



黄未末, 周晓静, 李超, 刘娟, 廖江花, 马虎, 丁新华. 非寄主植物间套作对马铃薯甲虫种群及其天敌的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (5): 1168 - 1176.

# 非寄主植物间套作对马铃薯甲虫种群及其天敌的影响

黄未末<sup>1</sup>, 周晓静<sup>1</sup>, 李超<sup>1\*</sup>, 刘娟<sup>1</sup>, 廖江花<sup>1</sup>, 马虎<sup>1</sup>, 丁新华<sup>2</sup>

(1. 新疆农业大学农学院, 农林有害生物监测与安全防护重点实验室, 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆农业科学院植物保护研究所/农业农村部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室, 乌鲁木齐 830091)

**摘要:** 农田作物布局作为害虫生态调控的重要内容, 一直是保护性生物防治的研究热点。为进一步明确马铃薯田块作物间套作种植模式对马铃薯甲虫种群动态的影响, 探索马铃薯甲虫可持续防控的新思路与新方法, 本研究在马铃薯甲虫发生期对马铃薯-玉米、马铃薯-向日葵、马铃薯单作 3 种作物间套作模式进行田间种群数量调查, 分析比较不同种植模式下的马铃薯甲虫种群动态差异。结果表明: 在马铃薯甲虫发生期, 马铃薯单作第二代幼虫为害高峰期出现晚于两种间套作模式, 第一代成虫为害高峰期早于两种间套作模式。第二代幼虫为害低峰期(8月26日-9月7日)时, 马铃薯-玉米间套作幼虫量显著低于马铃薯单作 ( $P < 0.05$ ), 马铃薯-玉米间套作幼虫量显著低于马铃薯-向日葵 ( $P < 0.05$ ), 整个调查期间, 马铃薯单作虫量要大于两种间套作。此外, 天敌昆虫群落调查表明: 间套作玉米异色瓢虫量显著高于马铃薯单作 ( $P < 0.05$ ), 间套作向日葵的草蛉、食蚜蝇虫量高于马铃薯单作。间套作向日葵或玉米对越冬代马铃薯甲虫的扩散有影响, 马铃薯播种初期间套作向日葵或玉米能在一定程度上阻隔马铃薯甲虫的定殖扩散。

**关键词:** 马铃薯甲虫; 间套作; 种群动态; 种植模式; 生态调控

**中图分类号:** Q968.1; S433

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-0858 (2020) 05-1168-09

## Effect of non-host plant intercropping on Colorado potato beetle population and its natural enemies

HUANG Wei-Mo<sup>1</sup>, ZHOU Xiao-Jing<sup>1</sup>, LI Chao<sup>1\*</sup>, LIU Juan<sup>1</sup>, LIAO Jiang-Hua<sup>1</sup>, MA Hu<sup>1</sup>, DING Xin-Hua<sup>2</sup> (1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests, Urumqi 830052, China; 2. Research Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Intergraded Management of Harmful Crop Vermin of China North-western Oasis, Ministry of Agriculture, China, Urumqi 830091, China)

**Abstract:** As an important part of pest ecological regulation, farmland crop layout has always been a research hotspot of protective biological control. In order to further clarify the effect of intercropping planting patterns on potato field crops on the population dynamics of Colorado potato beetles and to explore new ideas and methods for sustainable control of Colorado potato beetles. In this study, field population surveys were conducted on three crop intercropping modes of potato-corn, potato-sunflower and potato

基金项目: 农业农村部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室开放基金 (KFJJ201905); 国家自然科学基金 (31660545); 中国博士后基金 (2017M613305XB); 新疆农业大学博士后流动站资助项目; 国家重点研发计划项目 (2018YFD0200802); 新疆维吾尔自治区 2016 年高层次人才引进工程项目; 新疆农业大学研究生科研创新项目 (XJAUGRI2018002)

作者简介: 黄未末, 男, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态与害虫综合治理, E-mail: wmhuang625@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 李超, 男, 博士, 副教授, 研究方向为昆虫生态与害虫综合治理, E-mail: lichaoyw@163.com

收稿日期 Received: 2019-11-20; 接受日期 Accepted: 2019-12-24

monocropping during the period of Colorado potato beetle occurrence. The differences in population dynamics of Colorado potato beetles under different planting patterns were analyzed and compared. The results showed that during the Colorado potato beetle occurrence period, the peak period of the second generation of potato single crop larvae appeared later than the two intercropping modes, and the peak period of the first generation adult larvae was earlier than the two intercropping modes. During the low peak period of the second generation larvae ( August 26–September 7 ), the amount of potato–corn intercropping larvae was significantly lower than that of potato monocropping ( $P < 0.05$ ) and the amount of potato–corn intercropping larvae was significant. It was lower than that of potato–sunflower ( $P < 0.05$ ). During the whole investigation period, the amount of potato monocropping was larger than that of two intercropping. In addition, surveys of natural enemy insect communities showed that the amount of *Harmonia axyridis* in intercropping corn was significantly higher than that in potato monocropping ( $P < 0.05$ ) and the amount of Syrphidae and Chrysopidae in intercropping corn was higher than that in potato monocropping. Intercropping sunflower or corn has an effect on the spread of wintering Colorado potato beetles. Interplanting sunflower or corn during the early sowing period can block the colonization and spread of Colorado potato beetles to a certain extent.

