

瓢虫种群对棉花-玉米农田景观格局的响应*

王秀秀^{1,2**} 欧阳芳² 刘雨芳^{1***}

(1. 湖南科技大学生命科学院 湘潭 411201; 2. 中国科学院动物研究所 农业虫害
鼠害综合治理研究国家重点实验室 北京 100101)

摘要 本文研究了华北棉花-玉米农田景观格局中龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg) 和异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 种群动态,发现农田景观格局中作物类型(棉花与玉米)对两种瓢虫种群密度动态有显著的影响,两种天敌瓢虫都趋向在玉米斑块上栖息。两种瓢虫在棉花斑块上呈现出时间分化,其中龟纹瓢虫在棉花种植的前中期种群密度较大,后期较少;而异色瓢虫在棉花前中期种群密度较少,后期较多,表明农田景观中种植玉米有利于增强瓢虫对棉花害虫的控制作用。进一步的研究表明,农田景观系统中玉米斑块所占的面积比对龟纹瓢虫和异色瓢虫种群密度均产生显著影响。这说明在农田景观系统中开展区域性生态调控的时候,需要考虑到各类斑块组合的面积比例,从而有利于增强多种天敌昆虫的协调控害作用。

关键词 农田景观格局,龟纹瓢虫,异色瓢虫,种群动态,生物控害服务功能

Effects of farmland landscape patterns on the population dynamics of two lady beetles

WANG Xiu-Xiu^{1,2**} OUYANG Fang² LIU Yu-Fang^{1***}

(1. College of Life Sciences, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;
2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract Population dynamics of two predatory beetles, *Propylaea japonica* (Thunberg) and *Harmonia axyridis* (Pallas) were surveyed in agricultural landscapes composed of cotton and maize in North China. Crop composition (cotton and maize) was found to significantly affect population densities of the beetles in this agricultural landscape system. Population densities of both beetles in maize patches were higher than in cotton patches, and adults of both species prefer to inhabit maize plants. The population densities of the two species varied through time in the cotton patches, with more adults of *P. japonica* in the earlier and middle stages and fewer in the later stage, and fewer adults of *H. axyridis* in the earlier and middle stages and more in the later stage. These results suggest that maize can serve as a habitat or refuge for predatory beetles and its presence may enhance biological control of insect pests in cotton. The proportion of maize patches in the agricultural landscape significantly affected adult densities of these two predatory beetles. This suggests that habitat management with a suitable ratio and spatial arrangement of cotton and maize may enhance the biological control of pest insects.

Key words agricultural landscape pattern, *Propylaea japonica*, *Harmonia axyridis*, population dynamic, biocontrol service

在农田景观系统中,作物-害虫-天敌相互作用、相互制约而形成有机整体。系统内作物种类与数量的变化,势必影响着其内的害虫、天敌种群动态,乃至系统的整体结构与功能(戈峰, 2001)。农田景观格局与害虫和天敌种群动态过程的关系成为害虫区域性生态调控研究的重要内

* 资助项目:转基因生物新品种培育重大专项(2012ZX08011002)和国家自然科学基金(31200321)。

**E-mail: lzxiuxiu@foxmail.com

*** 通讯作者, E-mail: liuyf@hnust.edu.cn

收稿日期:2013-06-13,接受日期:2013-06-26

容之一(戈峰,1998,2001;赵紫华等,2010)。而区域性农田景观格局的特征可归纳为“质、量、形、度”4个方面,其中“质”表示农田景观中不同的景观组成,即斑块性质或类型,包括种植的作物类型,非作物种类等。“量”反映不同类型斑块的大小,面积比例等(欧阳芳和戈峰,2011),它们影响着景观中害虫和天敌种群动态。

近年来,关于景观特征与害虫管理相互关系的研究,已经从斑块面积大小和隔离度转移到了景观的多样性或者空间异质性上(Elliot and Mumford,2002;赵紫华等,2012a)。如在高度异质化的景观中,粘虫 *Mythimna separata* 幼虫的寄生率比简单景观高(Marino and Landis,1996)。油菜花粉甲 *Meligethes* spp. 的寄生率从田块边缘向田块中间迅速下降(Tscharntke and Brandl,2004)。景观结构也影响生物防治的有效性,生境破碎化和隔离会影响捕食者-猎物的相互作用,生境破碎化通过降低天敌的作用,增加了害虫大暴发的可能性。因此加强农田景观中自然天敌种群的栖境地管理,有助于充分利用天敌开展害虫的生态调控,增加天敌的生态服务功能(欧阳芳等,2013;赵紫华等,2012b)。

