

不同种植模式对苹果园昆虫群落多样性与稳定性的影响

李星星^{1*}, 陈思蓉^{1*}, 黄国嫣², 龚占斌², 李超²,
全勇², 陈国华¹, 张晓明^{1**}, 张金龙^{1**}

(1. 云南农业大学植物保护学院/云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201; 2. 昭通市苹果产业发展中心, 云南昭通 657000)

摘要: 为明确不同种植模式对苹果园昆虫群落多样性与稳定性的影响。2022年6-12月于昭通苹果主产区的间作大豆 *Glycine max*、间作紫花苜蓿 *Medicago sativa*、自然生草3种植模式苹果园中, 采用植株调查、网捕调查、黄盘诱集、黄板诱集、食诱剂诱集6种调查方法进行调查。3种植模式苹果园中共调查到昆虫316850头, 隶属于12目82科189种。双翅目昆虫的物种数和个体数量最多, 个体数量占3种果园中调查总个体数量的77%以上, 其中优势类群为果蝇科 *Drosophilidae*、蛾蚋科 *Psychodidae*、眼蕈蚊科 *Sciaridae*。3种植模式苹果园中性类群、植食类群、寄生类群的物种组成聚类中, 间作大豆果园与间作紫花苜蓿果园均聚为一类; 间作紫花苜蓿果园中捕食类群和植食类群的生态位宽度指数更高, 分别为17.8401和12.7612, 植食类群的生态位宽度指数更低, 为10.2868, 间作大豆果园中捕食类群和寄生类群的生态位重叠指数为0.7398, 较其余果园更低。中性类群的辛普森指数、香农-维纳指数、均匀度, 捕食类群的辛普森指数、均匀度, 寄生类群的香农-维纳指数均为间作大豆果园和间作紫花苜蓿果园高于自然生草果园; 间作紫花苜蓿果园较其余果园 S_i/S_j 波动更小, 7月和10月 S_i/S_j 值更高。本研究明确了双翅目为昭通苹果园中的优势类群, 间作大豆苹果园和间作紫花苜蓿苹果园物种组成更为相似, 较自然生草果园群落多样性更好, 其中间作紫花苜蓿苹果园昆虫群落稳定性最高, 研究结果在一定程度上可为苹果园害虫的生态防控提供借鉴。

关键词: 苹果园; 种植模式; 昆虫群落; 功能团; 群落多样性; 群落稳定性

中图分类号: Q968.1;S433 文献标识码: A

Effects of different planting patterns on insect community diversity and stability in apple orchards

LI Xing-Xing^{1*}, CHEN Si-Rong^{1*}, HUANG Guo-Yan², GONG Zhan-Bin², LI Chao², QUAN Yong², CHEN Guo-Hua¹, ZHANG Xiao-Ming^{1**}, ZHANG Jin-Long^{1**} (1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University/National Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-resources in Yunan, Kunming 650201, China; 2. Apple Industry Research

基金项目: 云南省重大科技专项(202102AE090006); “兴滇英才支持计划”青年人才专项(YNWRNBJ2020291); 云南省中青年学术技术带头人后备人才项目(202105AC160071); “云南省昭阳区苹果产业科技特派团”项目(202104BI090028)

*共同第一作者: 李星星, 男, 硕士研究生, 主要研究方向为害虫生态治理, E-mail: LixxStarr@163.com; 陈思蓉, 女, 硕士, 主要研究方向为害虫生态治理, E-mail: Chensirong1018@163.com

**共同通讯作者 Author for correspondence: 张金龙, 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为昆虫生态学, E-mail: sasazjl@126.com; 张晓明, 男, 博士, 教授, 主要研究方向为昆虫生态学, E-mail: zxmalex@126.com

收稿日期 Received: 2023-10-08; 接受日期 Accepted: 2024-04-22

Institute of Zhaotong, Zhaotong 657000, Yunnan Province, China)

Abstract: To clarify the impact of different planting patterns on the diversity and stability of insect communities in apple orchards, this study was conducted from June to December 2022 in the main apple production area of Zhaotong. Three planting patterns were compared: apple intercropping with soybean orchard (AS), apple intercropping with alfalfa orchard (AA), and natural grass cover (NG). Six survey methods were employed, including plant surveys, net captures, yellow plate trapping, yellow board trapping, and food attractant trapping. A total of 316850 insects belonging to 12 orders, 82 families, and 189 species were surveyed in the three apple orchards. Diptera had the highest species richness and abundance, accounting for over 77% of the total individuals surveyed in all three orchards. The dominant families were Drosophilidae, Psychodidae, and Sciaridae within Diptera. In the clustering of neutral groups, phytophagous groups, and parasitic groups, AA and AS orchards clustered together. The ecological niche width indices for predatory and phytophagous groups in AA orchards were higher at 17.8401 and 12.7612, respectively, compared to 10.2868 for phytophagous groups. The niche overlap index for predatory and parasitic groups in AS orchards was 0.7398, which was lower than the other orchards. The Simpson index, Shannon-Wiener index, and evenness of neutral groups, as well as the Simpson index and evenness of predatory groups, and Shannon-Wiener index of parasitic groups were higher in AS and AA orchards compared to NG orchards. The fluctuation of S_j/S_i in AA orchards was smaller than in the other orchards, and S_a/S_p values were higher in July and October. This study clarified that Diptera were the dominant group in Zhaotong apple orchards. Intercropping with soybeans and intercropping with alfalfa orchards resulted in more similar species compositions compared to natural grass orchards, indicating better community diversity. Among them, the insect community stability was highest in the intercropping with alfalfa orchards. The results of this study can provide reference for the ecological control of pests in apple orchards.

Key words: Apple orchards; planting patterns; insect community; functional group; community diversity; community stability

昆虫是生物多样性的的重要组成部分，其在生态系统的能量运输、维持植物群落结构稳定性等方面发挥着重要作用，其与植物群落的密切联系使得其群落多样性和稳定性能直接反映生态系统的健康状况（苏兰等，2012）。农耕是世界上规模最大的人类活动，农田生态系统是除城市生态系统外与人类生产生活最为密切的半人工生态系统（张凯迪等，2023）。因此，研究农田生态系统中不同种植模式对昆虫群落多样性和稳定性的影响，对于探索种植模式提高天敌利用保护程度，降低害虫对主要作物的危害具有积极意义。

昆虫对植物群落变化十分敏感，农田生态系统中不同种植模式会影响昆虫群落的组成、多样性和稳定性，果园生草与间作作物会影响天敌丰富度和昆虫群落稳定性。如间作玉米 *Zea mays* 会使花椒 *Zanthoxylum bungeanum* 园中昆虫物种、群落多样性、丰富度提高，昆虫

