚜的瞬时攻击率大于对烟蚜的瞬时攻击率,对西花蓟马的瞬时攻击率最小,对同种猎物若虫期的瞬时攻击率大于成虫期;对西花蓟马的处理时间最短,对烟蚜的处理时间最长,对猎物若虫期处理时间短于成虫期。六斑月瓢虫对西花蓟马的处理时间最短,对烟蚜的处理时间最长,处理若虫期猎物的时间短于成虫期猎物。控害效应  $a/T_h$  表明南方小花蝽和六斑月瓢虫对西花蓟马的控害效应最强,其次为马铃薯长管蚜,对烟蚜的控害效应较弱(表 4)。

表 3 南方小花蝽与六斑月瓢虫雌成虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜若虫和成虫的捕食功能反应参数估计  
Table 3 Parameter estimates of functional response of female adult of *Orius strigicollis* and *Cheilomenes sexmaculata* to nymph and adult of *Frankliniella occidentalis*, *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae*

| 捕食者<br>Predator                 | 猎物<br>Prey                     | 猎物龄期<br>Prey stage | 估计值 Estimated value |        |                    | 捕食功能反应类型<br>Type of functional response |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------|--------|--------------------|-----------------------------------------|
|                                 |                                |                    | $P_0$               | $P_1$  | $P_2$              |                                         |
| 南方小花蝽<br><i>O. strigicollis</i> | 西花蓟马<br><i>F. occidentalis</i> | 若虫 Nymph           | 3.211               | -0.120 | 0.002              | Holling II                              |
|                                 |                                | 成虫 Adult           | 2.383               | -0.212 | 0.007              | Holling II                              |
|                                 | 烟蚜<br><i>M. persicae</i>       | 若虫 Nymph           | 2.992               | -0.109 | 0.001              | Holling II                              |
|                                 |                                | 成虫 Adult           | 4.011               | -0.470 | 0.0197             | Holling II                              |
|                                 | 马铃薯长管蚜<br><i>M. euphorbiae</i> | 若虫 Nymph           | 1.651               | -0.064 | 0.003              | Holling II                              |
|                                 |                                | 成虫 Adult           | 2.715               | -0.176 | 0.005              | Holling II                              |
| 六斑月瓢虫<br><i>C. sexmaculata</i>  | 西花蓟马<br><i>F. occidentalis</i> | 若虫 Nymph           | 2.930               | -0.027 | $1 \times 10^{-4}$ | Holling II                              |
|                                 |                                | 成虫 Adult           | 2.360               | -0.019 | $8 \times 10^{-5}$ | Holling II                              |
|                                 | 烟蚜<br><i>M. persicae</i>       | 若虫 Nymph           | 9.039               | -0.200 | 0.002              | Holling II                              |
|                                 |                                | 成虫 Adult           | 7.141               | -0.147 | 0.001              | Holling II                              |
|                                 | 马铃薯长管蚜<br><i>M. euphorbiae</i> | 若虫 Nymph           | 13.520              | -0.412 | 0.005              | Holling II                              |
|                                 |                                | 成虫 Adult           | 8.476               | -0.260 | 0.003              | Holling II                              |