棉花(*Gossypium* spp.)和玉米(*Zea mays* L.)均属于我国华北地区重要的农作物,是华北地区农田景观格局重要的组成部分。在棉花-玉米农田景观生态系统中,棉蚜 *Aphis gossypii* (Glover)是棉花上的重要害虫,常给棉花造成重大损失(Wu and Guo,2005);玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis* (Fitch)是玉米上的重要害虫之一。而龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg)和异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas)作为农田常见的捕食性天敌,对棉蚜和玉米蚜(张世泽等,2005)等害虫具有很好的控制作用。我们前期通过以棉花-玉米农田景观格局为研究系统,发现龟纹瓢虫成虫在大尺度以蚜虫为导向产卵方式,选择玉米作为栖息地,而转向棉花上取食害虫,显示通过合理的配置棉花、玉米作物的组合可以达到增加瓢虫生物控制服务功能(Ouyang *et al.*,2012)。本文在此基础上,通过比较华北农田景观格局作物类型(棉花与玉米)及其面积比例对两种瓢虫种群动态的影响,进一步分析龟纹瓢虫和异色瓢虫种群对农田景观格局的响应特征,为保护和利用瓢虫并发挥其控害作用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试作物

棉花品种:转基因棉花(GK12),含Bt基因 *CryIA* (1 824 bp GFM *CryIA*, *CryIAb* 和 *CryIAc* 的融合基因),由中国农业科学院生物研究所和山东省梁山县种子公司联合提供;玉米品种:纪元1号,中国种子集团爱农实业有限公司。两种作物分别种植在位于河北省廊坊市九州镇炊庄的中国农业科学院廊坊科研中试基地内(39.53°N, 116.70°E)。

1.2 田间种植实验设计

以棉花和玉米两种作物的面积比与两种作物的排列形状为农田作物景观空间处理因素,以研究不同农田格局中龟纹瓢虫与异色瓢虫种群动态变化。

棉花-玉米两种作物景观布局设计:棉花-玉米2种作物面积比例设置5个处理水平,即棉花与玉米面积比分别为:100/0(A1、B1、C1、D1、E1)、75/25(A2、B2、C2、D2、E2)、50/50(A3、B3、C3、D3、E3)、25/75(A4、B4、C4、D4、E4)、0/100(A5、B5、C5、D5、E5)。详细安排见图1。整个试验区长宽约为85 m×85 m,分成25个小区,每个小区大小为15 m×15 m,小区之间的间隔3~4 m。棉花和玉米播种株距0.26 m,行距0.46 m,每667 m²种植约3 500株。于2008年5月1日前后种植该两种作物。常规栽培管理(灌溉和人工除草)。

根据景观生态学格局-过程-尺度的理论与方法,本试验将整个试验区设定为棉花-玉米农田景观区域,上述25个试验小区称为景观小区,组成景观小区的棉花-玉米2种作物类型分别包括棉花斑块和玉米斑块。

1.3 田间调查方法

从2008年6月上旬开始调查,至同年9月底结束,每2周调查1次,全年共调查8次。采用网格格式调查方式,在每个棉花-玉米构成的景观小区内以行距方向为间隔一行调查一行,株距方向间隔两株调查一株方法调查。系统记录每次调查日期、景观小区编号、行号和株号,以及计数棉花或玉米植株上龟纹瓢虫和异色瓢虫的数量。

