应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2020, 57(3): 718−728. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2020.073

不同邻作玉米田节肢动物群落特征及稳定性*

张金龙** 陈 强** 钏 叠 李 强 张晓明*** 陈国华***

（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）

摘 要 【目的】 为明确不同邻作模式玉米田节肢动物群落特征及群落稳定性。**【方法】** 采用诱集和目测法对邻作咖啡、水稻、李树及单作的玉米田节肢动物群落进行系统调查，分析不同邻作环境对玉米田节肢动物群落特征及稳定性的影响。**【结果】** 共调查到节肢动物 294 种，隶属于 4 纲 12 目 87 科，与单作玉米田相比，邻作玉米田节肢动物群落的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均较高，优势集中性指数较低，不同邻作玉米田丰富度指数、多样性指数和均匀度度指数大小依次为：玉咖>玉稻>玉李>单作。不同邻作模式玉米田中的稳定指数 N_n/N_p、N_d/N_p、S_n/S_p 和 S_d/S_p 的值的大小顺序为：玉咖>玉稻>玉李>单作，稳定指数 d_s/d_m 值的顺序依次为：玉咖<玉稻<玉李<单作，与咖啡邻作玉米田节肢动物群落稳定性在调查的邻作模式中最高，单作玉米田的稳定性最低。**【结论】** 邻作能够增加玉米田节肢动物群落的多样性指数和稳定性，且玉米与咖啡邻作模式是最能够增加玉米田节肢动物群落稳定性和多样性指数的邻作模式。

关键词 玉米；邻作；节肢动物；群落

Arthropod community characteristics and stability in maize fields adjacent to different crop types

ZHANG Jin-Long** CHEN Qiang** CHUAN Die LI Qiang
ZHANG Xiao-Ming*** CHEN Guo-Hua***

(Collage of Plant Protection, Yunnan Agriculture University, State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resources in Yunnan, Kunming 650201, China)

Abstract [Objectives] To clarify the community characteristics and stability of arthropods in maize fields adjacent to different crops. **[Methods]** The number of arthropod species in maize fields was systematically sampled with traps and visual observation in maize fields adjacent to three different crops; coffee plantations, rice fields, plum orchards, and in a maize monoculture. **[Results]** A total of 294 species of arthropods were collected, belonging to 4 classes, 12 orders and 87 families. Compared to the monoculture, the richness, diversity and evenness of arthropods in maize fields adjacent to different crops was higher, but dominance was lower. Different adjacent crops could be ranked with respect to the richness, diversity and evenness of arthropods in maize fields as follows: coffee > rice > plum > maize monoculture. The ranking of different adjacent crops on the N_n/N_p, N_d/N_p, S_n/S_p and S_d/S_p values of maize fields was the same, however, their ranking with respect to the stability index (d_s/d_m value) of maize fields was: coffee < rice < plum < maize monoculture. Maize fields adjacent to coffee plantations had the most stable arthropod communities and maize monocultures the least stable. **[Conclusion]** Planting maize adjacent to different crops can increase the stability of arthropod communities in maize fields; maize fields adjacent to coffee plantations have the most stable arthropod community structure.

Key words maize; adjacent planting; arthropods; community

近年来随着农药的大量使用，造成害虫的天敌大量死亡，农田生态环境受到不同程度破坏，导致害虫再猖獗和次要害虫的爆发为害（吴进才，2011）。随着人们对食物健康的追求，农田

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金（31360436）；云南省现代农业玉米产业技术体系建设资助项目（2018KJTX002）

**共同第一作者 Co-first authors，E-mail：sasazjl@126.com；cqsgchenqiang@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：zxmalex@126.com；chenghkm@126.com

收稿日期 Received：2019-01-14；接受日期 Accepted：2019-04-29

生态环境改良越来越受到重视，改变或者利用现有的生态环境来增加农田生态系统中的节肢动物群落的多样性控制害虫的暴发方面的研究越来越受到关注（郑云开和尤民生，2009；张晓明，2013）。农田生态环境中节肢动物种类数量众多，不同物种之间通过食物营养和竞争关系相互影响、相互制约是利用生物多样性控制害虫的基础（高东等，2011；朱莹等，2017）。农田生态系统中除了农田中的主栽作物的种类及搭配对农田节肢动物组成由较大影响的同时，主栽作物周边的作物和非作物生境的变化同样能显著影响着主栽作物田的节肢动物群落的组成及变化（黄吉等，2015）。国内外学者在这方面进行了很多探索和研究，研究表明邻作可以显著影响目标植物田节肢动物的丰富度指数（Kos *et al.*，2015），农田景观复杂性能导致农田节肢动物物种多样性升高（刘文惠等，2014）；花椒园内套种玉米和大豆能增强花椒园中的节肢动物群落的稳定性，进而增加控害功能（张晓明等，2009）；花椒与枇杷邻作能够增加花椒园节肢动物群落多样性（罗凯等，2015）；边界野花种植能够控制一些害虫的发生（Mccabe *et al.*，2017）；周围植物种类能够影响节肢动物的组成（Boutin *et al.*，2009）；多样性的植被结构农田的天敌等节肢动物群落多样性普遍升高（Rivers *et al.*，2016）；棉花和紫花苜蓿邻作能增加棉田中节肢动物群落的多样性（Bastola *et al.*，2017）；玉米与蔬菜、果树邻作区域中玉米田的节肢动物群落的物种丰富度指数和多样性指数显著高于玉米单作田（辛肇军等，2012）；水稻与玉米、蔬菜邻作能够降低水稻田害虫种群数量且增加天敌多样性（吴琼梅等，2011；张娟等，2011；Yao *et al.*，2012）。云南省普洱市位于典型的亚热带气候区，是玉米的主要种植区，种植面积、总产量和总产值居全市粮食作物第二位（柴正群等，2016），在玉米种植过程中经常会因玉米螟、玉米蚜等害虫为害造成大量损失。近年来，随着农业产业结构的调整，茶叶、咖啡、果树等特色经济作物种植面积不断增加，玉米地周围随处可见森林、咖啡、果树、茶树、农田等多种邻作种植环境（陈宗龙等，2007）。为了明确普洱地区特殊的山地玉米种植环境对玉米田节肢动物群落多样性和稳定性的影响，本研究从群落生态学角度出发，选取该地区玉米与常见作物邻作模式，通过系统调查玉米田节肢动物群落，并对群落特征进行分析，以期为利用作物多样性种植模式控制玉米害虫的研究及实践提供参考。

