应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2018, 55(2): 268–278. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2018.037

# 农作物栽培制度与害虫发生程度的关系*

陈 芳[1**] 王小艺[2***] 周 进[1] 段祥坤[1] 罗燕娜[1]

（1. 新疆生产建设兵团第六师农业科学研究所，五家渠 831300；
2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 国家林业局森林保护学重点实验室，北京 100091）

**摘 要** **【目的】** 为了解单一作物种植模式、间作模式、以及农田防护林带对作物病虫害发生程度的影响及原因。**【方法】** 本研究分别在夏秋两个季节调查了六师垦区内西部、中部和东部 3 个农场、4 种作物、4 种生境内的害虫和天敌种类及其丰富度情况。**【结果】** 秋季害虫和天敌的种类和数量均显著高于夏季，秋季害虫和天敌种群密度分别是夏季的 4.7 倍和 2.7 倍。不同农场害虫种类和数量存在显著差异，以芳草湖农场害虫平均虫口数量最高，是奇台农场的 2.8 倍。不同作物地害虫种类存在明显不同，但虫口数量无显著差异。间作地和林带明显比单作和地边害虫种类多，但单作地害虫数量是间作地的 2.1 倍。不同的调查地点、作物类别和生境条件下天敌的种类和数量均存在显著差异，以奇台农场天敌数量最高，是共青团农场的 2.9 倍。林带内的天敌数量最丰富，是单作地的 7.5 倍，靠近地边的作物植株上天敌数量也较单一种植作物上高出 3.1 倍，间作地天敌数量是单作地的 1.6 倍。六师垦区内共发现 8 种捕食性瓢虫，其中以多异瓢虫 *Adonia variegata* (Goeze)丰富度最高，占 31.92%以上；其次为深点食螨瓢虫，约占 26.54%。因此多异瓢虫 *Adonia variegata* (Goeze)是六师垦区内最有保护利用前景的捕食性天敌，值得进一步开发利用。不同生境条件下节肢动物多样性指数存在较大差异，林带内生物多样性指数最高，其次为间作地，单作田最低。**【结论】** 通过调查初步掌握了六师垦区内主要农作物虫害类别及其种群动态，明确了不同季节作物害虫的种类变化和消长规律，研究结果为垦区内生物灾害的有效治理和作物合理种植及其管理模式提供了科学的决策建议。

**关键词** 种植模式，虫害动态，生态调控，天敌保育

# Relationship between cropping regimes and pest insect abundance

CHEN Fang[1**] WANG Xiao-Yi[2***] ZHOU Jing[1] DUAN Xiang-Kun[1] LUO Yan-Na[1]

(1. Research Institute of Agricultural Sciences, the Sixth Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Wujiaqu 831300, China; 2. Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract** **[Objectives]** To understand the effects of cropping regimes on pest insect abundance, pest species diversity and population dynamics was measured and compared in monocultures, mixed crops and crops with farmland shelterbelts, in the western, central, and eastern areas of the Sixth Division of the Xinjiang Production and Construction Corps (6th Division, XPCC) in summer and autumn. **[Methods]** The number of pest species and the diversity of pests and natural enemies in the four cropping regimes were surveyed. **[Results]** Species diversity and numbers of pests and natural enemies in autumn were significantly higher (4.7 and 2.7 times, respectively) than those in summer. There were significant differences in the number and types of insect pests on different farms. The highest average number of insect pests was found in Fangcaohu farm, which was 2.8 times that found in Qitai Farm. There were significant differences in the species of pests found on different crops, but no significant difference in their population densities. Pest species diversity was significantly higher in intercropped fields and those with shelterbelts than in monocultures and field edges, but pest densities in monocultures and field edges were 2.1 times

*资助项目 Supported projects：第六师五家渠市科技计划项目（1615）

**第一作者 First author，E-mail：34684386@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：xywang@caf.ac.cn

收稿日期 Received：2017-04-24，接受日期 Accepted：2017-12-07

those in intercropped fields. The number of natural enemies varied greatly among different survey sites, crop types and habitats. Qitai farm had the highest number; 2.9 times higher than Gongqingtuan farm. Natural enemies were most abundant in fields with shelterbelts where they were 7.5 times higher than in monocultures. The number of natural enemies on the plants near field edges was 3.1 times higher than in monocultures. A total of 8 species of predatory ladybird beetles were found in the study area, of which *Adonia variegata* (Goeze) was the most abundant (31.92%), followed by the *Stethorus punctillum* (Weise), (26.54%). *A. variegata* is therefore the most promising potential biological control. The biodiversity index of arthropods in different habitats was varied. Biodiversity was the highest in shelterbelts, followed by intercropped fields and lowest in monocultures. **[Conclusion]** The species diversity and population dynamics of insect pests and their natural enemies differed in different cropping regimes. These findings provide a scientific basis for the effective control of crop pests and rational planting and management regimes.