**Key words:** Colorado potato beetle; intercropping; population dynamics; planting mode; ecological regulation

马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* ( Say ) 隶属鞘翅目 Coleoptera 叶甲科 Chrysomelidae, 是世界上著名的检疫性有害生物 ( Khelifi *et al.*, 2015; 李超等, 2016), 对全球马铃薯产业造成的损失巨大 ( 李超等, 2014)。该虫早在 2007 年就被我国列为进境检疫性昆虫 ( 李超等, 2009)。当前, 国家正在推进马铃薯主粮化战略 ( 郭文超等, 2014), 西北地区是我国马铃薯产业发展的重要区域。新疆作为“丝绸之路经济带”的关键区, 其与沿线国家贸易往来逐步加深, 外来生物入侵问题日趋严峻 ( 郭文超等, 2017)。马铃薯甲虫传入新疆的二十多年来 ( 郭文超等, 2014), 由于普遍、长期的化学防治, 该虫已对多种药剂产生不同程度的抗药性 ( 郭文超等, 2011), 同时造成了一定的环境破坏。长期进行化学防治以及农药的大量滥用、误用不仅严重破坏了农田生态系统, 降低了生物多样性, 还使害虫抗药性发展迅速, 造成害虫频发和再猖獗, 陷入越用药治越难治的恶性循环 ( 陈学新等, 2013)。

当下, 我国减少农药用量、增加生物防治是大体趋势, 而生态调控又是近年来保护性生物防治的重要研究方向。农田作物布局作为害虫生态调控的重要内容, 一直是生物防治的研究热点 ( Settle *et al.*, 1996; 赵紫华等, 2013; Dreyer and Gratton, 2014)。害虫生态调控研究主要是在农田

尺度上的农田生态系统中进行 ( 刘云慧等, 2012), 主要体现在农田生态系统内的作物耕作与栽培、品种组合与布局、农事操作与管理、天敌保护与害虫防治等的有机结合, 以实现害虫种群调控 ( 赵紫华等, 2015)。已有研究表明, 农田植被多样性可增加捕食性天敌和寄生性天敌所需的食物 ( 特别是花蜜和花粉)、避难所和替代寄主等基本资源, 从而直接影响农田生态系统内害虫种类的组成和数量 ( Pickett and Bugg, 2010; 戴飘飘等, 2015)。因此, 进行合理的田间设计种植诱集植物吸引天敌, 创造有利于天敌的环境条件 ( Landis *et al.*, 2000), 能达到抑制害虫种群发生, 减小环境污染、增强农业生态系统的控害保益功能, 最终实现害虫种群控制的可持续性。

根据害虫生态调控的机理, 通过在田间尺度上对作物实行间套作 ( 黄承建等, 2013; 刘英超等, 2013; 覃潇敏等, 2015; 张绪成等, 2016), 并结合了适当的植物选择与配置 ( 戴飘飘等, 2015), 为天敌提供食物来源和栖息地, 干扰害虫对寄主植物的寻找与定位, 以促进害虫的生物防治。本文运用作物间套作技术开展对马铃薯甲虫生态调控的研究, 以期在农田尺度上将该虫的生态调控赋予更加具体、更有可操作性的内容, 为后续马铃薯甲虫生态调控方面的研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2018年6月-10月在新疆农业大学三坪农场实验基地进行,三坪农场位于新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市西郊(N 43° 56′ 8.89″, E 87° 20′ 44.42″),西与昌吉市隔头屯河相望。气候特点是干旱少雨、蒸发量大、日照时间长。

### 1.2 试验设计

试验处理:马铃薯-玉米间套作(A)、马铃薯-向日葵间套作(B)、马铃薯单作(CK),各区域内均选取6块3 m×4 m小区用于种植马铃薯,A处理其它位置种植玉米,B其它位置种植向日

葵,CK其它位置不种作物。所有小区采用东西行向种植,上述3种处理的每行宽度0.5 m,3个区域带长均为13 m、带宽10 m,区域间有两个1 m带长的间隔区,每个实验处理区域面积分别为130 m<sup>2</sup>。马铃薯穴距20 cm,玉米穴距40 cm。间套作和单作带宽、带长相同,小区面积相同,同种作物行距、穴距、密度均相同。马铃薯选用甘肃农业科学院马铃薯研究所提供的荷兰15原原种,每穴播1枚,重约5 g。玉米选用新疆农业大学农学院提供的超甜1号,每穴播2粒。向日葵选自甘肃武威西凉蔬菜种苗有限公司的美国高产食葵王,每穴播2粒。调查期间试验地不使用杀虫剂,肥水及大田管理同当地生产,定期除草。

