应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2015, 52(1): 237−248. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2015.025

花椒园昆虫群落结构及时间动态的聚类分析*

张晓明[1**] 李 强[1***] 陈国华[1***] 石安宪[2] 宋家雄[2]

（1. 云南农业大学植物保护学院，昆明 650201；2. 云南省昭通市植保植检站，昭通 657000）

摘 要 **【目的】** 通过调查花椒园生态系统中昆虫群落的组成，分析其动态及其时空特征，评价花椒园昆虫各亚群落间的相互关系，旨在为花椒园立体农业的构建及其害虫的生态调控提供科学依据。**【方法】** 采取 5 点取样法，调查记录枝条和树干上的昆虫种类和数量。同时采用糖醋液诱集、黄板诱集、滴水黄盘诱集、目测和网捕等方法调查。利用群落特征指数对群落的基本特征进行分析，采用系统聚类方法对各群落特征指数时间动态进行分类。**【结果】** 通过对花椒园昆虫群落的系统调查，共查到花椒园昆虫（包括蜘蛛类）359 种，隶属 19 目 148 科。半翅目相对丰盛度最高，为 0.3036，其次为蜘蛛类，其相对丰盛度为 0.2033。在分析花椒园昆虫群落结构的基础上，对花椒园昆虫群落进行聚类分析。结果表明，对不同时期的总群落、亚群落进行模糊聚类，其结果显示：总群落的 24 次调查结果可以聚为 9 类，阈值 $T = 0.98$，3 月 20 日，5 月 20 日，3 月 30 日，4 月 28 日，4 月 10 日，10 月 10 日各分为一类，10 月 20 日、10 月 30 日、11 月 12 日为一类，其余归为一类；天敌亚群落调查结果聚为 7 类，$T = 0.95$，3 月 20 日，5 月 30 日，11 月 12 日，3 月 30 日各自归为一类，4 月 20 日、4 月 28 日归为一类，4 月 10 日、10 月 30 日归为一类，其余归为一类；非天敌亚群落调查结果聚为 9 类，$T = 0.97$，3 月 20 日、3 月 30 日、5 月 20 日、6 月 20 日、9 月 30 日、10 月 10 日各自归为一类，6 月 10 日和 6 月 30 日归为一类，10 月 20 日、10 月 30 日、11 月 12 日归为一类，其余归为一类。**【结论】** 聚类结果反映了群落状况的季节差异，聚类交替现象反映了群落结构复杂性，聚类结果的复杂性反映了各时期的非生物因素对群落动态有较大影响。

关键词 花椒，昆虫群落结构，时间动态，模糊聚类

Fuzzy clustering analysis of insect community structure in a *Zanthoxylum bungeanum* garden

ZHANG Xiao-Ming[1**] LI Qiang[1***] CHEN Guo-Hua[1***] SHI An-Xian[2] SONG Jia-Xiong[2]

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Plant Protection and Quarantine Station of Zhaotong, Zhaotong, Yunnnan 657000, China)

Abstract **[Objectives]** To provide a scientific basis for the ecological regulation of pest insects and build a three-dimensional agricultural system in a *Zanthoxylum bungeanum* garden. The insect community and its structure were sampled through systematic investigation, its spatiotemporal dynamics analyzed and the relationship between each sub-community evaluated. **[Methods]** The five points sampling method was used to record the number of insect species on branches and trunks in *Z. bungeanum* trees and a combination of sugar-acetic acid-ethanol traps, yellow sticky traps, yellow-drip plate traps, visual inspection and sweep sampling were also used to sample the insect community. Hierarchical clustering was used to classify the temporal dynamics of various community indices. The basic characteristics of the insect community were analyzed using basic features of the community characteristics index. **[Results]** 359 species of insect (including spiders) belonging to 19 orders, 148 families were collected. Based on the principles of community ecology and the

* 资助项目 Supported projects：国家自然科学基金(30660105)；NSFC-云南联合基金(U0936601)

**第一作者 First author，E-mail: zxmalex@126.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail: chenghkm@126.com；liqiangkm@126.com

收稿日期 Received：2014-03-11，接受日期 Accepted：2014-05-12

method of fuzzy clustering, the results show that the Hemiptera were the most abundant and spiders the second most abundant taxa, comprising 0.3036 and 0.2033, of all species collected, respectively. 24 investigations were conducted on the structural features of the insect community, and a cluster analysis was conducted on its temporal dynamics. The total community could be clustered into 9 temporal clusters (T=0.98), *i.e.*, 20 March, 20 May, 30 March, 28 April, 10 April, 10 October; 20 October, 30 October, 12 November, and other months. The natural enemy sub-communities could be clustered into 7 temporal clusters (T=0.95), *i.e.*, 20 March, March 30, 30 May, 12 November; 20 April, 28 April, 10 April, 30 October, and other months. The pest-neutral sub-communities could be clustered into 9 temporal clusters (T=0.97), *i.e.*, 20 March, 30 March, 20 May, 20 June, 30 September, 10 October, 10 June, 30 June, 20 October, 30 October, 12 November, and other months. [**Conclusion**] Cluster analysis partly reflected seasonal differences in the total community and sub-communities, and the temporal overlaps between clusters reflect the complexity of the community structure. The complexity of cluster results reflects the period when non-biological factors had the largest impact on the community.

Key words *Zanthoxylum bungeanum*, insect community, structure temporal dynamic, fuzzy clustering

群落生态学是害虫综合治理（Integrated pest management，IMP）策略和实践的理论基石和前提，近年来已成为国内外大多数生态学家、昆虫学家和植保工作者的共识，其中群落结构已成为目前研究的热点和未来趋势且逐渐成为评价害虫综合治理效果的指标之一（黄保宏等，2005）。很多学者针对不同生态系统如桔园（张京社等，1989）、梨园（胡竞辉等，2010；Song *et al.*，2010）、猕猴桃园（杜超等，2011）、杏麦间作园（张滋林等，2011）、脐橙园（石万成等，1993）、茶园（王勇等，1991；谢振伦，1993；张觉晚和孙少华，2004）、荔枝园（谭仕东等，1999）、红栀子园（李国元等，2005）、龙眼园（谭仕东等，1997；邱良妙等，2004）、苹果园（石万成等，1991；杨本立等，1997；Viktor *et al.*，2013）、桃园（郭线茹等，2000；Sonoda *et al.*，2011；Wan *et al.*，2014）、香蕉园（张永强等，2001）、红树林（蒋国芳等，2000）、园林（高宝嘉等，1998）、热带雨林（杨大荣等，2003）及草地（贺达汉等，2001；Parmenter *et al.*，2011）等的昆虫群落的动态以及转 Bt 基因和施用化学药剂对昆虫群落多样性影响进行了研究（涂建华等，2000；张真等，2004；李磊等，2005）。其目的在于了解不同生态系统群落的结构与特征，充分利用自然因素对生态系统的调控作用。在害虫综合治理研究过程中，害虫爆发的生态学机理研究始终是一个较为活跃的领域，其重点主要集中在植物-害虫-天敌 3 个营养级互作机理及天敌保护与利用的生态学基础研究上（苏本营等，2013）。