**Key words** *Sogatella furcifera*, migration dynamics, mesoscale source areas, trajectory analysis

大面积种植单一作物是新疆生产建设兵团的特点，这虽有利于机械化作业，但由于生态环境的单一，也十分有利于病虫害的暴发流行（郭予元，2006；彭萍等，2006；李素娟等，2007）。棉花、小麦、玉米是第六师垦区大面积种植的主要作物，棉铃虫、蚜虫和棉红蜘蛛常常暴发成灾，天敌及其利用技术的缺失，使得化学农药成为控制害虫唯一的选择，而害虫的抗药性增强使得化学药剂的用量只能越来越多，难以满足国家对于化学农药“双减”的要求。农田生态系统（Agroecosystem）是以农作物为核心，人为地对自然生态系统进行改造而建立起来的生态系统，其特点是人类为了自身的利益，不断施加影响，使农田生态系统朝着有利于提高农作物产量和经济利益的方向发展，这就导致仅有的几十种作物被大面积种植，取代了原有的自然多样性，造成群落结构趋于简单，群落的物种数和个体数都比自然生态系统少（周海波等，2012），作物品种单一种植，容易为植食性昆虫提供持续的方向性选择。同时，这种单一的种植模式也加快了植食性昆虫对植物防御的适应，引起病虫害的暴发（Karban and Baldwin，1997；李潮海等，2002；周海波等，2009）严重影响了作物-害虫-天敌的动态平衡关系，天敌和其他生物数量急剧减少，有害生物为害日益严重，从而导致农田生态系统的稳定性下降（Leung *et al.*，2003；解海翠等，2012），国内关于间作模式的研究正在从地下部营养吸收、叶片光合生理、模式搭配、产量效益、根际土壤微生态等（徐海强等，2016；汪春明等，2013）向害虫治理方面转移。对农田生态系统中农作物（王林霞等，2004；周海波等，2009）、蔬菜（夏咛等，2015）、果树（何凯等，2015）间中套作多以控制一种害虫为目的研究较多，对田埂和防护林的研究主要局限在其对系统环境因子的影响，而对农田生物多样性方面涉及较少。非作物生境的生物多样性方面有少量关于非稻田生境的研究（郑许松等，2002；谢坚等，2008），对以单作、间作、及农田防护林及地边杂草为系统对害虫和天敌调查研究的较少，为了解单一作物种植模式、间作模式、以及农田防护林带对作物病虫害发生程度的影响及其原因，了解在不同季节作物害虫的种类变化和发生数量波动情况，掌握主要害虫的发生规律，为生物灾害的科学有效治理提供决策支撑。2016 年 6-9 月间我们对新疆生产建设兵团六师垦区不同栽培模式条件下田间的害虫种类及其天敌丰富度进行了调查，通过对单一作物种植模式、间作模式、以及农田防护林带害虫数量、种类及天敌数量、种类进行调查，明确不同栽培制度下害虫及天敌种群动态变化，以期为六师垦区内的作物合理种植模式提供科学的决策建议。

## 1　材料与方法

### 1.1　调查作物、时间与地点

调查作物：棉花、玉米、马铃薯、小麦。

调查时间：2016 年 6 月 1 日至 2016 年 9 月 8 日。

调查地点：新疆生产建设兵团第六师共青团 6 连 1 条田东经 87.41°，北纬 44.296°，海拔 440 m、共青团 6 连老房子门口东经 87.41°，北纬 44.298°，海拔 450 m、共青团园区 2-7 东经 87.387°，北纬 44.331°，海拔 440 m、芳草湖五场新三连东经 86.684°，北纬 44.587°，海拔 370 m、奇台总场二场一队东经 89.791°，北纬 43.819°，海拔 1 090 m、奇台总场一场二队东经 89.788°，北纬 43.833°，海拔 1 050 m。

### 1.2 调查方法

每种作物选择分布于不同的团场 2-3 块相同的作物田，根据作物的种植模式及周围生境将调查点分为如下 4 种类型：1）单作；2）间作；3）靠地边；4）林带内或地边杂草带。分别记录调查点内作物的受害情况、害虫种类和数量、瓢虫种类及数量、其它天敌及节肢动物的种类和数量。如遇农事活动，则于农事活动结束后第 1 天和第 7 天各增加 1 次调查。调查地点类型见表 1。

针对作物、林带与间作田 3 种生境内瓢虫及其它天敌、害虫的调查采用不同的方法：1）单作田块调查采用对角线 5 点调查法，样点大小为 5 m×5 m，不同作物生境样方约为样地内该作物面积的 20%；2）林带内瓢虫及其它天敌、害虫的调查采用样线法，靠作物 3 m 以内的林带与样地平行，每条样线随机调查；3）玉米-林带间作田采用样带法靠林带 3 m 的地边，每条样线随机调查，记录瓢虫及其它天敌、害虫的种类与数量。上述调查均采用扫网法，每个样点扫 10 网。

**表 1 调查地点类型**
**Table 1 Survey site type**

| 调查地点 Place of investigation | 作物类型 Crop types | 作物田类型 Crop field type（1）单作; 2）间作; 3）靠地边）（1）Monoculture; 2）Intercropping; 3）Margin） | 作物田外 Crop field outside（4）林带内或地边杂草带）（4）Shelterbelt or ground weed belt） |
|---|---|---|---|
| 共青团 6 连 1 条田 | 棉花 Cotton | 1）2）3） | 4） |
| | 玉米 Corn | 1）2）3） | 4） |
| 共青团 6 连老房子门口 | 棉花 Cotton | 1）2）3） | 4） |
| | 玉米 Corn | 1）2）3） | 4） |
| 共青团园区 2-7 | 马铃薯 Potato | 1）2）3） | 4） |
| 芳草湖五场新三连 | 棉花 Cotton | 1）2）3） | 4） |
| | 玉米 Corn | 1）2） | 4） |
| 奇台总场二场一队 | 马铃薯 Potato | 1）2）3） | 4） |
| | 玉米 Corn | 1）2）3） | 4） |
| | 小麦 Wheat | 1） | 4） |
| 奇台总场一场二队 | 玉米 Corn | 1）2）3） | 4） |
| | 小麦 Wheat | 1） | 4） |

### 1.3 数据分析

所有数据统计分析均利用 SAS 9.0 软件包进行处理（SAS Institute Inc.，2007）。调查天敌及害虫总数采用标准最小二乘法（Standard least squares）进行差异显著性比较。不同生境条件下的生物多样性比较采用如下三个指标，计算公式如下：Shannon 多样性指数

$$H' = -\sum\left(P_i \times \ln P_i\right) \quad (1)$$

Simpson 的优势度指数

$$D = 1 - \sum_{i=1}^{i}(N_i / N)^2 \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数

$$E = H'/\ln S \quad (3)$$

式中 $P_i$ 种的个体数占群落中总个体数的比例，$N_i$ 为各科的个体数，$N$ 表示观察到的个体总数，$S$ 为科数（李昆等，2006；尤平等，2006；李文宾等，2009；朱彦鹏等，2013；熊定鹏等，2016）。

