

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2014.06.1

小麦-玉米蚜-龟纹瓢虫载体植物系统的构建初探

邓从双^{1,2}, 李 姝², 王 甦², 张 帆^{2*}, 庞 虹^{1*}

(1. 有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 生物多样性演化与保护广东普通高校重点实验室, 中山大学生态与进化学院, 广州 510275;
2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097)

摘要: 载体植物系统 (Banker plant system, BPS) 通过建立自然天敌的自我维持机制以持续控制田间及保护地害虫。本研究分别以玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) 和小麦 *Triticum aestivum* L. 作为替代猎物和载体植物, 构建龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg) 载体植物系统防控桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer), 通过正交试验设计优化该载体植物系统中各因子的组合, 并对该系统繁殖的龟纹瓢虫对玉米蚜和目标害虫桃蚜的取食选择性进行研究。结果显示, 龟纹瓢虫成虫获得量最大的组合是小麦播种后第四天接蚜 720 头, 待蚜虫扩繁 5 天后, 投入龟纹瓢虫初孵幼虫 30 头。取食选择性试验结果表明小麦载体植物扩繁的龟纹瓢虫对靶标害虫桃蚜具有良好的捕食作用。

关键词: 储蓄植物; 龟纹瓢虫; 玉米蚜; 桃蚜; 正交试验; 生物防治

中图分类号: Q968.1; S435.132

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2014) 06-0867-07

A preliminary investigation on establishment of *Triticum aestivum* L. – *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) – *Propylaea japonica* (Thunberg) banker plant system

DENG Cong-Shuang^{1,2}, LI Shu², WANG Su², ZHANG Fan^{2*}, PANG Hong^{1*} (1. State Key Laboratory of Biocontrol, Key Laboratory of Biodiversity Dynamics and Conservation of Guangdong Higher Education Institute, College of Ecology and Evolution, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Institute of Plant & Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Banker plant system (BPS) is a form of conservation biological control with the goal of sustaining a reproducing population of natural enemies to suppress the pest for a long time. We selected *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) and *Triticum aestivum* L. as the alternative prey and banker plant for *Propylaea japonica* (Thunberg) establishing banker plant system to against *Myzus persicae* (Sulzer). Feeding preference experiments and orthogonal array design were conducted to optimize this kind of BPS in the paper. The results showed that the optimal combination for the maximum quantity of *P. japonica* adult was introducing 720 *R. maidis* the fourth day after sowing wheat seeds, five days later, introducing 30 newly hatched *P. japonica* larvae. The feeding preference experiment demonstrated *P. japonica* had strong preference for *M. persicae* as well as *R. maidis*.

Key words: banker plant; *Propylaea japonica*; *Rhopalosiphum maidis*; *Myzus persicae*; orthogonal array design; biological control

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2013CB127605); 国家自然科学基金面上项目 (31171899, 31372243); 广东省教育厅科技创新重点项目 (2012CXZD0004); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJXC20140101)

作者简介: 邓从双, 1991 年生, 中山大学动物学专业在读博士生, 从事害虫生物防治研究

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: lsshpag@mail.sysu.edu.cn; zlf6131@263.net

天敌昆虫的扩繁及利用是害虫可持续综合治理的重要手段之一(万方浩等, 1999)。载体植物系统, 又称储蓄植物系统, 是一种新型天敌昆虫饲养释放模式, 作为温室害虫的有效控制策略, 近年来受到广泛关注并逐渐在欧美国家推广应用(肖英方等, 2012)。通常, 载体植物系统包括天敌昆虫、替代寄主(猎物) 及其寄主植物。建立在温室或大田中的载体植物系统通过自我繁殖和释放自然天敌, 达到持续控制有害生物的目的(Frank, 2010)。预先在载体植物上接种足量替代寄主(猎物), 之后再引入天敌昆虫或其他有益生物, 天敌昆虫利用载体植物上的替代寄主(猎物) 建立种群并持续繁衍后代。将载体植物系统引入温室或大田后, 天敌自行从载体植物扩散至目标作物来控制靶标害虫(Huang *et al.*, 2012)。Stacey (1977) 利用恩蚜小蜂 *Encarsia Sophia* (Girault & Dodd) 首次构建载体植物系统防治温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)。目前, 研究和应用的载体植物系统的防治对象主要为蚜虫、粉虱和蓟马等; 载体植物主要为禾本科植物, 替代寄主则以禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* (L.) 最多, 此外, 还有玉米蚜、麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* (Rondani) 和烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 等; 有益生物主要是蚜茧蜂和蚜小蜂等寄生性天敌, 但对于捕食性天敌尤其是以瓢虫为有益生物的载体植物系统研究鲜有报道(Frank, 2010; Andrea and López, 2014)。

龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 属于鞘翅目 Coleoptera、瓢虫科 Coccinellidae、龟纹瓢虫属 *Propylaea* 具有耐高温和耐饥力强等特点, 是一种重要的捕食性天敌昆虫, 可取食多种蚜虫。如桃蚜、禾谷缢管蚜、瓜蚜 *Aphis gossypii* Glover 等, 还可捕食棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hubner)、棉叶蝉 *Empoasca biguttula* (Shiraki)、褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) 等多种农林作物上的害虫。龟纹瓢虫的生物学特性及其捕食效应已被多次研究(张世泽等, 2004; 任月萍和刘生祥, 2006; 程树兰等, 2007; 柳洋等, 2013)。瓢虫人工释放控制虫害也已获得了不少成功, 但传统的释放方式容易造成瓢虫大量迁飞, 而且受环境因素影响很大, 释放过程中若考虑为天敌昆虫营造一个适宜生存和繁殖的环境, 将能更大地发挥天敌昆虫控害能力(高福宏等, 2012; Xiao

et al., 2012)。

桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer), 属同翅目 Homoptera 蚜科 Aphididae 瘤蚜属 *Myzus*, 寄主植物达 50 多科 400 余种。桃蚜广泛分布于我国各地, 不仅是十字花科, 蔷薇科, 豆科和茄科果蔬的主要害虫, 还是多种植物病毒的重要传播媒介(张建亮等, 2000)。桃蚜在温室中几乎可以危害任何温室植物, 长期以来主要依靠化学农药防治温室桃蚜, 使其对多种化学杀虫剂产生较高水平的抗性, 防治效果因此显著降低, 而且造成农药残留, 对环境污染日益严峻(宋春满和邓建华, 2012)。近年来, 随着生物防治迅速发展, 保护和利用天敌昆虫, 研发多种防治技术以控制蔬菜害虫成为研究热点(段海涛和张文庆, 2011)。

正交试验法是一种多因素试验设计方法, 其设计原则、方法、实例及优点已有不少报道(刘瑞江等, 2010)。本研究分别以玉米蚜和小麦作为替代猎物和载体植物, 通过正交试验设计优选该载体植物系统中各因子组合, 研究该系统繁殖的龟纹瓢虫对玉米蚜和目标害虫桃蚜的取食选择性, 为利用载体植物系统控制桃蚜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫和植物

供试虫源: 试验所用的玉米蚜、桃蚜和龟纹瓢虫均采集于北京市诺亚农业发展有限公司有机蔬菜温室(116°59'E, 40°6'N), 在北京市农林科学院植物保护环境保护研究所室长期饲养。玉米蚜和龟纹瓢虫分别饲养于不同养虫笼(铝合金+60目纱网, 55.0 cm × 55.0 cm × 55.0 cm)。饲养条件: 温度 25 ± 1℃, 相对湿度 60 ± 5%, 光照周期 16 L : 8 D, 光照强度大于 1000 Lx。

试验所用玉米蚜寄主植物小麦(品种: 百农矮抗 58) 为市售, 龟纹瓢虫以玉米蚜为猎物进行扩繁。小麦苗种植条件: 温度 25 ± 1℃, 相对湿度 60 ± 5%, 光照周期 16 L : 8 D。小麦苗长至 2 cm 左右即可接种蚜虫, 小麦苗约每 25 d 更换。试验期间未施用任何杀虫剂。

1.2 基于正交试验优化小麦-玉米蚜-龟纹瓢虫载体植物系统

根据龟纹瓢虫对玉米蚜的捕食量, 采用 4 因素 3 水平正交试验设计, 研究小麦-玉米蚜-龟纹瓢虫载体植物系统中主要因素(表 1): 接种蚜

虫时间 (A)、接种蚜虫密度 (B)、投入瓢虫幼虫时间 (C)、龟纹瓢虫初孵幼虫数量 (D)。每个因素设 3 个水平, 由 $L_9 (3^4)$ 正交表得正交试验设