1.4 统计分析

采用SPSS 17.0.1(SPSS Inc. Chicago, IL,

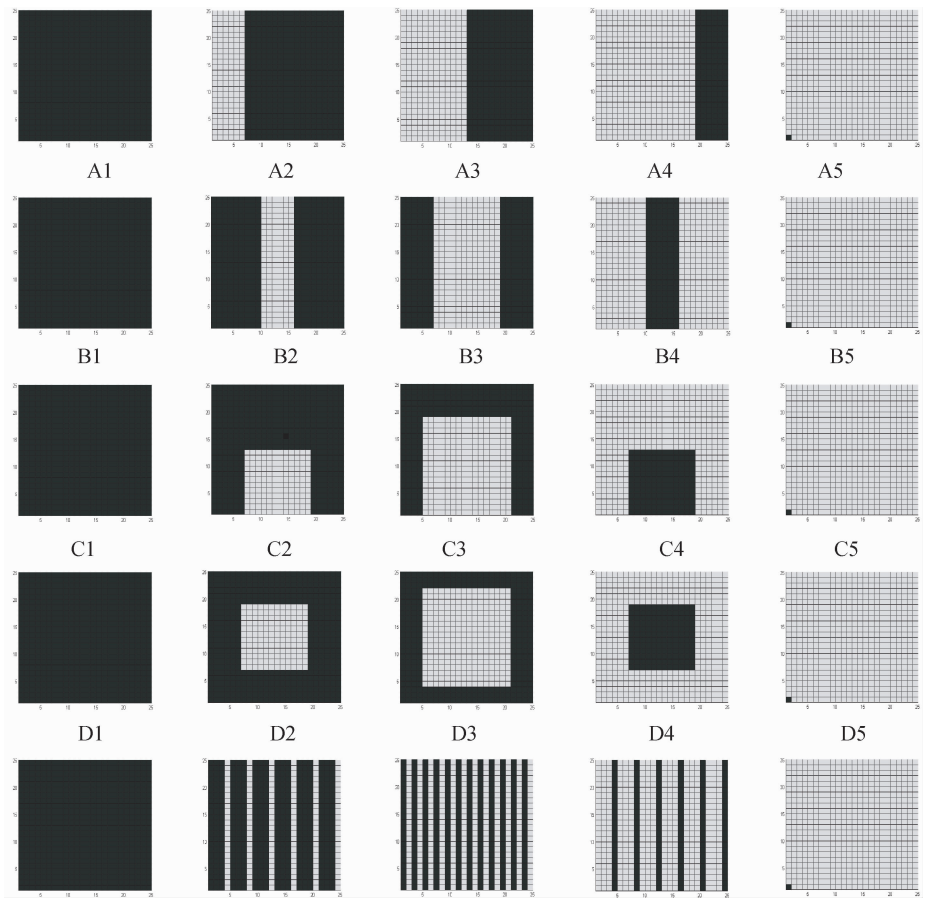


图 1 玉米和棉花种植区示意图

Fig. 1 Spatial layout of the field experiment

整个试验区长宽为 85 m × 85 m,灰白部分为棉花种植区,黑色为玉米种植区。种植区分为 25 个小区。
小区之间的间隔为 3 ~ 4 m。

Field was 85 m × 85 m and divided into 25 plots 15 m × 15 m in size. Gap between neighboring plots was 3 ~ 4 m.
Grey and black areas in plot indicate the planting of cotton and maize respectively.

USA)统计分析软件分析处理间试验数据的显著性差异。采用单因素方差分析(ANOVA)方法分别比较棉花和玉米斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫种群密度之间的差异、龟纹瓢虫在棉花斑块和玉米斑块上的密度差异、异色瓢虫在棉花斑块和玉米斑块上的密度差异。利用多重比较分析农田景观中龟纹瓢虫与异色瓢虫在玉米斑块面积比为 25%、50%、75% 和 100% 的种群密度差异。

2 结果与分析

2.1 农田作物类型(棉花或玉米)对两种瓢虫种群动态的影响

2.1.1 棉花斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫种群动态的比较 通过比较农田景观系统中棉花斑块上

龟纹瓢虫和异色瓢虫种群发生动态,分时期来看,调查前中期从 6 月 18 日开始直到 8 月 22 日期间,棉花上的龟纹瓢虫数量均高于异色瓢虫;其中 8 月 9 日达到显著差异水平($F = 7.058, df = 1, 6, P = 0.038$),8 月 22 日显著性差异水平呈极显著($F = 19.732, df = 1, 6, P = 0.004$)。调查后期 9 月份,异色瓢虫数量高于龟纹瓢虫。但 2 种瓢虫数量在 9 月 4 日($F = 1.179, df = 1, 6, P = 0.319$)和 9 月 17 日($F = 3.187, df = 1, 4, P = 0.149$)并没有达到显著差异(图 2)。整个调查时期来看,农田景观系统中棉花斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫在不同调查时间的种群累计数量差异并不显著($F = 0.552, df = 1, 6, P = 0.485$)(图 3)。

2.1.2 玉米斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫种群动

态的比较 对两种瓢虫在玉米斑块上种群数量的调查结果表明,从6月18日开始直到9月4日期间,玉米斑块上的龟纹瓢虫数量均高于异色瓢虫;其中8月9日($F = 204.299, df = 1, 4, P < 0.001$)和8月22日($F = 27.137, df = 1, 6, P = 0.002$)达到极显著差异水平(图2)。整个调查时期,农田景观系统中龟纹瓢虫在玉米斑块上不同调查时间的种群累计数量多于异色瓢虫并呈现极显著差异($F = 30.25, df = 1, 6, P = 0.002$)(图3)。

2.1.3 龟纹瓢虫在棉花斑块和玉米斑块上种群动态的比较 通过比较棉花斑块和玉米斑块上的龟纹瓢虫种群动态,从6月18日开始直到9月17日期间,龟纹瓢虫在玉米斑块上的数量均高于棉花斑块;在6月18日($F = 12.375, df = 1, 6, P = 0.013$)、8月9日($F = 13.232, df = 1, 5, P = 0.015$)、9月4日($F = 7.207, df = 1, 6, P = 0.036$)和9月17日($F = 14.639, df = 1, 4, P = 0.019$)达到极显著差异水平,尤其是7月27日($F = 14.925, df = 1, 6, P = 0.008$)和8月22日($F = 38.332, df = 1, 6, P = 0.001$),龟纹瓢虫在棉花斑块和玉米斑块上达到极显著差异水平。整体来