## 2　结果与分析

### 2.1　害虫种类

调查结果显示，六师垦区内棉花主要害虫种类为棉蚜 *Aphis gossypii*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、红蜘蛛 *Petrobia latens*（Muller）、叶蝉 *Cicadella viridis*（Linnaeus）等，其他偶发性害虫还包括跳甲、绿盲蝽、蝽、夜蛾、象甲、叶甲、蝗虫等。玉米害虫主要有玉米蚜、叶蝉、玉米螟、红蜘蛛等，其他少量发生的还有蝗虫、绿盲蝽、蝽、跳甲、麦蛾等。马铃薯害虫主要包括马铃薯甲虫、叶蝉、马铃薯蚜、绿盲蝽等，其他如棉铃虫、麦蛾、红蜘蛛、双斑萤叶甲、蝗虫、跳甲等也有少量发生。小麦上主要是麦蚜和红蜘蛛（表 2）。

统计结果表明，害虫种类在不同的调查日期、调查地点、作物和样地类型下均存在显著差异（图 1）。总体来说，秋季害虫种类数显著比夏季多（$df$=1, 235, $F$=3.96, $P$=0.047 6）（图 1：A）；各农场害虫种类数依次为芳草湖农场 FCH＞奇台农场 QT＞共青团农场 GQT（$df$=2, 234, $F$=3.83, $P$=0.023 0）（图 1：B）；对作物类别来说，害虫种类数依次为小麦＞马铃薯＞棉花＞玉米（$df$=3, 233, $F$=4.69, $P$=0.003 4）（图 1：C）；不同样地类型间作地和林带内害虫种类显著比单作和地边多（$df$=3, 233, $F$=3.18, $P$=0.024 7）（图 1：D），表明景观植被越复杂的环境条件下保存的昆虫物种多样性越丰富。

表 2　主要作物害虫种类
**Table 2　Major crop pest species in the sample areas**

| 作物类型 Crop types | 主要害虫种类 Main pest species | 次要害虫种类 Secondary pest species |
|---|---|---|
| 棉花 Cotton | 棉蚜 *Aphis gossypii*, 棉铃虫 *Helicoverpa armigera*, 土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestani*, 叶蝉 *Cicadella viridis* | 跳甲 *Altica*, 绿盲蝽 *Apolygus lucorum*, 蝽 Pentatomidae, 夜蛾 *Agrotis* sp., 象甲 Curculionidae, 叶甲 Eumolpidae, 蝗虫 *Oedaleus* sp. |
| 玉米 Corn | 玉米蚜 *Rhopalosiphum maidis*, 玉米三点斑叶蝉 *Zygina salina*, 玉米螟 *Pyrausta nubilalis*, 土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestani* | 蝗虫 *Oedaleus* sp., 蝽 Pentatomidae, 跳甲 *Altica* sp., 麦蛾 *Sitotroga cerealella*, 绿盲蝽 *Apolygus lucorum* |
| 马铃薯 Potato | 马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata*, 叶蝉 *Cicadella viridis*, 马铃薯蚜 *Myzus persicae*, 绿盲蝽 *Apolygus lucorum* | 棉铃虫 *Helicoverpa armigera*, 麦蛾 *Sitotroga cerealella* , 红蜘蛛 *Tetranychus turkestani*, 双斑萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica*, 蝗虫 *Oedaleus* sp., 跳甲 *Altica* sp. |
| 小麦 Wheat | 麦蚜 *Macrosiphum avenae*, 红蜘蛛 *Petrobia latens* | 蝽 Pentatomidae, 盲蝽 *Adelphocoris*, 缘蝽 *Coreus* sp., 蝗虫 *Oedaleus* sp., 跳甲 *Altica* sp., 麦蛾 *Sitotroga cerealella* |

### 2.2　害虫数量

分析结果表明，不同调查季节、不同农场和不同样地类型害虫数量存在明显差异（图 2）。秋季害虫数量显著比夏季多（$df$=1, 235, $F$=48.32, $P$<0.000 1）（图 2：A），秋季作物上害虫平均虫口数量是夏季的 4.7 倍；各农场害虫数量依次为芳草湖农场＞共青团农场＞奇台农场（$df$=2, 234, $F$=8.43, $P$=0.000 3）（图 2：B），芳草湖农场的害虫种群密度是奇台农场的 2.8 倍；但是害虫数量在小麦、马铃薯、棉花和玉米 4 种作物间无明显差异（$df$=3, 233, $F$=1.68, $P$=0.171 1）（图 2：C）；不同样地类型单作地显著比其它样地