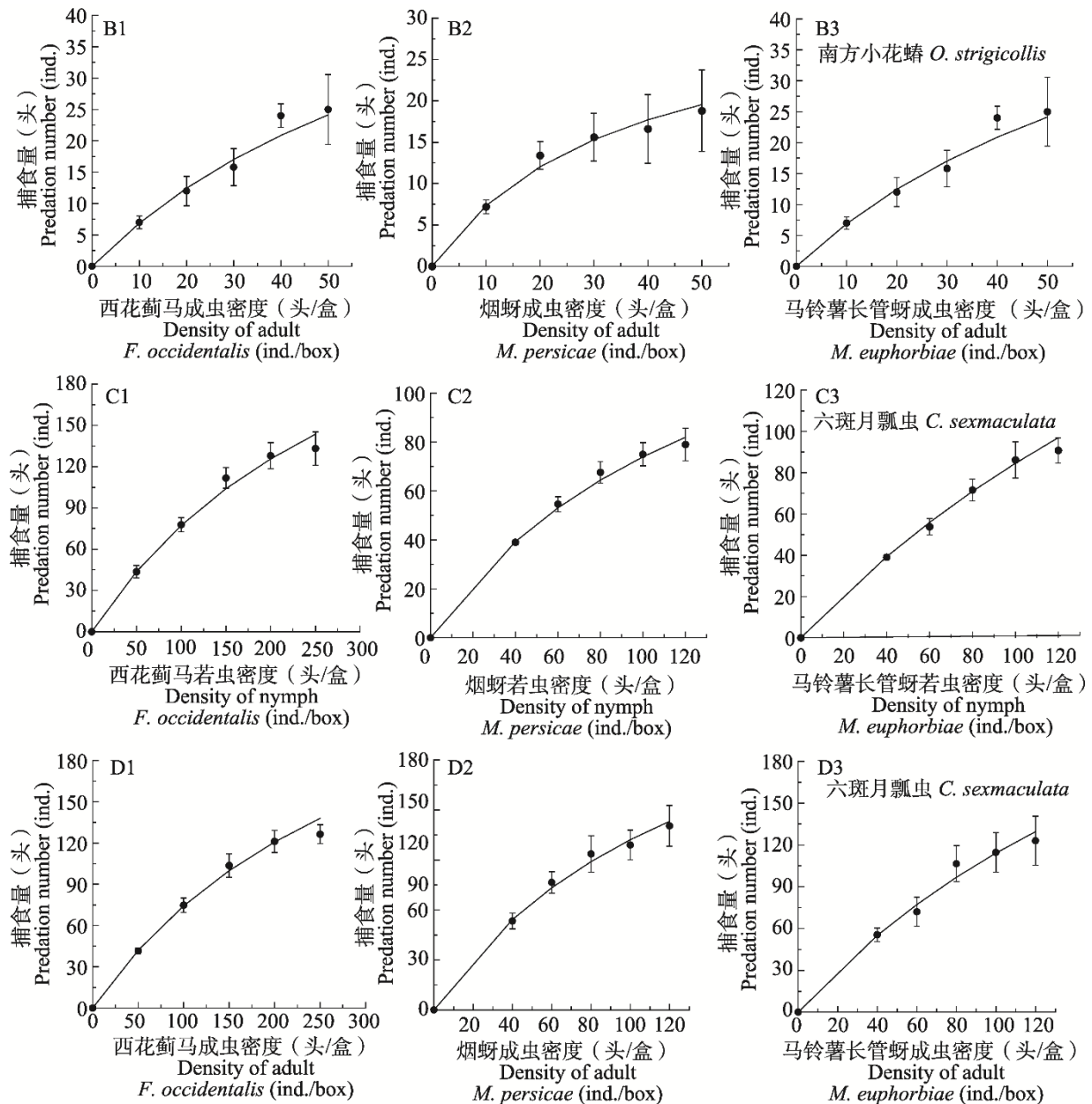


图1 南方小花蝽和六斑月瓢虫雌成虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜若虫和成虫的捕食功能反应

Fig. 1 Functional responses of female adult of *Orius strigicollis* and *Cheilomenes sexmaculata* to the nymph and adult of *Frankliniella occidentalis*, *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae*

A1-A3. 南方小花蝽雌成虫对不同猎物(西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜)若虫的捕食功能反应;

B1-B3. 南方小花蝽雌成虫对不同猎物(西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜)成虫的捕食功能反应;

C1-C3. 六斑月瓢虫雌成虫对不同猎物(西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜)若虫的捕食功能反应;

D1-D3. 六斑月瓢虫雌成虫对不同猎物(西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜)成虫的捕食功能反应。

A1-A3. The functional response of *O. strigicollis* female adult to different nymph preys (*F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae*); B1-B3. The functional response of *O. strigicollis* female adult to different adult preys (*F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae*); C1-C3. The functional response of *C. sexmaculata* female adult to different nymph preys (*F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae*);

D1-D3. The functional response of *C. sexmaculata* female adult to different adult preys (*F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae*).

表 4 南方小花蝽和六斑月瓢虫雌成虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜若虫和成虫的捕食功能参数  
Table 4 Functional responses of female adult of *Orius strigicollis* and *Cheilomenes sexmaculata* to the nymph and adult of *Frankliniella occidentalis*, *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae*

| 天敌<br>Enemy                     | 猎物<br>Prey                     | 猎物龄期<br>Prey stage | 捕食功能反应方程<br>Predation functional response equation | 捕食能力<br>$a/T_h$<br>Predation capacity | $R^2$ | 瞬时攻击率<br>$a$<br>Instantaneous attack rate | 处理时间<br>$T_h$ (d)<br>Handling time (d) | 日最大捕食量 (头)<br>The maximum predation (ind.) |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 南方小花蝽<br><i>O. strigicollis</i> | 西花蓟马<br><i>F. occidentalis</i> | 若虫<br>Nymph        | $N_a=1.037N_0/(1+0.014N_0)$                        | 74.63                                 | 0.998 | 1.037                                     | 0.014                                  | 71.94                                      |
|                                 |                                | 成虫<br>Adult        | $N_a=0.772N_0/(1+0.012N_0)$                        | 51.14                                 | 0.990 | 0.772                                     | 0.015                                  | 66.23                                      |
|                                 | 烟蚜<br><i>M. persicae</i>       | 若虫<br>Nymph        | $N_a=1.124N_0/(1+0.027N_0)$                        | 46.85                                 | 0.996 | 1.102                                     | 0.022                                  | 41.67                                      |
|                                 |                                | 成虫<br>Adult        | $N_a=0.914N_0/(1+0.027N_0)$                        | 36.56                                 | 0.986 | 0.914                                     | 0.027                                  | 36.90                                      |
|                                 | 马铃薯长管蚜<br><i>M. euphorbiae</i> | 若虫<br>Nymph        | $N_a=1.171N_0/(1+0.020N_0)$                        | 69.29                                 | 0.976 | 1.171                                     | 0.017                                  | 59.17                                      |
|                                 |                                | 成虫<br>Adult        | $N_a=0.947N_0/(1+0.019N_0)$                        | 46.67                                 | 0.997 | 0.947                                     | 0.020                                  | 49.26                                      |
| 六斑月瓢虫<br><i>C. sexmaculata</i>  | 西花蓟马<br><i>F. occidentalis</i> | 若虫<br>Nymph        | $N_a=1.005N_0/(1+0.003N_0)$                        | 346.49                                | 0.995 | 1.005                                     | 0.002                                  | 344.83                                     |
|                                 |                                | 成虫<br>Adult        | $N_a=0.966N_0/(1+0.003N_0)$                        | 301.76                                | 0.997 | 0.966                                     | 0.003                                  | 312.50                                     |
|                                 | 烟蚜<br><i>M. persicae</i>       | 若虫<br>Nymph        | $N_a=0.789N_0/(1+0.003N_0)$                        | 225.42                                | 0.945 | 0.789                                     | 0.003                                  | 285.71                                     |
|                                 |                                | 成虫<br>Adult        | $N_a=1.122N_0/(1+0.007N_0)$                        | 187.92                                | 0.986 | 1.157                                     | 0.006                                  | 153.85                                     |
|                                 | 马铃薯长管蚜<br><i>M. euphorbiae</i> | 若虫<br>Nymph        | $N_a=1.099N_0/(1+0.003N_0)$                        | 366.46                                | 0.995 | 1.099                                     | 0.003                                  | 333.33                                     |
|                                 |                                | 成虫<br>Adult        | $N_a=1.065N_0/(1+0.004N_0)$                        | 280.25                                | 0.973 | 1.065                                     | 0.004                                  | 263.16                                     |