看,农田景观系统中龟纹瓢虫种群累计数量在玉米斑块上极显著多于棉花斑块($F = 292.201, df = 1, 6, P < 0.001$)(图3)。

2.1.4 异色瓢虫在棉花斑块和玉米斑块上种群动态的比较 通过比较棉花斑块和玉米斑块上的异色瓢虫种群动态,从6月18日开始直到9月17日期间,异色瓢虫在玉米斑块上的种群数量均高于棉花斑块,其中9月4日($F = 8.674, df = 1, 6, P = 0.026$)和9月17日($F = 9.352, df = 1, 4, P = 0.038$)两种瓢虫种群差异显著,8月9日($F = 17.752, df = 1, 5, P = 0.008$)、8月22日($F = 29.51, df = 1, 6, P = 0.002$)差异极显著。玉米斑块上异色瓢虫数量在调查前期和中期较少,而后期较高。棉花斑块上异色瓢虫数量在调查前期、中期和后期均较少。整体来看,农田景观系统中异色瓢虫种群累计数量在玉米斑块上极显著多于棉花斑块($F = 26.172, df = 1, 6, P = 0.002$)(图3)。

2.2 农田作物面积(斑块大小)对两种瓢虫种群动态的影响

基于上一节棉花斑块和玉米斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫种群密度动态的差异分析结果,龟纹

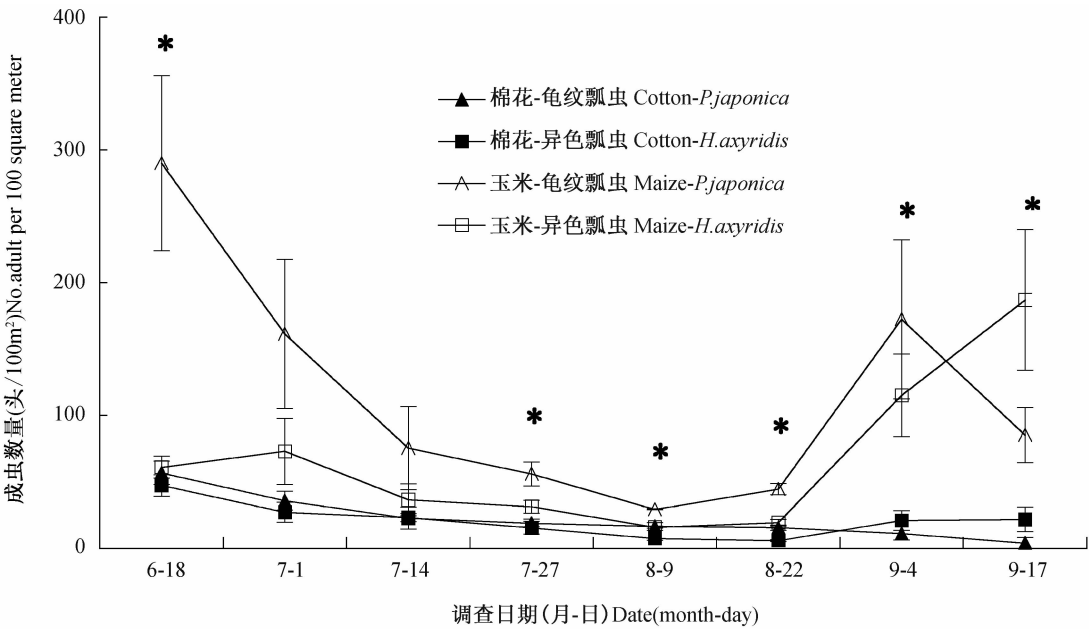


图2 龟纹瓢虫和异色瓢虫在棉花和玉米斑块上的种群动态

Fig.2 Dynamics of *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* in cotton patches and maize patches

图中数据为平均值±标准误,*表示龟纹瓢虫和异色瓢虫种群密度在P<0.05水平上差异显著。

Data are presented as mean ± SE. * indicates significant difference between densities of *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* at 0.05 level.

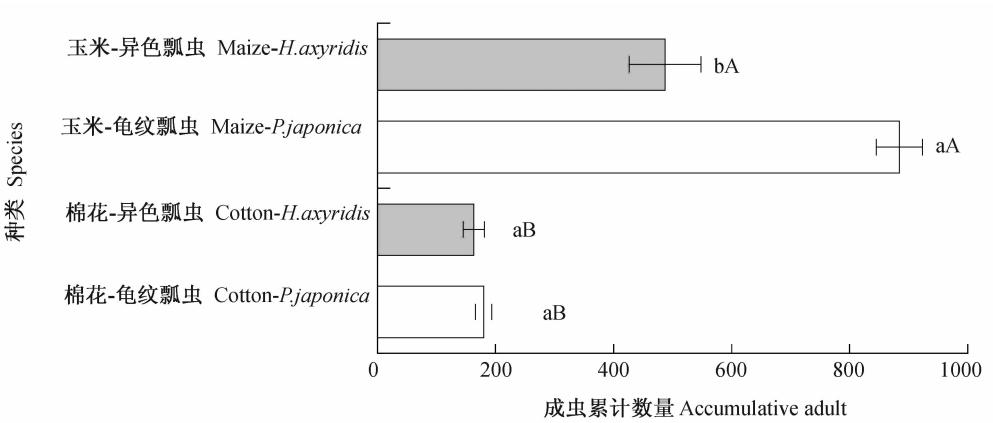


图 3 农田景观系统中不同调查时间棉花和玉米斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫累计数量
Fig. 3 Accumulative amount of *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* on cotton patches and maize patches at all sample dates of field landscape plots

图中数据为平均值 ± 标准误,小写字母表示在同一农田作物类型上 2 种瓢虫在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,大写字母表示在不同农田作物类型上同种瓢虫在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。
Data are presented as mean ± SE, and followed by different lowercase letters indicate significant difference between accumulative amounts of *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* on the maize patches or cotton patches at 0.05 level, while followed by different uppercase letters indicate significant difference in accumulative amounts of *P. japonica* or *H. axyridis* between on maize patches and cotton patches at 0.05 level.