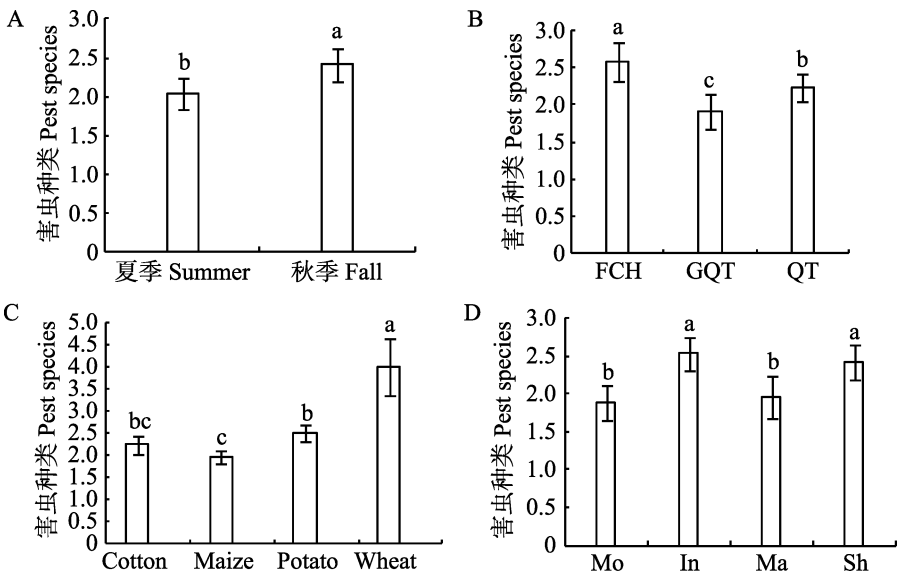


**图 1　不同季节（A）、地点（B）、作物（C）和样地类型（D）害虫种类变化**

**Fig. 1　Variation of pest species in different season (A), place (B), crop (C) and plot type (D)**

FCH：芳草湖农场 Fangcaohu farm；GQT：共青团农场 Gongqingtuan farm；QT：奇台农场 Qitaifarm；Cotton：棉花；Maize：玉米；Potato：马铃薯；Wheat：小麦；Mo：单作 Monoculture；In：间作 Intercropping；Ma：地边 Margin；Sh：林带 Shelterbelt. 图中柱上标有不同字母表示经多重比较处理间在 *P*<0.05 水平存在显著差异。下图同。Histograms with different letters indicate significant difference among treatments at *P*<0.05 level based on multiple range tests。The same below.

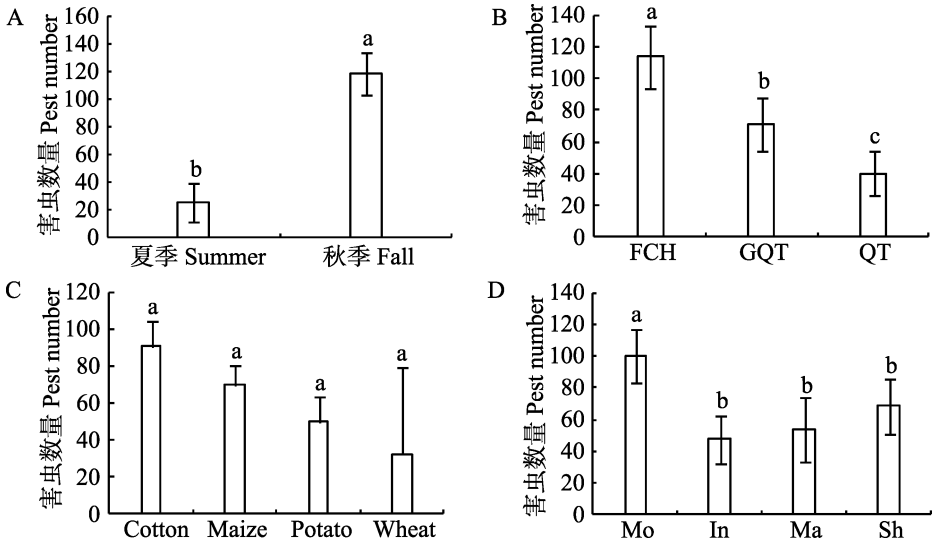


**图 2　不同季节（A）、地点（B）、作物（C）和样地类型（D）害虫数量变化**

**Fig. 2　Changes in the number of pests in different seasons (A), place (B), crop (C) and plot type (D)**

类型的害虫数量多（*df*=3, 233, *F*=2.70, *P*=0.047 6）（图 2：D），如单作地害虫种群数量是间作地的 2.1 倍。

### 2.3　天敌种类

调查发现，六师垦区内的农作物上主要天敌包括瓢虫、草蛉、蜘蛛、食蚜蝇、蚜茧蜂等，其他天敌还有姬蜂、猎蝽、蚂蚁、豆娘、蚁形虫、小蜂、螳螂等（表 2）。统计结果显示，秋季天敌种类数显著比夏季多（*df*=1, 235, *F*=16.75, *P*<0.000 1）（图 3：A）；各农场天敌种类数依

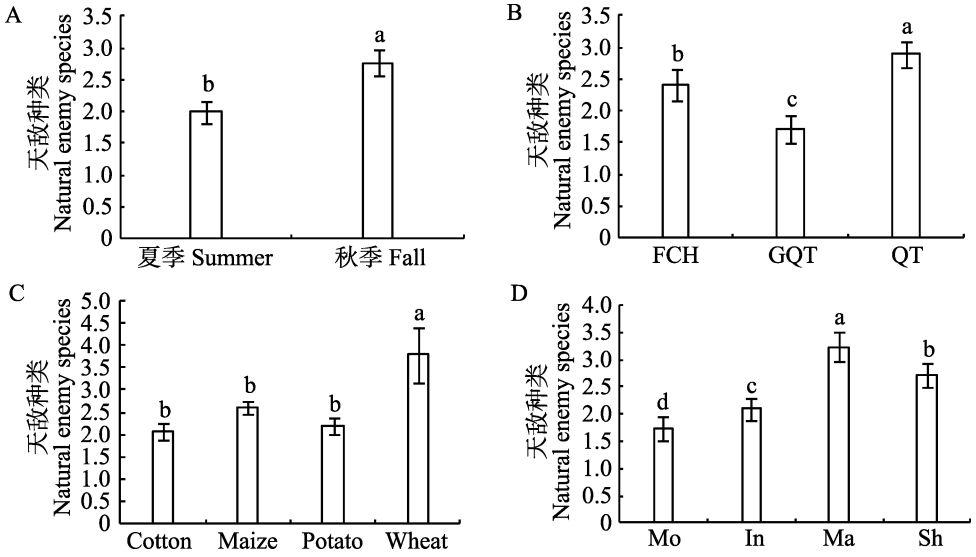


图 3　不同季节（A）、地点（B）、作物（C）和样地类型（D）天敌种类变化

**Fig. 3　Variety of natural enemies in different seasons (A), place (B), crop (C) and plot type (D)**

次为奇台农场＞芳草湖农场＞共青团农场（*df*=2, 234, *F*=15.01, *P*<0.000 1）（图 3：B）；对作物类别来说，小麦地天敌种类数显著比马铃薯、棉花和玉米地多（*df*=3, 233, *F*=3.66, *P*=0.013 1）（图 3：C）；不同样地类型天敌种类数依次为地边＞林带＞间作地＞单作地（*df*=3, 233, *F*=11.10, *P*<0.000 1）（图 3：D）。