计表 (表 2)。试验中小麦播种在直径为 10 cm、高 10 cm 的营养钵内, 每钵播种 8 g。引入的龟纹瓢虫为 12 h 内的初孵幼虫。每个处理重复 5 次。

表 1 小麦 - 玉米蚜 - 龟纹瓢虫载体植物系统 $L_9 (3^4)$ 正交试验因素水平表

Table 1 The table of factor level of $L_9 (3^4)$ orthogonal array design of *T. aestivum* - *R. maidis* - *P. japonica* banker plant system

水平 Level	因素 Factor			
	接种蚜虫时间 (A)	接种蚜虫密度 (B)	引入瓢虫时间 (C)	引入瓢虫密度 (D)
	Period of introducing <i>R. maidis</i> (A)	Density of <i>R. maidis</i> (B)	Period of introducing <i>P. japonica</i> (C)	Density of <i>P. japonica</i> (D)
1	第 3 天	240	第 3 天	10
2	第 4 天	480	第 4 天	20
3	第 5 天	720	第 5 天	30

注: 接种蚜虫时间以小麦播种当天为第 1 天计算; 引入瓢虫时间以接入蚜虫当日为第一天计算。Note: The day sowing wheat was considered as the first day related to the period of introducing *R. maidis*; The day introducing *R. maidis* was considered as the first day related to the period of introducing *P. japonica*.

表 2 小麦 - 玉米蚜 - 龟纹瓢虫载体植物系统正交试验设计试验方案

Table 2 The project of the orthogonal experimental design of *T. aestivum* - *R. maidis* - *P. japonica* banker plant system

	A	B	C	D
1	3	240	3	10
2	3	480	4	20
3	3	720	5	30
4	4	240	4	30
5	4	480	5	10
6	4	720	3	20
7	5	240	5	20
8	5	480	3	30
9	5	720	4	10

1.3 龟纹瓢虫对桃蚜和玉米蚜的取食选择性

参照刘万学等 (2008) 方法, 基于龟纹瓢虫雌雄成虫对桃蚜和玉米蚜的日捕食量, 按照替代猎物玉米蚜数量过量、基本满足和不满足需要, 设置相应的密度梯度, 即玉米蚜: 桃蚜分别为 120: 120、120: 90、120: 60、90: 120、90: 90、60: 120、60: 60。将饥饿 24 h 的龟纹瓢虫雌雄成虫单头放入已加入混合猎物的直径为 10 cm、高 1.5 cm 的培养皿中, 24 h 后观察记录龟纹瓢虫对混合猎物的捕食量。每个处理重复 3 次。

1.4 数据统计与分析

本文正交试验采用 $L_9 (3^4)$ 正交表, 利用直观图分析法和极差法获得不同因子的最佳组合。取食选择性试验结果方差分析在 SPSS 16.0 中的 General Linear Model 中进行, 差异显著性用 Duncan's 新复极差法作多重比较。

2 结果与分析

2.1 基于正交试验优化小麦 - 玉米蚜 - 龟纹瓢虫载体植物系统

以因子的不同水平作横坐标, 产出龟纹瓢虫成虫数量或成虫获得率作纵坐标, 作出因子在不同水平与获得成虫情况的关系图 (图 1 和图 2)。

根据对成虫获得量的结果分析, 投入龟纹瓢虫幼虫数量这一因子的极差最大, 说明投入幼虫数量对成虫获得量的影响最大。4 个因子对成虫获得量影响的主次顺序分别为投入瓢虫幼虫数量 → 投入瓢虫幼虫时间 → 接蚜密度 → 接蚜时间。四因素中, 投入瓢虫幼虫的数量和时间的影响较为显著, 其中, 投入幼虫数量最为显著。在试验设计范围内, 成虫获得量最大的组合是 $A_2 B_3 C_3 D_3$, 即小麦播种后第四天接蚜 720 头, 待蚜虫扩繁 5d 后, 投入龟纹瓢虫幼虫 30 头。主要因子的水平变化对于结果的影响较大, 所以必须将其控制在最优水平。对于次要因子, 可根据具体情况选择适合的水平。