1　材料与方法

1.1　样地选取

调查样地位于普洱市思茅区倚象镇（22°44′40″N，101°06′27″E）选择 4 种邻作模式进行调查，每种邻作模式选取 4 个重复调查区域：（1）玉米 *Zea mays* 与咖啡 *Coffea arabica* 邻作：玉米地附近种植咖啡，咖啡品种为云南小粒波邦，种植面积约 3.5 hm^2，树龄平均约为 15 年；咖啡种植区的行间距和株间距约为 3 m；玉米田与咖啡地的距离约为 1-3 m。（2）玉米与水稻 *Oryza latifolia* 邻作：玉米地附近种植有水稻田，种植的水稻品种为红香软 7 号，水稻田的株间距和行间距均为 0.3 m，水稻田的种植面积约为 0.4 hm^2，水稻田和玉米地之间的距离约为 3 m。（3）玉米与李树 *Prunus salicina* 邻作：玉米地附近种植有李树，李树品种为脆红李，树龄平均约为 11 年，李树种植地内的株间距和行间距均约为 4 m，李树种植区的面积约为 3.1 hm^2，玉米地和李树种植区之间的距离约为 2 m。（4）玉米单作：单一种植玉米田，玉米品种为五谷 1790，种植区面积大于 1 hm^2。样地内玉米的行间距为 0.6 m，株间距约为 0.4 m，每重复样地面积介于 0.056-0.130 hm^2 之间，样地间的距离约为 10 m，不同邻作之间样地距离 100 m 以上。所有邻作模式种植的玉米品种、种植密度与玉米单作地的种植方式保持一致，种植过程中不使用农药。研究区域样地布局图如图 1 所示。

1.2　研究方法

1.2.1　调查方法　调查期为 2017 年 5 月玉米苗期至 2017 年 9 月玉米完熟期，每隔 15 d 调查 1 次，采用目测法和多种诱集方法调查。

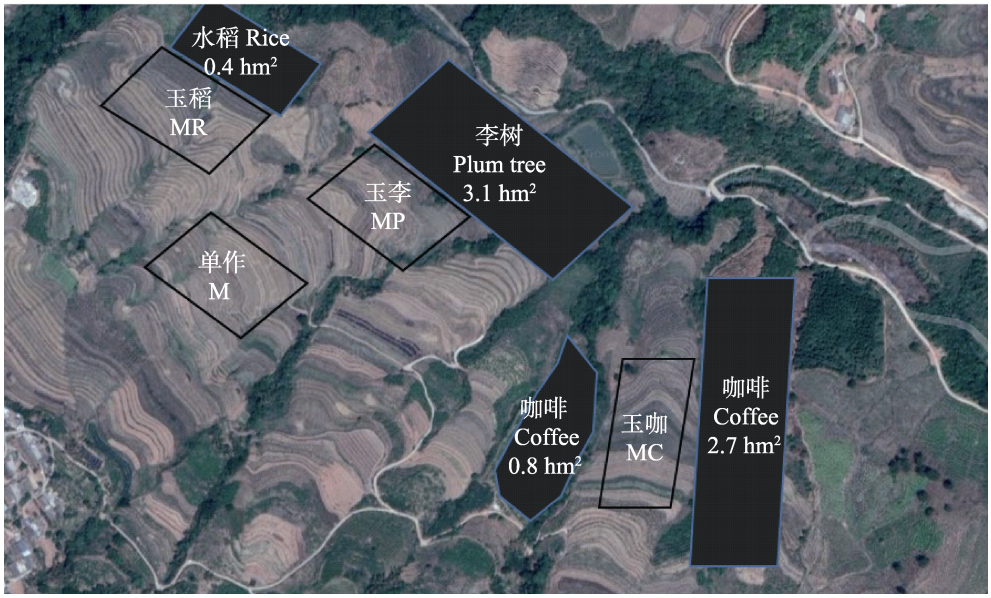

图 1　调查样地设置布局图

Fig. 1　Investigate the layout diagram

“玉咖”为玉米与咖啡邻作，以 MC 表示；“玉稻”为玉米与水稻邻作，以 MR 表示；“玉李”为玉米田李树邻作，以 MP 表示；“单作”为玉米单作，以 M 表示。图 2 和图 3 同。

MC indicates maize field with an adjacent coffee, MR indicates maize field with an adjacent rice, MP indicates maize with an adjacent plum tree, and M indicates maize monoculture cropping. The same as Fig. 2 and Fig. 3.

诱集法：每块样地放置 2 块黄色双面粘虫板（25 cm×20 cm）、2 个黄盘（椭圆形，长轴 20 cm×短轴 17.5 cm×高 4 cm，黄盘内放入约 2/3 清水和少许洗洁精混合液）、2 个陷阱（无色透明塑料桶，直径 35 cm×高 30 cm）和 1 糖醋酒液诱集瓶（圆筒形，直径 10 cm×高 15 cm，放入引诱剂 700 mL，引诱剂是糖、醋和 56%食用白酒和水的混合物，重量比为 3∶4∶1∶2）。黄色双面粘虫板分别放置在调查样地的对角线两端，用细竹竿作为粘虫板支架，粘虫板高出玉米植株顶端 10 cm 左右；黄盘分别放置在调查样地的另一条对角线两端，置于玉米植株根部附近；糖醋酒液诱集瓶放置于调查样地中央，悬挂在用竹竿成的支架上，悬挂高度为玉米株高 2/3；陷阱分别放置于黄盘、粘虫板、糖醋酒液诱集瓶连线构成的三角形中央，陷阱塑料桶埋于地下，桶口与地面齐平。每次诱集时间为 24 h，收集并记录各诱集方法诱集到节肢动物种类及其数量。

目测法：采用棋盘式 10 点取样方法调查，每样点调查玉米 10 株，记录玉米植株上的节肢动物种类和数量（张晓明等，2015；柴正群等，2016）。调查时不能定名的节肢动物标本，保存于 80%的酒精中，鳞翅目成虫标本用乙酸乙酯毒瓶毒死后，放入三角纸袋中，采集到的标本统一编号后带回室验室进行鉴定。调查样地玉米按当地常规措施管理。

1.2.2　玉米生育期的划分　根据玉米生长的情况把玉米划分为苗期、三叶期、拔节期、小喇叭口期、大喇叭口期、抽雄期、吐丝期、子粒建成期、乳熟期、蜡熟期、完熟期，在调查时记录玉米所处生长期（李少昆等，2011）。