## 2.4　天敌丰富度

调查结果表明，不同调查季节、不同农场和不同样地类型天敌数量存在明显差异（图 4）。秋季天敌数量显著比夏季多（*df*=1, 235, *F*=18.69, *P*<0.000 1），秋季是夏季的 2.7 倍（图 4：A）；西中东 3 个农场的天敌丰富度存在显著差异（*df*=2, 234, *F*=11.29, *P*<0.000 1），奇台农场的天敌数量是共青团农场的 2.9 倍（图 4：B）；小麦和玉米上的天敌数量比马铃薯和棉花上显著多（*df*=3, 233, *F*=3.82, *P*=0.010 6）（图 4：C）；不同样地类型天敌丰富度依次为林带＞地边＞间作＞单作地（*df*=3, 233, *F*=19.35, *P*<0.000 1），

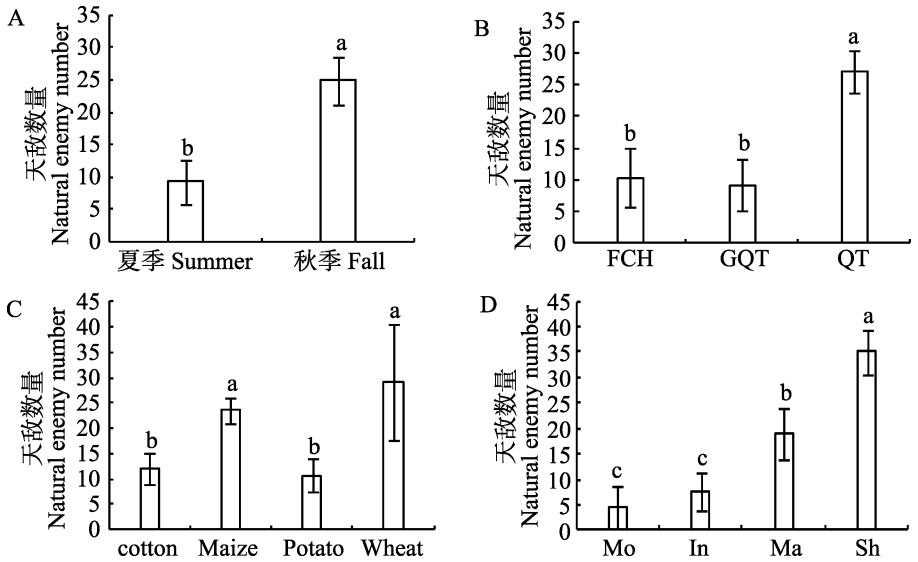


图 4　不同季节（A）、地点（B）、作物（C）和样地类型（D）天敌丰富度变化

**Fig. 4　Changes of natural enemies' richness in different seasons (A), place (B), crop (C) and plot type (D)**

林带内天敌数量为单作地的 7.5 倍，靠近地边的作物上天敌数量也较单一种植作物上天敌数量高出 3.1 倍，间作地天敌数量是单作地的 1.6 倍（图 4：D）。

### 2.5 瓢虫种类和丰富度

本研究重点调查了瓢虫种类及其丰富度，六师垦区内共发现 8 种捕食性瓢虫，分别为多异瓢虫 *Adonia variegata*（Goeze）、方斑瓢虫 *Propylaea quatuordecimpunctata*（L.）、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* L.、菱斑巧瓢虫 *Oenopia conglobata* L.、龟纹瓢虫 *Propylea japonica*（Thunberg）、甜菜瓢虫 *Bulaea lichatschovi*（Hummel）、十一星瓢虫 *Coccinella undecimpunctata* L.和深点食螨瓢虫 *Stethorus punctillum*（Weise）。其中以多异瓢虫个体数量比例最高，占 31.92%以上；其次为深点食螨瓢虫，约占 26.54%；菱斑巧瓢虫 18.65%。在调查中发现多异瓢虫在春季和秋季的数量都较大，深点食螨瓢虫秋季数量上升较快，因此多异瓢虫是六师垦区内最有保护利用前景的捕食性天敌，值得进一步开发研究。

### 2.6 不同生境内节肢动物多样性

统计结果显示，不同生境条件下节肢动物多样性指数存在较大差异，Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数 3 种生物多样性指数均为林带内最高，其次为间作地，单作田生物多样性最低（表 4）。

统计结果显示，不同作物田内节肢动物多样性指数存在较大差异，Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数 3 种生物多样性指数均为小麦田内最高，其次为玉米田，第 3 是棉花田，马铃薯田生物多样性最低（表 5）。

统计结果显示，4 种作物田内天敌多样性指数存在较大差异，Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数 3 种生物多样性指数均为小麦田内最高，其次为马铃薯田，第 3 是棉花田，玉米田生物多样性最低（表 6）。

统计结果显示，4 种作物害虫多样性指数也存在较大差异，Pielou 均匀度指数、Shannon-

**表 3 天敌瓢虫种类及其丰富度情况**
**Table 3 Species and abundance of natural enemy ladybirds**

| 瓢虫种类 Ladybird beetle species | 个体数量比例 Number of individuals（%） | 作物种类 Crop types |
|---|---|---|
| 多异瓢虫 *Adonia variegata* | 31.92 | 棉花 Cotton, 玉米 Corn, 马铃薯 Potato |
| 深点食螨瓢虫 *Stethorus punctillum* | 26.54 | 棉花 Cotton, 玉米 Corn |
| 菱斑巧瓢虫 *Oenopia conglobata* | 18.65 | 玉米 Corn, 马铃薯 Potato |
| 方斑瓢虫 *Propylaea quatuordecimpunctata* | 15.00 | 棉花 Cotton, 玉米 Corn, 马铃薯 Potato |
| 七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* | 4.62 | 棉花 Cotton, 玉米 Corn, 马铃薯 Potato |
| 甜菜瓢虫 *Bulaea lichatschovi* | 1.73 | 小麦 Wheat, 玉米 Corn, 马铃薯 Potato |
| 龟纹瓢虫 *Propylea japonica* | 1.35 | 玉米 Corn, 马铃薯 Potato |
| 十一星瓢虫 *Coccinella undecimpunctata* | 0.19 | 小麦 Wheat |