$N_a$  表示被捕食的猎物数量,  $N_0$  表示猎物密度。  $N_a$  means number of preys predated,  $N_0$  means prey density.

2.3 南方小花蝽和六斑月瓢虫对 3 种猎物的搜寻效应

如图 2 所示, 南方小花蝽和六斑月瓢虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜的搜寻效应均随猎物密度的增加而降低。南方小花蝽对 3 种猎物成虫与若虫的搜寻过程, 在猎物密度较低时, 对马铃薯长管蚜搜寻效应最大; 随着猎物密度的增加, 南方小花蝽对西花蓟马的搜寻效应高于马铃薯长管蚜, 对烟蚜搜寻效应最低。而六斑月瓢虫在对 3 种猎物成虫、若虫的搜寻过程中, 对马铃薯长管蚜的搜寻效应始终高于西花蓟马与烟蚜;

猎物密度较低时, 对烟蚜的搜寻效应高于西花蓟马, 随着猎物密度的增加, 对西花蓟马的搜寻效应高于烟蚜。

2.4 南方小花蝽和六斑月瓢虫自身密度对其捕食的影响

在捕食空间和猎物密度固定的条件下, 单头南方小花蝽、六斑月瓢虫的捕食量随自身密度的增加不断降低, 而总捕食量在增加, 表明南方小花蝽、六斑月瓢虫在捕食猎物过程中, 存在相互干扰与竞争。随着天敌自身密度的增加, 个体间的相互干扰增强。当南方小花蝽与六斑月瓢虫捕

食相同种类猎物时,南方小花蝽捕食量更易受自身密度的干扰,干扰系数更大,对3种猎物的干扰系数分别为0.25、0.11和0.19,远高于六斑月瓢虫的0.07、0.06和0.05(表5)。南方小花蝽捕食西花蓟马时,受自身密度干扰最强,其次为捕食马铃薯长管蚜,捕食烟蚜受自身密度干扰较小;六斑月瓢虫捕食西花蓟马时受自身密度干扰最大,其次为烟蚜,捕食马铃薯长管蚜受自身密度干扰最小。

## 2.5 南方小花蝽和六斑月瓢虫组合释放对3种媒介昆虫种群动态影响

由图3可知,接入西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜8 d后(3月26日),3种昆虫均快速扩

繁,分别可达1.63、5.80和13.19头/叶。单独释放南方小花蝽、六斑月瓢虫与联合释放2种天敌昆虫8 d后(4月3日),害虫种群数量呈增长趋势,但增长速率减缓,释放天敌昆虫16 d后(4月11日),3种处理下西花蓟马、烟蚜与马铃薯长管蚜种群数量均低于对照组。单独释放南方小花蝽防控蓟马效果最好,3种处理下西花蓟马种群数量均显著低于对照组( $F=32.52$ ,  $P<0.01$ );单独释放六斑月瓢虫和两种天敌联合释放2种处理下,烟蚜( $F=9.15$ ,  $P<0.01$ )与马铃薯长管蚜( $F=14.79$ ,  $P<0.01$ )种群数量均显著低于对照组,且优于单独释放南方小花蝽处理。综合来说,联合释放2种天敌,对蓟马与蚜虫的综合防效均好于单独释放一种天敌,表明多种害虫共同