群落稳定性更好、害虫大发生的几率降低（董振隆等，2013）；茶园中间作苦李 *Prunus* sp.、山茱萸 *Cornus officinalis* 或板栗 *Castanea mollissima* 有增进昆虫多样性的效应（吴满霞等，2010）；小麦 *Triticum aestivum* 田间作显花植物，不仅能提高授粉昆虫的数量和多样性，还能有效吸引害虫天敌（Amy et al, 2018）。在果园间作植物中紫花苜蓿 *Medicago sativa* 和大豆 *Glycine max* 为常选植物，两者均属豆科植物，具备固氮特性能将大田土壤氮素转移给间作作物，提高作物的氮肥供给（李立坤等，2019；赵建涛等，2023）。在已有研究中，两种作物的间作对果园群落具有积极影响。如 Shi 等（2006）研究了枣园间作紫花苜蓿、百脉根 *Lotus corniculatus*、白车轴草 *Trifolium repens*、斜茎黄芪 *Astragalus laxmannii* 对昆虫群落的影响，发现生草有利于天敌的保护与繁殖，生草的果园昆虫群落更稳定；果园中间作不同种类牧草节肢动物种类在密度、多样性、均匀度上都存在差异，间作一年生绿肥作物和苜蓿能增加果园天敌丰富度、生态位宽度，提高天敌对害虫的生态位重叠指数（达先鹏，2020）；张晓明等（2009）研究了花椒园中间作大豆等作物，发现间作大豆使空间垂直分层为不同类型的昆虫提供了充足的空间。

昭通地处云南滇东北地区，因适宜的气候和土壤条件使其成为南方苹果种植生产的重要基地。本研究通过对云南省苹果主产区昭通地区 3 种最常见的果园种植模式：间作紫花苜蓿、间作大豆和自然生草 3 种苹果园的昆虫群落进行系统调查，以群落中功能团多样性角度分析不同种植模式下昆虫功能团的差异和昆虫群落结构、时间格局变化，以期探明不同种植模式对苹果园昆虫群落多样性与稳定性的影响，为天敌昆虫的高效保护和利用及苹果园害虫综合防治技术体系构建提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验于 2022 年 6-12 月进行，调查样地位于云南省昭通市昭阳区苏家院镇绿健果蔬商贸有限公司苹果庄园（27.2804°N，103.5459°E），海拔 1 963.9 m。选取昭通地区常见的 2 种间作果园进行调查，以自然生草果园为对照，3 种果园管理方式同当地常规管理一致。苹果种植区的行间距为 3 m，株间距为 1~2 m，品种主要为“新红将军”，零星种植有“红露”、“短枝富士”和“秦脆”品种。具体为：（1）间作大豆苹果园（AS）：苹果园内间作“棕籽豆”品种大豆，种植面积约为 3.6 hm²，树龄平均约为 9 年。大豆于 5 月初开始播种，11 月中旬收获，大豆间隔苹果 1.3 m 成两行种植，行间距 40 cm，株间距 30 cm；（2）间作紫花苜蓿苹果园（AA）：苹果园内间作“三得利”品种紫花苜蓿，种植面积约为 3.6 hm²，树龄平均约为 10 年。紫花苜蓿于 3 月中旬撒播，12 月中旬收割，期间分别于 6 月和 8 月刈割，留茬高度约 5 cm；（3）自然生草苹果园（NG）：苹果园内自然生长黑麦草 *Lolium perenne*、扁穗雀麦 *Bromus catharticus*、鬼针草 *Bidens pilosa*、酢浆草 *Oxalis corniculata* 等，种植面积约为 3.6 hm²，树龄平均约为 10 年，在调查期间园内定期耕地、机械除草。

1.2 调查方法与物种鉴定

于3种果园中设置3个调查区域，每个区域1000 m²。调查区域内采用五点取样法进行定点的植株调查、网捕调查、黄盘诱集、黄板诱集、食诱剂诱集。每隔7 d调查一次，如遇雨天顺延。植株调查：于果园内每个样点调查1棵果树，每株树分东、南、西、北四个方位，每个方位选取一枝二年生长约50 cm的枝条，调查时从枝条端部向基部详细记录昆虫种类及其数量（李东育等，2021）。网捕调查：于果园内各样点进行扫网（80目，网口直径35 cm），扫网面积为1 m×5 m，每次扫网20复网（赵雪晴等，2011）。黄盘诱集法：于果园内各取样点放置1个黄盘（直径20 cm，深3 cm）。黄板诱集：于果园内各取样点选取1棵果树悬挂黄色双面粘虫板（长×宽为25 cm×30 cm，颜色L/a/b=82.33 : 8.22 : 82.13）。食诱剂调查：于果园内各取样点选取1棵果树悬挂食诱剂诱捕器（由昆明猎虫农业科技有限公司提供，成分为糖醋酒液与甲基丁香酚的混合溶液）（张晓明等，2009）。黄盘、黄板、食诱剂均放置24 h，黄板、食诱剂悬挂于1.5 m高度处。调查中暂不能定名的昆虫标本，使用80%酒精保存，鳞翅目成虫标本用毒瓶毒死后放入三角纸袋保存，统一编号后带回试验室进行鉴定。依据形态学鉴定相关资料（郑乐怡，1999；赵梅君等，2005；洪晓月和丁锦华，2007；张巍巍和李元胜，2011；杨琳和陈祥盛，2017）对采集标本进行鉴定，鉴定时将标本鉴定到种，对于无法鉴定到种的昆虫则尽可能鉴定到较低的分类阶元（科或属），采集到标本保存于云南农业大学植物保护学院昆虫学系标本室。

1.3 分析方法

将每次调查时各调查方法所得数据进行汇总，得到共计26次调查数据后进行以下分析。

1.3.1 昆虫群落类群划分

根据昆虫的食性将昆虫群落划分为4个功能团：中性类群（Ne）、植食性类群（Ph）、捕食性类群（Pr）、寄生性类群（Pa）（何云川等，2018）。

1.3.2 群落组成聚类分析

以不同种植模式苹果园中各个类群昆虫的物种数和个体数为变量计算Bray-Curtis Measure距离系数矩阵，并以距离系数矩阵进行系统聚类分析（Bray and Curtis, 1957）。

1.3.3 生态位宽度指数和生态位重叠指数

以6-12月每次调查所得数据组成26次时间资源序列，分别计算3种植模式苹果园中4个昆虫功能团的生态位宽度和生态位重叠指数。采用Levin测度计算生态位宽度指数，计算公式为： $B = \frac{1/\sum_{i=1}^n p_i^2 - 1}{S - 1}$ ，式中 P_i 为在一个资源集合中，物种在第 i 个单元中所占比例， S 为资源集合中的总单元数（Levins, 1968）。采用Horn's重叠指数计算生态位重叠指数，计算公式为：

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{ij} + P_{ik}) \ln(P_{ij} + P_{ik}) - \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) - \sum_{i=1}^n P_{ik} \ln(P_{ik})}{2 \ln(2)}$$

式中 R_o 为种类 k 对种类 j 的生态位重叠指数， P_{ij} 为由种类 j 所利用的整个资源中第 i 种资源所占比例； P_{ik} 为由种类 k 所利用的整个资源中第 i 种资源所占比例， n 为资源状态总数