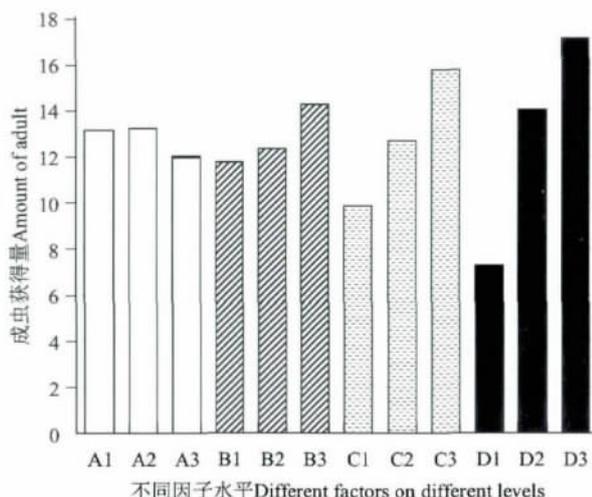


图1 龟纹瓢虫成虫获得量与不同因子的关系
Fig. 1 Influence of different factors on the amount of *P. japonica* adult

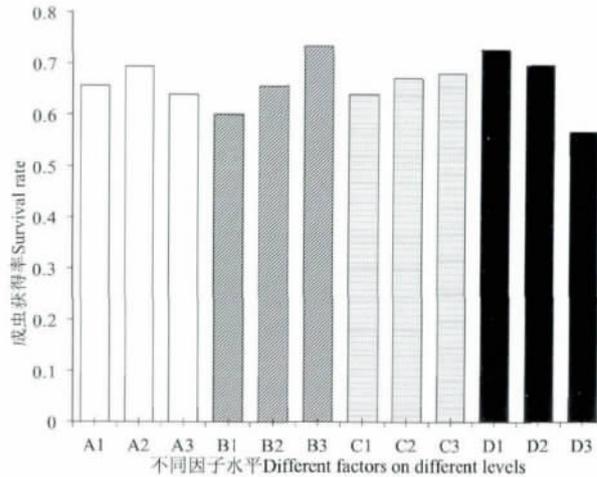


图2 龟纹瓢虫成虫获得与不同因子的关系
Fig. 2 Influence of different factors on the survival rate of *P. japonica* adult

表3 小麦-玉米蚜-龟纹瓢虫载体植物系统 $L_9 (3^4)$ 正交试验结果

Table 3 The result of the orthogonal experimental design of *T. aestivum* - *R. maidis* - *P. japonica* banker plant system

	因素 factors				试验结果 Results			
	A	B	C	D	成虫获得量 Amount of adults	成虫获得率 Survival rate	体重 Wight (mg)	雌性比 Female rate (%)
1	1	1	1	1	6.4	0.64	6.41	1 : 01
2	1	2	2	2	13.8	0.69	6.24	1.03 : 1
3	1	3	3	3	19.2	0.64	6.10	1.09 : 1
4	2	1	2	3	16.4	0.54	5.87	0.95 : 1
5	2	2	3	1	7.6	0.76	6.60	1 : 01
6	2	3	1	2	15.6	0.78	6.40	0.95 : 1
7	3	1	3	2	12.4	0.62	6.00	1.07 : 1
8	3	2	1	3	15.6	0.52	6.11	0.95 : 1
9	3	3	2	1	7.8	0.78	6.71	0.95 : 1
k_1	39.4	35.2	29.6	21.8				
k_2	39.6	37.0	38.0	41.8				
k_3	35.8	42.6	47.2	51.2				
成虫 获得量 Amount of adult	K_1	13.13	11.73	9.87	7.27			
	K_2	13.2	12.33	12.67	13.93			
	K_3	11.93	14.2	15.74	17.07			
	R	1.27	2.47	5.87	6.66			

注: k_2, k_3, k_3 分别代表水平 1、2、3 的总和; K_1, K_2, K_3 分别代表水平 1、2、3 的平均值; R 代表极差. Note: k_2, k_3, k_3 represent the sum of the level 1, 2, 3, respectively; K_1, K_2, K_3 represent the mean of the level 1, 2, 3, respectively; R is the difference between the mean of different levels.