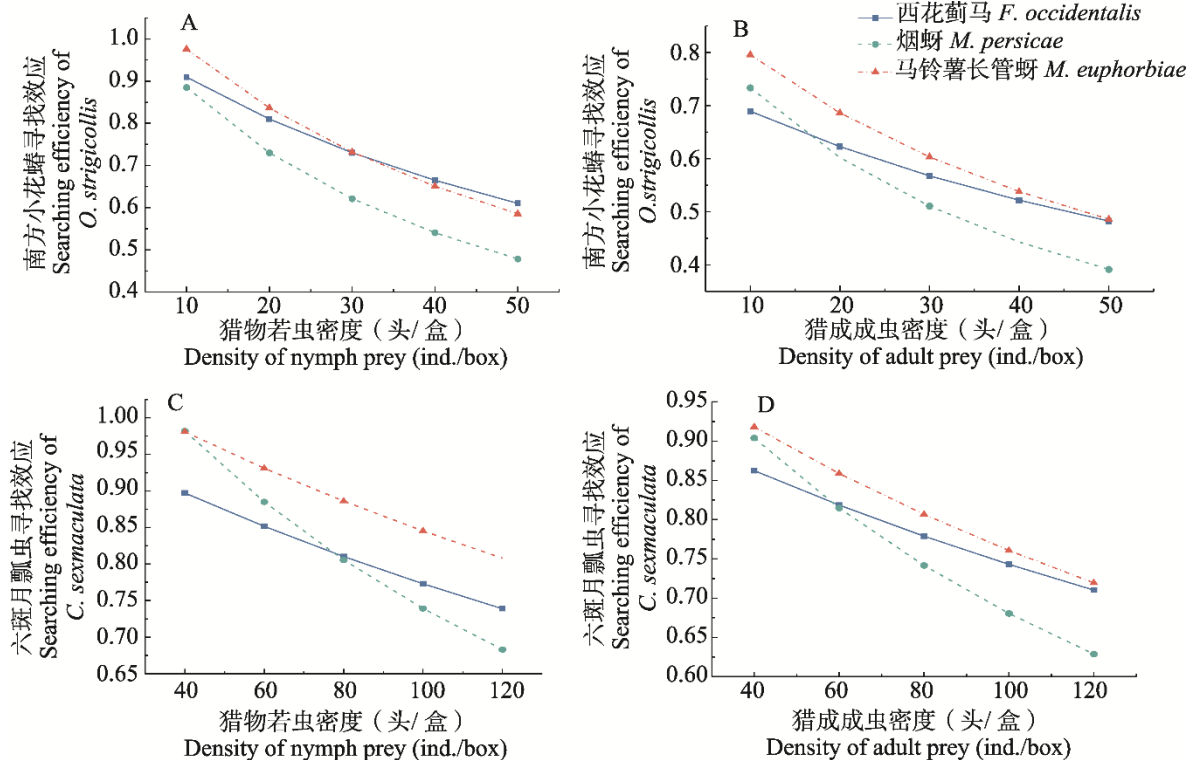


图2 南方小花蝽和六斑月瓢虫雌成虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜若虫、成虫的搜寻效应

Fig. 2 The searching efficiency of *Orius strigicollis* and *Cheilomenes sexmaculata* female adults to the nymph and adult of *Frankliniella occidentalis*, *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae*

A. 南方小花蝽对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜若虫的搜寻效应; B. 南方小花蝽对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜成虫的搜寻效应; C. 六斑月瓢虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜若虫的搜寻效应; D. 六斑月瓢虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜成虫的搜寻效应。

A. The searching efficiency of *O. strigicollis* to the nymph of *F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae*; B. The searching efficiency of *O. strigicollis* to the adult of *F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae*; C. The searching efficiency of *C. sexmaculata* to the nymph of *F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae*; D. The searching efficiency of *C. sexmaculata* to the adult of *F. occidentalis*, *M. persicae* and *M. euphorbiae*.

表 5 南方小花蝽和六斑月瓢虫雌成虫在自身不同密度下捕食不同猎物的干扰反应数学模型及参数

Table 5 The mathematical model and parameter of *Orius strigicollis* and *Cheilomenes sexmaculata* female adult under own different densities to different prey species under their intraspecific interference

| 天敌<br>Enemy                     | 猎物<br>Prey                     | 搜索常数 Q<br>Seek coefficient | 干扰系数 m<br>Interfere coefficient | Watt 模型<br>Watt equation | 相关系数<br>$R^2$ |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------|
| 南方小花蝽<br><i>O. strigicollis</i> | 西花蓟马<br><i>F. occidentalis</i> | 1.767                      | 0.25                            | $E=1.767P^{-0.25}$       | 0.995         |
|                                 | 烟蚜 <i>M. persicae</i>          | 1.334                      | 0.11                            | $E=1.334P^{-0.11}$       | 0.928         |
|                                 | 马铃薯长管蚜<br><i>M. euphorbiae</i> | 1.575                      | 0.19                            | $E=1.575P^{-0.19}$       | 0.990         |
| 六斑月瓢虫<br><i>C. sexmaculata</i>  | 西花蓟马<br><i>F. occidentalis</i> | 1.374                      | 0.07                            | $E=1.374P^{-0.07}$       | 0.884         |
|                                 | 烟蚜 <i>M. persicae</i>          | 1.295                      | 0.06                            | $E=1.295P^{-0.06}$       | 0.830         |
|                                 | 马铃薯长管蚜<br><i>M. euphorbiae</i> | 1.326                      | 0.05                            | $E=1.326P^{-0.05}$       | 0.960         |