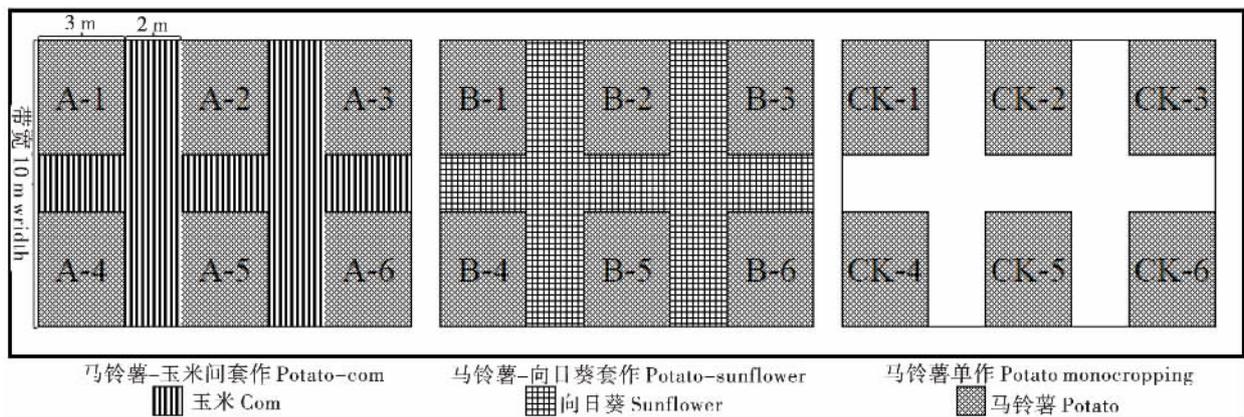


图1 间套作和单作田间布置示意图

Fig. 1 Crop patterns in intercropping and monocropping experiment plots

### 1.3 调查方法

#### 1.3.1 马铃薯甲虫种群数量调查方法

于2018年7月4日至2018年9月7日马铃薯甲虫田间发生为害期,采用五点随机取样法每隔7 d调查一次虫量,具体方法如下:马铃薯-玉米间套作区域的A-1、A-2、A-3、A-4、A-5、A-6小区均选取五点,每点调查1行上的连续2株。马铃薯-向日葵间套作、马铃薯单作调查方法同理。调查时分别记录马铃薯甲虫成虫,1龄(L1)、2龄(L2)、3龄(L3)、4龄(L4)幼虫的数量。

#### 1.3.2 天敌昆虫与中性昆虫种群数量调查方法

在2018年7月6日于各处理中心区域布放马来氏网,每处理一个。马来氏网收集瓶要盛放不少于1/3体积的无水乙醇,并分别于2018年8月3日、8月17日、9月20日将收集瓶取回,分类

统计昆虫种类、数量并记录采集人、采集区域和采集时间,前两次收集后换上新的装有无水乙醇的收集瓶,采用针插法制作昆虫标本,通过其形态学鉴定昆虫的种类。

### 1.4 统计分析方法

采用Microsoft Excel 2010处理数据和统计,使用SPSS 19.0软件中LSD法,对幼虫和成虫的高峰期与低峰期试验数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 马铃薯甲虫种群数量动态差异分析

#### 2.1.1 三种种植模式下的马铃薯甲虫幼虫消长动态

自2018年7月4日至2018年9月7日,3种植植模式中幼虫种群数量均出现1个明显高峰期,

结合前人针对新疆马铃薯甲虫种群田间发生规律的研究, 该高峰期马铃薯甲虫第二代幼虫发生为害盛期, 为 8 月 8 日 - 8 月 20 日; 7 月 22 日 - 8 月 2 日和 8 月 26 日 - 9 月 7 日分别为第一代幼虫和第二代幼虫田间发生为害低峰期。不同间套作模式马铃薯甲虫发生数量及为害程度也存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 具体表现为: 在第一代幼虫发生为害低峰期 (7 月 22 日 - 8 月 2 日), 马铃薯 - 玉米间套作田块的平均虫量比马铃薯单作高 57 头/百株; 马铃薯 - 向日葵间套作田块的平均虫量比单作马铃薯田高 12 头/百株。在第二代幼虫发生为害高峰期 (8 月 8 日 - 8 月 20 日), 马铃薯 - 玉米间套作田块的平均虫量比马铃薯单作低 52 头/百株; 马铃薯 - 向日葵间套作田块的平均虫

量比单作马铃薯田低 356 头/百株。在第二代幼虫发生为害低峰期 (8 月 26 日 - 9 月 7 日), 马铃薯 - 玉米间套作田块的平均虫量比马铃薯单作低 179 头/百株; 马铃薯 - 向日葵间套作田块的平均虫量比单作马铃薯田低 58 头/百株。

在马铃薯整个生长期内的 12 次幼虫发生量调查表明, 虫量平均数显示马铃薯 - 向日葵间套作 (156 头/百株) < 马铃薯 - 玉米间套作 (251 头/百株) < 马铃薯单作 (308 头/百株)。在本试验中, 马铃薯播种初期间套作并无优势, 到马铃薯块茎增长长期两种间套作种植模式对幼虫种群数量增长有影响, 因此在马铃薯播种初期进行间作或套作能在一定程度上降低田块内马铃薯甲虫幼虫种群密度 (图 2)。