但是对成虫获得率的分析得出, 其中投入瓢虫幼虫 10 头时成虫获得率最大, 最佳组合为 A₂B₃C₃D₁。投入 10 头瓢虫幼虫与投入 20 头幼虫的成虫获得率分别为 72.7% 和 69.7%, 二者之间无显著差异, 但都显著高于投入 30 头幼虫的成虫获得率 (56.7%)。此外, 投入 30 头初孵幼虫的试验组, 其成虫体重显著低于投入 10 头及 20 头瓢虫幼虫的试验组。不同试验组的性别和发育历期没有显著差异。

表 4 龟纹瓢虫成虫对玉米蚜和桃蚜混合猎物的选择取食量 (M ± SD)

Table 4 Feeding preference of *P. japonica* adult on coexisted prey *R. maidis* and *M. persicae*

龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	猎物 Prey	猎物数量 (玉米蚜/桃蚜) Prey quantity (<i>R. maidis</i> / <i>M. persicae</i>)						
		120/120	120/90	120/60	90/120	90/90	60/120	60/60
♀	玉米蚜	62.3 ± 3.5	59.3 ± 7.2	63.3 ± 11.6	42.7 ± 5.7	41.7 ± 4.5	35.7 ± 1.5	36.0 ± 6.2
	桃蚜	58.3 ± 7.5	44.7 ± 4.7	34.7 ± 5.5	64.3 ± 8.0	54.3 ± 7.2	65.7 ± 7.1	41.0 ± 7.0
♂	玉米蚜	54.3 ± 4.0	52 ± 7.0	51 ± 7.5	43.3 ± 5.0	44.3 ± 7.8	28.7 ± 8.6	37.3 ± 6.1
	桃蚜	50.0 ± 8.0	47 ± 11.4	33.7 ± 3.5	54.3 ± 11.0	44 ± 3.6	55.3 ± 5.9	35.7 ± 4.9

3 结论与讨论

目前, 载体植物系统的研究多集中在寄生性天敌昆虫的应用方面。在筛选合适的载体植物和载体植物系统中天敌昆虫寄生率和扩散距离等方面已有一定研究, 对于捕食性天敌昆虫载体植物系统研究较少。载体植物系统的具体使用方法, 如起始投放量, 投放时间和投放频率等也鲜有报道 (Frank, 2010; 李先伟等, 2013)。通常情况下, 捕食性天敌昆虫在其幼虫和成虫阶段都是肉食性且普遍具有较大的捕食量, 具有广阔的生物防治前景。以龟纹瓢虫为例, Chi 和 Yang (2003) 报道了龟纹瓢虫对桃蚜的净捕食量达到 1199.5 头。在 27℃ - 29℃ 条件下一个世代仅需 14 - 19 d 左右 (张世泽等, 2004)。然而, 捕食性天敌的发生具有跟随效应, 往往滞后于害虫的大量发生期, 因此, 利用捕食性天敌昆虫进行生物防治时提倡在害虫发生前或数量较少时释放天敌 (陈亮等, 2008)。通过建立载体植物系统定殖大量天敌昆虫, 后期只需定期补给载体植物来保证替代猎物 (寄主) 数量充足, 可以长期控制靶标害虫的为害, 将其控制在经济阈值之下。目前, 已有国外研究者开发小花蝽、瘦蚊等捕食性天敌昆虫的载体植物系统, 其中已有一些在生产上取得良好的

2.2 龟纹瓢虫对桃蚜和玉米蚜的取食选择性

结果显示, 当玉米蚜和桃蚜共存时, 龟纹瓢虫成虫对两种猎物均具有较好的捕食作用, 当混合猎物中玉米蚜和桃蚜数量相等时, 天敌对两种蚜虫的捕食量不存在显著差异。在替代猎物玉米蚜过量的情况下, 随着目标猎物桃蚜密度的增加, 龟纹瓢虫对桃蚜的捕食量随之增加, 对玉米蚜的捕食量随之减少。当玉米蚜数量不足时, 龟纹瓢虫对桃蚜的取食量随桃蚜密度的增加而显著增加。

防治效果 (Xiao *et al.*, 2011; Wong and Frank, 2012)。

替代寄主的选择是构建载体植物系统的重要环节。良好的替代寄主必须适合天敌昆虫定殖、繁殖和扩散, 从而维持载体植物系统中天敌昆虫种群长期稳定。此外, 替代寄主不为害目标作物以免加剧害虫爆发, 而且合适的替代寄主不应导致天敌昆虫产生专性取食或寄生 (李先伟等, 2013)。已开发的载体植物系统多用禾谷缢管蚜、麦二叉蚜和粉虱作为替代寄主 (Huang *et al.*, 2013)。玉米蚜的寄主植物主要是玉米、小麦、狗尾草、蟋蟀草等禾本科作物和杂草, 繁殖速率较快, 因此可作为良好的替代猎物用于建立并维持龟纹瓢虫种群稳定。小麦作为载体植物, 满足载体植物在温室或大田都易于种植、使用方便、成本低廉等要求。比起传统的人工繁殖方法和天敌昆虫释放方式, 载体植物系统可大幅度降低生物防治的成本, 而且更符合当天敌昆虫商品化和市场化发展趋势的要求 (陈学新等, 2013)。