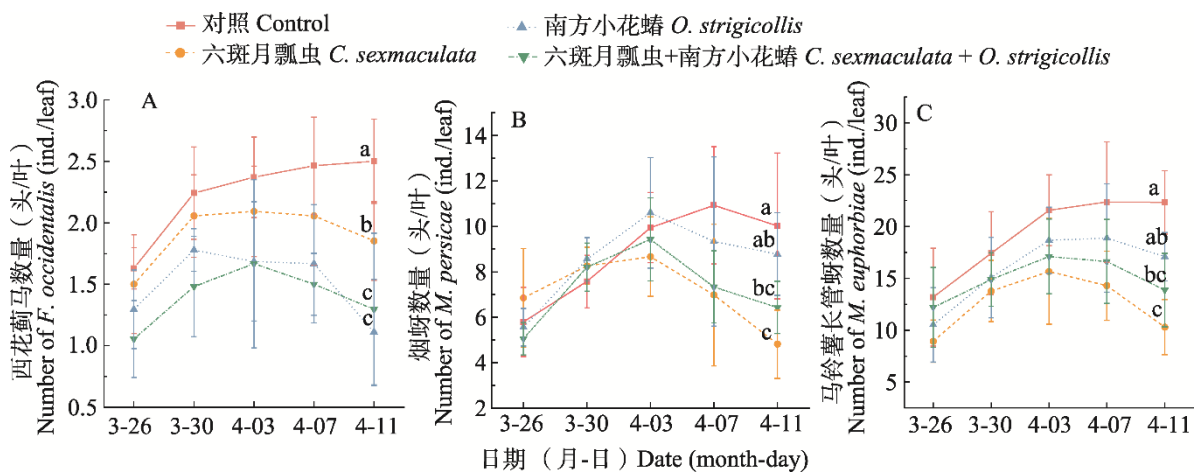


图 3 单独释放捕食性天敌与组合释放天敌条件下西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜的种群数量变化

Fig. 3 The number of *Frankliniella occidentalis*, *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* under all predator combinations and in single predator release

A. 西花蓟马数量; B. 烟蚜数量; C. 马铃薯长管蚜数量。图中数据为平均值±标准误, 不同小写字母表示经 Tukey 法检验不同天敌处理间虫口数量差异显著 ( $P<0.05$ )。

A. The number of *F. occidentalis*; B. The number of *M. persicae*; C. The number of *M. euphorbiae*. Data are mean±SE, and different small letters indicate significant differences among the number of thrips and aphids under different enemy treatment by Tukey test ( $P<0.05$ ).

为害时, 联合释放天敌昆虫能够发挥良好的防控作用。

### 3 结论与讨论

利用天敌昆虫对害虫进行生物防治是害虫综合治理的重要组成部分, 明确天敌昆虫对目标害虫的防控能力, 是合理应用天敌昆虫的基础前提。捕食功能反应是评价天敌昆虫对目标害虫防

控能力强弱的经典方法 (段雪莹等, 2021)。本研究的捕食功能反应测定结果表明, 南方小花蝽与六斑月瓢虫对西花蓟马、烟蚜和马铃薯长管蚜的捕食功能反应均符合 Holling II 模型, 这与南方小花蝽捕食豆蚜 (郅军锐等, 2011)、二斑叶螨 *Tetranychus urticae* (蔡仁莲等, 2016) 和花蓟马 *Frankliniella intonsa* (张鲁民等, 2008); 六斑月瓢虫捕食黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* (李

善光等, 2020)、柑橘木虱 *Diaphorina citri* (周军辉等, 2020) 和菊小长管蚜 *Macrosiphoniella sanborni* (段金花和张润杰, 2004) 的捕食功能反应模型一致。2 种捕食性昆虫对 3 种猎物的捕食量不同可能与猎物自身体型大小相关, 还可能受猎物自身所含营养物质不同影响 (王延年, 1990; 喻会平等, 2018)。本研究发现南方小花蝽与六斑月瓢虫成虫对 3 种猎物若虫捕食量均大于成虫, 这与南方小花蝽对黄蓍马 *Thrips flavus* (孙英等, 2021), 六斑月瓢虫对普通大蓍马 *Megalurothrips usitatus* (李盼等, 2022) 的若虫捕食量大于成虫一致。这可能是由于猎物若虫期体型较小、活动能力较弱, 天敌昆虫更易于捕食。

天敌对猎物的搜寻效应随着猎物密度的增加而降低, 通常在猎物种群密度较低时发挥更高的控害作用, 这与食蚜瘿蚊 *Aphidoletes aphidimyza* 3 龄幼虫捕食 1-5 龄莴苣指管蚜 *Uroleucon formosanum* (朱绪立等, 2024)、六星瓢虫 *Oenopia formosana* 1-4 龄幼虫与成虫捕食柑橘木虱 5 龄若虫 (陈晗馨等, 2024)、侧刺蝽 *Andrallus spinidens* 3-5 龄若虫与成虫捕食 3 龄草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (覃江梅等, 2023) 和蠊蝽 *Arma custos* 捕食 3 龄棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 幼虫 (孙婧婧等, 2021) 寻找效应表现出相同的规律。相同猎物密度下, 南方小花蝽与六斑月瓢虫对西花蓍马搜寻效应高于蚜虫、对若蚜寻找效应高于成蚜。说明天敌昆虫捕食猎物时, 对低密度、幼虫期猎物具有更加理想的控害作用。天敌昆虫捕食蚜虫成虫时搜寻效应降低, 可能与蚜虫成虫分泌的蜜露干扰天敌昆虫搜寻猎物相关 (陆宴辉等, 2005)。

当猎物密度与捕食空间一定时, 天敌昆虫对猎物的捕食作用受自身密度的影响 (孙婧婧等, 2021)。本研究发现, 南方小花蝽在捕食过程中极易受到惊扰, 小花蝽捕食时, 若同时出现另一只小花蝽靠近其周围试探, 大多数情况, 花蝽会放弃捕食或用口针将猎物移走, 少数情况会出现 2 只花蝽共同捕食 1 头猎物; 而六斑月瓢虫在捕

食过程中, 遇到同类靠近时, 则不会有异常表现, 更具有独立捕食的倾向。研究结果表明南方小花蝽的搜索常数与干扰系数均大于六斑月瓢虫, 也说明了南方小花蝽在捕食过程中更易受到种内干扰。