(Horn, 1966)。

1.3.4 主成分分析

以调查数据为样本,以各类群昆虫的物种数量和个体数为变量进行主成分分析,计算各因子的特征向量和累计贡献率(张金龙等,2021)。

1.3.5 ACE 值与物种累积曲线

计算基于丰度的覆盖估计值(abundance-base coverage estimator, ACE)值,以衡量昆虫群落多样性并计算实际物种数与 ACE 值比例进行抽样充分性判断(Chao *et al.*, 1992);以抽样量作为横坐标,以物种数作为纵坐标绘制物种曲线,根据曲线特征判断抽样充分性(李巧等,2009)。

1.3.6 多样性分析

香农-维纳指数(Shannon-Wiener index, H'),计算公式为: $H' = -\sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$, $P_i = N_i/N$; 辛普森指数(Simpson index, C),计算公式为: $C = \sum_{i=1}^S (\frac{N_i}{N})^2$ (Pielou, 1969); 均匀度指数(Pielou evenness index, J),计算公式为: $J = H'/\ln S$; 式中 N 为全部种的种群数量、 N_i 为第 i 个种群的个体数, S 为物种数(Pielou, 1966)。

1.3.7 群落稳定性

采用 S_s/S_i 、 S_a/S_p 来描述群落稳定性,其中 S_s 为物种数、 S_i 为个体数、 S_a 为天敌种数、 S_p 为植食性昆虫种数(高宝嘉等,1992)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2021 进行数据汇总整理,使用 DPS (Version 7.05) 计算 ACE 值、距离系数矩阵、多样性相关指数、生态位宽度指数、生态位重叠指数,进行系统聚类分析;使用 SPSS 26.0 进行主成分分析、单因素方差分析及显著性检验(Tukey 法, $P < 0.05$),使用 Origin 2021 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式苹果园的物种组成及群落结构

2.1.1 物种组成

共调查到昆虫 316 850 头,隶属于 12 目 82 科 189 种。各目中,以双翅目昆虫的科数与种数最多,分别为 23 科和 53 种,占有物种科数的 28.05%、种数的 28.04%,其中发生持续时间长、发生量大的主要有黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster*、白斑蛾蚋 *Clogmia albipunctata*、南亚实蝇 *Zeugodacus tau*、尖眼蕈蚊 *Sciara sp.*; 其次以半翅目、鳞翅目、鞘翅目、膜翅目的科数较多,均在 10 科以上,其余目所拥有科数和种数较低。从昆虫个体数量上来看,双翅目昆虫的个体数量最多,高达 256 006 头,占总个体数量的 80.80%; 其次以半翅目和膜翅目昆虫的个体数量较高,分别占总个体数的 12.50%和 4.66%,其余目昆虫个体数量均较低,个体数量之和仅占总个体数量的 2.04% (表 1)。

3 种植模式苹果园中昆虫种类数量均以间作紫花苜蓿苹果园中的物种数和昆虫个体数量最多，数量分别达 163 种和 128 384 头；3 种苹果园中均以双翅目的物种数和个体数量最多，物种数均在 50 种以上，个体数量均占总个体数量的 77%以上，其中优势类群为果蝇科 *Drosophilidae*、蛾蚋科 *Psychodidae*、眼蕈蚊科 *Sciaridae*；同一目昆虫的种类和个体数量在不同果园中不同，间作紫花苜蓿苹果园中脉翅目、直翅目、双翅目、半翅目昆虫较其余果园个体数量更多，缨翅目昆虫的个体数量在间作大豆苹果园中更高，膜翅目昆虫个体数量于自然生草苹果园中数量更高（表 2）。

在间作紫花苜蓿苹果园中捕食类群和寄生类群的物种数（34 种、38 种）和捕食类群的个体数（1 619 头）更高，在自然生草苹果园中中性类群的个体数占比（59.31%）较其余果园更高，间作紫花苜蓿苹果园中的植食性类群的个体数（68 145 头）和占比（53.08%）较其余果园更高；捕食类群中优势类群主要为食蚜蝇科 *Syrphidae*、草蛉科 *Chrysopidae*，寄生类群中优势类群为小蜂科 *Chalcididae*、茧蜂科 *Braconidae*、姬蜂科 *Ichneumonidae*、锤角细蜂科 *Diapriidae*（表 3）。

表 1 昭通苹果园中的昆虫群落组成

Table 1 Composition of insect communities in apple orchards in Zhaotong

目 Order	科数 Number of families	比例 (%) Proportion	种数 Number of species	比例 (%) Proportion	个体数 Number of individuals	比例 (%) Proportion
蜉蝣目 Ephemeroptera	1	1.22	1	0.53	16	0.01
革翅目 Dermaptera	1	1.22	1	0.53	15	<0.01
螳螂目 Mantodea	1	1.22	1	0.53	3	<0.01
缨翅目 Thysanoptera	1	1.22	1	0.53	2 677	0.84
脉翅目 Neuroptera	2	2.44	4	2.12	541	0.17
直翅目 Orthoptera	2	2.44	2	1.06	3	<0.01
蜻蜓目 Odonata	3	3.66	3	1.59	62	0.02
半翅目 Hemiptera	11	13.41	29	15.34	39 598	12.50
鳞翅目 Lepidoptera	12	14.63	21	11.11	1 546	0.49
鞘翅目 Coleoptera	12	14.63	23	12.17	1 605	0.51
膜翅目 Hymenoptera	13	15.85	50	26.46	14 778	4.66
双翅目 Diptera	23	28.05	53	28.04	256 006	80.80
合计 Total	82	100.00	189	100.00	316 850	100.00

表 2 不同种植模式苹果园中的昆虫群落组成

Table 2 Composition of insect communities in different apple planting orchards

目 order	种植模式 Planting patterns								
	间作大豆苹果园 Apple-soybean orchard			间作紫花苜蓿苹果园 Apple-alfalfa orchard			自然生草苹果园 Natural grass orchard		
	N_s	N_l	R_{Nl} (%)	N_s	N_l	R_{Nl} (%)	N_s	N_l	R_{Nl} (%)
蜉蝣目 Ephemeroptera	1	2	<0.01	0	0	0.00	1	12	0.01
革翅目 Dermaptera	0	0	0.00	1	2	<0.01	1	8	0.01
螳螂目 Mantodea	1	2	<0.01	1	7	0.01	0	0	0.00
缨翅目 Thysanoptera	1	872	0.91	1	1	0.00	1	369	0.40

脉翅目 Neuroptera	4	187	0.20	1	1 436	1.12	4	142	0.15
直翅目 Orthoptera	1	1	<0.01	4	212	0.17	1	2	0.00
蜻蜓目 Odonata	0	0	0.00	3	20	0.02	3	42	0.05
半翅目 Hemiptera	24	12 499	13.04	23	13 991	10.90	25	13 108	14.15
鳞翅目 Lepidoptera	13	570	0.59	16	666	0.52	15	310	0.33
鞘翅目 Coleoptera	18	382	0.40	19	621	0.48	19	602	0.65
膜翅目 Hymenoptera	38	4 162	4.34	43	4 395	3.42	34	6 221	6.72
双翅目 Diptera	50	77 164	80.51	51	107 033	83.37	50	71 809	77.53
合计 Total	151	95 841	100.00	163	128 384	100.00	154	92 625	100.00

注: N_S 为物种数, N_I 为个体数, R_{NI} 为该昆虫个体数占该果园中总个体数的比例, 表 3 同。Note: N_S was the number of species, N_I was the number of individuals, and R_{NI} was the rate of the number of individuals to the total number in the orchard, the same as the following table 3.

