果棉间作对棉田节肢动物群落结构的影响

李海强[1], 张建萍[2], 陆宴辉[3*]

(1. 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, 新疆农业科学院植物保护研究所, 乌鲁木齐 830091;
2. 石河子大学农学院, 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用重点实验室, 石河子 832003;
3. 植物病虫害生物学国家重点实验室, 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 在新疆阿克苏地区,2014 年—2015 年选择了枣棉、苹果棉间作模式试验点各 24 个,2017 年—2018 年选择了核桃棉间作模式试验点 21 个,比较研究了 3 种模式的间作棉田与相应单作棉田中节肢动物群落结构。结果显示,与枣树、苹果树、核桃树间作棉田节肢动物群落 Shannon-Wiener 多样性指数、均匀度指数和优势集中度指数与各自对应的单作棉田相比均无显著差异。对于每种模式,间作和单作棉田害虫亚群落和天敌亚群落结构特征指数也无显著差异。初步结果表明,南疆 3 种常见的果棉间作模式对棉田节肢动物群落结构没有明显影响。

关键词 果棉间作; 节肢动物; 群落结构; 多样性指数

中图分类号: S 186 **文献标识码**: A **DOI**: 10.16688/j.zwbh.2019645

Effects of fruit trees-cotton intercropping on arthropod community structure in cotton fields

LI Haiqiang[1], ZHANG Jianping[2], LU Yanhui[3*]

(1. *Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crop in Northwestern Oasis, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi* 830091, *China*;
2. *College of Agriculture, Key Laboratory of Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resources Utilization, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Shihezi University, Shihezi* 832003, *China*; 3. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*)

Abstract In Aksu, Xinjiang, 24 experimental sites of jujube-cotton and apple-cotton intercropping patterns were selected respectively from 2014 to 2015, while 21 experimental sites of walnut-cotton intercropping patterns were selected from 2017 to 2018, total of which were utilized to compare and investigate the arthropod community structure corresponding to the cotton fields in three different intercropping patterns and their monocropping patterns. The results showed that the Shannon-Wiener diversity index, evenness index and dominant concentration index of arthropod community in cotton fields intercropping with jujube trees, apple trees and walnut trees were not significantly different from those of cotton field in monocropping pattern. Besides, there was no significant difference in the characteristic indexes of pest subcommunity and natural enemy subcommunity between two cropping patterns. All the results indicated that the three common fruit-cotton intercropping patterns in southern Xinjiang had no significant effect on arthropod community structure in cotton fields.

Key words fruit trees-cotton intercropping; arthropod; community structure; diversity index

新疆是当前我国的第一大棉花主产区,2018 年全疆棉花种植面积为 249.13 万 hm^2,占全国棉花播种面积的 74.31%;皮棉产量为 511.10 万 t,占全国总产量的 83.84%。新疆也是著名的"瓜果之乡",全疆红枣、核桃、苹果、杏等果树种植面积约为 133 万 hm^2,其中南疆地区果树种植面积占总面积的 80%。近年来,为了有效利用土地资源、增加农民经济收入,果棉间作栽培模式在南疆地区被广泛推广应用[1]。

与单作模式相比,间作模式增加了作物种类,改

收稿日期: 2019-11-25 **修订日期**: 2020-02-10
基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2019D01A66);国家重点研发计划(2017YFD0201900)
* 通信作者 E-mail:luyanhui@caas.cn

变了作物布局，导致昆虫食物资源、农田小气候等多方面变化，进而可能对节肢动物群落结构产生一定影响。如 Shi 等[2]对不同生境类型枣园节肢动物群落结构进行了研究，对其多样性指数、均匀度指数和相对稳定性指数比较发现有杂草的枣园明显高于无杂草枣园，与大豆和棉花间作的枣园明显大于与大豆间作枣园，而优势度指数则相反，这表明在枣园合理间作多种作物或者适当保留一定的杂草，可以增加枣园天敌的物种数量和节肢动物群落结构的多样性和均匀度。贾永超等[3]研究了玉米单作田、玉米马铃薯间作田、玉米马铃薯向日葵间作田天敌节肢动物群落的组成和结构，发现天敌群落多样性指数、丰富度指数和均匀度指数均表现为玉米马铃薯向日葵间作田、玉米马铃薯间作田高于玉米单作田，3 种不同种植模式玉米田中以玉米马铃薯向日葵间作田天敌节肢动物群落种类最丰富、稳定性最强。胡雅辉等[4-5]研究表明，桃李间作对桃树上步甲群落的物种组成和丰富度没有显著影响，对整个天敌群落也无显著影响。不难发现，不同间作模式对节肢动物群落结构的影响不一致。