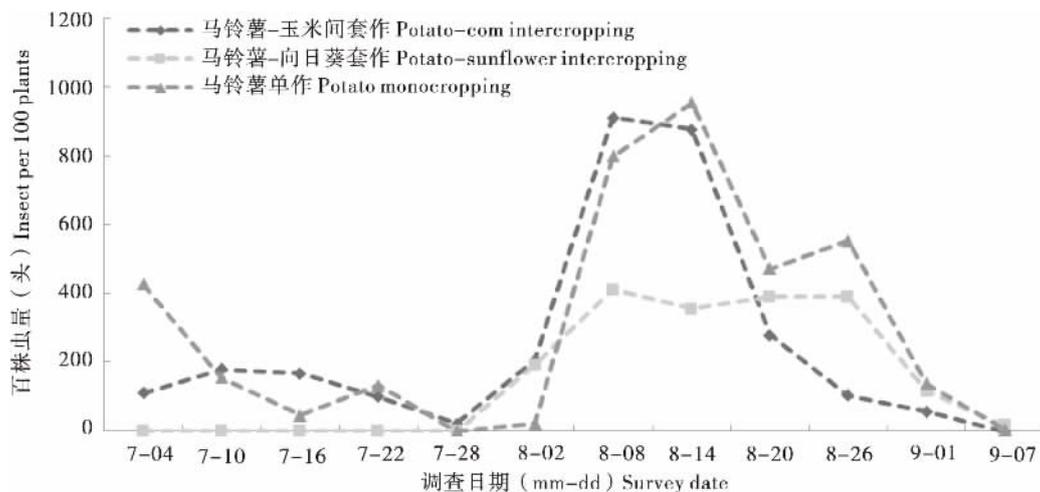


图 2 三种种植模式下的幼虫种群动态

Fig. 2 Dynamics of larvae population under three planting pattern

### 2.1.2 三种种植模式下的马铃薯甲虫成虫消长动态

从 2018 年 7 月初到 9 月上旬, 成虫种群在三种种植模式中均有 2 个发生高峰期, 分别为第一代成虫发生为害盛期 7 月 22 日 - 8 月 8 日和第二代成虫发生为害盛期 8 月 20 日 - 9 月 7 日; 8 月 8 日 - 8 月 14 日为第一代成虫发生为害末期。在第一代成虫发生为害高峰期 (7 月 22 日 - 8 月 8 日), 马铃薯 - 玉米间套作田块的平均虫量比马铃薯单作高 36 头/百株; 马铃薯 - 向日葵间套作田块的平均虫量比单作马铃薯田低 7 头/百株。在第一代成虫发生为害低峰期 (8 月 8 日 - 8 月 14 日), 马铃薯 - 玉米间套作田块的平均虫量比马铃薯单作低 2 头/百株; 马铃薯 - 向日葵间套作田块的平均

虫量比单作马铃薯田低 5 头/百株。在第二代成虫发生为害高峰期 (8 月 20 日 - 9 月 7 日), 马铃薯 - 玉米间套作田块的平均虫量比马铃薯单作低 14 头/百株; 马铃薯 - 向日葵间套作田块的平均虫量比单作马铃薯田高 16 头/百株。

在马铃薯整个生长期内的 12 次成虫发生量调查表明, 虫量平均数显示马铃薯 - 向日葵间套作 (43 头/百株) < 马铃薯单作 (44 头/百株) < 马铃薯 - 玉米间套作 (48 头/百株)。由于成虫的迁飞能力, 在第一个高峰期时, 会进行迁移定殖, 随后会在定殖区域交配产卵, 孵化出的幼虫由于迁移能力不及成虫, 大多数会在此区域完成其幼虫时期并化蛹, 待成虫出土, 随发生成虫的高峰期。因此, 在马铃薯播种初期进行间作或套作对

越冬代马铃薯甲虫定殖有影响 (图 3)。

### 2.1.3 三种种植模式下的马铃薯甲虫总虫量消长动态

从总虫量来看, 自马铃薯的苗期到块茎增长期, 两种间套作种植模式总虫量增长量慢于单作

种植模式, 12 次调查虫量数据显示, 总虫量马铃薯-向日葵间套作 (199 头/百株) < 马铃薯-玉米间套作 (299 头/百株) < 马铃薯单作 (353 头/百株) (图 4)。