表 3 不同种植模式苹果园中的昆虫功能团构成

Table 3 Composition of functional groups of insects in different apple planting orchards

种植模式 Planting patterns	昆虫功能团 Functional groups of insects															
	中性类群 Neutral group				植食类群 Phytophagous group				捕食类群 Predatory group				寄生类群 Parasitic group			
	N_S	R_{NS} (%)	N_I	R_{NI} (%)	N_S	R_{NS} (%)	N_I	R_{NI} (%)	N_S	R_{NS} (%)	N_I	R_{NI} (%)	N_S	R_{NS} (%)	N_I	R_{NI} (%)
间作大豆苹果园 Apple-soybean orchard	28	18.54	44 066	45.98	61	40.40	46 901	48.94	29	19.21	1 035	1.08	33	21.85	3 839	4.01
间作紫花苜蓿苹果园 Apple-alfalfa orchard	28	17.18	54 945	42.80	63	38.65	68 145	53.08	34	20.86	1 619	1.26	38	23.31	3 675	2.86
自然生草苹果园 Natural grass orchard	28	18.18	54 938	59.31	65	42.21	30 934	33.40	33	21.43	1 480	1.60	28	18.18	5 273	5.69

注: R_{NS} 为该族群昆虫物种数占该果园中总物种数的比例。Note: R_{NS} was the rate of insect species in this group to the total number of species in the orchard.

2.1.2 不同种植模式苹果园间昆虫群落组成聚类分析

中性类群、植食类群、寄生类群的物种组成聚类中，间作紫花苜蓿苹果园与间作大豆苹果园均聚为一类，距离系数分别为 0.1200、0.1974、0.1709；捕食类群的物种组成聚类中，间作大豆苹果园与自然生草苹果园聚为一类，距离系数为 0.2517（图 1）。

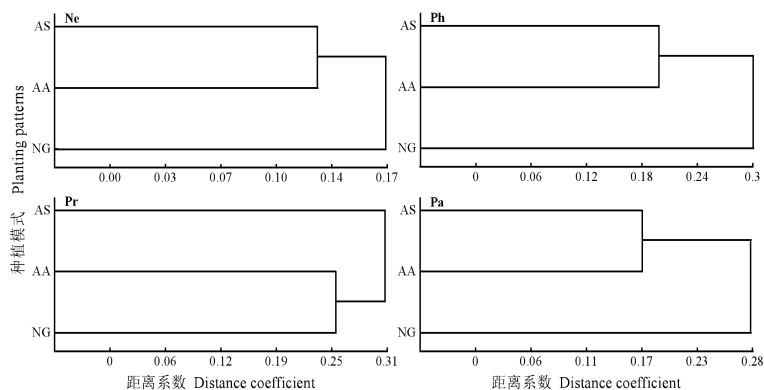


图 1 不同种植模式苹果园昆虫功能团聚类图

Fig. 1 Cluster dendrogram insect functional group in different apple planting orchards

注：Ne 为中性类群，Ph 为植食类群，Pr 为捕食类群，Pa 为寄生类群；图中为 AS 为间作大豆苹果园，AA 为间作紫花苜蓿苹果园，NG 为自然生草苹果园，表 4、图 3 同。Note: In the figure, Ne was a neutral group, Ph was a phytophagous group, Pr was a predatory group, and Pa was a parasitic group, the same as table 4 and fig. 3.

2.1.3 不同种植模式苹果园中昆虫功能团的生态位宽度与生态位重叠指数

苹果园不同种植模式会对昆虫群落中各功能团的生态位宽度和生态位重叠指数产生影响。间作紫花苜蓿苹果园中捕食类群和寄生类群的生态位宽度指数分别为 17.8401 和 12.7612，较其余两果园中的更高，植食类群在间作紫花苜蓿苹果园中的生态位宽度指数为 10.2868，较其余两种果园的更低。不同种植模式苹果园中各类群间的生态位重叠指数相对大小顺序不同，捕食类群、寄生类群和中性类群的生态位重叠指数均在自然生草苹果园中最高，分别为 0.9354、0.7853；捕食类群和植食类群的生态位重叠指数在间作紫花苜蓿、间作大豆苹果园中均在 0.86 以上，高于自然生草苹果园；寄生类群和捕食类群的生态位重叠指数在间作紫花苜蓿苹果园和自然生草苹果园中较为接近，且高于间作大豆苹果园。（表 4）。

表 4 不同种植模式苹果园昆虫功能团的生态位宽度指数与生态位重叠指数

Table 4 Niche width index and niche overlap index of insect functional groups in different apple planting orchards

昆虫功能团 Functional groups of insects	中性类群 Neutral group			植食类群 Phytophagous group			捕食类群 Predatory group			寄生类群 Parasitic group		
	AS	AA	NG	AS	AA	NG	AS	AA	NG	AS	AA	NG
	中性类群 Neutral group	5.3489	5.3803	7.3753								
植食类群 Phytophagous group	0.8294	0.8698	0.834	14.0096	10.2868	17.5664						
捕食类群 Predatory group	0.8285	0.8606	0.9354	0.866	0.8894	0.8221	13.4781	17.8401	17.6066			

寄生类群

Parasitic group	0.6448	0.7123	0.7853	0.7604	0.8526	0.8758	0.7398	0.8628	0.8591	9.1264	12.7612	6.5591
-----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	--------

注：对角线数据为生态位宽度指数，对角线下为生态位重叠指数。Note: Values on main diagonal were niche width index, values under the main diagonal were niche overlap index.

2.1.4 不同种植模式苹果园昆虫群落的主成分分析

间作大豆苹果园和自然生草苹果园昆虫群落的前 3 个主成分的累积贡献率在 80%以上，可将两果园的昆虫群落组成划分为 3 个主成分，间作紫花苜蓿苹果园的前 4 个主成分的累积贡献率在 80%以上，可将其昆虫群落组成划分为 4 个主成分（表 6）。间作大豆苹果园的第一主成分为捕食类群个体数、捕食类群物种数、植食类群个体数的综合因子，说明在间作大豆苹果园中影响昆虫群落变化的主要因子是捕食类群个体数、捕食类群物种数、植食类群个体数。间作紫花苜蓿苹果园的昆虫群落第一主成分为植食类群个体数、植食类群物种数的综合因子，与其余种植模式相比间作紫花苜蓿苹果园中第一主成分的贡献率较低，仅为 32.98%。自然生草苹果园的昆虫群落第一主成分为捕食类群物种数、植食类群物种数、中性类群物种数的综合因子，即捕食类群、植食类群、中性类群的物种数是影响自然生草果园群落变化的主要因子（表 5）。

表 5 不同种植模式苹果园各昆虫群落的主成分分析

Table 5 Principal component analysis of insect communities in different apple planting orchards