利用南方小花蝽与六斑月瓢虫联合释放, 对马铃薯害虫的综合防控效果优于释放单一天敌种类。这可能是由于 2 种天敌对猎物的捕食偏好性不同, 导致其在捕食过程中更好发挥各自捕食优势, 起到协同增效作用。南方小花蝽捕食过程中易受到猎物反抗影响及种内干扰, 更倾向于优先捕食个体较小、易于控制的蓍马。六斑月瓢虫偏好捕食蚜虫, 可能与其口器结构和大小相关, 当昆虫口器与猎物大小充分适配时, 可大大提高天敌昆虫捕食效率, 减少自身不必要的能量损耗, 提高捕食量。天敌昆虫合理组合, 联合释放, 可提高其对多种害虫的综合防控能力。不同害虫在寄主植物上的发生动态存在时间差异, 西花蓍马与烟蚜在马铃薯上的盛发期略早于马铃薯长管蚜。因此, 在西花蓍马和烟蚜发生前期、种群密度较低时, 可同时释放南方小花蝽与六斑月瓢虫以快速建立天敌种群, 压低原始虫量。当害虫数量逐渐升高时, 根据不同害虫种类的增长情况, 针对性补充释放特定天敌昆虫, 构建田间天敌种群多样性, 达到绿色防控与长效控害的目的。本研究在室内恒定条件下进行, 在田间自然状态下还需考虑气候条件、空间复杂性和物种种内与种间相互作用等因素, 在释放天敌的应用方式、天敌组合比例及数量方面, 还有待进一步研究。

南方小花蝽与六斑月瓢虫对马铃薯上 3 种主要媒介昆虫西花蓍马、烟蚜和马铃薯长管蚜的成虫、若虫的捕食功能反应均符合 Holling II 模型, 对若虫的捕食量均大于成虫。天敌昆虫自身密度对捕食 3 种猎物的种内干扰符合 Hasse II 模型。联合释放 2 种天敌昆虫较释放单一天敌昆虫对马铃薯害虫的防效更好。研究结果表明, 利用南方小花蝽与六斑月瓢虫对马铃薯传毒媒介昆虫进行生物防控具有较好潜力, 为进一步利用组合天敌绿色防控害虫提供了科学参考。