花椒 *Zanthoxylum bungeanum* 是我国特有的经济树种，花椒园昆虫群落生态的研究是花椒园立体生态系统研究中不可缺少的部分。探讨花椒园生态系统中昆虫群落的时空动态及其机制，是开展花椒园有害生物生态调控的理论基础。本文通过调查花椒园生态系统中昆虫群落的组成，分析其动态及其时空特征，评价花椒园昆虫各亚群落间的相互关系，旨在为花椒园立体农业的构建及其害虫的生态调控提供科学依据（赵志模和郭依泉，1990；孙儒泳，2001；张晓明等，2009；董振隆等，2013）。

1 研究样地概况和研究方法

1.1 样地概况

样地位于云南省昭通市永善县国家农业综合开发项目区花椒示范园内，选取的花椒园分布在海拔 1 333 m 附近山区，共选取了 4 块形状不规则的样地，样地的面积分别为 0.2038 hm^2、0.1937 hm^2、0.2179 hm^2 和 0.1713 hm^2。样地之间的距离为 8~32 m。花椒树开心形，花椒树龄多为 5~6 年，树高 2~3 m，种植密度为（2 m ×3 m）~（3 m×3 m）。种植区年降雨量 650~800 mm，年平均气温 16.9~20.3℃。调查区内花椒种植水平差，植被差，无灌溉条件，不施用化学药剂，管理粗放。

1.2　调查方法

于 2008 年 3 月至 11 月对样地进行调查。调查时采取 5 点取样法，每样点随机选择花椒树 1 棵，每棵花椒树分为上、下 2 个部分，上部为树冠，树冠按东、南、西、北 4 个方位，每方位选择 1 枝 2~3 年生约 50 cm 的枝条，下部为花椒树主干，选取树冠下 50 cm 主干进行调查，记录枝条和树干上的昆虫种类和数量，该方法调查时由 5 人完成。同时采用糖醋液诱集、黄板诱集、滴水黄盘诱集、目测和网捕等方法调查。每块样地设置 1 个糖醋液诱集瓶、4 张黄板、4 个滴水黄盘，糖醋液诱集瓶悬挂在样地中央随机选取的花椒树树干 2/3 高处；4 张黄板分别悬挂在样地东南西北随机选取的 4 棵花椒树树干 2/3 高处；4 个滴水黄盘分别放在样地东南西北随机选取的 4 棵花椒树附近地面上，将糖醋液、滴水黄盘诱集得到的昆虫放入 75%的酒精中，贴上标签带回室内统一鉴定种类和数量。网捕调查，捕虫网的规格为：网柄拉出后长约 150 cm，缩后约 50 cm，金属网圈直径约 33 cm，网深约 68 cm，网眼规格为 60 目（18 孔.cm^2×14 孔.cm^2）左右，每块样地采用“Z”字型网捕，每次调查扫网 30 网。记载其中的昆虫（包括蜘蛛类）种类和数量。每隔 10 d 调查一次，根据天气预报或调查当天的实际天气情况，若遇到下雨等特殊天气情况无法进行正常调查时，则调查时间在预计时间的当天向前或者向后推移 1~2 d 调查。暂不能定名的昆虫（包括蜘蛛类）标本，用 80%的酒精保存，鳞翅目成虫标本用毒瓶毒死后，放入纸袋保存，统一编号后带回室内进行鉴定。调查期间花椒园按常规措施管理，不施用化学药剂。

1.3　群落特征指数分析方法

采取相对丰盛度指数：$P_i=N_i/N$；Berger-Parker 的优势度指数：$I=N_{max}/N$；Simpson 优势集中性指数：$C=\sum P_i^2=\sum (N_i/N)^2$；Shannon-Wiener 多样性指数：$H'=\sum P_i \ln P_i$；Margalef 丰富度指数：$D=(S-1)/\ln N$；均匀度指数：$J=H'/H'_{max}=H'/\ln S$ 等进行分析。其中 N_{max} 为优势种群数量，N 为全部种的种群数量，N_i 为第 i 个种的个体数，S 为种类数（MacArthur，1964；Hudbert，1971；Scheiring and Deonier，1979；Pfadt，1982）。

1.4　聚类分析方法

取每次调查得到的各昆虫的种群数量的平均值，以样地为单位。将数据进行聚类分析。聚类分析首先要确定聚类指标（变量）间的关系，可以使用距离法和相似系数法。距离法中用距离表示点与点之间的关系，并根据距离进行分类，即将距离较近的点归为一类，而将距离较远的点归为不同的类。确定了指标（变量）间的距离或相似系数后，就可以进行聚类，聚类可以应用系统聚类法、调优法或图论法，本文采用系统聚类法中的欧式最短距离法，即 $d_{ij}=\sqrt{\sum_{k=1}^{p}(x_{ik}-x_{jk})^2}$。以 24 次调查的数据为样本，将各类昆虫的生态学指数构成原始数据矩阵，对原始数据进行标准化变换处理后，计算 24 次间的距离，建立相异性矩阵 $R_0=(d_{ij})_{n\times n}$，构造模糊相似矩阵 $R=(r_{ij})_{n\times n}$，其中 $r_{ij}=1-\frac{d_{ij}}{\max d_{ij}}$，再通过模糊相似矩阵褶积改造成模糊等价关系矩阵，将模糊等价矩阵中的 r_{ij} 依大小次序排列，选定阈值 T 后即可进行聚类（赵志模和郭依泉，1990；孙儒泳，2001）。

数据的分析和聚类图的绘制均在DPS 7.05中进行。

2　结果与分析

2.1　花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落的组成

花椒生长期内共调查到花椒园昆虫（包括蜘蛛类）359种，隶属19目148科。其中天敌类（包括寄生性、捕食性天敌昆虫和蜘蛛）166种，隶属于10目43科。害虫171种，隶属于12目40科。与花椒无直接营养关系的昆虫统称为中性昆虫，共有22种，隶属于3目17科。中性昆虫主要是丽蝇科（Calliphoridae）、蚊科（Culicidae）、蚤蝇科（Phoridae）、毛蚊科（Bibionidae）等，由于它们的数量较少，对整个群落的影响不大，