种植模式 Planting patterns	主成分 Component	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	累计贡献率 (%)
										Accumulative contribution rate
间作大豆苹果园 Apple-soybean orchard	I	0.85	0.71	0.90	0.64	-0.72	0.32	-0.37	0.62	44.74
	II	-0.22	-0.51	-0.32	0.50	0.32	0.53	-0.55	0.62	66.24
	III	-0.01	0.41	-0.08	0.16	0.40	0.61	0.69	0.05	81.34
间作紫花苜蓿苹果园 Apple-alfalfa orchard	I	0.08	-0.62	0.61	0.75	0.24	0.78	0.66	0.45	32.98
	II	0.24	-0.27	-0.77	-0.44	0.69	-0.03	0.33	0.56	55.68
	III	0.91	-0.14	0.05	0.18	-0.07	-0.49	0.42	-0.44	74.46
自然生草苹果园 Natural grass orchard	IV	-0.26	0.64	-0.01	0.41	0.57	-0.19	0.31	-0.17	88.64
	I	0.61	0.85	0.80	0.77	0.75	0.61	0.74	0.84	56.68
	II	-0.07	0.40	-0.12	0.53	-0.62	0.48	-0.42	-0.14	72.48
	III	0.75	0.09	0.47	-0.20	-0.13	-0.20	-0.36	-0.32	86.31

注： X_1 为捕食类群个体数， X_2 为捕食类群物种数， X_3 为植食类群个体数， X_4 为植食类群物种数， X_5 为中性类群个体数， X_6 为中性类群物种数， X_7 为寄生类群个体数， X_8 为寄生类群物种数。Note: X_1 was the number of predatory individuals, X_2 was the number of predatory species, X_3 was the number of phytophagous individuals, X_4 was the number of phytophagous species, X_5 was the number of neutral individuals, X_6 was the number of neutral species, X_7 was the number of parasitic individuals, X_8 was the number of parasitic species.

2.2 3 种植模式苹果园的昆虫群落多样性与稳定性

2.2.1 ACE 值与物种累积曲线

3 种植模式苹果园的 ACE 值由高到低依次为：间作紫花苜蓿苹果园（165.86）>自然生草苹果园（157.18）>间作大豆苹果园（154.23），田间实际采集物种数与 ACE 值的比例均在 97.9%以上；3 种植模式苹果园的物种累积曲线均随调查次数增加逐渐上升，在 10

月 25 日调查之后上升趋于平缓, 于 11 月 22 日调查时趋于稳定, 结合 ACE 值可认为 3 种果园昆虫群落调查中抽样充分, 采集效果较好 (图 3)。

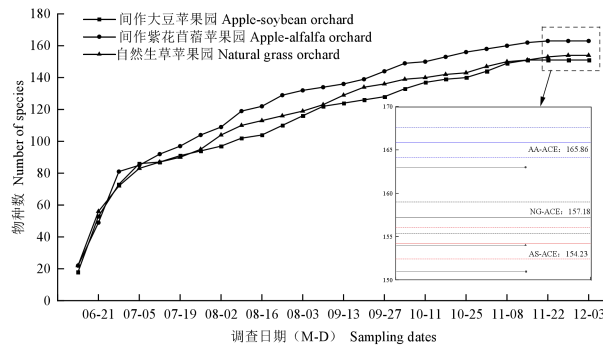


图 2 物种累积曲线与 ACE 值

Fig. 2 Species accumulation curve and ACE index

注: 图中 AS-ACE 为苹果-大豆果园 ACE 值, AA-ACE 为苹果-紫花苜蓿果园 ACE 值, NG-ACE 为自然生草果园 ACE 值。Note: In the picture, AS-ACE was the ACE value of apple-soybean orchard, AA-ACE was the ACE value of apple-alfalfa orchard, and NG-ACE was the ACE value of natural grass orchard.

2.2.2 不同种植模式苹果园中各昆虫功能团多样性分析

3 种植模式苹果园中植食类群和寄生类群的辛普森指数无显著差异 (Ph: $F_{2,27}=0.845$, $P=0.4407$; Pa: $F_{2,27}=3.01$, $P=0.0661$), 中性类群和捕食类群的辛普森指数均为间作大豆苹果园和间作紫花苜蓿苹果园高于自然生草苹果园 (Ne: $F_{2,27}=7.037$, $P=0.003$; Pr: $F_{2,27}=6.784$, $P=0.004$)。3 种植模式苹果园中植食类群和捕食类群的香农-维纳指数无显著差异 (Ph: $F_{2,27}=1.514$, $P=0.2381$; Pr: $F_{2,27}=3.102$, $P=0.0613$), 中性类群和寄生类群的香农-维纳指数为间作大豆苹果园和间作紫花苜蓿苹果园显著高于自然生草苹果园 (Ne: $F_{2,27}=7.548$, $P=0.002$; Pa: $F_{2,27}=8.935$, $P=0.001$)。3 种植模式苹果园中植食类群和寄生类群的均匀度指数无显著差异 (Ph: $F_{2,27}=2.973$, $P=0.0681$; Pa: $F_{2,27}=0.838$, $P=0.4436$), 中性类群和捕食类群的均匀度为间作大豆苹果园和间作紫花苜蓿苹果园高于自然生草苹果园 (Ne: $F_{2,27}=7.579$, $P=0.002$; Pr: $F_{2,27}=9.554$, $P=0.0007$) (图 4)。

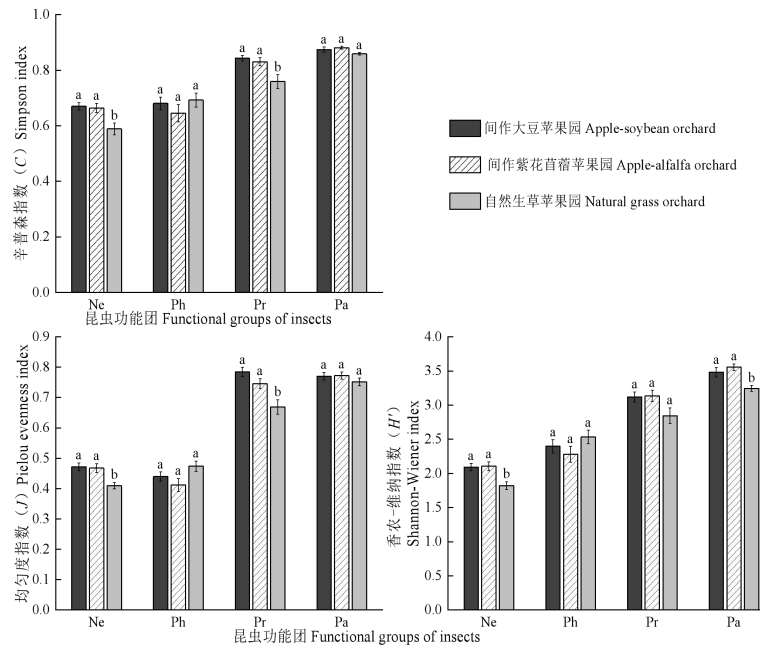


图 3 不同种植模式苹果园中各昆虫功能团的辛普森指数、香农-维纳指数与均匀度指数

Fig. 3 Simpson index, Shannon-wiener index and Pielou evenness index of each insect functional groups in different apple planting orchards

注：图中柱上不同小写字母表示该类群昆虫的多样性指数在不同种植模式苹果园中差异显著（Tukey 检验法， $P < 0.05$ ）。Note: Different lowercase letters on the column indicated that the diversity index of insects of this functional group was significantly different in apple orchards with different planting patterns (Tukey test, $P < 0.05$).

