



张金龙, 赵丽媛, 陈强, 李强, 张晓明, 陈国华. 不同邻作作物对玉米田节肢动物多样性的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 104 - 113.

不同邻作作物对玉米田节肢动物多样性的影响

张金龙, 赵丽媛, 陈强, 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: 为探明不同邻作对云南普洱地区玉米田节肢动物多样性的影响。采用目测法和粘虫板等多种诱集法对邻作咖啡、水稻、李树及单作的玉米田节肢动物群落进行系统调查, 分析不同邻作作物对玉米田节肢动物群落的影响。结果表明: 不同邻作玉米田天敌亚群落主要为双翅目和膜翅目, 其中玉米单作田赤池信息量准则 (AIC) 值最低为 -16.858, 最优模型为 $Y = -10.312 - 1.639D + 2.629PC2$ (Y 为物种多样性, D 为调查总个体数, $PC2$ 代表以天敌亚群落个体数为主的主成分 2), 节肢动物总个体数和天敌亚群落个体数与节肢动物群落多样性相关, 邻作能够增加玉米田节肢动物群落多样性, 其中邻作咖啡玉米田节肢动物多样性指数最高为 4.082。影响玉米田节肢动物群落的主要主成份因子有天敌亚群落和中性亚群落。天敌亚群落个体数对玉米田节肢动物多样性影响最大, 邻作能不同程度增加玉米田节肢动物群落多样性, 邻作咖啡最佳。研究结果可为利用邻作种植模式调节玉米田节肢动物多样性提供依据。

关键词: 玉米; 邻作; 节肢动物; 天敌

中图分类号: Q968.1; S476; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 01-0104-10

Effects of different neighboring cropping on arthropod diversity in maize field

ZHANG Jin-Long, ZHAO Li-Yuan, CHEN Qiang, LI Qiang, ZHANG Xiao-Ming*, CHEN Guo-Hua*
(College of Plant Protection, Yunnan Agriculture University, State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resources in Yunnan, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to know the arthropod diversity in different adjacent cropping maize fields in Pu'er City of Yunnan Province. The arthropods communities were systematically investigated in the adjacent planting of coffee, rice, plum in maize fields and maize monoculture as control by visual method and sticky trapping method, and the effects of different adjacent cropping on arthropod communities in maize fields were analyzed. The results showed that the main natural enemy arthropods in maize fields were Diptera and Hymenoptera, and the lowest Akaike Information Criterion (AIC) in maize monoculture field was -16.858. The optimum model was $Y = -10.312 - 1.639D + 2.629PC2$ (Y was species diversity, D was the total number of investigated individuals, and $PC2$ was the principal component 2 with the number of natural enemy sub-communities as the principal component). The total number of arthropod individuals and the number of natural enemy sub communities were related to the diversity of arthropod communities,

基金项目: 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 (2019KJTX002); 第十七批昆明市中青年学术和技术后备人才项目 (昆政发 (2019) 43 号); 云南省教育厅科学研究基金 (2020J0255)

作者简介: 张金龙, 男, 1990 年生, 博士研究生, 研究方向为农业害虫综合治理, E-mail: sasazjl@126.com

* 通信作者 Author for correspondence: 张晓明, 博士, 副教授, 研究方向为农业害虫综合治理, E-mail: zxmalex@126.com; 陈国华, 博士, 教授, 研究方向为农业害虫综合治理, E-mail: chenghkm@126.com

收稿日期 Received: 2020-06-20; 接受日期 Accepted: 2020-11-02

and the diversity of arthropod community in maize field could be increased by adjacent cropping, the main factors affecting arthropod community in maize field were natural enemy sub community and neutral sub community. Among them, the highest arthropod diversity index was 4.082 in the maize and coffee adjacent cropping. The main factors affecting arthropod community in corn field were natural enemy sub community and neutral sub community. The individual numbers of natural enemy sub community has the largest effect on the diversity of arthropods community in maize field, the community diversity of arthropod in maize field could be increased by adjacent cropping and coffee as the adjacent cultivation has the highest diversity among all of the tested cropping. The results of this study can provide the basis for the regulation of arthropod diversity in maize field by using adjacent cropping pattern.