1.2.3　数据分析方法

节肢动物群落特征计算公式：

Margalef 丰富度指数 $D_{ma} = \dfrac{S-1}{\ln N}$，

Shannon-wiener 多样性指数

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i ,$$

Shannon-wiener 均匀度指数 $E = \dfrac{H'}{\ln S}$，

Simpson 优势集中性指数

$$C = \sum_{i=1}^{s} P_i^2 = \sum_{i=1}^{s} (N_i / N)^2 ,$$

相似系数 $J(A,B)=\frac{|A\cap B|}{|A\cup B|}$。

式中 D_{ma} 为丰富度指数，S 为调查总的物种数，N 为调查群落总个体数；H'为多样性指数，P_i 为第 i 种个体数占总数个体数的比例；E 为均匀度指数；C 为优势集中性指数，N_i 为第 i 种总个体数；J 为相似系数，A、B 为 2 次调查物种数，相似系数 $0\leqslant J<0.25$ 时，两次调查结果为极不相似；当 $0.25\leqslant J<0.5$ 时，为中等不相似；当 $0.5\leqslant J<0.75$ 时，为中等相似；当 $0.75\leqslant J<1.0$ 时为极相似。

用 N_n/N_p、N_d/N_p、S_n/S_p、S_d/S_p 值和多样性指数的变异系数（d_s/d_m）反应节肢动物群落中天敌亚群落和中性亚群落对植食性亚群落的调控作用，d_s/d_m 值越小说明所在环境中节肢动物群落抗外界干扰能力越强。N_n/N_p 表示天敌亚群落个体数与植食性亚群落个体数比值；N_d/N_p 表示中性亚群落个体数与植食性亚群落个体数比值；S_n/S_p 表示天敌亚群落物种数与植食性亚群落物种数比值；S_d/S_p 表示中性亚群落物种数与植食性亚群落物种数比值；d_s/d_m 表示多样性指数标准差与多样性指数平均值的比值（蒋杰贤等，2011）。

数据统计与分析在 Microsoft Excel 2013 和 SPSS19.0 中进行。

2　结果与分析

2.1　不同邻作玉米田节肢动物群落组成

表 1 结果显示，普洱不同邻作模式玉米田共采集到节肢动物 294 种，隶属于 4 纲 12 目 87 科。其中邻作咖啡的玉米田中天敌亚群落物种数最多，达到 54 种，隶属于 24 科；邻作水稻的玉米田中天敌亚群落物种数次之，为 45 种，隶属于 17 科；再次为邻作李树玉米田，天敌亚群落物种数为 41 种，隶属于 23 科；单作玉米田中天敌亚群落物种数最低，为 28 种，隶属于 19 科。邻作咖啡的玉米田中性亚群落群物种数最多，为 76 种，隶属于 32 科；邻作水稻的玉米田中性亚群落物种数次之，为 74 种，隶属于 37 科；再次为邻作李树的玉米田，中性亚群落物种数为 68 种，隶属于 31 科（表 1）。植食性亚群落物种数最多的为单作田，为 35 种，隶属于 19 科；其次为邻作咖啡的玉米田，调查到植食性亚群落物种数 34 种，隶属于 17 科；再次为邻作水稻的玉米田，植食性亚群落物种数为 28 种，隶属于 18 科；邻作李树玉米田植食性亚群落物种数最少，为 25 种，隶属于 17 科（表 1）。

2.2　不同邻作玉米田节肢动物群落特征值比较

不同邻作模式玉米田的丰富度、多样性、均

表 1　不同邻作模式玉米田节肢动物群落组成

Table 1　Composition of arthropod communities in maize fields under different adjacent cropping patterns

分类阶元 Taxon	邻作模式 Adjacent cropping mode												合计 Total
	玉咖 MC			玉稻 MR			玉李 MP			单作 M			
	n	p	d	n	p	d	n	p	d	n	p	d	
纲 Class	2	1	2	3	1	2	2	1	2	2	1	2	4
目 Order	7	6	7	8	6	7	7	5	7	7	6	7	12
科 Family	24	17	32	17	18	37	23	17	31	19	19	20	87
种 Species	54	34	76	45	28	74	41	25	68	28	35	57	294

“玉咖”为玉米与咖啡邻作，以 MC 表示；“玉稻”为玉米与水稻邻作，以 MR 表示；“玉李”为玉米田李树邻作，以 MP 表示；“单作”为玉米单作，以 M 表示。表 2，表 3 同。表中 n、p、d 分别表示天敌亚群落、植食性亚群落、中性亚群落。

MC indicates maize field with an adjacent coffee, MR indicates maize field with an adjacent rice, MP indicates maize with an adjacent plum tree, and M indicates maize monoculture cropping. The same as table 2 and table 3. The n, p and d in the table indicate natural enemy sub-community, phytophagous sub-community and neutral sub-community, respectively.

匀度指数的变化规律均一致，且数值大小顺序依次为：玉米咖啡邻作>玉米水稻邻作>玉米李树邻作>玉米单作；优势集中性指数的变化规律则与之相反，依次为：玉米单作>玉米李树邻作>玉米水稻邻作>玉米咖啡邻作（表 2）。邻作咖啡玉米田节肢动物群落的丰富度指数（$F_{3, 15}$=6.89，P=0.005 1）、多样性指数（$F_{3, 15}$=4.92，P=0.007 2）、均匀度指数（$F_{3, 15}$=3.69，P=0.020 7）均高于单作玉米田，而优势集中性指数则低于单作玉米田（$F_{3, 15}$=7.23，P=0.003），且差异均显著（表 2）；邻作水稻玉米田的丰富度指数、多样性指数、均匀度指数均高于单作玉米田，优势集中性指数低于单作玉米田，多样性指数、均匀度指数、优势集中性指数与单作玉米田差异显著，丰富度指数与单作玉米田差异不显著；邻作李树玉米田的丰富度指数、多样性指数、均匀度指数均高于单作玉米田，优势集中性指数低于单作玉米田，均匀度指数、优势集中性指数与单作玉米田差异显著，丰富度指数、多样性指数与单作玉米田差异不显著。结果说明单作玉米田优势种较为突出，占有较大比例，优势种的物种数变化对整个群落的影响较大。邻作模式不同程度的增加了玉米田中的节肢动物的丰富度、多样性和均匀度，且邻作咖啡的玉米田增加程度最为明显。