关于南疆果棉间作棉田中的节肢动物群落结构、种群动态已有部分研究。如王伟等[6]通过对杏棉间作棉田昆虫种群数量进行了研究，结果表明，间作棉田牧草盲蝽 *Lygus pratensis* 和棉叶螨种群数量显著低于单作田，但间作棉田蜘蛛类天敌种群数量高于单作棉田。针对南疆普遍存在的其他果棉间作模式尚缺乏相关研究。为此，本文系统评价了 3 种果棉间作模式（枣棉间作、苹果棉间作、核桃棉间作）对棉田节肢动物群落结构的影响。

1 材料与方法

1.1 试验点选择

1.1.1 枣棉间作模式

在阿克苏市，2014 年选取 12 个试验点，其中拜什吐格曼乡 8 个、哈拉塔勒镇 1 个、托普鲁克乡 3 个；2015 年选取 12 个点，其中拜什吐格曼乡 7 个、克孜勒镇 5 个。在同一年份，相邻两个试验点之间间隔 2～10 km。在每个试验点，选择枣棉间作田和棉花单作田各 1 块，每块田面积大于1 hm^2，两块田间隔距离小于 50 m，同时棉花长势与农事管理基本一致。试验点的枣树均为树龄 8～12 年的‘骏枣’*Ziziphus jujuba*，行株距为 4 m×2 m。棉花为陆地棉 *Gossypium hirsutum*，品种为‘中棉所 49’，1 膜 4 行栽培，膜宽 1.5 m，宽行距为 50 cm，窄行距为 20 cm，株距为 10 cm。间作棉田中，相邻两行枣树间种植 2 个地膜 8 行棉花。

1.1.2 苹果棉间作模式

在阿克苏市，2014 年调查了 12 个试验点，其中拜什吐格曼乡 3 个试验点，依杆其乡 8 个试验点，温宿县青年农场 1 个试验点；2015 年调查了 12 个试验点，其中拜什吐格曼乡 3 个试验点，依杆其乡 8 个试验点，温宿县克孜勒镇 1 个试验点。在每个试验点，选择苹果棉间作田和棉花单作田各 1 块，每块田面积大于 1 hm^2，两块田间隔距离小于 50 m，同时棉花长势与农事管理基本一致。在各试验点，苹果树 *Malus pumila* 树龄为 9～13 年，行株距为 6 m×4 m。棉花品种为‘中棉所 49’，1 膜 4 行栽培，膜宽 1.5 m，宽行距为 50 cm，窄行距为 20 cm，株距为 10 cm。在间作棉田，相邻两行苹果树间种植 4 个地膜 16 行棉花。

1.1.3 核桃棉间作模式

2017 年调查了 12 个试验点，其中温宿县克孜勒镇 3 个试验点，温宿县古勒阿瓦提乡 1 个试验点，托普鲁克乡 8 个试验点；2018 年调查了 9 个试验点，其中温宿县克孜勒镇 3 个试验点，温宿县古勒阿瓦提乡 2 个试验点，托普鲁克乡 4 个试验点。在每个试验点，选择核桃棉间作田和棉花单作田各 1 块，每块田面积大于 1 hm^2，两块田间隔距离小于 50 m，同时棉花长势与农事管理基本一致。试验点核桃树 *Juglans regia* 树龄 7～9 年，行株距为 8 m×4 m。棉花品种为‘中棉所 49’，1 膜 4 行栽培，膜宽 1.5 m，宽行距为50 cm，窄行距为 20 cm，株距为 10 cm。间作棉田中，相邻两行核桃树间种植 5 个地膜 20 行棉花。

1.2 调查内容

试验点选取时，用手持 GPS 仪记录每个点的经纬度。每年 6 月中旬（棉花现蕾初期）、7 月中旬（棉花花期）、8 月中旬（棉花铃期），对每个试验点的间作棉田和单作棉田各开展 1 次调查。每次调查时，每块棉田采用 5 点对角线取样，每点调查 20 株棉花，利用目测法系统调查每个棉株上节肢动物的种类和数量，并逐一进行记录。