Key words: Maize; adjacent cropping; arthropods; natural enemies

玉米 *Zea mays* 是中国主要的粮食和重要的工业原料, 玉米在云南种植范围广, 种植面积较大。近年来随着玉米高产品种的推广种植, 玉米害虫也随之大量发生 (陈宗龙, 2007)。针对害虫进行综合防治是通过明确发生害虫种类和害虫的发生为害规律, 从而有效的进行害虫可持续综合治理 (陆宴辉等, 2017)。

群落中的各种节肢动物通过取食和被取食相互联系交织在一起, 形成生态系统不可或缺的一部分。生态环境中植食类节肢动物、中性类节肢动物、天敌类节肢动物和种植环境均需要探究分析。与邻作模式相关的研究如邻作油菜 *Brassica campestris* 可以提高小麦 *Triticum aestivum* 田内寄生性天敌丰富度和多样性 (费晓东等, 2011)。对比单作花椒 *Zanthoxylum bungeanum* 园与枇杷 *Eriobotrya japonica* 邻作能够增加花椒园节肢动物群落多样性 (罗凯等, 2015; 张晓明等, 2015)。桃 *Amygdalus persica* 园保留草地能够显著增加桃园节肢动物群落多样性和稳定性 (蒋杰贤等, 2011)。目前针对具体邻作植物对玉米田节肢动物影响缺少报道, 已有研究关于玉米田周边作物和非作物环境影响玉米田节肢动物群落和稳定性 (黄吉等, 2015; 柴正群等, 2016)。天敌在田间更选择多样性高的生态环境为栖息场所, 从而减少邻作玉米田中的植食亚群落的发生量 (李少昆等, 2011)。因此, 本研究对不同邻作玉米田节肢动物群落进行系统调查, 对比不同邻作模式中不同食性亚群落的主成分, 分析不同邻作玉米田中不同天敌节肢动物的占比、天敌个体数与物种多样性差异以及不同邻作玉米田节肢动物个体数与多样性指数的关系, 探究影响节肢动物群落物种多样性的主要成分和关键因素, 以期玉米种植中节肢动物

群落调控提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

调查区域选在云南省普洱市思茅区, 位于云南省西南部, 与澜沧拉祜族自治县、江城哈尼族彝族自治县、勐海县、宁洱哈尼族彝族自治县相邻。在调查区 (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 个重复样地: (1) 玉米与咖啡 *Coffea arabica* 邻作, 咖啡品种为云南小粒波邦, 种植面积约 3.5 hm², 树龄约为 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为 1~3 m, 玉米种植面积 3.8 hm²。(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 hm², 水稻田和玉米地之间的距离约为 3 m, 玉米种植面积为 6.6 hm²。(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, 树龄约为 11 年, 李树种植地内的株间距和行间距均为 4 m, 李树种植区的面积约为 3.1 hm², 玉米地和李树种植区之间的距离约为 2 m, 玉米种植面积为 2.0 hm²。(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 hm²。样地内玉米的行间距为 0.6 m, 株间距约为 0.4 m, 每个重复样地面积介于 0.056~0.130 hm² 之间, 样地间的距离约为 10 m, 玉米种植面积为 3.5 hm²。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。



图 1 调查样地设置布局图

Fig. 1 Investigate the layout diagram

1.2 调查方法

2017 年 4 月下旬至 9 月下旬进行调查, 每隔 15 d 调查 1 次, 遇下雨天顺延, 共调查 9 次。应用 2 种调查方法进行调查。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、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约 10 cm; 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 2/3 玉米株高; 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 (张晓明等, 2015; 黄吉等, 2016)。

目测法: 采用 10 点取样方法调查, 每样点调查 10 株玉米, 记录玉米植株上的节肢动物种类和数量。调查时不能定名的节肢动物标本, 保存于 80% 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实验室进行鉴定 (柴正群等, 2016)。

1.3 数据分析

采用偏最小二乘法进行多因变量回归建模,

表达式为 $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$ 。式中 a_0 是回归系数截距; a_i 是回归系数; X_i 为独立变量, $i = 1, 2, \dots, n$ (杨福芹等, 2016)。