充分发挥天敌昆虫的控害作用需要优越的环境条件, 因此生物防治的一个重点是创造利于天敌栖息繁殖的场所。提高载体植物系统的利用价值和使用效果, 需要选用的载体植物、替代寄主和天敌昆虫之间的相互关系, 确定载体植物和替代寄主对天敌昆虫生物学和生态学的影响。因此,

载体植物的密度, 替代猎物或寄主和天敌的初始密度以及它们分别投入的时间, 都是建立一个成功载体植物系统的重要考虑因素 (李先伟等, 2013)。利用正交试验分析不同因子与该载体植物系统龟纹瓢虫成虫获得情况的关系, 大大减少试验次数, 并筛选出最好的组合, 在生产应用上具有一定的指导作用。与老龄幼虫相比, 初孵幼虫需要更高的蚜虫密度才能存活, 与正交试验结果蚜虫自行繁殖 5 d 后引入初孵幼虫具有更高的成虫获得率相符。尽管成虫获得量最大的组合是播种小麦后第四天接种蚜虫 720 头, 待蚜虫扩繁 5 d 后, 投入龟纹瓢虫幼虫 30 头, 但投入龟纹瓢虫幼虫 30 头的成虫获得率与投入 20 头和 10 头幼虫相比显著降低, 因此在实际应用时, 可根据害虫发生情况进行适当选择。

用替代猎物 (寄主) 繁育的天敌昆虫对靶标害虫的捕食或寄生能力是检测一个载体植物系统成功与否的重要指标。研究表明, 不同种类瓢虫, 其食物偏好存在差异 (张岩等, 2008), 异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 对不同猎物有明显的偏好性和适应性 (夏淑英等, 2011)。龟纹瓢虫也具有一定的食蚜专化性, 王根和魏建华 (1989) 证明龟纹瓢虫嗜食棉蚜、桃蚜和白杨毛蚜 *Chaitophorus populeti* (Panzer), 而取食甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae* (L.) 不能完成生活史。闫占峰等 (2012) 研究表明不同龄期龟纹瓢虫幼虫及雌雄成虫对玉米蚜具有很好的捕食作用, 郭建英和万芳浩 (2001) 报道了桃蚜可作为龟纹瓢虫的一种良好饲料。根据本文研究结果, 玉米蚜 - 小麦 - 龟纹瓢虫载体植物系统繁殖的龟纹瓢虫在靶标害虫桃蚜和替代猎物共存条件下, 对两种蚜虫均具有较高的捕食效率, 不存在严重的偏嗜性, 是一种理想的控害方式。朱三荣等 (2006) 等指出, 龟纹瓢虫的捕食行为与蚜虫密度和空间分布密切相关, 在利用龟纹瓢虫对棉蚜进行生物防治时, 利用不同时期棉蚜的发生特点, 调节瓢虫数量, 更有助于发挥瓢虫生防作用。本实验结果显示, 在一定限度内, 龟纹瓢虫对玉米蚜和桃蚜混合猎物的捕食量分别与蚜虫密度成正比关系, 玉米蚜的不足有助于龟纹瓢虫对桃蚜的控制作用。因此, 合理调控载体植物系统中替代猎物数量, 比如在靶标害虫密度较大时将带有替代猎物的载体植物进行暂时性笼罩, 利于龟纹瓢虫发挥最大的防治效果。

此外, 龟纹瓢虫作为一种广食性天敌昆虫,

可终年繁殖, 抗逆性强, 可取食多种蚜虫、叶蝉、棉铃虫、褐飞虱等害虫。因此玉米蚜 - 小麦 - 龟纹瓢虫载体植物系统可用于桃蚜之外其他非禾本科标靶害虫的生物防治, 也可为捕食或寄生玉米蚜的其他天敌昆虫提供食物或生境 (Parolin *et al.*, 2013), 显示了巨大的生防潜力。本研究仅仅在室内条件下初步探索玉米蚜 - 小麦 - 龟纹瓢虫载体植物系统可行性, 对于该系统在温室或大田的应用还需深入研究。