瓢虫和异色瓢虫种群主要栖息在玉米斑块上,进一步分析不同玉米斑块面积比对龟纹瓢虫和异色瓢虫种群密度动态的影响。

2.2.1 25% 玉米斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫种群动态的比较 在农田景观系统中,当玉米面积比例为 25% 时,调查前期 6 月 18 日和 7 月 1 日玉米斑块上龟纹瓢虫数量多于异色瓢虫;两者在 6 月 18 日差异水平极显著 ($F = 16.358, df = 3, 16, P = 0.004$),而这个时期则是龟纹瓢虫种群密度的高峰期。调查后期从 9 月 4 日到 9 月 17 日,异色瓢虫的种群密度高于龟纹瓢虫,并且出现其高峰期(图 4,表 1)。在玉米斑块上,不同调查时间龟纹瓢虫种群累计数量显著多于异色瓢虫数量 ($F = 9.047, df = 3, 16, P = 0.017$)(图 5)。

2.2.2 50% 玉米斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫种群动态比较 玉米面积比例为 50% 时,玉米斑块上调查前中期从 6 月 18 日到 9 月 4 日龟纹异色瓢虫数量多于异色瓢虫;两者在 7 月 1 日 ($F = 18.303, df = 3, 16, P = 0.003$) 和 7 月 14 日 ($F = 14.414, df = 3, 16, P = 0.005$) 达到极显著差异水平(图 4,表 1)。而调查后期 9 月 17 日,异色瓢虫的种群密度高于龟纹瓢虫,并且出现其高峰期。在玉米斑块上,不同调查时间种群累计的龟纹瓢

虫和异色瓢虫种群密度之间没有显著差异 ($F = 2.199, df = 3, 16, P = 0.176$)(图 5)。

2.2.3 75% 玉米斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫种群动态比较 玉米面积比例为 75% 时,玉米斑块上调查前中期龟纹异色瓢虫数量多于异色瓢虫;两者在 8 月 22 日达到显著差异水平 ($F = 6.087, df = 3, 16, P = 0.039$),在 7 月 14 日达到极显著差异水平 ($F = 17.593, df = 3, 16, P = 0.003$)。而调查后期的 9 月 17 日,异色瓢虫的种群密度高于龟纹瓢虫,并且出现其高峰期(图 4,表 1)。在玉米斑块上,不同调查时间种群累计的龟纹瓢虫数量远多于异色瓢虫数量,但差异水平不显著 ($F = 4.414, df = 3, 16, P = 0.069$)(图 5)。

2.2.4 100% 玉米斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫种群动态比较 玉米面积比例为 100% 时,玉米斑块上龟纹异色瓢虫数量均多于异色瓢虫;两者在 8 月 22 日达到显著差异水平 ($F = 7.252, df = 3, 16, P = 0.027$),在 6 月 18 日 ($F = 587.711, df = 3, 16, P = 0.0001$) 和 7 月 27 日 ($F = 63.021, df = 3, 16, P = 0.0001$) 达到极显著差异水平(图 4,表 1)。在玉米斑块上,不同调查时间种群累计的龟纹瓢虫数量多于异色瓢虫数量并且差异水平极显著 ($F = 114.369, df = 3, 16, P < 0.001$)(图 5)。