2.2.3 不同种植模式苹果园中昆虫群落稳定性分析

3 种植模式苹果园昆虫群落的 S_s/S_i 动态变化均大致呈现先增高后降低，且于最后一次调查时急剧增高的趋势，同一时期 3 种果园的 S_s/S_i 值较为接近。具体来看，自 6 月中旬调查开始 S_s/S_i 逐渐增加，8 月中旬至 10 月初一直处于较高水平波动，于 10 月初再次降低后保持在较低水平，直至最后一次调查时急剧增高。在 7 月和 10 月调查中间作紫花苜蓿果园的 S_a/S_p 值较其余果园的更高（图 4）。

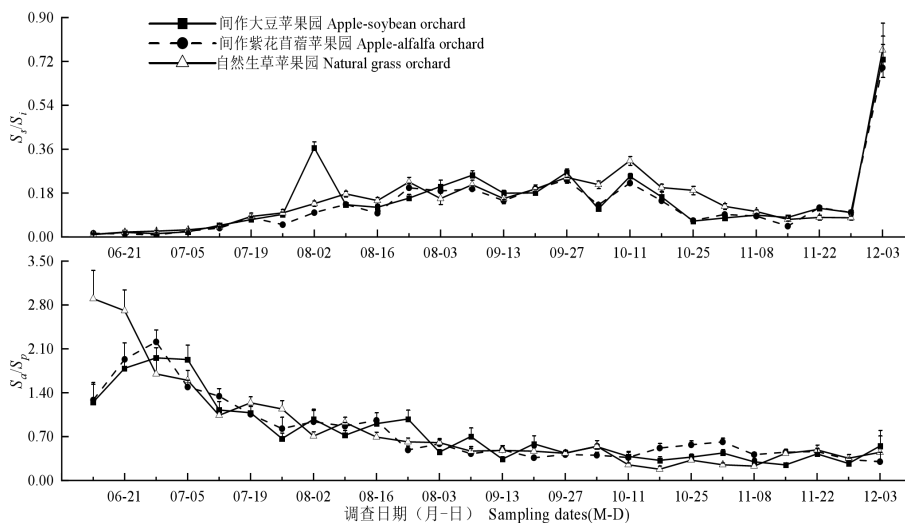


图 4 不同种植模式苹果园昆虫群落 S_s/S_i 和 S_a/S_p 的季节变化

Fig. 4 Seasonal variation of S_i/S_i and S_a/S_p of insect community in different apple planting orchards

3 结论与讨论

研究区苹果园昆虫群落组成丰富,由 12 目 82 科 189 种组成,不同种植模式苹果园中昆虫群落的物种数量和个体数有差异,间作紫花苜蓿苹果园中的物种数和个体数更多,其中脉翅目昆虫的个体数量明显高于其余两种果园,人工干扰导致的植物群落的改变对昆虫种类变化具有显著影响。如间作绿肥作物苹果园中天敌昆虫比例较传统果园和荒弃果园更高(李东育等, 2021);生草苹果园中的天敌数量较清耕苹果园中更多,害虫发生量更少(闫文涛等, 2014),均与本研究结果类似。在 3 种苹果园中调查到双翅目最多, 占总个体数的 80.80%, 占总科数的 28.05%, 占总种数的 28.04%, 说明双翅目在 3 种果园种均是优势类群。在不同地理区域苹果园调查中也有类似的结果,如昭通地区不同品种苹果园、河北有机果园、新疆不同种植模式苹果园昆虫群落调查中优势类群均为双翅目(李东育等, 2021; 赵世航, 2022; 谢子菲等, 2023)。在其他类型生境调查中也有双翅目为优势类群的结果(苏兰等, 2012; 张潇引等, 2023), 虽然生境类型、地理位置差异较大, 双翅目昆虫个体较小、生活史短、繁殖较快的特点可能是其成为各地调查中主要类群的重要原因。另一方面, 双翅目昆虫种类较多、食性复杂, 在果园中存在多种食物来源, 也可能使其成为本研究中的主要昆虫类群。

在各功能团组成分析中,捕食性类群在间作紫花苜蓿苹果园和自然生草苹果园中聚类为一类,生态位宽度指数在间作紫花苜蓿苹果园和自然生草苹果园中也较为接近,而其余功能团组成和生态位宽度指数则为间作紫花苜蓿苹果园和间作大豆苹果园更接近。这一现象产生的原因可能是种植模式的改变了植物群落的空间结构,间作大豆苹果园中大豆植株较其余果园中果树间植物更高、空间垂直结构分层更明显,影响了捕食类群的取食、分布和种群数量,而植食类群和寄生类群常以植物次生挥发物质进行寄主定位,受垂直结构差异影响更小(Bezemer *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2022)。两种间作豆科植物苹果园中寄生类群的生态位宽度指数较自然生草果园更高,植食类群的生态位宽度指数则为两种间作豆科植物苹果园中的更低,即苹果园间作豆科植物能为寄生类群提供更多可利用资源、限制植食类群的资源利用。大豆、紫花苜蓿均为显花植物,能为天敌昆虫提供食物资源,如喂食花粉可延长小花蝽 *Orius minutus* 的寿命和提高其的生殖力,类似的现象在甘蓝夜蛾赤眼蜂 *Trichogramma brassicae*、长颧长距茧蜂 *Macrocentrus linearis* 等天敌中也有发现(朱平阳等, 2012)。以上原因可能使得寄生类群在两种间作豆科植物苹果园中生态位宽度的升高,而捕食类群因受果园空间垂直结构影响在间作大豆苹果园中生态位宽度指数有所降低,该结果与达先鹏(2020)研究类似。3 种植模式苹果园昆虫群落的主成分分析中发现,植食性类群的物种数或个体数总是不同果园群落组成的主导因子,捕食类群的物种数或个体数亦是重要组成成分,该结果与柴正群等(2016)和何云川等(2018)类似。植食性类群在 3 种果园中均是优势类群,其个体数数量和物种数量均占比较高,其同中性类群可作为捕食类群和寄生类群的猎物来源和繁殖寄主,对于维持天敌的种群数量和多样性具有重要作用。捕食类群相比寄生类群对中性类群和植食