2.3 不同邻作玉米田节肢动物群落稳定性比较

由表 3 可看出，不同邻作模式之间稳定性指数存在一定差异，从稳定性指数 N_n/N_p 比值来看，邻作咖啡模式玉米田中的值最高，且显著高于其它模式（$F_{3, 15}$=6.644，P=0.007）。邻作咖啡、邻作水稻和邻作李树的玉米田的 N_d/N_p（$F_{3, 15}$=3.861，P=0.038）和 S_n/S_p（$F_{3, 15}$=5.459，P=0.013）

表 2 不同邻作模式玉米田节肢动物群落特征比较

Table 2 Comparison of arthropod community characteristics in maize fields under different adjacent cropping

邻作模式 Adjacent cropping mode	处理 Treatment			
	丰富度 Richness	多样性 Diversity	均匀度 Evenness	优势集中性 Dominance
玉咖 MC	21.233±1.862a	4.057±0.241a	0.825±0.037a	0.036±0.003c
玉稻 MR	19.060±2.142ab	3.883±0.275a	0.800±0.084a	0.040±0.002b
玉李 MP	17.870±1.445b	3.803±0.314ab	0.790±0.105a	0.043±0.003b
单作 M	17.470±1.122b	3.750±0.138b	0.787±0.073b	0.052±0.006a

表中数据为平均数±标准误。同列数据后标有不同小写字母分别表示经 Duncan's 法检验不同邻作模式玉米田之间存在差异显著（P<0.05）。表 3 同。

Data are mean±SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different adjacent cropping by Duncan's multiple range test (P<0.05). The same as table 3.

表 3 不同邻作模式玉米田节肢动物群落稳定性比较

Table 3 Comparison of stability of arthropod community in maize fields under different adjacent cropping

邻作模式 Neighborhood mode	稳定性指数 Stability index				
	N_n/N_p	N_d/N_p	S_n/S_p	S_d/S_p	d_s/d_m
玉咖 MC	1.447±0.271a	2.512±0.158a	1.160±0.353a	2.195±0.171a	0.033
玉稻 MR	0.898±0.287b	2.496±0.303a	1.143±0.338a	2.174±0.134a	0.057
玉李 MP	0.879±0.258b	2.366±0.336a	1.133±0.532a	1.859±0.268ab	0.097
单作 M	0.764±0.055b	1.911±0.314b	0.851±0.473b	1.772±0.292b	0.141

表中 N_n、N_p、N_d、S_n、S_p、S_d、d_s 和 d_m 分别指天敌亚群落个体数、植食性亚群落个体数、中性亚群落个体数、天敌亚群落物种数、植食性亚群落物种数、中性亚群落物种数、多样性指数标准差和平均值。表 4 同。

N_n, N_p, N_d, S_n, S_p, S_d, d_s and d_m in the table refer to the number of natural enemy sub-communities, the number of plant-feeding sub-communities, the number of neutral sub-communities, the number of natural enemy sub-communities, the number of plant-feeding sub-communities, the number of species of neutral sub-communities, the standard deviation of diversity values and the average of diversity values, respectively. The same as table 4.

显著高于单作玉米田，但 3 种邻作模式之间差异不显著；邻作咖啡和邻作水稻的玉米田的 S_d/S_p 值显著高于单作玉米田，邻作李树玉米田的 S_d/S_p 值与其它种植模式的玉米田相比差异均不显著（$F_{3, 15}$=7.006，P=0.006）（表 3）。从 d_s/d_m 比值来看，玉米单作>玉米李树邻作>玉米水稻邻作>玉米咖啡邻作。

综上所述，邻作咖啡的玉米田具有最高的群落稳定性指标值 N_n/N_p，N_d/N_p，S_n/S_p 和 S_d/S_p，最低的 d_s/d_m，说明邻作咖啡的玉米田天敌亚群落对植食性亚群落控制作用强于其它邻作模式玉米田，且具有较强的抗外界干扰能力，玉米单作田的节肢动物群落抗外界干扰能力最弱。

2.4　不同邻作玉米田节肢动物群落特征值与稳定性相关分析

不同邻作模式中玉米田节肢动物群落多样性指数与 N_d/N_p 相关性均达到显著相关，其中在邻作咖啡的玉米田邻作和玉米单作田中节肢动物群落多样性指数与 N_d/N_p 的相关性达到极显著。邻作咖啡的玉米田中，多样性指数与 N_n/N_p 相关性达到极显著，均匀度指数与 S_n/S_p 相关性达到显著相关。邻作水稻的玉米田中，丰富度指数与 N_n/N_p、均匀度指数与 S_n/S_p 相关性均达到极显著相关。邻作李树的玉米田中，丰富度指数与 N_n/N_p 和 N_d/N_p 相关性显著相关，均匀度指数与 S_n/S_p 显著相关、与 S_d/S_p 相关性达到极显著。玉米单作田中，丰富度指数与 N_n/N_p 和 S_n/S_p 相关性均达到显著相关，优势集中性指数与 S_n/S_p 达到极显著相关（表 4）。在不同邻作环境中节肢动物群落的多样性指数与稳定性指数 N_d/N_p 均相关，而其它特征指数与稳定性指数之间未有全部相关。说明节肢动物群落特征指数与稳定性指数并非简单的线性相关关系，而是相互之间复杂的联系。

2.5　不同邻作玉米田节肢动物群落特征值随时间动态变化

不同邻作玉米田之间丰富度指数有一定差异，且随着时间动态变化各有异同（图 2）。其

表 4　不同邻作模式玉米田节肢动物群落特征值与稳定性相关分析

Table 4　Correlation analysis of characteristic values and stability of arthropod communities in maize fields with different adjacent cropping systems

邻作模式 Adjacent cropping mode	稳定性指数 Stability index	群落结构特征值 Arthropod community structure characteristics			
		丰富度 Richness	多样性 Diversity	均匀度 Evenness	优势 Dominance
玉咖 MC	N_n/N_p	0.936	0.995**	–0.316	0.320
	N_d/N_p	0.932	0.999**	–0.421	0.390
	S_n/S_p	–0.420	–0.378	0.987*	–0.444
	S_d/S_p	–0.834	–0.650	0.702	–0.024
玉稻 MR	N_n/N_p	0.993**	0.906	0.054	0.477
	N_d/N_p	0.815	0.959*	0.445	0.268
	S_n/S_p	0.011	0.151	0.993**	0.274
	S_d/S_p	–0.945	–0.710	0.211	–0.553
玉李 MP	N_n/N_p	0.992**	0.930	0.200	–0.053
	N_d/N_p	0.958*	0.977*	0.094	–0.214
	S_n/S_p	0.038	–0.363	0.954*	0.607
	S_d/S_p	0.198	–0.186	0.993**	0.523
单作 M	N_n/N_p	0.979*	–0.680	–0.505	–0.469
	N_d/N_p	–0.476	0.993**	0.358	0.245
	S_n/S_p	–0.569	0.230	0.987*	0.999**
	S_d/S_p	–0.316	0.803	0.670	0.580

表中*和**表示经 Duncan 法检验在不同邻作模式玉米田间在 P<0.05 和 P<0.01 水平上差异显著。

* and ** indicate significant difference among different adjacent cropping by Duncan's multiple range test at 0.05 and 0.01 level, respectively.