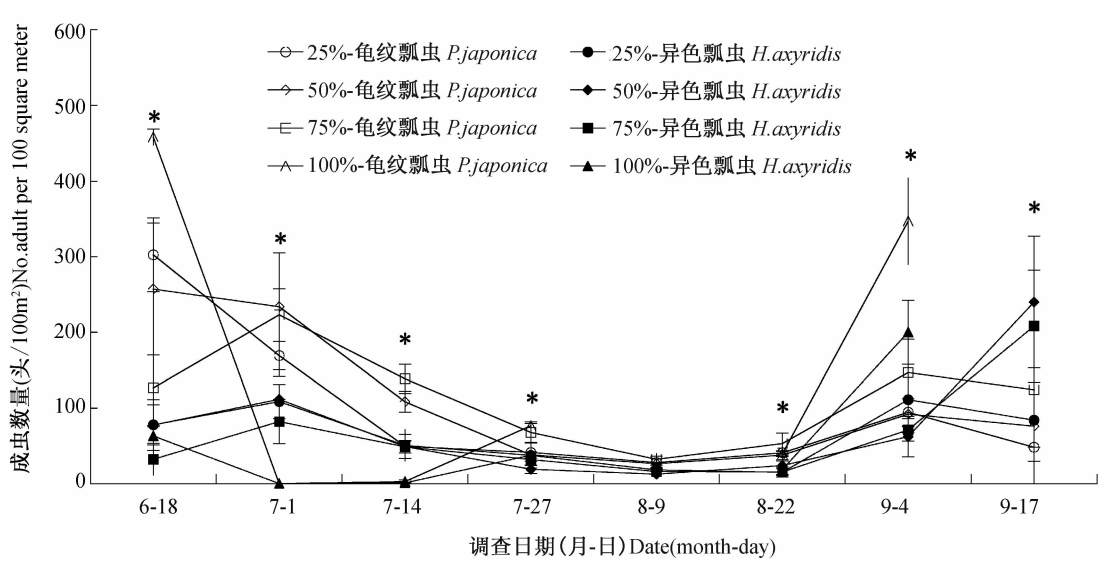
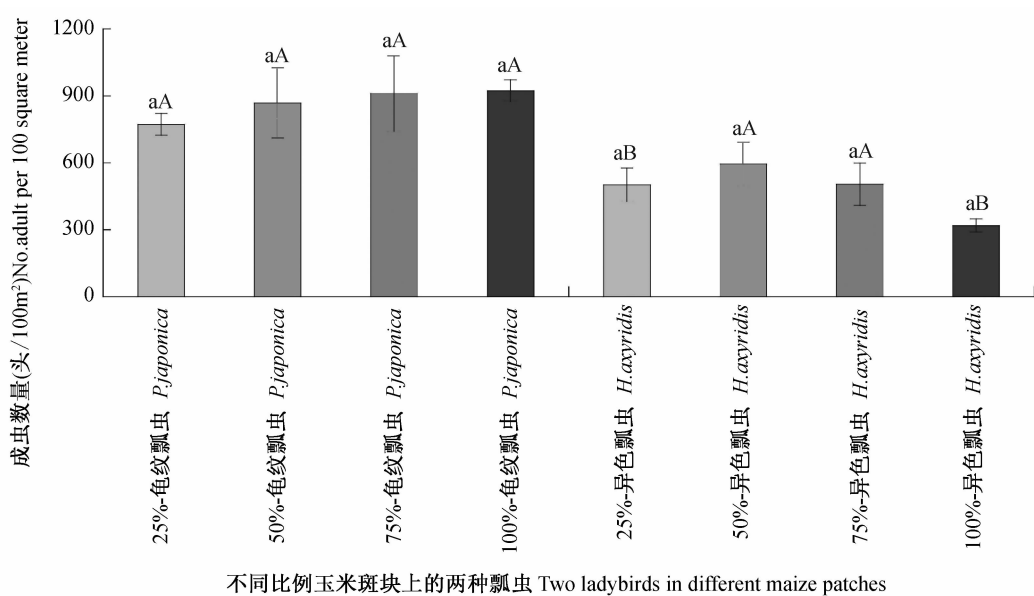


图 4 龟纹瓢虫和异色瓢虫种群在不同比例玉米斑块上种群动态

Fig. 4 Dynamics of *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* in different maize patches in field landscape plots

图中数据为平均值 ± 标准误, * 表示龟纹瓢虫和异色瓢虫种群密度在不同比例玉米斑块 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Data are presented as mean ± SE. * indicates significant difference between densities of *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* on maize patches of area proportions at 0.05 level.



不同比例玉米斑块上的两种瓢虫 Two ladybirds in different maize patches

图 5 农田景观系统中不同比例玉米斑块上龟纹瓢虫和异色瓢虫在不同调查时间种群累计数量

Fig. 5 Accumulative amount of *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* on maize patches of area proportions in agricultural landscapes system

图中数据为 mean ± SE, 不同小写字母表示同种瓢虫在不同面积比例的玉米斑块上 $P < 0.05$ 水平上差异显著, 不同大写字母表示相同面积比例的玉米斑块上 2 种瓢虫在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Data are presented as mean ± SE, and followed by different lowercase letters indicate significant difference between accumulative amounts of *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* on maize patches of area proportions at 0.05 level, while followed by different uppercase letters indicate significant difference between accumulative amounts of *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* on maize patches of the same area proportion at 0.05 level.