与害虫合并，统称为非天敌昆虫，共有193种，隶属13目57科。

在花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落中，半翅目昆虫相对丰盛度最高，为0.3734，其中又以棉蚜*Aphis gossypii*相对丰盛度最高，为0.1381。其次为蜘蛛类，其相对丰盛度为0.2033，其中以草间小黑蛛*Erigonidium graminicola*相对丰盛度最高，为0.1108。

在天敌亚群落中，蜘蛛类天敌在该亚群落的相对丰盛度为0.6697，明显大于天敌昆虫的丰盛度。主要天敌蜘蛛为草间小黑蛛*Erigonidium graminicola*、拟环纹狼蛛*Lycosa pseudoannulata*和柔弱长蟹蛛*Tibellus tenellus*，分别隶属于微蛛科（Erigonidae）、狼蛛科（Lycosidae）和蟹蛛科（Tomisidae），3种天敌蜘蛛的相对丰盛度为0.3040。其中草间小黑蛛*E. graminicola*的相对丰盛度达0.1977。主要天敌昆虫为异色瓢虫*Harmonia axyridis*、六斑月瓢虫*Menochilus sexmaculata*、七星瓢虫*Coccinella septempunctata*、大草蛉*Chrysopa septempunctata*、大灰食蚜蝇*Metasyrphus corollae*、金环胡蜂*Vespa mandarinia*、广大腿小蜂*Brachymeria lasus*、黄金小蜂*Pteromalrs puparum*、翠绿巨胸小蜂*Perilampus prasinus*和家蚕追寄蝇*Exorista sorbillans*，分别隶属于瓢甲科（Coccinellidae）、食蚜蝇科（Syrphidae）、胡蜂科（Vespidae）、小蜂科（Chalcididae）和寄蝇科（Tachinidae），其相对丰盛度为0.1932。其中异色瓢虫*H. axyridis*是天敌昆虫的优势种群，其相对丰盛度为0.0754。

在非天敌亚群落中，半翅目昆虫相对丰盛度最高，为0.4018，其中以蚜科Aphididae 相对丰盛度最高，达0.2465。其次为瘿蚊科Cecidomyiidae，相对丰盛度为0.1013。主要种类为棉蚜*A. gossypii*、花椒伪安瘿蚊*Pseudasphondylia zanthoxyli*、桑拟轮蚧*Pseudaulacaspis pentagona*、花椒凤蝶*Papilio xuthus*、旋目夜蛾*Speiredonia retorta*、红褐斑腿蝗*Catantops pinguis*及小绿叶蝉*Empoasca flavescens*等。其中棉蚜*A. gossypii*在非天敌亚群落中的相对丰盛度为0.2411。

2.2 花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落的动态

根据2008年3—11月花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落的调查结果，计算出花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落、天敌亚群落、非天敌亚群落的各项参数，见表1~表3。

表 **1** 昆虫（包括蜘蛛类）总群落群落特征值

Table 1 Characteristic indexs of total insect communities (including spiders)

日期 Date	物种数 Species number	个体数 Number	Shannon 多样性指数 Diversity index	均匀度 Evenness	优势集中性 Dominant concentration	丰富度 Species richness	优势度 Dominance
3.20	14	143	4.20	1.59	0.70	2.62	0.59
3.30	23	176	1.43	0.46	0.49	4.25	0.69
4.10	31	412	2.14	0.62	0.21	4.98	0.35
4.20	43	721	2.07	0.55	0.08	6.38	0.20
4.28	53	1 367	1.18	0.30	0.01	7.20	0.50
5.10	38	1 220	0.86	0.24	0.00	5.21	0.47
5.20	50	5 431	0.40	0.10	0.00	5.70	0.31
5.30	41	1 193	0.42	0.11	0.00	5.65	0.38
6.10	42	432	2.00	0.54	0.03	6.76	0.35

续表 1（**Table 1 continued**）

日期 Date	物种数 Species number	个体数 Number	Shannon 多样性指数 Diversity index	均匀度 Evenness	优势集中性 Dominant concentration	丰富度 Species richness	优势度 Dominance
6.20	44	569	1.92	0.51	0.02	6.78	0.37
6.30	39	366	2.27	0.62	0.03	6.44	0.36
7.10	37	656	1.29	0.36	0.01	5.55	0.53
7.20	33	685	1.32	0.38	0.01	4.90	0.47
7.30	34	655	1.00	0.28	0.01	5.09	0.53
8.10	29	573	1.12	0.33	0.01	4.41	0.45
8.20	27	776	0.89	0.27	0.01	3.91	0.32
8.30	36	576	1.27	0.35	0.01	5.51	0.27
9.10	23	1 184	0.72	0.23	0.00	3.11	0.46
9.20	33	845	1.12	0.32	0.00	4.75	0.51
9.30	23	332	1.65	0.53	0.03	3.79	0.44
10.10	19	307	2.57	0.87	0.06	3.14	0.49
10.20	21	255	1.96	0.64	0.07	3.61	0.23
10.30	18	267	2.23	0.77	0.05	3.04	0.20
11.12	16	177	2.85	1.03	0.12	2.90	0.21

表 2　天敌亚群落群落特征值

Table 2　Characteristic index of natural enemies sub-communities

日期 Date	物种数 Species number	个体数 Number	Shannon 多样性指数 Diversity index	均匀度 Evenness	优势集中性 Dominant concentration	丰富度 Species richness	优势度 Dominance
3.20	8	16	1.88	0.91	1.27	2.52	0.31
3.30	6	35	1.82	1.01	0.29	1.41	0.20
4.10	10	56	1.82	0.79	0.21	2.24	0.21
4.20	15	63	2.27	0.84	0.14	3.38	0.25
4.28	16	61	2.16	0.78	0.18	3.65	0.18
5.10	12	88	1.29	0.52	0.03	2.46	0.24
5.20	14	357	0.45	0.17	0.00	2.21	0.10
5.30	11	422	0.19	0.08	0.00	1.65	0.20
6.10	12	245	0.38	0.15	0.00	2.00	0.15
6.20	12	179	0.41	0.16	0.00	2.12	0.15
6.30	11	213	0.50	0.21	0.00	1.87	0.10
7.10	13	74	0.52	0.20	0.00	2.79	0.15
7.20	10	109	0.66	0.29	0.01	1.92	0.17
7.30	11	132	0.58	0.24	0.01	2.05	0.06
8.10	13	78	0.71	0.28	0.05	2.75	0.22
8.20	12	125	0.54	0.22	0.02	2.28	0.12