1.3 统计方法

数据利用 Excel 2013 和 SAS 9.4 软件计算处理。昆虫群落结构指数中多样性指数（diversity index，H）采用 Shannon-Wiener 多样性指数表示，群落均匀度指数（evenness index，J）以多样性指数与理论最大多样性指数来表示，优势集中度（dominant

concentration, C)用 Simpson 优势度指数表示。计算公式[7-9]如下:

$$\text{多样性指数}(H):H=-\sum_{i=1}^{S}P_i\ln P_i;$$

$$\text{群落均匀度指数}(J):J=\frac{H}{\ln S};$$

$$\text{优势集中度指数}(C):C=\sum_{i=1}^{S}\left(\frac{N_i}{N}\right)^2=\sum_{i=1}^{S}(P_i)^2。$$

其中,S 表示用群落中的物种数,P_i 为第 i 个物种数量占所有物种总数的比例,N 为群落中的总个体数,N_i 为群落内物种的个体数量[10-12]。

将每个试验点中每块棉田(单作或间作棉田)5 个取样点的每种节肢动物数量求和后,按百株虫量来统计每个物种的数量,在此基础上计算群落结构指数。同一年份内,同一种植模式下的不同试验点作为平行重复,利用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行间作模式与单作模式下节肢动物群落指数的差异比较。

2　结果与分析

2.1　枣棉间作对棉田节肢动物群落结构的影响

2014 年,间作模式下共调查到节肢动物个体总数为 234 842 头,其中害虫 221 471 头、天敌 13 371 头;单作模式下节肢动物为 311 395 头,其中害虫 295 061 头、天敌 16 334 头。2015 年,间作模式下共调查到节肢动物个体总数为 133 496 头,其中害虫 125 811 头、天敌 7 685 头;单作模式下节肢动物共 143 823 头,其中害虫 137 605 头、天敌 6 218头。

由表 1 可知,对于整个棉田节肢动物群落,间作模式与单作模式的群落多样性指数(2014, $P=0.241$; 2015, $P=0.141$)、群落均匀度指数(2014, $P=0.270$; 2015, $P=0.231$)以及优势集中度指数(2014, $P=0.222$; 2015, $P=0.122$)均无显著差异。对害虫亚群落,间作模式与单作模式的群落多样性指数(2014, $P=0.251$; 2015, $P=0.120$)、群落均匀度指数(2014, $P=0.288$; 2015, $P=0.206$)、优势集中度指数(2014, $P=0.216$; 2015, $P=0.234$)均无显著差异。对天敌亚群落,间作模式与单作模式的群落多样性指数(2014, $P=0.479$; 2015, $P=0.396$)、均匀度指数(2014, $P=0.388$; 2015, $P=0.713$)、优势集中度指数(2014, $P=0.634$; 2015, $P=0.733$)也无显著差异。

表 1　枣棉间作和棉花单作田节肢动物群落结构特征指数[1)]

Table 1　The characteristic index of arthropod community in jujube-cotton intercropping and cotton monocropping fields

年度 Year	群落类型 Community type	种植模式 Cultivation pattern	多样性指数 Shannon-Wiener index	均匀度指数 Evenness index	优势集中度指数 Dominant concentration index
2014	所有节肢动物	枣棉间作	(1.16±0.08)a	(0.63±0.04)a	(0.40±0.04)a
		棉花单作	(1.02±0.09)a	(0.56±0.05)a	(0.48±0.05)a
	害虫亚群落	枣棉间作	(1.02±0.07)a	(0.61±0.04)a	(0.46±0.04)a
		棉花单作	(0.88±0.10)a	(0.53±0.06)a	(0.55±0.06)a
	天敌亚群落	枣棉间作	(0.70±0.06)a	(0.40±0.03)a	(0.60±0.04)a
		棉花单作	(0.78±0.09)a	(0.45±0.05)a	(0.57±0.06)a
2015	所有节肢动物	枣棉间作	(1.02±0.07)a	(0.55±0.04)a	(0.45±0.04)a
		棉花单作	(0.87±0.07)a	(0.49±0.04)a	(0.54±0.04)a
	害虫亚群落	枣棉间作	(0.94±0.07)a	(0.55±0.04)a	(0.52±0.04)a
		棉花单作	(0.77±0.07)a	(0.48±0.04)a	(0.59±0.04)a
	天敌亚群落	枣棉间作	(0.87±0.05)a	(0.47±0.03)a	(0.51±0.04)a
		棉花单作	(0.80±0.05)a	(0.48±0.03)a	(0.53±0.03)a

1) 表中数据为平均值±标准误,不同种植模式下相同小写字母表示在 0.05 水平无显著差异,下同。
The data was mean±SE, the same letters in the different cropping patterns means no significant difference, the same applies below.