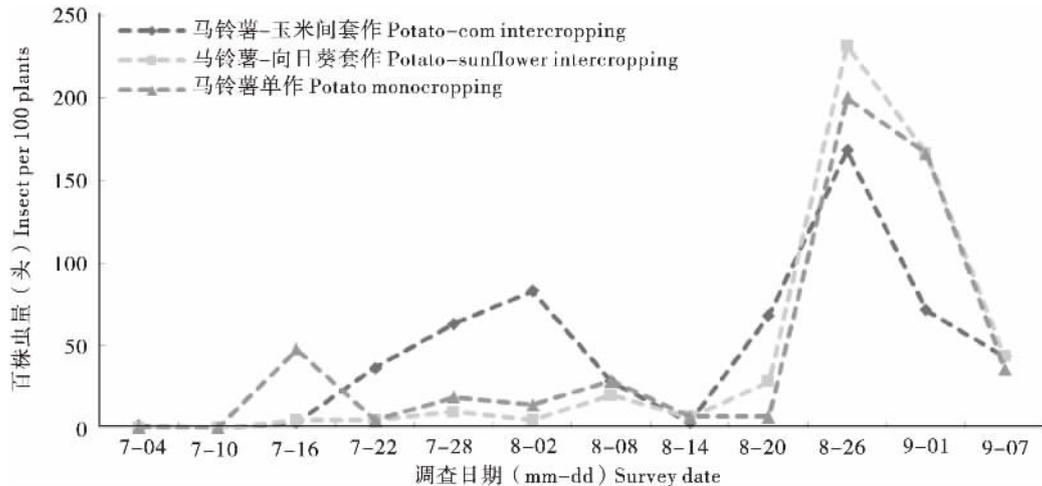


图 3 三种种植模式下的成虫种群动态

Fig. 3 Dynamics of adults population under three planting patterns

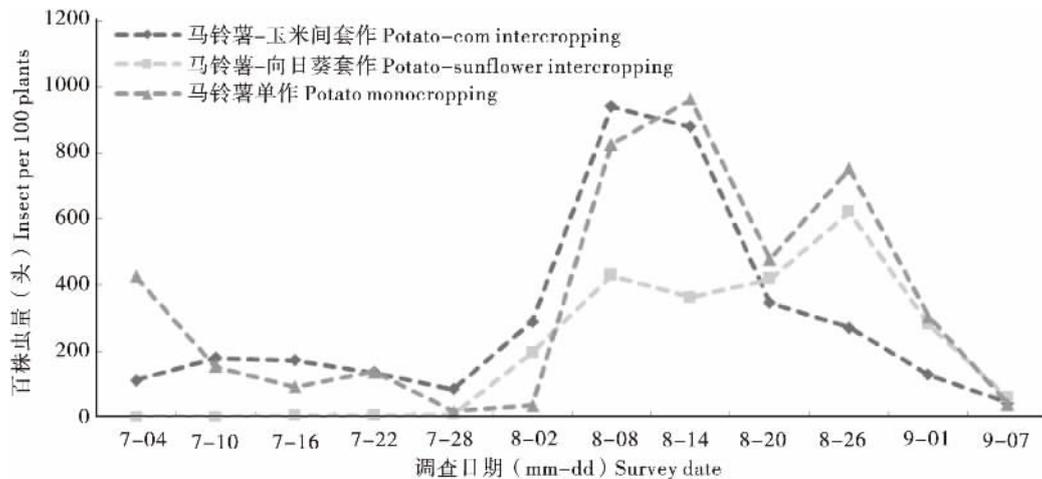


图 4 三种种植模式下的总虫量数量动态

Fig. 4 Dynamics of total insect number under three planting patterns

### 2.1.4 马铃薯甲虫各虫态高峰期与低峰期分析

第一代幼虫为害低峰期 7 月 22 日 - 8 月 2 日与第二代幼虫为害高峰期 8 月 8 日 - 8 月 20 日, 两种间套作种植模式均未出现优于马铃薯单作的显著性差异, 第二代幼虫为害低峰期 8 月 26 日 - 9 月 7 日, 马铃薯-玉米间套作幼虫量显著低于马铃薯单作 ( $P=0.037 < 0.05$ ), 马铃薯-玉米间套作幼虫量显著低于马铃薯-向日葵 ( $P=0.023 < 0.05$ ) (图 5)。幼虫 12 次调查平均值数据分析表明, 未出现两种间套作优于单作的显著性差异。

就成虫而言, 第一代成虫为害高峰期 7 月 22 日 - 8 月 8 日和第二代成虫为害高峰期 8 月 20 日 - 9 月 7 日; 第一代成虫为害低峰期 8 月 8 日 - 8 月 14 日, 两种间套作种植模式均未出现优于马铃薯单作的显著性差异。成虫 12 次调查平均值数据分析表明, 未出现两种间套作优于单作的显著性差异。从总虫量来看, 12 次调查平均值也未有间套作优于单作的显著性差异。

### 2.2 天敌昆虫群落组成差异分析

由马来氏网收集到的天敌昆虫共计 967 头, 隶

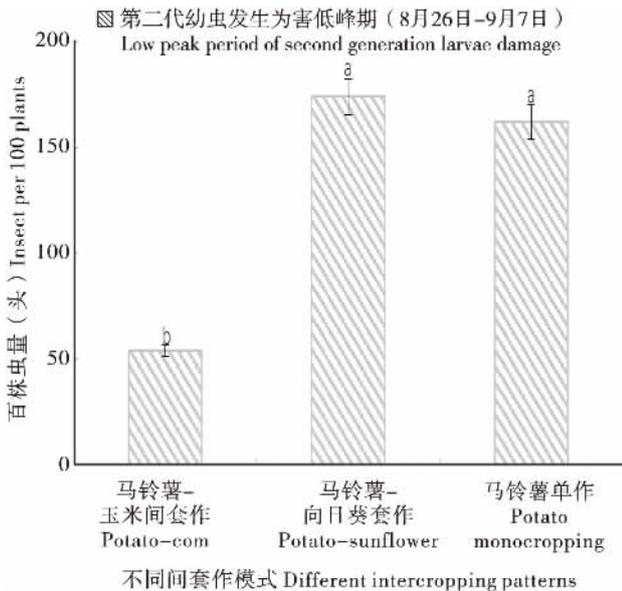


图 5 不同种植模式对第二代幼虫种群数量的影响  
Fig. 5 Effects of different planting patterns on the population of second-generation larvae

注: 不同小写字母在 0.05 水平差异显著。Different small letters indicate significant at the 0.05 level.