**表 4 4 种生境内节肢动物多样性指数**
**Table 4 Arthropod diversity indices in four habitats**

| 生境类型 Habitat type | 科数 Number of family | Pielou 均匀度指数 Pielou index (*E*) | 多样性指数 Shannon-Wiener index (*H′*) | Simpson 优势度指数 Simpson index (*D*) |
|---|---|---|---|---|
| 单作 Single | 23 | 0.442 | 1.385 | 0.670 |
| 靠地边 Near the edge | 27 | 0.554 | 1.826 | 0.720 |
| 间作 Intercropping | 30 | 0.571 | 1.942 | 0.765 |
| 林带内 Forest belt | 30 | 0.719 | 2.445 | 0.888 |

表 5　4 种作物节肢动物多样性指数
**Table 5　Arthropod diversity indices in four crop**

| 作物类型 Crop type | 科数 Number of family | Pielou 均匀度指数 Pielou index (*E*) | 多样性指数 Shannon-Wiener index (*H*′) | Simpson 优势度指数 Simpson index (*D*) |
|---|---|---|---|---|
| 小麦 Whear | 16 | 0.812 | 2.251 | 0.856 1 |
| 棉花 Cotton | 26 | 0.529 | 1.723 | 0.729 9 |
| 马铃薯 Potato | 26 | 0.514 | 1.674 | 0.630 8 |
| 玉米 Corn | 31 | 0.635 | 2.18 | 0.826 8 |

表 6　4 种作物田内天敌多样性指数
**Table 6　Natural enemy diversity indices in four crop**

| 作物类型 Crop type | 科数 Number of family | Pielou 均匀度指数 Pielou index (*E*) | 多样性指数 Shannon-Wiener index (*H*′) | Simpson 优势度指数 Simpson index (*D*) |
|---|---|---|---|---|
| 小麦 Whear | 7 | 0.846 | 1.645 | 0.789 |
| 棉花 Cotton | 11 | 0.664 | 1.592 | 0.764 |
| 马铃薯 Potato | 12 | 0.755 | 1.876 | 0.778 |
| 玉米 Corn | 13 | 0.549 | 1.408 | 0.673 |

Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数 3 种生物多样性指数表现不同，Pielou 均匀度指数为小麦田内最高，其次为玉米田，第 3 是棉花田，马铃薯最低；Shannon-Wiener 多样性指数玉米田内最高，其次为小麦田，第 3 是棉花田，马铃薯最低；Simpson 优势度指数为玉米田内最高，其次为棉花田，第 3 是小麦田，马铃薯最低（表 7）。

统计结果显示，4 种生境内天敌多样性指数存在较大差异，Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数 3 种生物多样性指数均为间作最高，其次为林带，第 3 是单作，靠地边天敌生物多样性最低（表 8）。

统计结果显示，4 种生境内害虫多样性指数存在较大差异，Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数 3 种生物多样性指数表现不同，Pielou 均匀度指数为林带内最高，其次为靠地边，第 3 是间作，单作最低；Shannon-Wiener 多样性指数林带内最高，其次为靠地边，第 3 是间作，单作最低；Simpson 优势度指数为林带内最高，其次为靠地边，第 3 是单作，间作最低（表 9）。

## 3　结论与讨论

研究表明，天敌和寄主植物、地面植被系统共同对目标害虫起到抑制作用（Sarvary *et al.*，2010）。有些寄生蜂对树种具有专化性（Lill *et al.*，2002；Wei and Jiang，2011）。景观简单化对生物防治具有负面影响（Perovic *et al.*，2010）。植被多样化对虫害的自然抑制作用早就受到关注（赵志模等，1994；于毅和严毓骅，1998），

表 7　4 种作物害虫多样性指数
**Table 7　Pests diversity indices in four crop**

| 作物类型 Crop type | 科数 Number of family | Pielou 均匀度指数 Pielou index (*E*) | 多样性指数 Shannon-Wiener index (*H*′) | Simpson 优势度指数 Simpson index (*D*) |
|---|---|---|---|---|
| 小麦 Whear | 9 | 0.674 | 1.481 | 0.651 |
| 棉花 Cotton | 15 | 0.497 | 1.346 | 0.662 |
| 马铃薯 Potato | 14 | 0.419 | 1.105 | 0.482 |
| 玉米 Corn | 18 | 0.586 | 1.695 | 0.731 |

表 8 4 种生境内天敌多样性指数
**Table 8 Natural enemy diversity indices in four habitats**

| 生境类型 Habitat type | 科数 Number of family | Pielou 均匀度指数 Pielou index (*E*) | 多样性指数 Shannon-Wiener index (*H′*) | Simpson 优势度指数 Simpson index (*D*) |
|---|---|---|---|---|
| 单作 Single | 11 | 0.668 | 1.602 | 0.749 |
| 靠地边 Near the edge | 12 | 0.686 | 1.704 | 0.782 |
| 间作 Intercropping | 11 | 0.628 | 1.507 | 0.699 |
| 林带内 Forest belt | 13 | 0.659 | 1.691 | 0.756 |

表 9 4 种生境内害虫多样性指数
**Table 9 Pests diversity indices in four habitats**

| 生境类型 Habitat type | 科数 Number of family | Pielou 均匀度指数 Pielou index (*E*) | 多样性指数 Shannon-Wiener index (*H′*) | Simpson 优势度指数 Simpson index (*D*) |
|---|---|---|---|---|
| 单作 Single | 12 | 0.479 | 1.19 | 0.640 |
| 靠地边 Near the edge | 19 | 0.518 | 1.525 | 0.692 |
| 间作 Intercropping | 16 | 0.504 | 1.397 | 0.625 |
| 林带内 Forest belt | 19 | 0.666 | 1.961 | 0.826 |