## 参考文献 (References)

- Butt A, Xaaceph M, 2015. Functional response of *Oxyopes javanus* (Araneidae: Oxyopidae) to *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) in laboratory and mesocosm. *Pakistan Journal of Zoology*, 47(1): 89–95.
- Cai RL, Jin DC, Guo JJ, Yi TC, Wang JL, 2016. Predation of *Orius similis* adult on *Tetranychus urticae*. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 38(7): 40–45. [蔡仁莲, 金道超, 郭建军, 乙天慈, 王佳琳, 2016. 南方小花蝽成虫对二斑叶螨的捕食作用研究. 西南大学学报(自然科学版), 38(7): 40–45.]
- Chen HX, Cheng GQ, Ye MY, OuYang ZG, Lu ZJ, Du YM, 2024. Predatory functional response and predation preference of *Oenopia formosana* for the nymphs of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(1): 129–136. [陈哈馨, 程高祺, 叶明月, 欧阳智刚, 卢占军, 杜一民, 2024. 六星瓢虫对柑橘木虱若虫的捕食功能反应及捕食偏好. 应用昆虫学报, 61(1): 129–136.]
- Du X, Wu K, Liu X, Zhang LZ, Su XX, Zhang HR, Zhang ZK, Hu XQ, Dong JH, Yang YL, Gao YL, 2020. The occurrence trends of dominant species of potato viruses and thrips in Yunnan province. *Scientia Agricultura Sinica*, 53(3): 551–562. [杜霞, 吴阔, 刘霞, 张丽珍, 苏晓霞, 张宏瑞, 张仲凯, 胡先奇, 董家红, 杨艳丽, 高玉林, 2020. 云南省马铃薯病毒及蓟马优势种发生趋势. 中国农业科学, 53(3): 551–562.]
- Duan JH, Zhang RJ, 2004. Predation of *Menochilus sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) on *Macrosiphoniella sanborni* (Homoptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 47(2): 213–218. [段金花, 张润杰, 2004. 六斑月瓢虫对菊小长管蚜的捕食作用. 昆虫学报, 47(2): 213–218.]
- Duan XY, Wang YD, Zhang NZ, Gao F, Zhao ZH, 2021. Research advances in evaluation methods of predator's control of insect pests. *Journal of Plant Protection*, 48(2): 275–288. [段雪莹, 王祎丹, 张乃钊, 高峰, 赵紫华, 2021. 捕食性天敌控害能力评价方法进展. 植物保护学报, 48(2): 275–288.]
- Gong L, 2023. Research progress in biological control of potato aphids. *Chinese Potato Journal*, 37(6): 555–559. [宫磊, 2023. 马铃薯蚜虫生物防治研究进展. 中国马铃薯, 37(6): 555–559.]
- Hassell MP, 1969. A population model for the interaction between *Cyzenis albicans* (Fall.) (Tachinidae) and *Operophtera brumata* (L.) (Geometridae) at Wytham Berkshire. *Journal of Animal Ecology*, 38(3): 567–576.
- Heimpel GE, Mills NJ, 2008. Biological Control: Ecology and Applications. UK: Cambridge University Press. 1–380.
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7): 385–398.
- Li P, Zhu JX, Mo XN, Lin XM, Liu TZ, Li JH, Cai DC, 2022. The functional response of *Menochilus sexmaculata* on *Megalurothrips usitatus*. *Chinese Journal of Biological Control*, 38(1): 140–148.
- [李盼, 朱津贤, 莫小娜, 林幸明, 刘田振, 李金花, 蔡笃程, 2022. 六斑月瓢虫对普通大蓟马的捕食功能反应. 中国生物防治学报, 38(1): 140–148.]
- Li S, Lao SB, Wang S, Guo XJ, Zhang F, 2014. Control effect of *Orius sauteri* collaborated with *Encarsia formosa* on *Bemisia tabaci* in the greenhouse. *Journal of Environmental Entomology*, 36(6): 978–982. [李姝, 劳水兵, 王甦, 郭晓军, 张帆, 2014. 东亚小花蝽和丽蚜小蜂对烟粉虱的协同控制效果研究. 环境昆虫学报, 36(6): 978–982.]
- Li SG, Fu BL, Qui HY, Yang SY, Ma XT, Zhou SH, Tang LD, Zhang FP, Liu K, 2020. The predation of *Menochilus sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae) in the laboratory. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(5): 1173–1180. [李善光, 付步礼, 邱海燕, 杨石有, 马晓彤, 周世豪, 唐良德, 张方平, 刘奎, 2020. 六斑月瓢虫对黄胸蓟马若虫的室内捕食作用研究. 应用昆虫学报, 57(5): 1173–1180.]
- Lin FJ, 2014. Effects of EβF on dispersal and transmission efficiency of *Myzus persicae* (Sulzer) and *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) as vectors. Master dissertation. Tai'an: Shandong Agriculture University. [林芳静, 2014. EβF 对桃蚜和马铃薯长管蚜的扩散及传毒效率的影响. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Loko YL, Djagoun AD, Dannon EA, Datinon B, Dansi A, Thomas-Odjo AA, Tamo M, 2017. Functional response of the predators *Alloeocranum biannulipes* (Hemiptera: Reduviidae) and *Teretrius nigrescens* (Coleoptera: Histeridae) feeding on *Dinoderus porcellus* (Coleoptera: Bostrichidae) infesting yam chips. *Environmental Entomology*, 46(1): 84–91.
- Lu YH, Shi XL, Zhong CX, Wang H, Chen J, Yu YS, Yang YZ, 2005. Impacts of honeydew on the growth fecundity and foraging behavior of natural enemies. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(4): 379–385. [陆宴辉, 史晓利, 仲崇翔, 王红, 陈建, 余月书, 杨益众, 2005. 蜜露对天敌昆虫生长繁殖及搜寻行为的影响. 昆虫知识, 42(4): 379–385.]
- Ma XQ, Wang YG, Zhou XJ, Zhao HB, Li KP, Ma JZ, 2010. Research advances of potato virus. *Science and Technology of Food Industry*, 31(10): 429–434. [马雪青, 王永刚, 周贤婧, 赵虎彪, 李昆鹏, 马建忠, 2010. 马铃薯病毒研究新进展. 食品工业科技, 31(10): 429–434.]
- Qin JM, Huang Q, Cai XY, Zhang H, Pan QS, Chen HS, Qin W, 2023. Predation by *Andrallus spinidens* on 3rd instar *Spodoptera frugiperda* larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(4): 1215–1222. [覃江梅, 黄芊, 蔡晓燕, 张桦, 潘启寿, 陈红松, 覃武, 2023. 侧刺蝽对草地贪夜蛾幼虫的捕食能力评价. 应用昆虫学报, 60(4): 1215–1222.]
- Ren GW, Wang FL, Peng SY, 2006. Review on relationship between potato virus Y and virus spreading by aphid. *Tobacco Science & Technology*, 2006(10): 56–61. [任广伟, 王凤龙, 彭世阳, 2006. 马铃薯 Y 病毒与介体蚜虫传毒的关系研究进展. 烟草科技, 2006(10): 56–61.]