续表 2（**Table 2 continued**）

日期 Date	物种数 Species number	个体数 Number	Shannon 多样性指数 Diversity index	均匀度 Evenness	优势集中性 Dominant concentration	丰富度 Species richness	优势度 Dominance
8.30	13	156	0.59	0.23	0.00	2.38	0.15
9.10	11	327	0.40	0.17	0.00	1.73	0.06
9.20	10	254	0.36	0.15	0.00	1.63	0.09
9.30	14	97	0.72	0.27	0.01	2.84	0.16
10.10	13	90	1.31	0.51	0.03	2.67	0.16
10.20	10	65	0.78	0.34	0.07	2.16	0.26
10.30	8	44	1.39	0.67	0.05	1.85	0.20
11.12	5	27	2.36	1.47	0.12	1.21	0.26

表 **3** 非天敌亚群落群落特征值

Table 3 Characteristic index of pest and neutral insects sub-communities

日期 Date	物种数 Species number	个体数 Number	Shannon 多样性 Diversity index	均匀度 Evenness	优势集中性 Dominant concentration	丰富度 Species richness	优势度 Dominance
3.20	6	127	3.19	2.00	0.87	1.03	0.66
3.30	17	141	0.71	0.25	0.74	3.23	0.86
4.10	21	356	1.73	0.57	0.28	3.40	0.41
4.20	28	658	1.75	0.53	0.09	4.16	0.22
4.28	37	1306	0.98	0.27	0.01	5.02	0.53
5.10	26	1132	0.73	0.22	0.00	3.56	0.50
5.20	36	5074	0.37	0.10	0.00	4.10	0.33
5.30	30	771	0.48	0.14	0.00	4.36	0.59
6.10	30	187	3.04	0.89	0.16	5.54	0.81
6.20	32	390	2.29	0.66	0.04	5.20	0.54
6.30	28	153	3.45	1.04	0.15	5.37	0.87
7.10	24	582	1.31	0.41	0.01	3.61	0.59
7.20	23	576	1.31	0.42	0.01	3.46	0.56
7.30	23	523	0.98	0.31	0.01	3.51	0.66
8.10	16	495	1.04	0.37	0.02	2.42	0.52
8.20	15	651	0.85	0.31	0.01	2.16	0.38
8.30	23	420	1.33	0.43	0.02	3.64	0.37
9.10	12	857	0.74	0.30	0.00	1.63	0.63
9.20	23	591	1.29	0.41	0.01	3.45	0.73
9.30	9	235	1.73	0.79	0.05	1.47	0.62
10.10	6	217	2.54	1.42	0.11	0.93	0.70
10.20	11	190	1.95	0.82	0.12	1.91	0.31
10.30	10	223	2.07	0.90	0.07	1.66	0.24
11.12	11	150	2.43	1.01	0.16	2.00	0.25

从表1可以看出从4—7月花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落的物种数量基本保持在30~50，其间波动较小；3月和11月即春季和初冬物种数相对较少。

花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落个体数量的变化幅度较大，在 5 月和 9 月较高，此时期优势害虫棉蚜 *A. gossypii* 及花椒伪安瘿蚊 *P. zanthoxyli* 的虫口数量较大，主导了总群落的数量动态；10 月以后随着环境温度逐渐降低，昆虫（包括蜘蛛类）群落物种数和个体数量均明显减少，仅有极少数害虫和天敌存在。

昆虫（包括蜘蛛类）群落的 Shannon 多样性指数和均匀度指数的变化基本一致，有较高的 Shannon 多样性就具有较高的均匀度，而 Shannon 多样性指数的变动情况则与其个体数量的变化相反，在 5 月中下旬 Shannon 多样性指数、均匀度指数及丰富度指数达全年中的最低值。

由表 2 可看出，天敌亚群落的物种数相对较稳定，初春和秋末后物种数相对较少。天敌亚群落个体数量的时间动态与花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落个体数量的变化一致。初春和秋末后个体数量均较少，5—9 月份天敌亚群落的个体数量较多，最高值出现在 5 月 30 号左右。

Shannon 多样性指数值在 6—9 月份之间保持在一个相对稳定的水平，均匀度的变化趋势与 Shannon 多样性指数基本相同一致，在 4 月和 9 月达到最大值。优势集中性与优势度指数的波动趋向基本一致，丰富度指数在 4 月和 9 月达到最大。

表 3 结果表明，非天敌亚群落的物种数从 3 月开始逐渐增加，4 月底达到最大值。个体数在时间序列中呈较明显的双峰型分布，分别在 5 月中旬和 9 月中旬达到最大值，且波动较大，主要是优势害虫棉蚜和花椒伪安瘿蚊的种群数量大造成。

群落的 Shannon 多样性指数在 6 月底达到 3.45，明显高于其他各个时期，均匀度的时间变化与多样性变化一致；其物种丰富度的值在 4 月底到 6 月底 3 个月份持续在 3.5 以上，6 月中旬高达 5.54；优势集中性与优势度随时间变化表现相一致，5 月底和 9 月中旬优势显著。

非天敌昆虫亚群落与昆虫（包括蜘蛛类）群落的个体数量随时间变化趋势基本一致；非天敌亚群落和与昆虫（包括蜘蛛类）群落的高峰期一致；其个体数在时间序列中亦呈较明显的双峰型分布，即分别在 5 月和 9 月达到高峰。

由此可见，非天敌亚群落和天敌亚群落对总群落的个体数量变化都有影响，其中非天敌亚群落的影响更显著。

2.3　花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落的模糊聚类分析

根据实际情况，确定一个阈值*T*(分辨率)作为分类的标准，阈值*T*取不同值时分类将不同，应选用使组内差异较小、组间差异明显的阈值作为分组依据。

利用表 1 的数据对花椒园昆虫（包括蜘蛛类）群落进行模糊聚类，结果如图 1 所示。

由图 1 可以看出，当选用阈值 T=0.98，可将整个群落的不同调查时间聚为 9 类，即 S_1={3.20}；S_2={5.20}；S_3={3.30}；S_4={4.28}；S_5={10.20，10.30，11.12}；S_6={4.10}；S_7={10.10}；S_8={5.10，5.30，7.10，7.20，7.30，8.10，8.20，9.10，9.20，9.30}；S_9={4.20，6.10，6.20，6.30，8.30}。

此聚类在一定程度上反映了群落结构在部分时间段上的特点，如 S_1，S_2，S_3，S_4，S_6，S_7 各自聚为一类，分别代表了 3—5 月和 10 月上旬的时段，说明昆虫（包括蜘蛛类）群落在时间上的差异，在全年中存在着间断性。S_1、S_3、S_4 自成一类，说明了在春季多变的温湿度环境对群落的影响；S_2 即 5 月 20 日自成一类，说明了优势种棉蚜和花椒伪安瘿蚊的种群数量对昆虫（包括蜘蛛类）群落的影响。S_5 将 10 月中下旬、11 月上旬归为一类，反映了昆虫（包括蜘蛛类）群落在秋末和初冬时的群落情况；S_8 中 5 月、7 月、8 月中上旬及 9 月的群落聚为一类，不同时间段的昆虫（包括蜘蛛类）群落的相似性表明昆虫（包括蜘蛛类）群落在一个相当长的时间序列中有着较大的复杂性，是大部分害虫和天敌的活动盛期；同时不同时期的群落存在聚类交替现象。如