2.2　苹果棉间作模式对棉田节肢动物群落结构的影响

2014 年间作模式下共调查到节肢动物个体总数为 454 587 头,其中害虫 432 647 头、天敌 21 940 头;单作模式下节肢动物为 480 716 头,其中害虫 458 602 头、天敌 22 114 头。2015 年间作模式共调查到节肢动物个体总数为 770 875 头,其中害虫 748 831头、天敌 22 044 头;单作模式下节肢动物个体总数为 538 122 头,其中害虫 521 114 头、天敌 17 008头。

由表 2 可知，对于整个棉田节肢动物群落，苹果棉间作模式与单作模式的群落多样性指数（2014，P=0.698；2015，P=0.116）、群落均匀度指数（2014，P=0.723；2015，P=0.186）以及优势集中度指数（2014，P=0.639；2015，P=0.134）均无显著差异。

对害虫亚群落，苹果棉间作模式与单作模式的群落多样性指数（2014，P=0.702；2015，P=0.058）、群落均匀度指数（2014，P=0.726；2015，P=0.055）以及优势集中度指数（2014，P=0.758；2015，P=0.053）也无显著差异。

对天敌亚群落，苹果棉间作模式与单作模式的群落多样性指数（2014，P=0.626；2015，P=0.939）、群落均匀度指数（2014，P=0.880；2015，P=0.992）以及优势集中度指数（2014，P=0.705；2015，P=0.768）也无显著差异。

表 2 苹果棉间作和棉花单作田节肢动物群落结构特征指数

Table 2 The characteristic index of arthropod community in apple-cotton intercropping and cotton monocropping fields

年度 Year	群落类型 Community type	种植模式 Cultivation pattern	多样性指数 Shannon-Wiener index	均匀度指数 Evenness index	优势集中度指数 Dominant concentration index
2014	所有节肢动物	苹果棉间作	(0.73±0.10)a	(0.40±0.06)a	(0.64±0.06)a
		棉花单作	(0.68±0.08)a	(0.38±0.04)a	(0.65±0.05)a
	害虫亚群落	苹果棉间作	(0.56±0.10)a	(0.35±0.07)a	(0.71±0.06)a
		棉花单作	(0.52±0.08)a	(0.32±0.05)a	(0.74±0.04)a
	天敌亚群落	苹果棉间作	(0.59±0.06)a	(0.37±0.04)a	(0.70±0.04)a
		棉花单作	(0.64±0.09)a	(0.38±0.05)a	(0.67±0.05)a
2015	所有节肢动物	苹果棉间作	(0.37±0.09)a	(0.23±0.05)a	(0.81±0.05)a
		棉花单作	(0.59±0.10)a	(0.33±0.06)a	(0.68±0.06)a
	害虫亚群落	苹果棉间作	(0.21±0.05)a	(0.16±0.04)a	(0.90±0.03)a
		棉花单作	(0.42±0.08)a	(0.31±0.07)a	(0.75±0.06)a
	天敌亚群落	苹果棉间作	(0.80±0.06)a	(0.45±0.04)a	(0.58±0.03)a
		棉花单作	(0.79±0.06)a	(0.45±0.03)a	(0.57±0.04)a

2.3 核桃棉间作对棉田节肢动物群落结构的影响

2017 年 12 个核桃棉间作试验点共调查到节肢动物个体总数为 41 711 头，其中害虫 37 781 头、天敌 3 930 头；单作模式下节肢动物为 88 712 头，其中害虫 76 762 头、天敌11 950头。2018 年间作模式共调查到节肢动物个体总数为 23 927 头，其中害虫 21 363头、天敌 2 564 头；单作模式下节肢动物个体总数为64 485头，其中害虫 56 739 头、天敌 7 746 头。