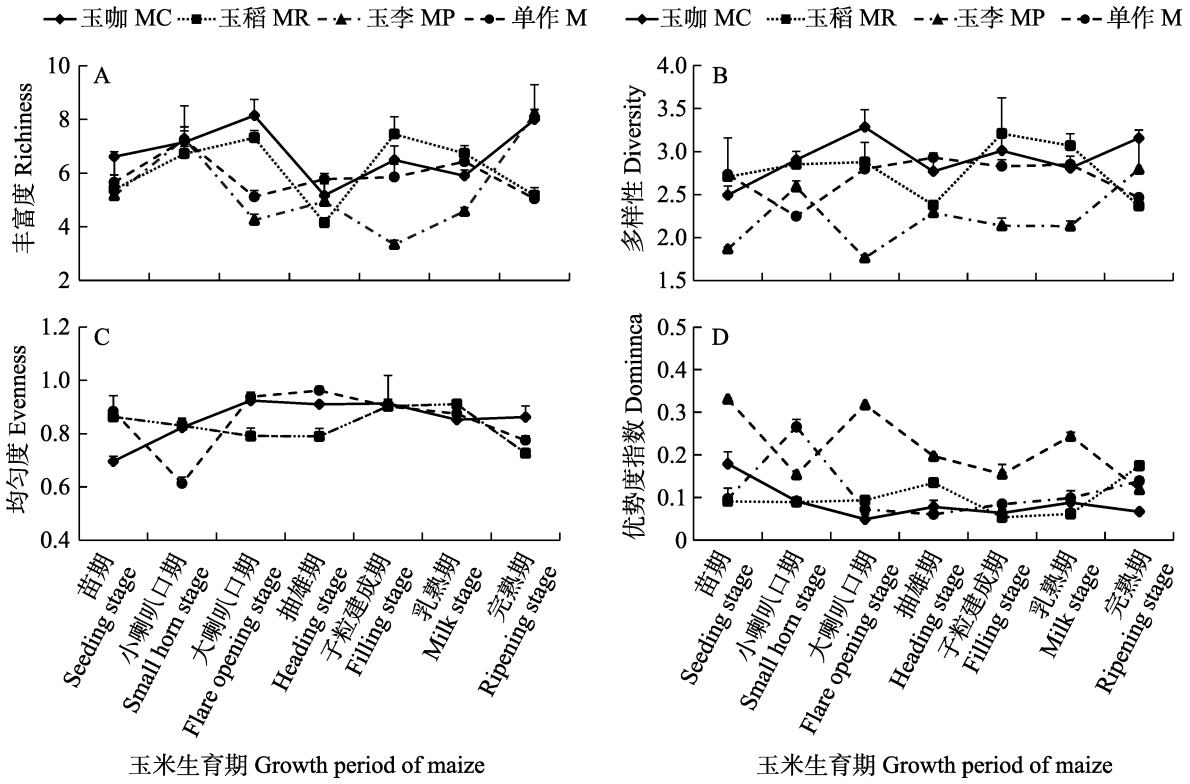

图 2　不同邻作模式玉米田节肢动物群落特征指数动态

Fig. 2　Dynamics of arthropod community index in different adjacent cropping maize fields

A. 丰富度指数；B. 多样性指数；C. 均匀度指数；D. 优势集中性指数。图中数据为平均数±标准误。“玉咖”为玉米与咖啡邻作，以 MC 表示；“玉稻”为玉米与水稻邻作，以 MR 表示；“玉李”为玉米田李树邻作，以 MP 表示；“单作”为玉米单作，以 M 表示。下图同。

A. Richness index; B. Diversity index; C. Evenness index; D. Dominance index. MC indicates maize field with an adjacent coffee, MR indicates maize field with an adjacent rice, MP indicates maize with an adjacent plum tree, and M indicates maize monoculture cropping. Data in the figure are mean ±SE. The same below.

中邻作李树的玉米田丰富度指数和多样性指数相对最低，在玉米的生长期中的大部分时期其曲线均位于其它邻作模式的下方；邻作咖啡的玉米天具有较高的丰富度指数和多样性指数，在玉米生长期中丰富度指数曲线在大部分生长期位于其它邻作模式玉米田上方（图 2：A），在大喇叭口期、子粒建成期和乳熟期邻作咖啡的玉米田节肢动物你了多样性指数高于其它田块（图 2：B）。均匀度指数变化规律与丰富度指数和多样性指数变化规律较为相似，邻作李树的玉米田多样性指数和均匀度指数动态曲线大部分生长期均位于其它曲线下面，其中在大喇叭口期和乳熟期均匀度指数与其它邻作模式相比较低（图 2：C）。与李树邻作的玉米地中优势集中性指数动态变化规律与其它 3 种模式相比差别较大，且优势集中性指数从大喇叭口期至乳熟期开始均高于其它 3 种邻作模式（图 2：D）。表明在单次调查过程中，邻作李树的玉米田单一物种发生量大且优势集中，对群落多样性影响较大，群落稳定性相对低于其它田块。

2.6　不同邻作模式玉米田稳定性指数动态

稳定性指数在不同邻作模式玉米田随玉米生育期的变化不一致，其中邻作咖啡的玉米田 N_n/N_p 数值在全部生育期内均高于其它邻作模式，而玉米单作模式中的数值曲线在大部分生育期中均较低，说明邻作邻作咖啡的玉米田天敌与植食比重在玉米生长过程中高于其它模式，玉米单作田则低于其它邻作模式玉米田（图 3：A）。N_d/N_p 值在所有邻作模式中的动态变化中整体呈