属于 7 个科, 其中捕食性天敌昆虫 6 个科, 占天敌总种数的 88.62%, 寄生性天敌 1 个科 (表 1)。就天敌数量而言, 试验区域的天敌总数量不大, 在整个生态群落中处于劣势地位, 其中以异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 最多 (380 头) 占总体数的 39.30%, 且马铃薯-玉米间套作异色瓢虫量显著高于马铃薯单作 ( $P=0.037 < 0.05$ ), 将三个区域优势天敌列出 (图 6)。结果表明, 马铃薯-玉米间套作天敌数量最多, 占比 36.81%。马铃薯-向日葵间套作天敌数量第二, 占比 34.54%, 马铃薯单作天敌数量最小。另外, 马铃薯-玉米间套作中的异色瓢虫数量是马铃薯单作

的 2.78 倍, 马铃薯-向日葵间套作的异色瓢虫数量是马铃薯单作的 1.22 倍。马铃薯-玉米间套作中的草蛉科 Chrysopidae 数量是马铃薯单作的 0.73 倍, 马铃薯-向日葵间套作的草蛉科数量是马铃薯单作的 1.04 倍。马铃薯-玉米间套作中的姬蜂科 Ichneumonidae 数量是马铃薯单作的 1.56 倍, 马铃薯-向日葵间套作的姬蜂科数量是马铃薯单作的 1.52 倍。综合天敌数据, 较单作田而言, 两种间套作种植模式能吸引更多的天敌昆虫, 马铃薯-玉米间套作与马铃薯-向日葵间套作则各有优势。

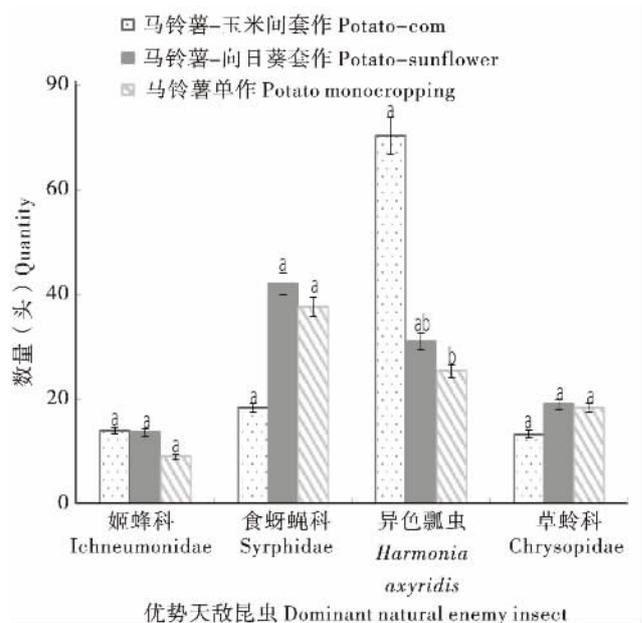


图 6 三种种植模式下的优势天敌昆虫  
Fig. 6 Dominant natural enemy insects under three planting patterns

注: 不同小写字母在 0.05 水平差异显著。Different small letters indicate significant at the 0.05 level.

表 1 三种种植模式下的天敌昆虫数量

Table 1 Number of natural enemy insects population under three planting patterns

科/种 Family/Species	数量 (头) Quantity			占总天敌昆虫数比例 (%) Proportion of total natural enemy insects		
	A	B	CK	A	B	CK
胡蜂科 Vespidae	6	9	6	0.62	0.93	0.62
姬蜂科 Ichneumonidae	42	41	27	4.34	4.24	2.79
拟步甲科 Tenebrionidae	2	6	0	0.21	0.62	0.00
食蚜蝇科 Syrphidae	55	126	113	5.69	13.03	11.69
异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas)	211	93	76	21.82	9.62	7.86
泥蜂科 Sphecidae	0	2	0	0.00	0.21	0.00
草蛉科 Chrysopidae	40	57	55	4.14	5.89	5.69

### 2.3 中性昆虫群落组成差异分析

马来氏网收集到的中性昆虫 397 头，隶属于 10 个科（表 2）。就中性昆虫数量而言，三种种植模式区域的中性昆虫数量偏小，马铃薯单作蝇科 *Muscidae* 虫量显著高于马铃薯-玉米间套作（ $P = 0.026 < 0.05$ ），将 3 个区域优势中性昆虫列出

（图 7）。结果表明，马铃薯-向日葵间套作中性昆虫数量最多，占比 41.06%。马铃薯单作中性昆虫数量第二，占比 34.51%，马铃薯-玉米间套作中性昆虫数量最少。中性昆虫作为种植区域内生物群落的重要组成部分，在农田生态系统中不可或缺。

表 2 三种种植模式下的中性昆虫数量

Table 2 Number of natural insects population under three planting patterns

科/种 Family/Species	数量 (头) Quantity			占总中性昆虫数比例 (%) Proportion of total neutral insects		
	A	B	CK	A	B	CK
茎蜂科 Cephidae	1	4	0	0.25	1.01	0.00
丽蝇科 Calliphoridae	3	3	1	0.76	0.76	0.25
麻蝇科 Sarcophagidae	3	7	0	0.76	1.76	0.00
蜜蜂科 Apidae	3	9	4	0.76	2.27	1.01
食蚜蝇姬蜂 <i>Diplozon laetatorius</i> (Fabricius)	69	80	35	17.38	20.15	8.82
叶蝉科 Cicadellidae	3	3	0	0.76	0.76	0.00
蝇科 Muscidae	11	56	97	2.77	14.11	24.43
羽蛾科 Pterophoridae	3	0	0	0.76	0.00	0.00
缘蝽科 Coreidae	1	0	0	0.25	0.00	0.00
盾蝽科 Scutelleridae	0	1	0	0.00	0.25	0.00