由表 3 可知，对于整个棉田节肢动物群落，间作模式与单作模式的群落多样性指数（2017，P=0.451；2018，P=0.310）、群落均匀度指数（2017，P=0.876；2018，P=0.719）以及优势集中度指数（2017，P=0.298；2018，P=0.111）均无显著差异。

表 3 核桃棉间作和棉花单作田节肢动物群落结构特征指数

Table 3 The characteristic index of arthropod community in walnut-cotton intercropping and cotton monocropping fields

年度 Year	群落类型 Community type	种植模式 Cultivation pattern	多样性指数 Shannon-Wiener index	均匀度指数 Evenness index	优势集中度指数 Dominant concentration index
2017	所有节肢动物	核桃棉间作	(0.68±0.05)a	(0.44±0.03)a	(0.59±0.04)a
		棉花单作	(0.61±0.08)a	(0.40±0.05)a	(0.66±0.05)a
	害虫亚群落	核桃棉间作	(0.51±0.06)a	(0.39±0.04)a	(0.73±0.04)a
		棉花单作	(0.48±0.08)a	(0.38±0.06)a	(0.75±0.04)a
	天敌亚群落	核桃棉间作	(1.03±0.05)a	(0.57±0.02)a	(0.45±0.03)a
		棉花单作	(1.07±0.07)a	(0.60±0.04)a	(0.44±0.04)a
2018	所有节肢动物	核桃棉间作	(0.67±0.08)a	(0.46±0.06)a	(0.58±0.05)a
		棉花单作	(0.56±0.07)a	(0.35±0.05)a	(0.70±0.05)a
	害虫亚群落	核桃棉间作	(0.35±0.07)a	(0.28±0.05)a	(0.82±0.04)a
		棉花单作	(0.34±0.05)a	(0.25±0.05)a	(0.84±0.03)a
	天敌亚群落	核桃棉间作	(0.87±0.07)a	(0.51±0.03)a	(0.52±0.04)a
		棉花单作	(0.80±0.12)a	(0.47±0.03)a	(0.58±0.06)a

对害虫亚群落,间作模式与单作模式的群落多样性指数(2017, $P=0.726$; 2018, $P=0.956$)、群落均匀度指数(2017, $P=0.726$; 2018, $P=0.055$)以及优势集中度指数(2017, $P=0.761$; 2018, $P=0.659$)均无显著差异。

对天敌亚群落,间作模式与单作模式的群落多样性指数(2017, $P=0.729$; 2018, $P=0.579$)、群落均匀度指数(2017, $P=0.599$; 2018, $P=0.607$)以及优势集中度指数(2017, $P=0.876$; 2018, $P=0.469$)均无显著差异。

3　结论与讨论

在作物害虫生态调控中,间作是一种常见措施,可以通过促进天敌保育、调控农田节肢动物群落结构及其动态控制害虫的发生为害。如 Hummel 等[13]研究了小麦与油菜间作对步甲群落多样性的影响,结果表明,与小麦单作、油菜单作相比小麦油菜间作田多样性指数、均匀度指数均有显著的增加,同时增加了步甲的种群数量。师光禄等[14]研究发现枣园种草不仅提高了枣树上捕食性天敌的种群数量,同时也增加了捕食性天敌控制害虫的稳定性和可持续性。师光禄等[15-16]研究了枣树和牧草间作对枣园捕食性天敌与害虫群落的影响,结果表明间作枣园害虫物种数、多样性和均匀度明显大于未间种牧草的枣园;单作枣园的天敌优势度明显大于间种牧草枣园,间作枣园捕食性天敌个体数与害虫个体数的比值大于单作枣园。魏巍等[17]研究了梨树与不同芳香植物间作对中国梨木虱 *Psylla chinesis* 及其天敌类群组成、时间生态位的变化,结果表明,间作区中国梨木虱的时间生态位宽度明显增大,多数天敌的时间生态位宽度显著增加;梨园间作芳香植物可能通过改变中国梨木虱及其天敌类群的组成、时序特征和生态位特征等控制中国梨木虱的发生。