表 1 农田景观系统中两种瓢虫种群密度在不同面积比例玉米斑块上的方差分析

Table 1 Analysis of variance for population densities of two predatory beetles, *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* on maize patches of area proportions

瓢虫	日期(月-日) Date(month-day)	玉米斑块面积比 Maize			
		25%	50%	75%	100%
龟纹瓢虫 <i>P. japonica</i>	6 - 18	302.4 ± 48.8 abA	257.1 ± 87.2 bcA	126.6 ± 49.7 cA	458.0 ± 10.7 aA
	7 - 1	169.2 ± 18.6 aA	233.8 ± 23.5 aA	223.2 ± 81.7 aA	
	7 - 14	49.4 ± 16.0 bA	108.1 ± 14.0 aA	138.4 ± 19.5 aA	2.8 ± 2.1 cA
	7 - 27	41.2 ± 11.7 abA	37.9 ± 16.0 bA	67.7 ± 14.2 abA	76.7 ± 2.9 aA
	8 - 9	27.9 ± 8.7A	26.3 ± 10.0A	32.2 ± 7.9A	
	8 - 22	40.9 ± 10.8 aA	37.5 ± 6.1 aA	53.1 ± 13.8 aA	39.2 ± 3.4 aA
	9 - 4	94.3 ± 17.8 bA	92.0 ± 24.8 bA	146.7 ± 44.0 bA	346.7 ± 57.4 aA
	9 - 17	48.0 ± 48.0A	76.0 ± 46.7A	124.0 ± 41.2A	
异色瓢虫 <i>H. axyridis</i>	6 - 18	77.8 ± 26.6 aB	77.4 ± 33.5 aA	32.1 ± 21.2 aA	63.2 ± 12.3 aB
	7 - 1	108.4 ± 22.5 aA	111.5 ± 16.3 aB	82.0 ± 29.3 aA	
	7 - 14	50.7 ± 21.1 aA	48.9 ± 7.0 aB	48.6 ± 8.3 aB	0.7 ± 0.7 bA
	7 - 27	37.4 ± 17.0 aA	19.0 ± 5.5 aA	31.8 ± 7.9 aA	37.6 ± 4.0 aB
	8 - 9	18.2 ± 2.2A	12.5 ± 4.7A	15.9 ± 4.8A	
	8 - 22	14.9 ± 4.7 aA	24.1 ± 13.4 aA	15.2 ± 6.7 aB	18.7 ± 6.8 aB
	9 - 4	110.9 ± 35.5 abA	62.1 ± 26.6 bA	71.0 ± 15.0 bA	200.0 ± 42.2 aA
	9 - 17	84.0 ± 36.0A	240.0 ± 87.0A	208.0 ± 74.2A	

注:表中数据为平均值 ± 标准误,不同小写字母表示同种瓢虫在不同比例玉米斑块上在 $P < 0.05$ 的水平上差异显著,不同大写字母表示相同比例玉米斑块上不同种瓢虫在 $P < 0.05$ 水平上的差异显著。

Data are presented as mean ± SE, and followed by different lowercase letters indicate significant difference between maize patches of various area proportions at 0.05 level, while followed by different uppercase letters indicate significant difference between *Propylaea japonica* and *Harmonia axyridis* on maize patches of the same area proportion at 0.05 level.

2.2.5 不同比例玉米斑块上龟纹瓢虫与异色瓢虫种群动态比较 在农田景观系统中,玉米斑块面积比例影响异色瓢虫种群密度,在7月14日($F = 4.234, df = 3, 16, P = 0.022$)和9月4日($F = 3.999, df = 3, 16, P = 0.027$)达到显著影响水平。玉米斑块面积比例影响龟纹瓢虫种群密度,在6月18日($F = 5.951, df = 3, 16, P < 0.001$),7月14日($F = 17.512, df = 3, 16, P < 0.001$)和9月4日($F = 9.436, df = 3, 16, P = 0.001$)达到显著影响水平。

3 讨论

3.1 农田景观作物类型对龟纹瓢虫和异色瓢虫

种群动态的影响

农田景观格局中不同类型作物的组合种植是调节天敌生物控制方式之一。如棉花和小麦邻作,可以将小麦成熟期的瓢虫等天敌转移到相邻的棉田中,控制棉田边缘早期发生的苗蚜(Men *et al.*, 2004)。本文结果表明,在棉花和玉米组成的农田景观系统中,玉米斑块上的龟纹瓢虫和异色瓢虫的种群密度均明显多于棉花斑块。我们以前的结果表明龟纹瓢虫在玉米斑块上栖息,而前期主要取食棉花斑块上的蚜虫等害虫(Ouyang *et al.*, 2012),这个结果说明棉花种植区同时种植玉米有利于增加龟纹瓢虫的数量,从而增强其对棉花害虫的控制作用。结合本文的结果,龟纹瓢

虫和异色瓢虫种群在玉米上的数量均多于棉花,同样可以说明玉米斑块上的异色瓢虫种群同样可以增强对棉花害虫的控制作用。

本文结果进一步表明,在农田景观系统中,龟纹瓢虫和异色瓢虫两种天敌昆虫在棉花斑块上存在时间差异,如龟纹瓢虫种群密度在棉花种植前期和中期较多,后期较少;而异色瓢虫种群密度在棉花种植前期和中期较少,后期较多。这两种天敌瓢虫在时间上种群密度的差异有利于对棉花害虫的控制作用。一方面,棉花种植前期和中期龟纹瓢虫多,而异色瓢虫少,这样减少两种瓢虫在棉花前中期相同生态位的竞争;另一方面,当一种天敌昆虫龟纹瓢虫在棉花的种植后期其种群密度逐渐降低的时候,另一种天敌昆虫异色瓢虫在此期间种群密度逐渐增加。结果说明在农田景观系统中当一种天敌瓢虫种群数量减少的时候,其他天敌种群数据会相应增加,从而保证系统中天敌群落的控害作用并不会减弱。