类群的控制效果更快、滞后效应更弱，两类群一起使得果园种的食物网和营养级关系更加复杂，是影响昆虫群落结构的重要因素。

3种植植模式苹果园中，间作大豆苹果园和间作紫花苜蓿苹果园的中性类群和捕食类群的辛普森指数及均匀度指数、中性类群和寄生类群的香农-维纳指数高于自然生草苹果园，间作大豆苹果园和间作紫花苜蓿苹果园的物种均匀度和丰富度更高，即本研究中间作的两种植物具有吸引天敌昆虫和中性昆虫、增加两类昆虫群落多样性的能力。在显花植物景观布局生态防控烟蚜 *Myzus persicae* 的研究中显花植物景观布局示范烟田中物种丰富度、多样性指数、均匀度指数上显著高于无花对照烟田（陈卓，2019）；在茶园不同显花植物访花昆虫群落研究中显花植物可明显吸引天敌昆虫和传粉昆虫（张晓明等，2020）。同时在对主栽作物进行农事操作如喷施杀虫时，间作植物还能作为天敌昆虫暂时的避难场所，对于建立天敌资源种库系统具有重要意义（Tschumi *et al.*, 2016），如在法国种植冬小麦的农场中灌木篱笆面积占比由1%增加至3%能使杀虫剂的使用量减少一半（Courson *et al.*, 2024）。Judt等（2023）分析了全球54项苹果园保护性生物控制研究发现地被植物能促进天敌种群繁殖，对天敌丰度总体上具有积极影响而不会影响果实品质，以上研究结果均与本研究结果类似。 S_s/S_i 值反应了中间在数量关系上的制约作用，3种植植模式果园中的 S_s/S_i 值呈现先增加后降低，同一时期3种果园的 S_s/S_i 值较为接近，间作紫花苜蓿苹果园的 S_s/S_i 波动较其余果园更小、种群稳定性较好。在调查初期6月-8月，昭通地区温度升高、降雨较为集中，植物生长旺盛，昆虫开始繁殖，各果园中 S_s/S_i 逐渐上升（刘园等，2021）；10月之后昭通地区气温开始降低，植物花期逐渐结束，食物匮乏，昆虫死亡或越冬，个体数较少的物种不再被调查到，各果园中 S_s/S_i 逐渐下降；在最后一次调查时果园开始进行清园，昆虫种群数量急剧下降，导致各果园中 S_s/S_i 值骤升。 S_a/S_p 值反应食物网络关系的复杂性及天敌与植食性昆虫之间的相互制约程度，3种植植模式果园中的 S_a/S_p 值呈现先降低后增高的趋势，在7月和10月调查中间作紫花苜蓿苹果园的 S_a/S_p 值较其余果园的更高。在前期调查中 S_a/S_p 值降低的原因可能是因为天敌和植食性昆虫自身繁殖特点，天敌昆虫繁殖力较植食性昆虫更低，且天敌的跟随效应特点较植食性昆虫的种群增长具有滞后性，使得调查中天敌昆虫种类增长较植食性昆虫种类更少，呈现出 S_a/S_p 值降低的现象。苹果-紫花苜蓿果园中针对间作植物的农事操作较少，紫花苜蓿花期较大豆更长，故苹果-紫花苜蓿果园较其余果园 S_s/S_i 波动更小，7月和10月 S_a/S_p 值更高，间作紫花苜蓿苹果园昆虫群落稳定性最好。

本研究探明了双翅目为昭通苹果园中的优势类群，间作大豆苹果园和间作紫花苜蓿苹果园物种组成更为相似，较自然生草果园群落多样性更好，其中间作紫花苜蓿苹果园稳定性最高。苹果园间作紫花苜蓿可以增加天敌物种数和个体数，能在一定程度上抑制植食性类群种群数量，对于减少化学农药的使用、提高苹果园害虫的生态控制具有一定的指导意义。

参考文献（References）

Amy C, Noël G, Hatt S, *et al.* Flower strips in wheat intercropping system: Effect on pollinator abundance and diversity in Belgium [J]. *Insects*, 2018, 9 (3): 114-114.

- Bezemer TM, Harvey JA, Cronin JT. Response of native insect communities to invasive plants [J]. *Annual Review of Entomology*, 2014, 59: 119-141.
- Bray JR, Curtis JT. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin [J]. *Ecological Monographs*, 1957, 27 (4): 326-349.
- Chai ZQ, Ke SJ, Huang J, *et al.* Arthropod community characteristics and stability in summer maize fields with different planting environments [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35 (12): 3306-3314. [柴正群, 可胜杰, 黄吉, 等. 不同种植环境夏玉米田间节肢动物群落特征及稳定性 [J]. 生态学杂志, 2016, 35 (12): 3306-3314]
- Chao A, Lee SM. Estimating the number of classes via sample coverage [J]. *Journal of the American statistical Association*, 1992, 87 (417): 210-217.
- Chen Z. Researches on the Ecological Control of *Myzus persicae* by Landscape Layout of Flowering Plants and Impact on Ecological Adaptability of *Aphidius gifuensis* [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2019. [陈卓. 显花植物景观布局生态防控烟蚜及对烟蚜茧蜂生态适应性影响研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2019]
- Courson E, Ricci B, Muneret L, *et al.* Reducing pest pressure and insecticide use by increasing hedgerows in the landscape [J]. *Science of the Total Environment*, 2024, 916: 170182.
- Da XP. Effects of Intercropping Green Manure in Apple Orchards on Occurrence Dynamics and Time Niche of Pests and Natural Enemies Occurrence Dynamics and Time Niche of Pests and Natural Enemies [D]. Alart: Tarim University, 2020. [达先鹏. 苹果园间作绿肥对害虫和天敌发生动态及时间生态位的影响 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2020]
- Dong ZL, Yin SS, Wen YJ, *et al.* The influence of corn intercropping on the structure and stability of insect community in *Zanthoxylum bungeanum* garden [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2013, 28 (5): 647-653. [董振隆, 殷山山, 文易进, 等. 间作玉米对花椒园昆虫群落结构及稳定性的影响 [J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2013, 28 (5): 647-653]
- He YC, Yang GJ, Wang XP. Diversity and stability of terrestrial insect community in different wetlands in Yinchuan, Ningxia, Northwest China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61 (12): 1439-1452. [何云川, 杨贵军, 王新谱. 银川不同湿地陆生昆虫群落多样性与稳定性 [J]. 昆虫学报, 2018, 61 (12): 1439-1452]
- Hong XY, Ding JH. Agricultural Entomology (second edition) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2007. [洪晓月, 丁锦华. 农业昆虫学 (第二版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007]
- Horn HS. Measurement of "overlap" in comparative ecological studies [J]. *The American Naturalist*, 1966, 100 (914): 419-424.
- Judt C, Korányi D, Zaller JG, *et al.* Floral resources and ground covers promote natural enemies but not pest insects in apple orchards: A global meta-analysis [J]. *Science of the Total Environment*, 2023: 166139.
- Levins R. Evolution in Changing Environments: Some Theoretical Explorations [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1968.
- Li DY, Chen XL, Han DY, *et al.* Species composition and diversity of insect community in apple orchards with different management modes [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 37 (3): 589-596. [李东育, 陈晓露, 韩大勇, 等. 不同管理模式下苹果园昆虫群落物种组成及其多样性 [J]. 江苏农业学报, 2021, 37 (3): 589-596]
- Li LK, Zuo CB, Yu FL, *et al.* Effects of monoculture and intercropping of maize and soybean with reduced use of fertilizer on crop yields, insect community composition and diversity [J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46 (5): 980-988. [李立坤, 左传宝, 于福兰, 等. 肥料减施下玉米-大豆间作对作物产量和昆虫群落组成及多样性的影响 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (5): 980-988]
- Li Q, Chen YQ, Xu ZH. Research methods on ant community [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28 (9): 1862-1870. [李巧, 陈又清, 徐正会. 蚂蚁群落研究方法 [J]. 生态学杂志, 2009, 28 (9): 1862-1870]
- Liu Y, Liu BC, Ma J, *et al.* Evaluation of potential climatic production of apple during the possible growing period at Zhaotong, Yunnan across cool highland of southwest China [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2021, 42 (2): 87-101. [刘园, 刘布春, 马钧, 等. 西南冷凉高地苹果最大可能生育期内气候生产潜力评价——以云南昭通为例 [J]. 中国农业气象, 2021, 42 (2): 87-101]
- Pielou EC. An Introduction to Mathematical Ecology [M]. New York: Wiley-Inter-science, 1969.
- Pielou EC. The measurement of diversity in different types of biological collections [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 13: 131-144.
- Shi G, Liu S, Zhao L, *et al.* Functional groups of natural enemies and their temporal-spatial dynamics in jujube orchard intercropped with herbage [J]. *The Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (4): 678-84.
- Su L, Huang JH, Wu M, *et al.* Insect diversity in wetland vegetation succession: A review [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31 (6): 1577-1584. [苏兰, 黄俊浩, 吴明, 等. 湿地植被演替中昆虫多样性变化研究进展 [J]. 生态学杂志, 2012, 31 (6): 1577-1584]
- Tschumi M, Albrecht M, Collatz J, *et al.* Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2016, 53 (4): 1169-1176.