S_9 中将 4 月中旬、6 月及 8 月下旬归为一类，实际的调查结果显示 4 月中旬是温度较高的几天，反映了高温对群落的影响，说明了群落的生物因子和非生物因子均对群落有着较大影响。

2.4 天敌亚群落的模糊聚类分析

利用表 2 的数据对花椒园天敌亚群落进行模糊聚类，结果如图 2 所示。

由图 2 可以看出。在阈值 T=0.95 时，可将不同时期的天敌亚群落聚为 7 类，即 S_1={3.20}；S_2={4.20, 4.28}；S_3={5.30}；S_4={11.12}；S_5={3.30}；S_6={4.10, 10.30}； S_7={5.10, 5.20, 6.10, 6.20, 6.30, 7.10, 7.20, 7.30, 8.10, 8.20, 8.30, 9.10, 9.20, 9.30, 10.10, 10.20}。

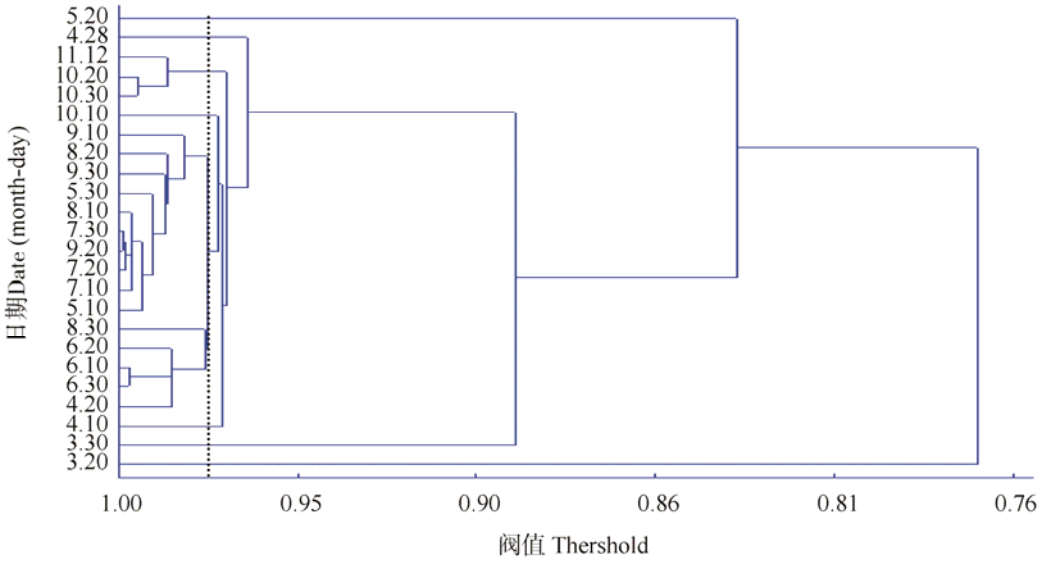

图 1 昆虫（包括蜘蛛类）总群落模糊聚类图

Fig. 1 Fuzzy cluster of total insect communities (including spiders)

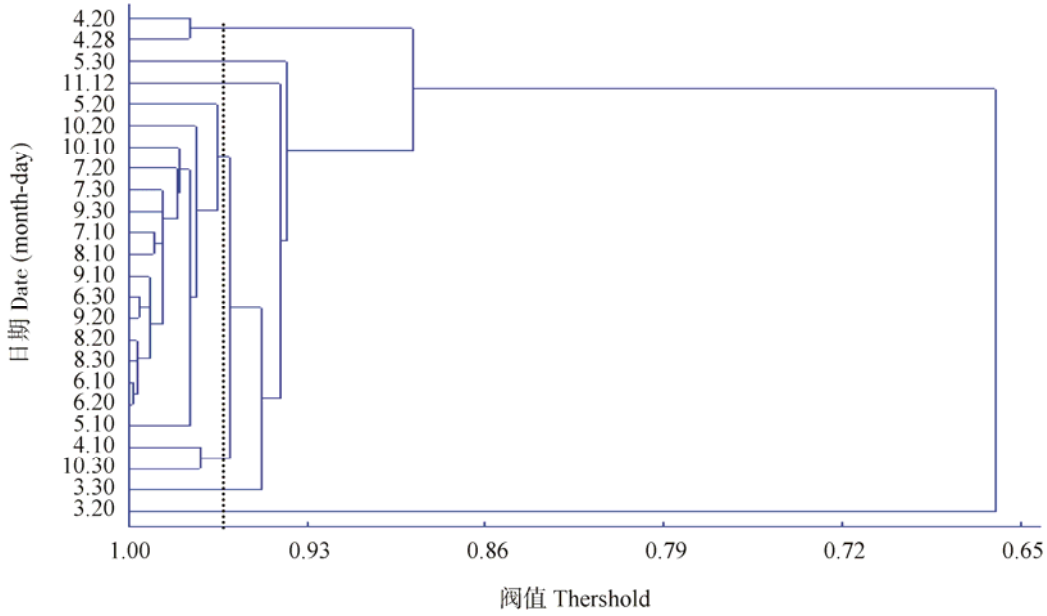

图 2 天敌亚群落模糊聚类图

Fig. 2 Fuzzy cluster of natural enemies sub-communities

此聚类结果可以反映出天敌亚群落在各个时期的特征，天敌群落常年处在一个相对稳定的状态，具有一定的相似性。如将S_1、S_4、S_5各自自成一类，反映了初冬和初春的昆虫（包括蜘蛛类）群的特点，说明了天敌亚群落在整年中具有间断性和落复杂性；将S_3即5月下旬单独归为一类，说明由于棉蚜和花椒伪安瘿蚊的种群数量增加，天敌种群数量也随之增加，但天敌的增加稍晚于害虫，说明了天敌对害虫具有明显的跟随现象，但具有一定的滞后性； S_2与S_6各聚为一类表达了4月、10月下旬天敌亚群落的特征情况；S_7反映了5月中上旬、6、7、8、9、10月中上旬（即整个夏季和整个秋季）天敌亚群落的结构特征具有一定的相似性。