基于此,我们提出多作物农田景观系统中“多天敌种群时间分化的协同控害”假说。虽然在棉花和玉米的农田景观系统中,龟纹瓢虫和异色瓢虫在棉花斑块上种群密度呈现时间差异,而两种瓢虫在玉米斑块上种群密度在时间上并没有表现差异性。在棉花和玉米的农田景观系统中,棉花斑块上的害虫是两种瓢虫的主要食物来源,棉花斑块上两种瓢虫的时间差异性避免对食物的竞争。相对于棉花植株,玉米植株的叶片组成的小生境空间内温度较低和湿度较高,这样玉米植株成为了两种瓢虫适宜的栖息场所。结果说明玉米植株生境空间有利于两种瓢虫的栖息共存。

3.2 农田景观作物面积大小对龟纹瓢虫和异色瓢虫种群动态的影响

在景观生态学中,许多数据是与面积相联系的,或称面积数据 (areal data),在分析此类数据时,常出现其结果随着面积单元的定義的不同出现变化的问题。这就是可塑性面积单元问题 (modifiable areal unit problem),简称 MAUP (邬建国,2000)。可塑性面积单元问题是空间格局和现象研究的一个根本问题 (Openshaw,1984;赵紫华等,2011)。在农田景观生态系统中,可塑性面积单元问题可理解为组成景观格局的作物面积的变化所带来的一些生态学现象或者效应,如作物上

昆虫种群数量变化和群落多样性的变化。本文的结果表明在棉花和玉米的农田景观系统中玉米斑块不同的面积比对龟纹瓢虫和异色瓢虫种群密度产生显著影响。这说明在农田景观系统中开展区域性生态调控的时候,需要考虑到各类斑块组合的面积大小或者面积比例,从而有利于增强多种天敌昆虫的协调控害作用。

参考文献 (References)

- Elliot SL, Mumford JD, 2002. Organic, integrated and conventional apple production: why not consider the middle ground? *Crop Prot.*, 21(5):427–429.
- Marino PC, Landis DA, 1996. Effect of landscape structure on parasitoid diversity and parasitism in agroecosystems. *Ecol. Appl.*, 6(1):276–284.
- Men X, Ge F, Yardim E, Parajulee M, 2004. Evaluation of winter wheat as a potential relay crop for enhancing biological control of cotton aphids. *BioControl*, 49:701–714.
- Openshaw S, 1984. Ecological fallacies and the analysis of areal census data. *Environ. Plant A*, 16(1):17–31.
- Ouyang F, Men X, Yang B, Su J, Zhang Y, Zhao Z, Ge F, 2012. Maize benefits the predatory beetle, *Propylea japonica* (Thunberg), to provide potential to enhance biological control for aphids in cotton. *PLoS ONE*, 7(9): e44379.
- Tscharntke T, Brandl R, 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annu. Rev. Entomol.*, 49:405–430.
- Wu KM, Guo YY, 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. *Annu. Rev. Entomol.*, 50: 31–52.
- 戈峰, 1998. 害虫生态调控的原理与方法. 生态学杂志, 17(2):38–42.
- 戈峰, 2001. 害虫区域性生态调控的理论、方法及实践. 昆虫知识, 38(5):337–341.
- 欧阳芳, 戈峰, 2011. 农田景观格局变化对昆虫的生态学效应. 应用昆虫学报, 48(5):1177–1183.
- 欧阳芳, 赵紫华, 戈峰, 2013. 昆虫的生态服务功能. 应用昆虫学报, 50(2):305–310.
- 邬建国, 2000. 景观生态学—格局、过程、尺度与等级. 北京:高等教育出版社. 95–109.
- 张世泽, 花保祯, 许向利, 2005. 龟纹瓢虫捕食玉米蚜的功能反应与寻找效应研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 33(4):85–87.
- 赵紫华, 关晓庆, 贺达汉, 2012a. 农业景观结构对麦蚜寄

生蜂群落组成的影响. 应用昆虫学报, 49(1): 220 – 229.

赵紫华, 贺达汉, 杭佳, 石云, 赵映书, 王颖, 2011. 设施农业景观下破碎化麦田麦蚜及寄生蜂种群的最小适生面积. 应用生态学报, 22(1):206 – 214.

赵紫华, 欧阳芳, 贺达汉, 2012b. 农业景观中不同生境界面麦蚜天敌的边缘效应与溢出效应. 中国科学:生命科学, 42(10):825 – 840.

赵紫华, 石云, 贺达汉, 杭佳, 赵映书, 王颖, 2010. 不同农业景观结构对麦蚜种群动态的影响. 生态学报, 30(23):6380 – 6388.