- Wu MX, Han RJ, Wang SY, *et al.* Promoting effect of intercropping on insect diversity in Chinese plum-tea or medical dogwood-tea or chestnut-tea intercrop plantations [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (6): 1165-1169. [吴满霞, 韩仁甲, 汪升毅, 等. 苦李山茶或板栗与茶间作增进昆虫多样性的效应 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (6): 1165-1169]
- Xie ZF, Xu LC, Huang GY, *et al.* Analysis on insect community diversity and population dynamics of primary pests in apple orchards of different varieties [J]. *Plant Quarantine*, 2023, 37 (5): 47-54. [谢子菲, 徐路宸, 黄国嫣, 等. 不同品种苹果园昆虫群落多样性及主要害虫发生动态分析 [J]. 植物检疫, 2023, 37 (5): 47-54]
- Yan WT, Qiu GS, Zhang HJ, *et al.* Effects of three ground management models on soil physical-chemical properties and insect community in apple orchard of western Liaoning [J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31 (5): 801-808. [闫文涛, 仇贵生, 张怀江, 等. 辽西苹果园三种地面管理模式对土壤理化性状和昆虫群落的影响 [J]. 果树学报, 2014, 31 (5): 801-808]
- Yang L, Chen XS. An Illustrated Guide to Bamboo-feeding Leafhoppers in China [M]. Guizhou: Guizhou University Press, 2017. [杨琳, 陈祥盛. 中国竹子叶蝉图解检索 [M]. 贵州: 贵州大学出版社, 2017]
- Yang SW, Li MJ, Shang HP, *et al.* Effect of sublethal spirotetramat on host locating and parasitic behavior of *Encarsia formosa* Gahan [J]. *Pest Management Science*, 2022, 78 (1): 329-335.
- Zhang JL, Zhao LY, Chen Q, *et al.* Effects of different neighboring cropping on arthropod diversity in maize field [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (1): 104-113. [张金龙, 赵丽媛, 陈强, 等. 不同邻作作物对玉米田间节肢动物多样性的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 104-113]
- Zhang KD, Yao Y, Ling XF, *et al.* Distribution characteristics of flux source of rice-wheat rotation agroecosystem in Huaihe River Basin [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2023: 1-12. [张凯迪, 姚筠, 凌新锋, 等. 淮河流域稻麦轮作农田生态系统通量源区分布特征 [J]. 生态学杂志, 2023: 1-12]
- Zhang WW, Li YS. Insect Ecology in China [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2011. [张巍巍, 李元胜. 中国昆虫生态大图鉴 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2011]
- Zhang XM, Li Q, Chen GH, *et al.* Insect community structure and its stability in a *Zanthoxylum bungeanum* garden with different planting pattern [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 (8): 1986-1991. [张晓明, 李强, 陈国华, 等. 不同种植模式花椒园昆虫群落的结构及稳定性 [J]. 应用生态学报, 2009, 20 (8): 1986-1991]
- Zhang XM, Yang ZB, Zhao ZH, *et al.* Community composition and activity rhythm of dominant flower-visiting insects from different flowering plants in tea gardens [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39 (7): 2364-2373. [张晓明, 杨智斌, 赵子华, 等. 茶园不同显花植物访花昆虫群落组成及优势种活动规律 [J]. 生态学杂志, 2020, 39 (7): 2364-2373]
- Zhang XY, Wang BL, Yang JJ, *et al.* A survey on insect communities at tea plantations in Bazhong city [J]. *Acta Tea Sinica*, 2023, 64 (3): 56-60. [张潇引, 王彬力, 杨佳佳, 等. 巴中市茶园昆虫群落结构初步研究 [J]. 茶叶学报, 2023, 64 (3): 56-60]
- Zhao JT, Yang KX, Wang ZX, *et al.* Effect of phosphorus application on physiological parameters and antioxidant capacity in alfalfa leaves [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, 56 (3): 453-465. [赵建涛, 杨开鑫, 王旭哲, 等. 施磷对苜蓿叶片生理参数及抗氧化能力的影响 [J]. 中国农业科学, 2023, 56 (3): 453-465]
- Zhao MJ, Li LZ, Yin WJ. Colorful Insect World: An Ecological Map of 600 Insect Species in China [M]. Shanghai: Shanghai Popular Science Press, 2005. [赵梅君, 李莉珍, 尹文英. 多彩的昆虫世界: 中国 600 种昆虫生态图鉴 [M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2005]
- Zhao SH. Characteristics of the Arthropod Community Inorganic Apple Orchards and the Evaluation of Biological Control Measures [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2002. [赵世航. 有机苹果园节肢动物群落结构特征及生物防治措施的评价 [D]. 保定: 河北农业大学, 2022]
- Zhao XQ, Chen AD, Li XD, *et al.* Effect of cover crops on populations of insect pests and natural enemies in apple orchards [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2011, 27 (4): 470-478. [赵雪晴, 谌爱东, 李向永, 等. 生草对苹果主要害虫与天敌种群发生的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2011, 27 (4): 470-478]
- Zheng LY. Insect Classification [M]. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1999. [郑乐怡. 昆虫分类 [M]. 南京: 南京师范大学出版社, 1999]
- Zhu PY, Lü ZX, Geoff G, *et al.* Ecological functions of flowering plants on conservation of the arthropod natural enemies of insect pests in agroecosystem [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2012, 28 (4): 583-588. [朱平阳, 吕仲贤, Geoff Gurr, 等. 显花植物在提高节肢动物天敌控制害虫中的生态功能 [J]. 中国生物防治学报, 2012, 28 (4): 583-588]