天敌亚群落在时间序列上对非天敌亚群落有明显的跟随作用，但有滞后性。对非天敌亚群落的数量起到了重要的自然控制作用。

2.5　非天敌亚群落的模糊聚类分析

利用表 3 的数据对花椒园非天敌亚群落进行模糊聚类，结果如图 3 所示。

图 3 表明，取 T=0.97，可将不同时段的非天敌亚群落聚为 9 类，即 S_1= {5.20}；S_2={3.20}；S_3={3.30}；S_4={6.20}；S_5={6.10, 6.30}；S_6={10.10}；S_7={10.20, 10.30, 11.12}；S_8={9.30}；S_9={4.10, 4.20, 4.28, 5.10, 5.30, 7.10, 7.20, 7.30, 8.10, 8.20, 8.30, 9.10, 9.20}。

此聚类结果反映了非天敌亚群落在昆虫（包括蜘蛛类）群落中的重要性，如将 S_1、S_2、S_3、S_4、S_6、S_8的单次各自归为一类，说明了非天敌亚群落在整年中间断性和复杂性，这几段内的优势种种群数量波动较大，特别是S_1是群落的物种数和个体数最大的时段，优势种群数量大，群落较不稳定；S_5的6月中上旬是全年中温度最高的时段之一，此时的温度很多时候都达到昆虫的亚致死高温区，害虫数量下降明显；S_7说明了在秋末冬初的害虫动态特征；S_9的构成比较复杂，包括代表春季4月和5月的群落，还包括代表盛夏秋初的8、9月和10月份的非天敌亚群落，与总群落的聚类结果较为接近，非天敌亚群落的结构特征亦具有一定的相似性。表明非天敌亚群落对于总群落的发展变化起到了主要作用。

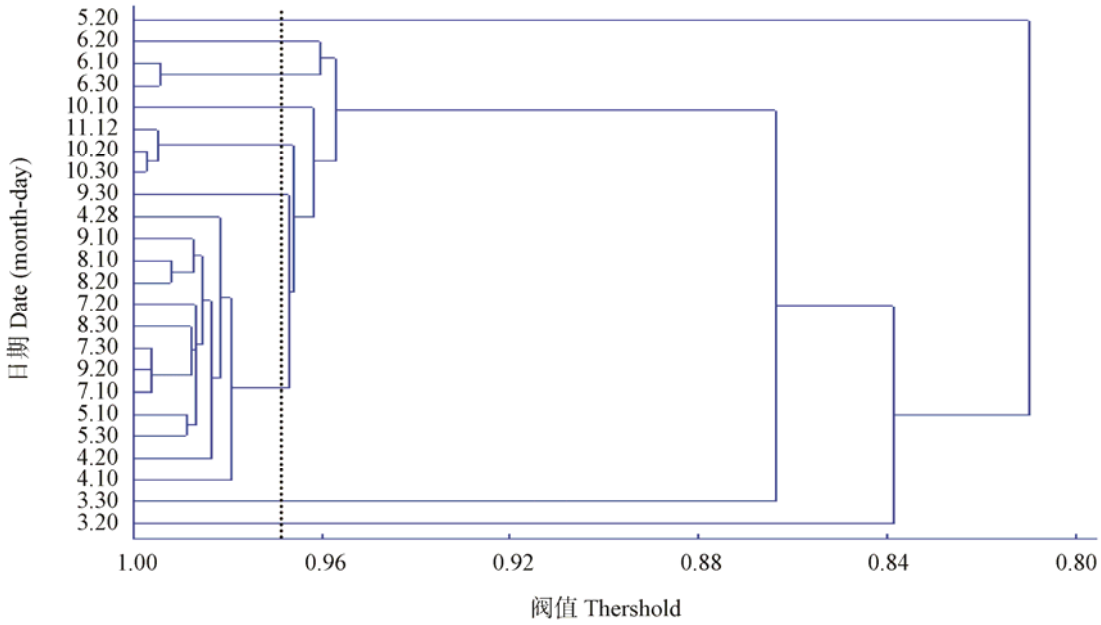

图 3　非天敌亚群落模糊聚类图

Fig. 3　Fuzzy cluster of pests and neutral insects sub-communities

3 讨论

本文通过应用多种群落特征和聚类分析方法，较好地反映了花椒园的昆虫（包括蜘蛛类）群落结构及动态。从3月底花椒树开始发芽到8月底花椒采收的时间内，昆虫（包括蜘蛛类）群落的种类和数量逐渐增加直至相对稳定，到5月中下旬，整个群落的个体数量达到全年的最高值，此时可能是由于嫩枝嫩果吸引了更多昆虫到花椒园取食为害（Stuart and Paul，2002；彭露等，2010）。这与邹运鼎等(2005)对李园节肢动物群落的聚类分析结果基本一致；而在对石榴园的节肢动物群落的聚类分析时，则各个亚群落均随着时间的推移分成了3段，与本文的分类结果不大一致（邹运鼎等，2004），说明不同的生态环境对节肢动物群落的动态有较大影响。本文中各亚群落个体数量也呈现出与总群落个体数量相类似的变化规律。

对花椒园生态系统的多样性及其他群落特征指数的测定，并进行聚类分析，聚类结果基本反映群落状况的季节差异，聚类交替现象则反映了群落结构在一年中的既具有间断性，也具有连续性和复杂性。天敌亚群落在时间序列上对非天敌亚群落有明显的跟随作用，但有一定的滞后性，对非天敌亚群落的数量动态起到了重要的自然控制作用。

花椒园是一个比较独特的生态系统，花椒种植区域生态环境复杂，花椒树是多年生作物，生长周期较长，树冠不高，覆盖度大，其生长周期与其他农作物具有相似的规律，但与农田生态系统相比较为复杂，所以昆虫种类繁多，春季活动早，除棉蚜等优势害虫发生期外，均匀度表现较为稳定，表明花椒园的昆虫群落结构相对较为稳定，这为充分发挥自然生态控制作用提供了可能性。

参考文献 (References)

Dong ZL, Yin SS, Wen YJ, MA L, Song JX, Shi AX, Gao X, Li Q, 2013. The influence of corn intercropping on the structure and stability of insect community in *Zanthoxylum bungeanum* garden. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 28 (5): 647–653. [董振隆, 殷山山, 文易进, 马丽, 宋家雄, 石安宪, 高熹, 李强, 2013. 间作玉米对花椒园昆虫群落结构及稳定性的影响. 云南农业大学学报, 28(5): 647–653.]

Du C, Fu ZJ, Zhao HY, 2011. Structure and dynamics of arthropod communities in kiwifruit orchards. *Journal of Northwest A & F University* (*Natural Science Edition*), 39(11): 89–96.[杜超, 伏召辉, 赵惠燕, 2011. 猕猴桃园节肢动物群落结构及其动态研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 39(11): 89–96.]