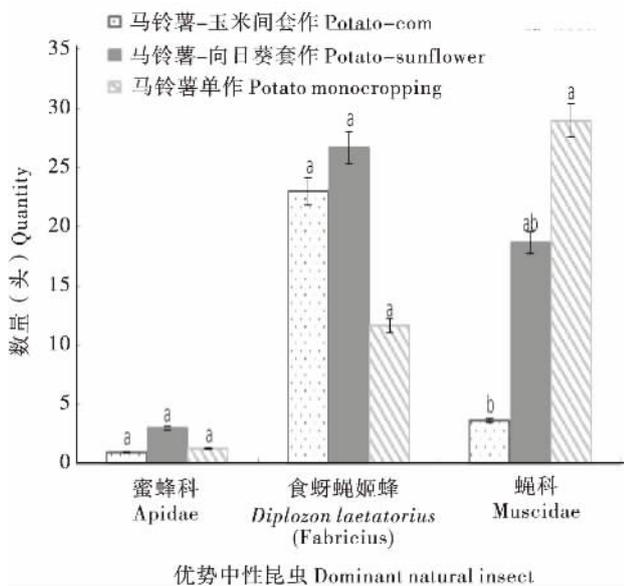


图 7 三种种植模式下的优势中性昆虫

Fig. 7 Dominant natural insects under three planting patterns  
注: 不同小写字母在 0.05 水平差异显著。Different small letters indicate significant at the 0.05 level.

### 3 结论与讨论

通过分析所调查的数据和马铃薯甲虫幼虫、成虫的消长规律动态图，去掉了前三次波动较大数据，加上前人针对新疆马铃薯甲虫种群发生规律的研究，得出本试验田块各虫态的高峰期和低峰期。本试验所得到的不同种植模式下马铃薯甲虫及天敌的发生量亦不相同，但 3 种植模式下的马铃薯甲虫种群消长规律基本一致，可以明确的是在田块内，间套作向日葵或玉米对越冬代马铃薯甲虫的扩散有影响，马铃薯播种初期间套作向日葵或玉米能在一定程度上阻隔马铃薯甲虫的定殖扩散。

根据前人的研究表明，解释多样性作物布局控害的理论主要包括资源集中假说和天敌假说。资源集中假说认为特定植物的组合种植能直接影响害虫对寄主植物的发现和利用；天敌假说认为

植物多样性上可以为天敌提供更多的庇护场所和其它资源,使天敌种类和数量更加丰富,从而提高对田块害虫的控制力 (Hughes *et al.*, 2012)。通过在主栽作物田块间作或邻作其它作物可调控自然天敌的发生动态及数量 (张娟等, 2011; 田耀加等, 2012; Tajmiri *et al.*, 2016)。本试验中单作马铃薯田块害虫总量高于马铃薯-玉米间套作和马铃薯-向日葵间套作,但马铃薯-玉米间套作种植模式中某些天敌总量却低于单作马铃薯田块,如草蛉科,某些中性昆虫总量低于单作马铃薯田,如蝇科,且马铃薯-玉米间套作中性昆虫的总量要低于单作马铃薯田。因此,间套作虽然降低了害虫的种群数量和危害程度,但并没有显著的提高天敌的比例,天敌的种群数量以及对害虫的生物控制能力并没有得到明显的提高。这可能是由于间套作的耕地、滴灌、除草等对昆虫群落造成了的干扰作用,降低了整个昆虫群落的个体数和害虫的危害程度。间套作能够降低害虫种群数量,但带来了天敌等控制性因素也随之下降。因此,仅依靠单一的种植模式调整,就本研究结果分析,是不能保证马铃薯生产安全。在实际生产中,应当配合种植模式调整,将连片种植区进行合理配置,从景观格局层面进行调控才能显示出生态调控带来的显著效果。另外,在马铃薯甲虫发生初期进行人工干预,能有效降低其初始虫量以便能够及时控制其危害。