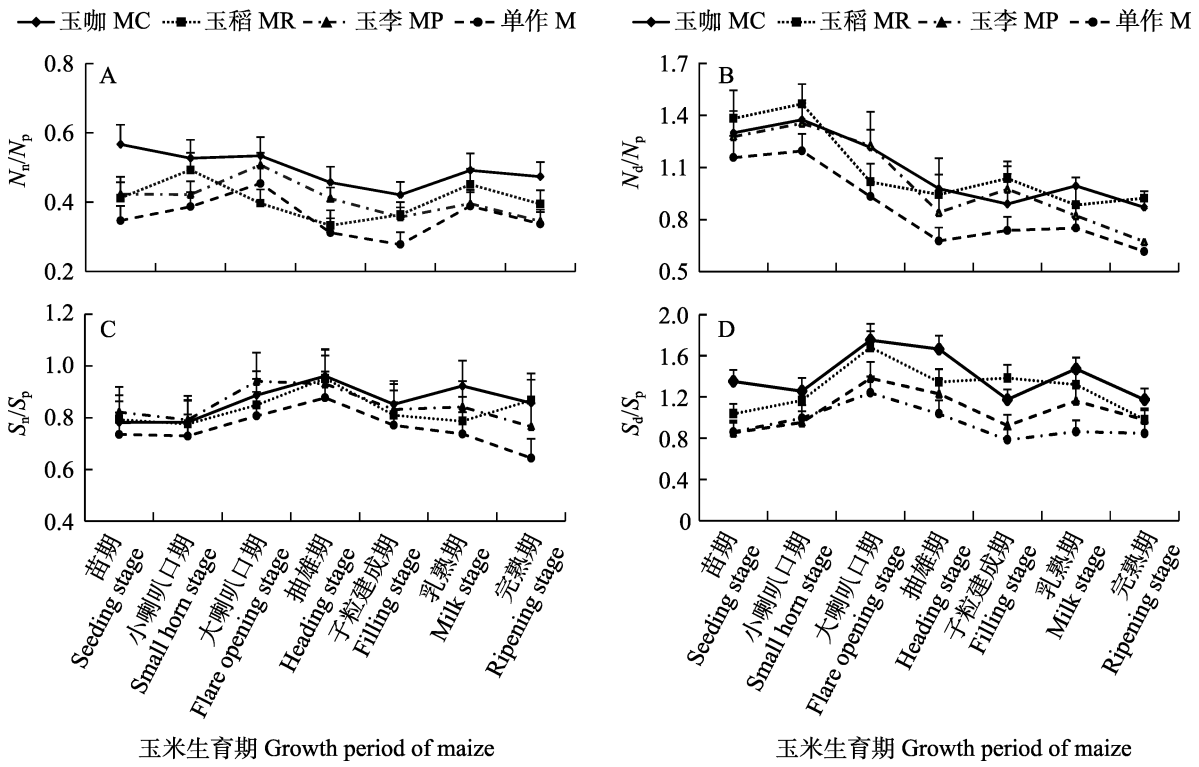

图 3　不同邻作模式玉米田节肢动物稳定性指数动态变化

Fig. 3　Dynamic changes of arthropod stability index in maize fields under different adjacent cropping models

A. 丰富度指数；B. 多样性指数；C. 均匀度指数；D. 优势集中性指数。

A. Richness index; B. Diversity index; C. Evenness index; D. Dominance index.

下降趋势，不同邻作模式中的动态变化曲线间无明显的变化规律，但单作田的动态曲线图大部分时间位于其它曲线的下方，说明在玉米生长期中植食类群发生量增大，中性类群个体比重下降（图 3：B）。S_n/S_p 比值与 N_n/N_p 比值变化规律基本一致，玉米单作和邻作李树模式的动态值在大部分生长期内均低于其它邻作模式（图 3：C）。S_d/S_p 比值中邻作咖啡的玉米田中数值除子粒建成期低于玉米与水稻邻作模式之外其余大部分生长期均高于其它田块，且曲线随生育期的波动较大，说明邻作咖啡的玉米田中性类群物种数占比重较大（图 3：D）。结果表明在对 4 种邻作模式的稳定性数值分析中，邻作模式增加了玉米田的节肢动物群落的稳定性，但从整个生育期范围内来看，稳定性动态变化呈现复杂化。

2.7　不同邻作模式玉米田相邻调查之间的相似系数比较

玉米咖啡邻作的玉米田中在苗期和小喇叭口、抽雄期和子粒建成期之间的 2 次调查结果为中等不相似，其它调查结果之间为极不相似；玉米与水稻邻作的玉米田中小喇叭口期和大喇叭口期、子粒建成期和乳熟期、乳熟期和完熟期的两次调查结果为中等不相似，其它调查结果之间为极不相似；玉米和李树邻作模式的所有两次调查结果之间均为极不相似；玉米单作田中乳熟期和完熟期两次调查结果为中等不相似，其它调查结果之间为极不相似（表 5）。表明玉米与李树邻作模式中的群落结构变化较大、种群的迁移也较大。

3　讨论

调查区域中共调查不同邻作模式玉米田中的节肢动物群落 4 纲 12 目 87 科 294 种。不同邻作模式之间的群落丰富度指数、多样性指数和均匀度指数从高到低的顺序为：玉米咖啡邻作>玉米李树邻作>玉米水稻邻作>玉米单作。而优势集

表 5 同一环境玉米田相邻两次调查之间的物种相似系数
Table 5 The correlation coefficient of species between two closely sampling time in maize fields under the same environment

邻作方式 Adjacent cropping mode	玉米生长期 Growth stage of maize					
	苗-小喇叭口 Seeding to small horn stage	小喇叭口-大喇叭口 Small horn to flare opening stage	大喇叭口-抽雄 Flare opening to heading stage	抽雄-子粒建成 Heading to filling stage	子粒建成-乳熟 Filling to milk stage	乳熟-完熟 Milk to ripening stage
玉咖 MC	0.250	0.138	0.146	0.371	0.174	0.200
玉稻 MR	0.227	0.468	0.234	0.196	0.280	0.279
玉李 MP	0.143	0.118	0.135	0.133	0.073	0.116
单作 M	0.173	0.196	0.194	0.216	0.209	0.316