Gao BJ, Shen SG, Wang ZW, Zhang YH, 1998. Studies on the temporal structure and dynamis of the insect communities in gardens. *Acta Ecologica Sinica*, l8(2): 193–197.[高宝嘉, 申曙光, 王正文, 张玉会, 1998. 园林昆虫群落时间结构及动态研究. 生态学报, l8(2): 193–197.]

Guo XR, Yin XM, Luo MH, Xiong JW, Yang AR, Wang GX, 2000. Studies on the time structure of insect community in peach orchard. *Journal of Henan Agricultural University*, 34(2): 146–149. [郭线茹, 尹新明, 罗梅浩, 熊建伟, 杨爱荣, 王桂香, 2000. 桃园昆虫群落的时间结构研究. 河南农业大学学报, 34(2): 146–149.]

He DH, Chang YD, Tian Z, Yang YF, Yang ST, Liu YX, Li YP, Ma SY, 2001. Dynamics in composition, trophic structure and diversity of an insect community during the processes of succession and restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 21(1): 117–125.[贺达汉, 长有德, 田真, 杨云飞, 杨顺堂, 柳永玺, 李玉平, 马世瑜, 2001. 草原沙化与恢复中昆虫群落组成、营养结构及多样性变化研究. 生态学报, 21(1): 117–125.]

Hu JH, Wang MC, Kong Y, Yao YC, Wei W, Song BZ, Li ZR, 2010. Temporal structures of arthropod community of intercropping aromatic plants in pear orchard. *Acta Ecologica Sinica*, 30(17): 4578–4589.[胡竞辉, 王美超, 孔云, 姚允聪, 魏巍, 宋备舟, 李振茹, 2010. 梨园芳香植物间作区节肢动物群落时序格局. 生态学报, 30(17): 4578–4589.]

Huang BH, Zou YD, Bi SD, Li HK, 2005. Time structure and dynamic of insect communities in plum orchard. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 11(2): 187–191.[黄保宏, 邹运鼎, 毕守东, 李恒奎, 2005. 梅园昆虫群落的时间结构及动态. 应用与环境生物学报, 11(2): 187–191.]

Hudbert SH, 1971. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology*, 52(4): 577–586.

Jiang GF, Yan ZG, Cen M, 2000. Insect community and its diversity in mangrove forest at Yingluo bay of Guangxi. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 11(1): 95–98.[蒋国芳, 颜增光, 岑明, 2000. 英罗港红树林昆虫群落及其多样性的研究. 应用生态学报,

11(1): 95–98.]

Li GY, Deng QY, Hua GA, Hu B, 2005. Dynmaic analysis on the combination and structure of the arthropod community in gardenia field. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 24(3): 245–249.[李国元, 邓青云, 华光安, 胡波, 2005. 红栀子园节肢动物群落组成与结构动态. 华中农业大学学报, 24(3): 245–249.]

Li L, Zou YD, Bi SD, Ding CC, Gao CQ, Li CG, Lou Z, 2005. Effects of crude composite pesticide from plant (kky) on structure of arthropod community in megranate field. *Journal of Anhui Agricultural University*, 32(1): 12–14.[李磊, 邹运鼎, 毕守东, 丁程成, 高彩球, 李昌根, 娄志, 2005. 天然植物源复合杀虫剂对石榴园节肢动物群落结构的影响. 安徽农业大学学报, 32(1): 12–14.]

MacArthur R, 1964. Environmental factors affecting bird species diversity. *American Naturalist*, 98(903): 387–397.

Parmenter RR, Kreutzian M, Moore DI, Lightfoot DC, 2011. Short-term effects of a summer wildfire on a desert grassland arthropod community in New Mexico. *Environmental Entomology*, 40(5): 1051–1066.

Peng L, Yan Y, Liu WX，Wan FH, Wang JJ, 2010. Counter–defense mechanisms of phytophagous insects towards plant defense, *Acta Entomologica Sinica*, 53(5): 572–580.[彭露, 严盈, 刘万学, 万方浩, 王进军, 2010. 植食性昆虫对植物的反防御机制. 昆虫学报, 53(5): 572–580.]

Pfadt RE, 1982. Density and diversity of grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) in an outbreak on Arizona rangland. *Environmental Entomology*, 11(3): 690–694.

Qiu LM, Zhan ZX, Lin RK, Chen YH, Zheng QH, 2004. Structure and diversity of arthropod community in longan orchard. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 19(3): 140–143.[邱良妙, 占志雄, 林仁魁, 陈元洪, 郑琼华, 2004. 龙眼园节肢动物群落结构与多样性的研究. 福建农业学报, 19(3): 140–143.]

Scheiring JF, Deonier DL, 1979. Spatial and temporal patterns in Iowa shore fly diversity. *Environmental Entomology*, 8(5): 879–882.

Shi WC, Liu X, Xie H, 1991. Study on insect time structure in an apple orchard. *Chinese Bulletin of Entomology*, 28(5): 279–285.[石万成, 刘旭, 谢辉, 1991. 苹果园昆虫群落时间结构的研究. 昆虫知识, 28(5): 279–285.]

Shi WC, Xie H, Liu X, Chen Z, Jin FB, Li YP, Zhang JX, 1993. Temporal pattern of insect community from orange grove in Meishan, Sichuan. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 6(Supplement): 47–54.[石万成, 谢辉, 刘旭, 陈冶, 金福宾, 李永萍, 张金祥, 1993. 眉山脐橙昆虫群落时间格局研究. 西南农业学报, 6(增刊): 47–54.]

Song BZ, Wu HY, Kong Y, Zhang J, Du YL, Hu JH, Yao YC, 2010. Effects of intercropping with aromatic plants on the diversity and structure of an arthropod community in a pear orchard. *BioControl*, 55(6): 741–751.

Sonoda S, Izumi Y, Kohara Y, Koshiyama Y, Yoshida H, 2011. Effects of pesticide practices on insect biodiversity in peach orchards. *Applied Entomology and Zoology*, 46(3): 335–342.

Stuart AW, Paul CJ, 2002. A general model for host plant selection in phytophagous insects. *Journal of Theoretical Biology*, 214(3): 499–513.

Su BY, Chen SB, LI YG, Yang WY, 2013. Intercropping enhances the farmland ecosystem services. *Acta Ecologica Sinica*, 33(14): 4505–4514. [苏本营, 陈圣宾, 李永庚, 杨文钰, 2013. 间套作种植提升农田生态系统服务功能. 生态学报, 33(14): 4505–4514.]