参考文献 (References)

- Andrea VA, López NL. Biological control of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) through banker plant system in protected crops [J]. *Biological Control*, 2014, 78 (12): 9-14.
- Chen L, Pu GQ. Application of predator natural enemies in biological control [J]. *Jiangsu Sericulture*, 2008, 3: 1-4. [陈亮, 浦冠勤. 捕食性天敌在害虫生物防治中的应用 [J]. 江苏蚕业, 2008, 3: 1-4]
- Chen XX, Ren SX, Zhang F, *et al.* Mechanism of pest management by natural enemies and their sustainable utilization [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (1): 9-18. [陈学新, 任顺祥, 张帆, 等. 天敌昆虫控害机制与可持续利用 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (1): 9-18]
- Cheng SL, Pang H, Zhang F. Comparative study on heat tolerance of Guangdong and Beijing populations of *Propylea japonica* (Thunberg) (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50 (4): 376-382. [程树兰, 张帆, 庞虹. 龟纹瓢虫广东种群和北京种群的耐热性比较研究 [J]. 昆虫学报, 2007, 50 (4): 376-382]
- Duan HT, Zhang WQ. The effect and economic benefit analysis of biocontrol against leafy vegetable pests [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (1): 41-45. [段海涛, 张文庆. 叶菜害虫的生物防治效果及经济效益分析 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (1): 41-45]
- Frank SD. Biological control of arthropod pests using banker plant systems: Past progress and future directions [J]. *Biological Control*, 2010, 52 (1): 1-8.
- Gao FH, Pan Y, Kong NC, *et al.* Progress of *Harmonia axyridis* release Technology [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51 (11): 2172-2173. [高福宏, 潘悦, 孔宁川, 等. 异色瓢虫释放技术概况 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51 (11): 2172-2173]
- Guo JY, Wang FH. Effect of three diets on development and fecundity of the ladybeetles *Harmonia axyridis* and *Propylaea japonica* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2001, 17 (3): 116-120. [郭建英, 万芳浩. 三种饲料对异色瓢虫和龟纹瓢虫的饲喂效果 [J]. 中国生物防治, 2001, 17 (3): 116-120]
- Chi H, Yang TC. Two-sex table and predation rate of *Propylaea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) [J]. *Environmental Entomology*, 2003, 32 (2): 327-333.