中性指数的变化规律与之相反，说明不同邻作模式的玉米地之间节肢动物群落存在较大差异。邻作模式玉米田物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数与单作玉米田相比均明显增加，稳定性指数趋势亦相同，说明邻作模式增加玉米田群落多样性指数的同时也增加了节肢动物群落稳定性，这与柴正群等（2016）调查结果一致。辛肇军等（2012）在对不同复杂程度生态环境下种植的玉米田节肢动物群落特征与本试验结果接近，增加作物多样性能够增加玉米田节肢动物群落丰富度指数和多样性指数。节肢动物群落物种数在不同邻作模式玉米之间差别较大，进而影响了不同邻作模式玉米田节肢动物群落特征指数，这与柴正群等（2016）研究发现玉米单作田与混交地之间物种数差异较大的结果相似。韩岚岚等（2016）研究发现在大豆地周围邻作其它作物能增加天敌的物种数量减少刺吸式害虫的种群数量。Rivers 等（2016）研究发现玉米和小麦轮作中保护性免耕与常规玉米种植相比能够提高节肢动物类群中的天敌亚群落的种类和数量，增加节肢动物群落多样性，从而降低害虫的发生几率。由此可知增加多样性种植方法是提高主栽作物玉米上的节肢动物群落多样性的有效方法。

多样性种植的环境中，节肢动物群落中天敌亚群落个体数（N_n）与植食性亚群落个体数（N_p）、中性亚群落个体数（N_d）与 N_p、天敌亚群落物种数（S_n）与植食性亚群落物种数（S_p）、中性亚群落物种数（S_d）与植食性亚群落物种数（S_p）比值的大小是反映节肢动物群落稳定性的重要指标，其比值越大，说明群落越稳定，多样性值的变异系数（d_s/d_m）表示节肢动物群落的稳定性，比值越小，说明群落越稳定（蒋杰贤等，2011）。本研究中，玉米与咖啡邻作模式中的所有反应群落稳定性的指标值 N_n/N_p、N_d/N_p、S_n/S_p 和 S_d/S_p 均最高，玉米单作田中的最低。所有邻作模式玉米田中的 d_s/d_m 比值均低于玉米单作田，相互之间数值差异也很大，说明不同的邻作模式对玉米田节肢动物群落稳定性的影响差别较大，但邻作田的群落稳定性和抗干扰能力均高于单作田。这与蒋杰贤等（2011）的研究结果相似，他们的研究结果表明与除草的桃园相比，不除草的桃园内节肢动物动物稳定性的主要指标 N_n/N_p、N_d/N_p、S_n/S_p 和 S_d/S_p 均显著增加。复合茶园的节肢动物稳定性与单一茶园相比明显增强（陈亦根等，2004）。在花椒园内增加大豆等作物的多样性种植能显著增加花椒园节肢动物群落的多样性和稳定性（张晓明等，2009，2015）。本研究的节肢动物群落特征指数动态分析结果进一步表明邻作为咖啡的玉米田多样性指数和稳定性指数均持续处于较高的水平。邻作李树的玉米田多样性数值波动变化较大，玉米田的多样性指数随着玉米生长季节的变化相对较低，这与张晓明等（2009）在不同模式花椒园昆虫群落调查研究结果不同。造成结果不同的原因可能与本研究所选种植环境为邻作模式，邻作模式对主要作物带来间接的影响与间作套种模式对作物多样性直接的影响存在一定差异。与单作田稳定性指数动态变化相比，本研究的不同邻作模式中节肢动物群

落稳定性值增加的程度有较大差别，说明邻作模式以及邻作作物种类和环境均能影响主栽作物田内的群落特征（蒋杰贤等，2011；张娟等，2011）。

同一邻作模式中不同调查时期之间物种相似系数均较低，其中玉米与李树邻作的玉米田相似系数显著低于其它田。对比整体调查结果中邻作李树的玉米田整体的生物多样性较高，该种植模式中的物种数波动较大，应是在李树和邻作玉米田之间存在物种迁移（Nelson *et al.*，2018）。Isbell 等（2018）认为在某些情况下，即使只有少数优势物种在特定时间和地点维持生态系统的功能，同时也会通过影响其它物种数量，进而很长时间内影响生态系统的稳定性。但是具体造成这种现象的原因以及如何影响玉米田节肢动物群落动态变化机理还有待进一步研究。

致谢：感谢云南农业大学李铷博士帮助修改润色修改本文的英文摘要。

参考文献 (References)

Bastola A, Parajulee MN, Shrestha RB, 2017. Arthropod abundance and community structure in adjacent cotton and alfalfa on the Texas high plains. *Southwestern Entomologist*, 42(3): 627–640.

Boutin C, Martin PA, Baril A, 2017. Arthropod diversity as affected by agricultural management (organic and conventional farming), plant species, and landscape context. *Écosciencex*, 16(4): 492–501

Chai ZQ, Ke SJ, Huang J, Huang YM, Jia YC, Tao M, Li Q, Chen GH, 2016. Arthropod community characteristics and stability in summer maize fields with different planting environments. *Chanese Journal of Ecology*, 35(12): 3306–3314. [柴正群, 可胜杰, 黄吉, 黄钰淼, 贾永超, 陶玫, 李强, 陈国华, 2016. 不同种植环境夏玉米田节肢动物群落特征及稳定性. 生态学杂志, 35(12): 3306–3314.]

Chen YG, Xiong JJ, Huang MD, Gu DJ, 2004. Diversity and stability of arthropod assemblage in tea orchard. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15 (5): 875–878. [陈亦根, 熊锦君, 黄明度, 古德就, 2004. 茶园节肢动物类群多样性和稳定性研究. 应用生态学报, 15(5): 875–878.]

Chen ZL, 2007. Corn Science of Yunnan. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 271–273. [陈宗龙, 2007. 云南玉米科学. 昆明: 云南科技出版社. 271–273.]

Gao D, He XH, Zhu SS, 2011. Sustainable management on pests by agro-biodiversity. *Acta Ecologica Sinica*, 31(24): 7617–7624. [高东, 何霞红, 朱书生, 2011. 利用农业生物多样性持续控制有害生物. 生态学报, 31(24) : 7617–7624.]

Han LL, Wang K, Li DP, Zhang WL, Cheng Y, Zhao KJ, 2016. Effects of the potato-soybean, and maize-soybean, intercropping modes on the population dynamics of the main piercing-sucking pests, and other pests, in soybean fields. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(4): 723–730. [韩岚岚, 王坤, 李东坡, 张雯林, 程媛, 赵奎军, 2016. 马铃薯-大豆、玉米-大豆邻作对大豆田主要刺吸式害虫以及其他害虫的种群动态影响. 应用昆虫学报, 53(4): 723–730.]