天敌丰富度可提高害虫控制水平（Letourneau *et al.*，2009）。农作物间混种植可提高害虫的寄生率。玉米或高粱地间作玉米干夜蛾 *Busseola fusca* 和斑禾草螟 *Chilo partellus* 的非寄主植物糖蜜草 *Melinis minutiflora* 可降低为害，糖蜜草的挥发物对害虫具有驱避作用，同时又能招引天敌大螟盘绒茧蜂 *Cotesia sesamiae*，提高害虫的寄生率（Khan *et al.*，1997）。近来保育生物防治是通过环境修饰和改进现有的农药使用计划，从而提高天敌利用效率，实现更加安全有效的生物防治的实践（Jonsson *et al.*， 2008）。但是天敌昆虫的生物防治效率有时候因其与寄主或猎物种群的发育异步性，或者在不同季节对气候的耐受性不同而受到影响（Tuncbilek *et al.*，2010）。

本研究在 3 个不同团场 4 种不同作物 4 种不同栖境条件的调查中，可以看出单一作物这种栽培制度是虫害易发生的种植模式，单作田生态环境单一，容易受外界条件的影响，不利于天敌的生存和繁殖，天敌种类和数量较少，由于没有天敌的控制，害虫的数量可以很快的增值，特别是一些体型较小的如蚜虫、红蜘蛛、叶蝉。多种作物搭配种植田间天敌数量和种类明显较多，天敌有效的控制了田间虫害的发生，使害虫的数量维持在一个较低的水平，在多种天敌的控制下，起到减少田间虫害发生的作用。

根据本研究调查分析结果，对六师垦区内作物种植和管理模式提出主要建议如下：

（1）保护农田防护林带。由于农田防护林带内植被种类和数量均很丰富，蕴藏了大量昆虫，同时也保藏了丰富的天敌，当附近作物地内害虫数量上升时，这些天敌可快速转移到作物地内起到控制作用。因此应注重保护农田防护林带的健康生长，目前部分林带由于农田实施滴灌模式之后而缺水死亡现象较为严重，应引起充分重视，采取相应对策防止林带衰退甚至毁灭。

（2）保留地边杂草。研究表明，靠近地边的作物害虫数量显著降低，证明是同样的道理，地边的杂草上也保存了丰富的天敌，对附近作物的自然保护起着重要作用。

（3）提倡农作物的间作。调查结果显示，间作地物种和天敌丰富度显著高于单一种植模式作物地，因此，在种植作物布局时，应尽可能设计不同种类作物的间作，避免大面积单一种植同一种作物，容易引起虫害暴发成灾。

（4）注重春季害虫早治。调查结果显示，秋季害虫种群数量显著高于夏季。由于害虫越冬

后种群是逐渐上升的，春季较低，夏季快速增长，秋季达到最高，因此，为控制害虫数量快速上升，应特别注重春季对害虫采取早治策略，控制好第一代，压低越冬后的虫口基数，才能有效缓解夏季和秋季的防治压力。

（5）开发利用优势天敌多异瓢虫。调查结果表明，六师垦区内农作物上多异瓢虫丰富度最高，占 31.92%以上，是本地区最主要的优势种自然天敌。该天敌适应本地气候，可在当地安全越冬，且本地物种对当地生态系统不造成威胁。因此多异瓢虫是六师垦区内最有保护利用前景的捕食性天敌，值得进一步开发研究。

致谢：承蒙北京市农林科学院植物保护环境保护研究所虞国跃研究员鉴定瓢虫标本，谨致谢忱！

## 参考文献 (References)

Guo YY, 2006. Illustrations with real examples of using ecological regulation strategies against crop pests in China. *Plant Protection*, 32(2): 1-4. [郭予元, 2006. 我国农作物病虫害生态调控实例分析. 植物保护, 32(2): 1–4.]

He K, Gao XY, Zhao YY, Zhang JS, Hua RM, Wu HZ, 2015. Synergistic manipulation of intercrop combining biological medicaments on the population dynamics of *Psylla chinensis* and predators in pear orchard. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 32(3): 289–295. [何凯, 高晓阳, 赵印勇, 张建设, 花日茂, 巫厚长, 2015. 梨园作物间作与生物药剂对梨木虱及其捕食性天敌种群数量动态的协同调控作用. 农业资源与环境学报, 32(3): 289–295.]

Jonsson M, Wratten SD, Landis DA, Gurr GM, 2008. Recent advances in conservation biological control of arthropods by arthropods. *Biological Control*, 45(2): 172–175.

Karban R, Baldwin IT, 1997. Induced Responses to Herbivory（II）Interspecific Interactions. Chicago: The University of Chicago Press. 319.

Khan ZR, Ampong-Nyarko K, Chiliswa1 P, Hassanali A, Kimani S, Lwande W, Overholt WA.Overholt WA, Picketta JA, Smart LE, Woodcock CM, 1997. Intercropping increases parasitism of pests. *Nature*, 388(6643): 631–632.

Letourneau DK, Jedlicka JA, Bothwell SG, Moreno CR, 2009. Effects of natural enemy biodiversity on the suppression of arthropod herbivores in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1): 573–592.

Leung H, Zhu YY, Revilla, M Revilla-Molina I, Fan JX, Chen H, Pangga I, Cruz CV, Mew TW, 2003. Using genetic diversity to achieve sustainable rice disease management. *Plant Disease*, 87(10): 1156–1169.

Li CH, Su XH, Sun DL, 2002. Ecophysiological characterization of different maize (*Zea mays* L.) genotypes under mono-or inter-cropping conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 22(12): 2096–2103. [李潮海, 苏新宏, 孙敦立, 2002. 不同基因型玉米间作复合群体生态. 生态学报, 22(12): 2096–2103.]