Sun RY, 2001. Ecology Principle on Animal (3rd edition). Beijing: Science Press. 97–142. [孙儒泳, 2001. 动物生态学原理(第三版). 北京: 科学出版社. 97–142.]

Tan SD, Wei JD, Lan RX, 1997. Structure and dynamics of the pest community in longan orchards. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 18(1): 84–91.[谭仕东, 韦金道, 兰如新, 1997. 广西南宁地区龙眼害虫群落结构及其动态研究. 热带作物学报, 18(1): 84–91.]

Tan SD, Wei JD, Lan RX, Wei JS, 1999. Study on the structure and dynamics of pest community in lichee orchard. *Journal of Plant Protection*, 26(3): 213–218.[谭仕东, 韦金道, 兰如新, 韦金先, 1999. 荔枝害虫群落结构及其动态研究. 植物保护学报, 26(3): 213–218.]

Tu JH, Zhang WJ, Liang YQ, 2000. The effects of different insecticide combinations on the insect community of citrus field. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 13(2): 62–66.[涂建华, 张武军, 梁月清, 2000. 不同药剂组配对柑桔园昆虫群落的影响. 西南农业学报, 13(2): 62–66.]

Viktor M, Gábor J, Előd K, Levente Á, Klára B, 2013. Flowers for better pest control? The effects of apple orchard ground cover management on green apple aphids (*Aphis* spp.) (Hemiptera: Aphididae), their predators and the canopy insect community. *Biocontrol Science and Technology*, 23(2): 126–145.

Wan NF, Ji XY, Gu XJ, Jiang JX, Wu JH, Li B, 2014. Ecological engineering of ground cover vegetation promotes biocontrol services in peach orchards. *Ecological Engineering*, 64: 62–65.

Wang Y, Zhang HH, Zou YD, 1991. Study on the community

dynamics of spiders and insects in tea plantation garden. *Acta Ecologica Sinica*, 11(2): 135–138.[王勇, 张汉鹊, 邹运鼎, 1991. 茶园蜘蛛、昆虫群落动态的研究. 生态学报, 11(2): 135–138.]

Xie ZL, 1993. A study on the seasonal pattern of community on tea plantation Guangzhou. *Journal of South China Agricultural University*, 14(3): 22–31.[谢振伦, 1993. 广州地区茶园昆虫群落结构年中变化的研究. 华南农业大学学报, 14(3): 22–31.]

Yang BL, Chen GH, Tao M, Yan NS, 1997. Studies on the food–web pattern of apple insect communities in Yunnan Kunming area. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 12(3): 158–162.[杨本立, 陈国华, 陶玫, 严乃胜, 1997. 昆明地区苹果园昆虫群落营养结构研究. 云南农业大学学报, 12(3): 158–162.]

Yang DR, PengYQ, Zhang GM, Song QS, Gu HY, Wang QY, 2003. Structure and biodiversity of insect community on syconia fruits of *Ficus racemosa* in tropical rainforest of Xishuangbanna, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14(10): 1710–1714.[杨大荣, 彭艳琼, 张光明, 宋启示, 谷海燕, 王秋艳, 2003. 西双版纳热带雨林聚果榕隐头果的昆虫群落结构与多样性. 应用生态学报, 14(10): 1710–1714.]

Zhang JS, Guo ZZ, Xiong JW, 1989. A preliminary study on the structure and component of insect community in citrus orchards in the suburb of Guiyang, Guizhou. *Acta Ecologica Sinica*, 9(4): 381–383. [张京社, 郭振中, 熊继文, 1989. 贵阳市郊桔园昆虫群落的组成及结构的初步研究. 生态学报, 9(4): 381–383.]

Zhang JW, Sun SH, 2004. Study on spider diversity in tea garden. *China Tea*, 26(2): 20–21.[张觉晚, 孙少华, 2004. 茶园蜘蛛群落多样性研究. 中国茶叶, 26(2): 20–21.]

Zhang XM, Li Q, Chen GH, Yang J, Gao X, Song JX, 2009. Insect community structure and its stability in a *Zanthoxylum bungeanum* garden with different planting pattern. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(8): 1986–1991. [张晓明, 李强, 陈国华, 杨洁, 高鑫, 宋家雄, 2009. 不同种植模式花椒园昆虫群落的结构及稳定性. 应用生态学报, 20(8): 1986–1991.]

Zhang YQ, Ahmed DA, Wei SG, Huang W, Xu XZ, 2001. The community structure, dynamics of pest and predacous arthropod in a banana field. *Acta Ecologica Sinica*, 21(4): 639–645. [张永强, Ahmed DA, 韦绥概, 黄卫, 许旭战, 2001. 香蕉园害虫和捕食性节肢动物群落结构及动态研究. 生态学报, 21(4): 639–645.]

Zhang Z, Wang JH, Zhang JG, Zhang SG, 2004. Effects of transgenic poplars to the structure of insect community. *Scientia Silvae Sinicae*, 40(2): 84–89.[张真, 王军辉, 张建国, 张守攻, 2004. Bt 转基因杨树对杨树昆虫群落结构的影响. 林业科学, 40(2): 84–89.]

Zhang ZL, Zhao L, Fan Y, Zhang LY, Jia XJ, 2011. Studies on diversity of arthropod community in orchards of apricot–wheat intercropping system. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 34(5): 393–398.[张滋林, 赵莉, 范毅, 张鲁豫, 贾晓江, 2011. 不同树龄杏麦间作园节肢动物群落多样性研究. 新疆农业大学学报, 34(5): 393–398.]

Zhao ZM, Guo YQ, 1990. Principle and Method of Community Ecology. Chongqing: Chongqing Branch of Scientific and Technological Literature Publishing House. 143–196.[赵志模, 郭依泉, 1990. 群落生态学原理与方法. 重庆：科技文献出版社重庆分社. 143–196.]

Zou YD, Ding CC, Bi SD, Gao CQ, Cao CW, Liu XL, Men QL, Li CG, 2005. Cluster analysis on the temporal dynamics of arthropod community in a plum orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(4): 631–636.[邹运鼎, 丁程成, 毕守东, 高彩球, 曹传旺, 刘小林, 孟庆雷, 李昌根, 2005. 李园节肢动物群落时间动态的聚类分析. 应用生态学报, 16(4): 631–636.]

Zou YD, Li L, Zhang BW, Bi SD, Lou Z, Ding CC, Gao CQ, Li CG, 2004. Clustering analysis and optimal cut–apart of arthropod community in megranate orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(8): 1435–1439.[邹运鼎, 李磊, 章炳旺, 毕守东, 娄志, 丁程成, 高彩球, 李昌根, 2004. 石榴园节肢动物群落的聚类分析及最优分割研究. 应用生态学报, 15(8): 1435–1439.]