### 参考文献 (References)

- Chen XX, Ren SX, Zhang F, *et al.* Mechanism of pest management by natural enemies and their sustainable utilization [J]. *Chinese Bulletin of 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]
- Dai PP, Zhang XZ, Xiao CZ, *et al.* Habitat management and plant configuration for biological pest control in agricultural landscapes [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23 (1): 9-19. [戴飘飘, 张旭珠, 肖晨子, 等. 农业景观害虫控制生境管理及植物配置方法 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23 (1): 9-19]
- Dreyer J, Gratton C. Habitat linkages in conservation biological control: Lessons from the land - water interface [J]. *Biological Control*, 2014, 75 (75): 68-76.
- Guo WC, Deng CS, Li GQ, *et al.* Progress in biological control techniques of Colorado potato beetle in China [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48 (12): 2217-2222. [郭文超, 邓春生, 李国清, 等. 我国马铃薯甲虫生物防治技术研究进展 [J]. 新疆农业科学, 2011, 48 (12): 2217-2222]
- Guo WC, Tu EX, Cheng DF, *et al.* Main progress on biology & ecology of Colorado potato beetle and countermeasures of its monitoring and controlling in China [J]. *Plant Protection*, 2014, 40 (1): 1-11. [郭文超, 吐尔逊, 程登发, 等. 我国马铃薯甲虫主要生物学、生态学技术研究进展及监测与防控对策 [J]. 植物保护, 2014, 40 (1): 1-11]
- Guo WC, Zhang XL, Wu W, *et al.* Current situation, trends and research progress of invasive alien species in agriculture and forestry in oases in Xinjiang, China [J]. *Journal of Biosafety*, 2017, 26 (1): 1-11. [郭文超, 张祥林, 吴卫, 等. 新疆农林外来入侵生物的发生现状、趋势及其研究进展 [J]. 生物安全学报, 2017, 26 (1): 1-11]
- Huang CJ, Zhao SY, Wang LC, *et al.* Effect of potato/maize intercropping on photosynthetic characteristics and yield in two potato varieties [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39 (2): 330-342. [黄承建, 赵思毅, 王龙昌, 等. 马铃薯/玉米套作对马铃薯品种光合特性及产量的影响 [J]. 作物学报, 2013, 39 (2): 330-342]
- Hughes JB, Daily GC, Ehrlich PR. Conservation of insect diversity: A habitat approach [J]. *Conservation Biology*, 2010, 14 (6): 1788-1797.
- Khelifi M, Ladurantaye YD, Almady S, *et al.* Field trials of a mechanical prototype designed to release insect predators to control the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) [J]. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2015, 58 (3): 577-584.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture [J]. *Annual Review of Entomology*, 2000, 45 (1): 175-201.
- Li C, Liu H, Guo WC, *et al.* Effects of precipitation on the distribution of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), in Xinjiang [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36 (8): 2348-2354. [李超, 刘怀, 郭文超, 等. 降水对新疆马铃薯甲虫分布的影响 [J]. 生态学报, 2016, 36 (8): 2348-2354]
- Li C, Peng H, Cheng DF, *et al.* Diffusion of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), adults in field [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (2): 359-366. [李超, 彭赫, 程登发, 等. 马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 [J]. 生态学报, 2014, 34 (2): 359-366]
- Liu YC, Tang L, Zheng Y. Researches on soil water use efficiency in maize-potato intercropping system [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2013, 28 (6): 871-877. [刘英超, 汤利, 郑毅. 玉米马铃薯间作作物的土壤水分利用效率研究 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2013, 28 (6): 871-877]
- Liu YH, Zhang X, Zhang XZ, *et al.* Ecoagricultural landscape for biodiversity conservation and ecological service maintenance [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20 (7): 819-824. [刘云慧, 张鑫, 张旭珠, 等. 生态农业景观与生物多样性保护及生态服务维持 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20 (7): 819-824]
- Pickett CH, Bugg RL. Enhancing biological control: Habitat

- management to promote natural enemies of agricultural pests [J]. *Journal of Applied Entomology*, 2010, 126 (4): 204–205.
- Qin XM, Zheng Y, Tang L, *et al.* Effects of maize and potato intercropping on rhizosphere microbial community structure and diversity [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41 (6): 919–928. [覃潇敏, 郑毅, 汤利, 等. 玉米与马铃薯间作对根际微生物群落结构和多样性的影响 [J]. 作物学报, 2015, 41 (6): 919–928]
- Settle WH, Ariawan H, Astuti ET, *et al.* Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey [J]. *Ecology*, 1996, 77 (7): 1975–1988.
- Tajmiri P, Fathi SAA, Golizadeh A, *et al.* Effect of strip – intercropping potato and annual alfalfa on populations of *Leptinotarsa decemlineata* (Say) and its predators [J]. *International Journal of Pest Management*, 2016: 273–279.
- Tian YJ, Liang GW, Zeng L, *et al.* Influence of intercropping on dynamics of insect pests, natural enemies and the damage of *Ostrinia furnacalis* in sweet corn field [J]. *Journal of Plant Protection*, 2012, 39 (1): 1–6. [田耀加, 梁广文, 曾玲, 等. 间作对甜玉米田主要害虫与天敌动态的影响 [J]. 植物保护学报, 2012, 39 (1): 1–6]
- Wan FH, Guo JY, Zhang F. Research on Biological Invasions in China [M]. Beijing: Science Press, 2009. [万方浩, 郭建英, 张峰. 中国生物入侵研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2009]
- Zhang J, Liang GW, Zeng L, *et al.* The differential dynamics of *cnaphalocrocis medinalis*, planthoppers and their natural enemies in two rice paddy ecosystems [J]. *International Journal of Pest Management*, 2011, 38 (1): 1–8. [张娟, 梁广文, 曾玲, 等. 不同稻田生态系统中稻纵卷叶螟、稻飞虱及其天敌密度的差异 [J]. 植物保护学报, 2011, 38 (1): 1–8]
- Zhang XC, Wang HL, Yu XF, *et al.* The study on the effect of potato and beans intercropping with whole field plastics mulching and ridge-furrow planting on soil thermal-moisture status and crop yield on semi-arid area [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49 (3): 468–481. [张绪成, 王红丽, 于显枫, 等. 半干旱区全膜覆盖垄沟间作种植马铃薯和豆科作物的水热及产量效应 [J]. 中国农业科学, 2016, 49 (3): 468–481]
- Zhao ZH, Gao F, He DH, *et al.* Ecologically based pest management at multiple spatial scales [J]. *Scientia Sinica Vitae*, 2015, 45 (8): 755–767. [赵紫华, 高峰, 贺达汉, 等. 多尺度空间下害虫生态调控理论与应用 [J]. 中国科学: 生命科学, 2015, 45 (8): 755–767]
- Zhao ZH, Ou YF, Men XQ, *et al.* Habitat management in biological control [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2013, 50 (4): 879–889. [赵紫华, 欧阳芳, 门兴元, 等. 生境管理——保护性生物防治的发展方向 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (4): 879–889]