Li K, Luo CW, Chen Y, Sun YY, He QJ, 2006. Insect species diversity in ecologically restored area of Yuanmou dry and hot valley. *Chinese Journal of Ecology*, 25(4): 417–422.[李昆, 罗长维, 陈友, 孙永玉, 和秋菊, 2006. 元谋干热河谷生态恢复区昆虫多样性研究. 生态学杂志, 25(4): 417–422.]

Lill JT, Marquis RJ, Ricklefs RE, 2002. Host plants influence parasitism of forest caterpillars. *Nature*, 417(6885): 170–173.

Li SJ, Liu AZ, Ru TQ, Wu YQ, Han S, 2007. Effects of different intercropping models on wheat aphids and their predator communities. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 22(1): 141–144. [李素娟, 刘爱芝, 茹桃勤, 武予清, 韩松, 2007. 小麦与不同作物间作模式对麦蚜及主要捕食性天敌群落的影响. 华北农学报, 22(1): 141–144.]

Li WB, Wu ML, Lian ZM, Wang YL, Xiao JX, 2009. Preliminary investigation of insect diversity in the North Luo-River basin. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(5): 778–782. [李文宾, 吴敏丽, 廉振民, 王云龙, 肖金学, 2009. 北洛河流域的昆虫多样性初步调查. 昆虫知识, 46(5): 778–782.]

Peng P, Li PW, Hou YJ, Xu Z, 2006. Study on the diversity of insect communities in tea gardens of different ecological types. *Plant Protection*, 32(4): 67–70. [彭萍, 李品武, 侯渝嘉, 徐泽, 2006. 不同生态茶园昆虫群落多样性研究. 植物保护, 32(4): 67–70.]

Perovic DJ, Gurr GM, Raman A, Nicol HI, 2010. Effect of landscape composition and arrangement on biological control agents inasimplified agricultural system: a cost-distance approach. *Biological Control*, 52(3): 263–270.

Sarvary MA, Nyrop J, Reissig H, 2010. Effects of natural enemies and host plants in wild and orchard habitats on obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) larval survival. *Biological Control*, 55(2): 110–117.

SAS Institute Inc. SAS OnlineDoc®.Version 9.1.3.2007.SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.[WWW document]. http: //support.sas.com/onlinedoc/913/docMainpage.jsp.

Tuncbilek AS, Cinar N, Canpolat U, 2010. Comparing flower nectar and artificial diet on the longevity and progeny production of

Trichogramma turkestanica. *Julius Kuhn Archiv*, 425(9): 754.

Wang CM, Ma K, Dai XH, Liang Y, 2013. Effect of intercropping on soil microflora in rhizosphere soil of potato under continuous cropping. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 29(6): 711–716. [汪春明, 马焜, 代晓华, 梁熠, 2013. 间作栽培对连作马铃薯根际土壤微生物区系的影响. 生态与农村环境学报, 29(6): 711–716.]

Wang LX, Tian CY, Ma YJ, Hu MF, 2004. Effect of trap corn on the population dynamics of native predators in cotton field. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 22(1): 86–89. [王林霞, 田长彦, 马英杰, 胡敏芳, 2004. 玉米诱集带对棉田天敌种群动态的影响. 干旱地区农业研究, 22(1): 86–89.]

Wei JR, Jiang L, 2011. Olfactory response of *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrideridae) to larval frass of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) on different host tree species. *Biocontrol Science and Technology*, 21(11): 1263–1272.

Xia N, Yang G, You MS, 2015. Regulation of dominant insect pests and natural enemies by intercropping tomato in cauliflower-based fields. *Acta Entomologica Sinica*, 58(4): 391–399. [夏咛, 杨广, 尤民生, 2015. 间作番茄对花椰菜田主要害虫和天敌的调控作用. 昆虫学报, 58(4): 391–399.]

Xie HC, Chen JL, Cheng DF, Zhou HB, Sun JR, Liu Y, Frederic F, 2012.The function of ecological regulation to aphids in the wheat intercropping field. *Plant Protection*, 38(1): 50–54. [解海翠, 陈巨莲, 程登发, 周海波, 孙京瑞, 刘勇, Frederic Francis, 2012. 麦田间作对麦长管蚜的生态调控作用.植物保护, 38(1): 50–54.]

Xie J, Tu NM, Tang JJ, Chen X, 2008. Advances in farmland field margin systems and biodiversity research. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 16(2): 506–510.[谢坚, 屠乃美, 唐建军, 陈欣, 2008. 农田边界与生物多样性研究进展. 中国生态农业学报, 16(2): 506–510.]

Xiong DP, Zhao GS, Wu JS, Shi PL, Zhang XZ, 2016.The relationship between species diversity and ecosystem multifunctionality in alpine grasslands on the Tibetan Changtang Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 36(11): 3362–3371. [熊定鹏, 赵广帅, 武建双, 石培礼, 张宪洲, 2016. 羌塘高寒草地物种多样性与生态系统多功能关系格局. 生态学报, 36(11): 3362–3371.]

Xu HQ, Huang J, Liu ZF, Wei YX, Su BM, Li T, 2016. Effects of cassava-peanut intercropping on microbial amount, community structure and diversity in rhizosphere soils. *Journal of Southern Agriculture*, 47(2): 185–190.[徐海强, 黄洁, 刘子凡, 魏云霞, 苏必孟, 李天, 2016. 木薯/花生间作对其根际土壤微生物数量群落结构及样性的影响. 南方农业学报, 47(2): 185–190.]

You P, Li HH, Wang SX, 2006. The diversity of the moth community in the north dagang wetland nature reserve, Tianjin. *Acta Ecologica Sinica*, 6(4): 999–1004. [尤平, 李后魂, 王淑霞, 2006. 天津北大港湿地自然保护区蛾类的多样性. 生态学报, 26(4): 999–1004.]