Huang J, Ke SJ, Chai ZQ, Zhou JX, Ma L, Li Q, 2015. The effects of non-crop vegetation on arthropod community in maize fields. *Journal of Environmental Entomology*, 37(4): 857–864. [黄吉, 可胜杰, 柴正群, 周玖璇, 马丽, 李强, 2015. 非作物植被对玉米地节肢动物群落的影响. 环境昆虫学报, 37(4): 857–864.]

Isbell F, Cowles J, Dee LE, Loreau M, Reich PB, Gonzalez A, Hector A, Schmid B, 2018. Quantifying effects of biodiversity on ecosystem functioning across times and places. *Ecology Letters*, 21(6): 763–778.

Jiang JX, Wan NF, Ji XY, Dan JG, 2011. Diversity and stability of arthropod community in peach orchard under effects of ground cover vegetation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(9): 2303–2308. [蒋杰贤, 万年峰, 季香云, 淡家贵, 2011. 桃园生草对桃树节肢动物群落多样性与稳定性的影响. 应用生态学报, 22(9): 2303–2308.]

Kos M, Bukovinszky T, Mulder PP, Bezemeri TM, 2015. Disentangling above-and belowground neighbor effects on the growth, chemistry, and arthropod community on a focal plant. *Ecology*, 96(1): 164–175.

Li SK, Liu YH, Li X, Xie RZ, Yang Q, 2011. Handbook of Maize Field Planting in Southwest China. Beijing: China Agriculture Press. 1–3. [李少昆, 刘永红, 李晓, 谢瑞芝, 杨勤, 2011. 西南玉米田间种植手册. 北京: 中国农业出版社. 1–3.]

Liu WH, Hong B, Hu YJ, He DH, 2014. Space-time dynamic distribution of species diversity and dominant species of ground-dwelling beetle and spider populations on wheat crops in different agricultural landscape structures. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1299–1309. [刘文惠, 洪波, 胡懿君, 贺达汉, 2014. 不同景观结构下麦田地面甲虫和蜘蛛物种多样性及优势种分布的时空动态. 应用昆虫学报, 51(5): 1299–1309.]

Luo K, Qiu L, Yin SS, Gao X, Song JX, Shi AX, Chen GH, Li Q, 2015. The effects of loquat-pepper adjacent planting on insect

community and *Aphis gossypii* in *Zanthoxylum bungeanum* garden. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 30(2): 159–166. [罗凯, 岳磊, 殷山山, 高熹, 宋家雄, 石安宪, 陈国华, 李强, 2015. 枇杷—花椒邻作对花椒园昆虫群落和棉蚜的影响. 云南农业大学学报(自然科学), 30(2): 159–166.]

Mccabe E, Loeb G, Grab H, 2017. Responses of crop pests and natural enemies to wildflower borders depends on functional group. *Insects*, 8(3): 73.

Nelson JL, Hunt LG, Lewis MT, Hamby KA, Hooks CRR, Dively GP, 2018. Arthropod communities in warm and cool grass riparian buffers and their influence on natural enemies in adjacent crops. *Agriculture*, *Ecosystems & Environment*, 257: 81–91.

Rivers A, Barbercheck M, Govaerts B, Verhulst N, 2016. Conservation agriculture affects arthropod community composition in a rainfed maize-wheat system in central Mexico. *Applied Soil Ecology*, 100: 81–90.

Wu JC, 2011. Mechanisms on pesticide-induced resurgence of pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 799–803. [吴进才, 2011. 农药诱导害虫再猖獗机制. 应用昆虫学报, 48(4): 799–803.]

Wu QM, Lin S, You MS, Zheng KY, Yao FL, 2011. Effects of rice-tobacco intercropping on WBPH and guild of natural enemies in rice Fields. *Chinese Agricultural Scien Bulletin*, 27(5): 362–366. [吴琼梅, 林胜, 尤民生, 郑开云, 姚凤銮, 2011. 烟稻邻作对白背飞虱及天敌功能团的影响. 中国农学通报, 27(5): 362–366.]

Xin ZJ, Li ZH, Ye BH, 2012. Study on community structure of arthropod in different ecotypes of maize fields. *Shandong Agricultural Sciences*, 44(11): 90–98. [辛肇军, 李照会, 叶保华, 2012. 不同生态型夏玉米田节肢动物群落特征的研究. 山东农业科学, 44(11): 90–98.]

Yao FL, You MS, Vasseur L, Yang G, Zheng YK, 2012. Polycultural manipulation for better regulation of planthopper populations in irrigated rice-based ecosystems. *Crop Protection*, 34: 104–111.

Zhang J, Liang GW, Zeng L, 2011. Effects of rice neighboring with different vegetable crops on population dynamics of *Cnaphalocrocis medinalis*, planthoppers and their predatory enemies. *Chinese Journal of Ecology*, 30(2): 281–289. [张娟, 梁广文, 曾玲, 2011. 不同稻菜邻作模式对稻纵卷叶螟、稻飞虱及其捕食性天敌的影响. 生态学杂志, 30(2): 281–289.]

Zhang XM, Li Q, Chen GH, Shi AX, Song JX, 2015. Fuzzy clustering analysis of insect community structure in a *Zanthoxylum bungeanum* garden. *Chinese Bulletin of Entomology*, 52 (1): 237–248. [张晓明, 李强, 陈国华, 石安宪, 宋家雄, 2015. 花椒园昆虫群落结构及时间动态的聚类分析. 应用昆虫学报, 52 (1): 237–248.]

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 patterm. *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 XM, 2013. Study on bio-ecological control pattern of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) in cotton field. Doctoral dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [张晓明, 2013. 棉田烟粉虱种群的生物生态调控模式研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Zheng YK, You MS, 2009. Biological diversity in support of ecologically-based pest management at landscape level. *Acta Ecologica Sinica*, 29(3): 1508–1518. [郑云开, 尤民生, 2009. 农业景观生物多样性与害虫生态控制. 生态学报, 29(3): 1508–1518.]

Zhu Y, Jiang T, Yang YZ, 2017. Research advances in arthropod community in corn fields. *Plant Protection*, 43(6): 1–5. [朱莹, 姜韬, 杨益众, 2017. 玉米田节肢动物群落研究进展. 植物保护, 43(6): 1–5.]