然而,在作物生产实践中,另外一种间作模式以提高作物生产效益为主要目标,大多并不考虑其他方面的影响。毫无疑问,这种间作模式对节肢动物群落结构的影响往往是多样化的。Risch[18]对已报道的 150 篇间作对植食性害虫种群影响的文献进行了综述,结果表明,在所综述的文献中间作使 53% 的害虫发生减轻,同时间作使 18% 的害虫种群增加,9% 间作田和单作田害虫种群数量是相同的,20% 是不确定的。Akbulut 等[19]以杂交白杨树行间分别种植玉米、大豆、南瓜为处理,无种植作物的白杨树林以及远离林木种植作物的田块为对照,研究了田篱间作对林木、农作物以及节肢动物群落的影响。结果表明,在采集到的节肢动物标本中,在整个复合农林系统样地采集到 118 个科,在无林木的对照样地采集到 57 个科,在白杨树的对照样地收集到 44 个科,各样地之间除多样性指数外,均匀性指数、优势集中度指数均无差异。戈峰等[20]应用数量分析与能量测定相结合的方法,定量地分析和比较了华北棉区多样化的间套作棉田生态系统与单作棉田生态系统中主要害虫、天敌的种群动态,结果表明,多样化的间套作系统增加了害虫群落的能量生产力,有利于天敌群落能量的生产,同时,套间作系统天敌对害虫的摄食利用效率减少,增加了植食性害虫对植株的摄入量。

本文研究表明,南疆地区 3 种果棉间作棉田节肢动物群落多样性指数、均匀度指数和优势集中度指数与单作棉田相比均无显著性差异。主要原因可能是,枣树、苹果树、核桃树的花期较早,与棉花生长期不重合,同时 3 种果树的害虫发生种类与棉花上害虫种类相似度低,因此果树对棉田节肢动物群落结构影响不明显。本研究的初步结果为南疆果棉间作模式下棉花害虫灾变机制的解析与绿色防控对策的制定提供了一定的科学依据。农田节肢动物群落常处于不断的演替之中,南疆果棉间作模式也不例外,有待进一步加强长期性监测,有助于全面探明果棉间作模式的推广过程中棉田节肢动物群落结构的变化规律。

参考文献

[1] 郑秋芬, 陈彤, 刘国勇. 南疆三地州粮棉果间作经济效益评价[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(4): 759-766.

[2] SHI Guanglu, ZHAO Lilin, MIAO Zhenwang, et al. Structure characteristics of the arthropod community in the jujube orchards with different habits [J]. Acta Ecological Sinica, 2005, 48(4): 1422-1430.

[3] 贾永超, 禹田, 张晓明, 等. 不同间作模式玉米田天敌节肢动物群落特征[J]. 南方农业学报, 2019, 50(7): 1496-1504.

[4] 胡雅辉, 刘小侠, 赵章武, 等. 桃李间作对桃树上节肢动物群落的影响[J]. 植物保护, 2009, 35(5): 39-42.

[5] 胡雅辉, 刘小侠, 赵章武, 等. 中国北方桃李间作对步甲群落组成和营养级结构的影响[J]. 昆虫学报, 2011, 54(9): 1051-1056.

[6] 王伟, 姚举, 李号宾, 等. 杏棉间作对棉花害虫与捕食性天敌

的影响[J]. 新疆农业科学，2010，47(9)：1897－1901.
[7] SHANNON C E，WEAVER W. The mathematical theory of information [J]. Mathematical Gazette，1949，97(333)：170－180.
[8] SIMPSON E H. Measurement of diversity [J]. Nature，1949，163(4148)：688.
[9] MARGALEF D R. Information theory in ecology [J]. Society for General Systems Research，1958，3：36－71.
[10] 顾伟，马玲，丁新华，等. 扎龙湿地不同生境的昆虫多样性[J]. 应用生态学报，2011，22(9)：2410－2412.
[11] 马玲，顾伟，丁新华，等. 扎龙湿地昆虫群落结构及动态[J]. 生态学报，2011，31(5)：1371－1377.
[12] 麻应太，李春宁，崔俊，等. 秦岭牛背梁自然保护区地面昆虫的多样性[J]. 西北林学院学报，2013，28(4)：122－126.
[13] HUMMEL J D，DOSDALL L M，CLAYTON G W，et al. Ground beetle (Coleoptera：Carabidae) diversity，activity density，and community structure in a diversified agroecosystem [J]. Environmental Entomology，2012，41(1)：72－80.
[14] 师光禄，刘素琪，赵莉蔺，等. 间种牧草对枣园捕食性天敌与害虫群落动态的影响[J]. 生态学报，2006，26(5)：1422－1430.
[15] 师光禄，刘素琪，曹挥，等. 枣园生态系统中害虫与天敌群落演替规律的研究[J]. 应用生态学报，2005，16(11)：126－130.
[16] 师光禄，刘素琪，赵莉蔺，等. 间种扁茎黄芪牧草枣园害虫天敌功能团的组成与时空动态[J]. 应用生态学报，2006，17(4)：678－684.
[17] 魏巍，孔云，张玉萍，等. 梨园芳香植物间作区中国梨木虱与其天敌类群的相互作用[J]. 生态学报，2010，30(8)：2063－2074.
[18] RISCH S J. Intercropping as cultural pest control：Prospects and limitations [J]. Environmental Management，1983，7(1)：9－14.
[19] AKBULUT S，KETEN A，STAMPS W T. Effect of alley cropping on crops and arthropod diversity in Duzce，Turkey [J]. Journal of Agronomy Crop Science，2003，189(4)：261－269.
[20] 戈峰，丁岩钦. 多样化的棉田生态系统控害保益功能特征研究[J]. 应用生态学报，1997，8(3)：295－298.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 225 页）