- Huang NX, Enkegaard A, Osborne LS, *et al.* The banker plant method in biological control [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2011, 30: 259-278.
- Li XW, Pan MZ, Liu TX. The theory and practice of using banker plant system for biological control of pests [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (4): 890-896. [李先伟, 潘明真, 刘同先. BANKER PLAN 携带天敌防治害虫的理论基础与应用 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (4): 890-896]
- Liu RJ, Zhang YW, Wen CW, *et al.* Study on the design and analysis methods of orthogonal experiment [J]. *Experimental Technology and Management*, 2010, 27 (9): 52-55. [刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究 [J]. 实验技术与管理, 2010, 27 (9): 52-55]
- Liu WX, Zhang YB, Wan FH. Preference and fitness of *Propylea japonica* (Thunberg) feeding cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover, and cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2008, 24 (4): 293-297. [刘万学, 张毅波, 万方浩. 龟纹瓢虫对烟粉虱和棉蚜取食选择及适合度比较研究 [J]. 中国生物防治, 2008, 24 (4): 293-297.
- Liu Y, Li LM, Meng XY, *et al.* Development and fecundity of *Propylea japonica* (Thunberg) fed on different aphids [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2013, 29 (4): 626-631. [柳洋, 李林懋, 门兴元, 等. 以不同蚜虫为食的龟纹瓢虫生长发育和繁殖规律研究 [J]. 中国生物防治学报, 2013, 29 (4): 626-631]
- Parolin P, Bresch C, Ruiz G, *et al.* Presence of arthropod pests on eight species of banker plants in greenhouse [J]. *Ecologia Aplicada*, 2013, 12 (1): 1-8
- Ren YP, Liu SX. Biological Characteristics of *Propylaea japonica* and its predation effect [J]. *Journal of Ningxia University (Natural Science Edition)*, 2006, 28 (2): 158-161. [任月萍, 刘生祥. 龟纹瓢虫生物学特性及其捕食效应的研究 [J]. 宁夏大学学报 (自然科学版), 2006, 28 (2): 158-161]
- Song CM, Deng JH. The resistant mechanism of *Myzus persicae* to pesticide in Yunnan Province [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2012, 34 (3): 310-314. [宋春满, 邓建华. 云南烟蚜抗药性机制研究 [J]. 环境昆虫学报, 2012, 34 (3): 310-314]
- Stacey DL. "Banker" plant production of *Encarsia formosa* Gahan and its use in the control of glasshouse whitefly on tomatoes [J] *Plant Pathol.*, 1977, 26 (2): 63-66
- Wang FH, Wang R, Ye ZC. Prospects of commercial products of insect natural enemies in China [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1999, 15 (3): 135-138. [万方浩, 王韧, 叶正楚. 我国天敌昆虫产品产业化的前景分析 [J]. 中国生物防治学, 1999, 15 (3): 135-138]
- Wang G, Wei JH. Studies on the selective feeding behaviour of the ladybeetle, *Propylaea japonica* (Thunberg) [J]. *Journal of Northwest Agriculture and Forest University*, 1989, 17 (2): 28-34. [王根, 魏建华. 龟纹瓢虫选择取食行为的研究 [J]. 西北农业大学学报, 1989, 17 (2): 28-34]
- Wong SK, Frank SD. Influence of banker plants and spiders on biological control by *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthrocoridae) [J]. *Biological Control*, 2012, 63 (2): 181-187.
- Xia SC, Zuo XH, Yan HH *et al.* Preliminary study on predation preference of *Harmonia axyridis* adults to some common insect pests in green house [J]. *China Plant Protection*, 2011, 31 (2): 8-10. [夏淑春, 左星海, 鄢洪海, 等. 异色瓢虫成虫对温室几种常见害虫的取食嗜性初步研究 [J]. 中国植保导刊, 2011, 31 (2): 8-10]
- Xiao YF, Chen JJ, Cantliffe D, *et al.* Establishment of papaya banker plant system for parasitoid, *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphilidae) against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in greenhouse tomato production [J]. *Biological Control*, 2011, 58 (3): 239-247
- Xiao YF, Mao RQ, Shen GQ, *et al.* Banker plant system: a new approach for biological control of arthropod pests [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28 (1): 1-8. [肖英方, 毛润乾, 沈国清, 等. 害虫生物防治新技术——载体植物系统 [J]. 中国生物防治学报, 2012, 28 (1): 1-8]
- Yan ZF, Yuan ZH, Wang ZY, *et al.* Predatory function of *Propylaea japonica* on *Rhopalosiphum maidis* [J]. *Plant Protection*, 2012, 38 (3): 40-43. [闫占峰, 袁志华, 王振营, 等. 龟纹瓢虫对玉米蚜的捕食作用研究 [J]. 植物保护, 2012, 38 (3): 40-43]
- Zhang JL, Zhao JW, Wu GX. Recent researching development about *Myzus persicae* (Sulzer) [J]. *Wuyi Science Journal*, 2000, 16 (6): 167-176. [张建亮, 赵景玮, 吴国星. 桃蚜研究新进展 [J]. 武夷科学, 2000, 16 (6): 167-176]
- Zhang SZ, Hua BZ, Xu XL. The predatory functional responses and searching efficiency of *Propylea japonica* on *Rhopalosiphum maidis* [J]. *Journal of Northwest Agriculture and Forest University (Natural Science Edition)*, 2005, 33 (5): 85-87, 94. [张世泽, 花保祯, 许向利. 龟纹瓢虫捕食玉米蚜的功能反应与寻找效应研究 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2005, 33 (5): 85-87, 94]
- Zhang SZ, Wu JX, Zhang Q, *et al.* Research advances of *Propylea japonica* (Thunberg) in biology, ecology and utilization [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2004, 22 (4): 206-210. [张世泽, 仵均祥, 张强, 等. 龟纹瓢虫生物生态学特性及饲养利用研究进展 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22 (4): 206-210]
- Zhu SR, Gao F, Liu XH, *et al.* Behaviors of *Propylea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae) in searching and preying cotton aphid *Aphis gossypii* (Coleoptera: Coccinellidae) in the cotton plant [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (2): 261-264. [朱三荣, 高峰, 刘向辉, 等. 龟纹瓢虫在棉株上对棉蚜的搜索与捕食行为 [J]. 应用生态学报, 2006, 17 (2): 261-264]