- Sun Y, Hu CX, Wu DH, Chen GH, Yin HH, Xu TY, Chen T, Zhang XM, 2021. Population dynamics of *Orius similis* and *Thrips flavus* and predatory function response. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(3): 451–458. [孙英, 胡昌雄, 吴道慧, 陈国华, 殷红慧, 徐天养, 陈婷, 张晓明, 2021. 南方小花蝽和黄蓍马的种群动态及捕食功能反应. 中国生物防治学报, 37(3): 451–458.]
- Sun JJ, Wang MQ, Tang YT, Li XY, Zhang LS, Li H, 2021. Predatory functional response of *Arma custos* (Hemiptera: Pentatomidae) to the larvae of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Plant Protection*, 48(5): 1081–1087. [孙婧婧, 王孟卿, 唐艺婷, 李心钰, 张礼生, 李虎, 2021. 蠊蝽对棉铃虫幼虫的捕食功能反应. 植物保护学报, 48(5): 1081–1087.]
- Tang LD, Li F, Wu JH, Ren SX, 2015. Predation function response of *Menochilus sexmaculata* adults to *Bemisia tabaci*, *Aphis craccivora* and *Rhopalosiphum maidis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(2): 202–207. [唐良德, 李飞, 吴建辉, 任顺祥, 2015. 六斑月瓢虫捕食不同猎物的功能反应研究. 中国生物防治学报, 31(2): 202–207.]
- Varshney R, Budhlakoti N, Ballal CR, 2018. Functional response of *Geocoris ochropterus* Fieber (Hemiptera: Geocoridae) to different egg densities of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Phytoparasitica*, 46(4): 451–458.
- Wang KP, Zhan YG, Pan Y, Mao CT, Gao FH, Kong NC, 2013. Evaluation on the effects of releasing *Aphidius gifuensis* and *Leis axyridis* to control *Myzus persicae*. *Hubei Agricultural Sciences*, 52(7): 1567–1570. [王夸平, 詹筱国, 潘悦, 毛春堂, 高福宏, 孔宁川, 2013. 烟蚜茧蜂和异色瓢虫综合防治烟蚜的效果评价. 湖北农业科学, 52(7): 1567–1570.]
- Wang YN, 1990. Development, application and prospect of insect artificial feed. *Entomological Knowledge*, 27(5): 310–312. [王延年, 1990. 昆虫人工饲料的发展, 应用和前途. 昆虫知识, 27(5): 310–312.]
- Xie CX, Yang X, Zhao B, Tao CL, 2018. Comprehensive control techniques for *Thrips tabaci* Lindeman on potato. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2018(5): 44–47. [谢春霞, 杨雄, 赵彪, 陶彩丽, 2018. 马铃薯蓟马综合防治技术. 云南农业科技, 2018(5): 44–47.]
- Xu J, Zhu JH, Yang YL, Tang H, Lv HP, Fan MS, Shi Y, Dong DF, Wang GJ, Wang WX, Xiong XY, Gao YL, 2019. Status of major diseases and insect pests of potato and pesticide usage in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 52(16): 2800–2808. [徐进, 朱杰华, 杨艳丽, 汤浩, 吕和平, 樊明寿, 石瑛, 董道峰, 王贵江, 王万兴, 熊兴耀, 高玉林, 2019. 中国马铃薯病虫害发生情况与农药使用现状. 中国农业科学, 52(16): 2800–2808.]
- Yan JJ, Guo WC, Li GQ, Pan HP, Chen B, Zhou WW, Li SH, Gao YL, 2023. Current status and prospects of the management of important insect pests on potato in China. *Plant Protection*, 49(5): 190–195, 206. [闫俊杰, 郭文超, 李国清, 潘慧鹏, 陈斌, 周文武, 李素华, 高玉林, 2023. 我国马铃薯害虫防控现状与展望. 植物保护, 49(5): 190–195, 206.]
- Yang XQ, Zhang YY, Zhang YY, 2014. Research progress on detection technology of potato virus. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2014(24): 148–149. [杨小琴, 张艳艳, 张媛媛, 2014. 马铃薯病毒检测技术研究进展. 现代农业科技, 2014(24): 148–149.]
- Yu GY, Wang H, 2019. Photographic Atlas of Beijing Aphids (Aphidoidea). Beijing: Science Press. 207–209. [虞国跃, 王合, 2019. 北京蚜虫生态图谱. 北京: 科学出版社. 207–209.]
- 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 LM, Liu ZC, Sun XQ, Liu LX, Chen J, 2008. Population dynamics of *Orius strigicollis* and *Frankliniella intonsa* on Chinese rose and predatory functional response (in English). *Chinese Journal of Biological Control*, 24(S1): 21–27. [张鲁民, 刘志诚, 孙兴全, 刘力行, 陈捷, 2008. 南方小花蝽和花蓟马种群季节动态及捕食功能反应(英文). 中国生物防治, 24(S1): 21–27.]
- Zhi JR, Zheng SS, Zhang CR, Liu FJ, 2011. The predation of *Orius similis* to *Frankliniella occidentalis* and *Aphis craccivora*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 573–578. [邹军锐, 郑珊珊, 张昌容, 刘丰姣, 2011. 南方小花蝽对西花蓟马和蚕豆蚜的捕食作用. 应用昆虫学报, 48(3): 573–578.]
- Zhong TT, 2007. The establishment of RT-PCR system and varieties and distribution of potato viruses in Sichuan. Master dissertation. Ya'an: Sichuan Agricultural University. [钟婷婷, 2007. 马铃薯病毒病 RT-PCR 检测体系的建立及病毒病在四川省的种类与分布. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学.]
- Zhou JH, Li PL, Zheng HN, Huang J, Wang ZH, 2020. Functional response of *Menochilus sexmaculata* (Fabricius) on the nymph of *Diaphorina citri* Kuwayama. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 49(3): 295–299. [周军辉, 李鹏雷, 郑卉娜, 黄建, 王竹红, 2020. 六斑月瓢虫对柑橘木虱若虫的捕食功能反应. 福建农林大学学报(自然科学版), 49(3): 295–299.]
- Zhou XR, Bu QG, Pang BP, 2014. Effects of temperature on life table parameters of the laboratory populations of *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(7): 837–843. [周晓榕, 卜庆国, 庞保平, 2014. 温度对桃蚜和马铃薯长管蚜实验种群生命表参数的影响. 昆虫学报, 57(7): 837–843.]
- Zhu XL, Gou JY, Wu HZ, Huang CY, Yang MF, Yang X, Yu XF, 2024. Predation effect of *Aphidoletes aphidimyza* on *Uroleucan formosanum*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 61(1): 109–119. [朱绪立, 苟剑渝, 吴慧子, 黄纯杨, 杨相, 于晓飞, 2024. 食蚜瘿蚊对莴苣指管蚜的捕食作用. 应用昆虫学报, 61(1): 109–119.]