[27] 杨华，张玉君，陈杰. 李杏混栽园食心虫种类及其种群动态调查[J]. 北方果树，2019(1)：9－12.
[28] AMMAGARAHALLI B，CHIANELLA L，GOMES P，et al. Role of plant volatiles and hetero-specific pheromone components in the wind tunnel response of male *Grapholita molesta* (Lepidoptera：Tortricidae) to modified sex pheromone blends [J]. Bulletin of Entomological Research，2017，107(5)：573－582.
[29] 康芝仙，张凤勇，孙奇，等. 梨小性诱剂对李小食心虫的活性及其在测报和防治上的应用[J]. 昆虫知识，1989，26(3)：142－145.
[30] CHEN Maohua，DORN S. Reliable and efficient discrimination of four internal fruit-feeding *Cydia* and *Grapholita* species (Lepidoptera：Tortricidae) by polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism[J]. Journal of Economic Entomology，2009，102(6)：2209－2216.
[31] LASSANCE J M，GROOT A T，LIÉNARD M A，et al. Allelic variation in a fatty-acyl reductase gene causes divergence in moth sex pheromones [J]. Nature，2010，466(7305)：486－489.
[32] YEW J Y，CHUNG H. Insect pheromones：An overview of function，form，and discovery [J]. Progress in Lipid Research，2015，59：88－105.
[33] YANG C Y，HAN K S，BOO K S. Sex pheromones and reproductive isolation of three species in genus *Adoxophyes* [J]. Journal of Chemical Ecology，2009，35(3)：342－348.
[34] CHEN Qinghua，ZHU Feng，TIAN Zhihua，et al. Minor components play an important role in interspecific recognition of insects：A basis to pheromone based electronic monitoring tools for rice pests [J]. Insects，2018，9(4)：192.
[35] GREENBERG L，JOHNSON C A，TRAGER J C，et al. Sex attractant pheromones of virgin queens of sympatric slave-making ant species in the genus *Polyergus*，and their possible roles in reproductive isolation [J]. Journal of Chemical Ecology，2018，44(6)：547－555.
[36] CARDÉ A M，BAKER T C，CARDÉ R T. Identification of a 4-component sex pheromone of the female oriental fruit moth，*Grapholitha molesta* (Lepidoptera：Tortricidae) [J]. Journal of Chemical Ecology，1979，5(3)：423－427.
[37] JUNG C R，KIM Y. Comparative transcriptome analysis of sex pheromone glands of two sympatric lepidopteran congener species [J]. Genomics，2014，103(4)：308－315.
[38] CARDÉ R T，BAKER T C，CASTROVILLO P J. Disruption of sexual communication in *Laspeyresia pomonella* (codling moth)，*Grapholitha molesta* (oriental fruit moth) and *G. Prunivora*1 (lesser appleworm) with hollow fiber attractant sources [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata，1977，22(3)：280－288.
[39] NASTAS T，RAILEANU N，CHEPTINARI V，et al. Methodological and technological methods for application of sexual pheromones against *Grapholitha funebrana* Tr [J]. Scientific Studies & Research，2014，23(2)：12－19.

（责任编辑：杨明丽）