采用多模型推理方法, 基于赤池信息量准则 (AIC) 的多模型推理, 对不同邻作玉米田节肢动物亚群落进行主成分分析, 选择累计贡献率超过 80% 部分, 根据主成分分析结果保留主成分 1 (PC1)、主成分 2 (PC2), 比较 PC1、PC2、D 及其组合作用对节肢动物群落的影响 (杨福芹等, 2016; Isbell *et al.*, 2018; 边振兴等, 2019)。通过回归模型分析不同邻作模式因子关系并得到赤池信息量准则 (AIC) 值, 根据赤池信息量准则值最小模型最好的原则, 选出最好的模型进行分析, 分析均通过 SPSS 19.0 进行。赤池信息量准则 AIC 可表示为

$$AIC = (-2) \ln(\text{模型的极大似自然函数}) + 2(\text{模型的独立参数个体})。$$

对于线性回归模型, AIC 公式为 $AIC = n * \ln S_p^2 + 2(k + 1)$ 。

其中 n 为样本含量, S_p^2 为残差平方和, k 为模型中变量个数 (杨福芹等, 2016)。

2 结果与分析

2.1 不同邻作玉米田主成分分析

邻作咖啡的玉米田主成分 1 (PC1) 以天敌亚群落个体数、植食性亚群落个体数、中性亚群落个体数为主, 主成分 2 (PC2) 以中性亚群落物种数为主; 邻作水稻的玉米田中, 主成分 1 (PC1) 以植食性亚群落和中性亚群落物种数为主, 主成分 2 (PC2) 以天敌亚群落个体数为主; 邻作李树的玉米田中, 主成分 1 (PC1) 以天敌亚群落物种数为主, 主成分 2 (PC2) 以中性亚群落个体数为主; 玉米单作田中, 主成分 1 (PC1) 以中性亚群落个体数和中性亚群落物种数为主, 主成分 2 (PC2) 以天敌亚群落个体数为主。6 种主成分因子中, 天敌亚群落个体数出现次数为 3 次, 天敌亚群落物种数出现次数为 1 次, 植食性亚群落个体数出现次数为 1 次, 植食性亚群落物种数出现次数为 1 次, 中性亚群落个体数出现次数为 3 次, 中性亚群落物种数出现次数为 3 次 (图 2)。

2.2 天敌种类及组成

调查过程中采集到天敌隶属于 3 纲 7 目 13 科。

3 纲分别是昆虫纲 Insecta、蛛形纲 Arachnida 和唇足纲 Chilopoda, 7 目为半翅目 Hemiptera、膜翅目 Hymenoptera、鞘翅目 Coleoptera、双翅目 Diptera、蜘蛛目 Araneida、盲蛛目 Opiliones 和 蛛形目 Scutigermorpha, 13 科为姬蝽科 Nabidae、猎蝽科 Reduviidae、姬蜂科 Ichneumonidae、茧蜂科 Braconidae、泥蜂科 Sphecidae、青蜂科 Chrysalidae、泥蜂科 Sphecidae、蛛蜂科 Pompilidae、土蜂科 Scolidae、步甲科 Carabidae、隐翅甲总科 Staphylinioidea、长足虻科 Dolichopodidae、食虫虻

科 Asilidae、食蚜蝇科 Syrphidae、园蛛科 Araneidae、球蛛科 Theridiidae、蟹蛛科 Thomisidae、拟长奇盲蛛科 Phalangodidae 和 蛛形目 Scutigermorpha (表 1)。天敌亚群落节肢动物中昆虫纲的双翅目和膜翅目占比很高, 双翅目中主要以长足虻科和食蚜蝇科为主, 占整个节肢动物群落个体数的比例分别为 0.606 和 0.013; 膜翅目中主要以姬蜂科和泥蜂科为主, 占整个节肢动物群落个体数的比例分别为 0.165 和 0.023 (表 1)。结果表明调查地区的天敌亚群落节肢动物以双翅目和膜翅目为主。

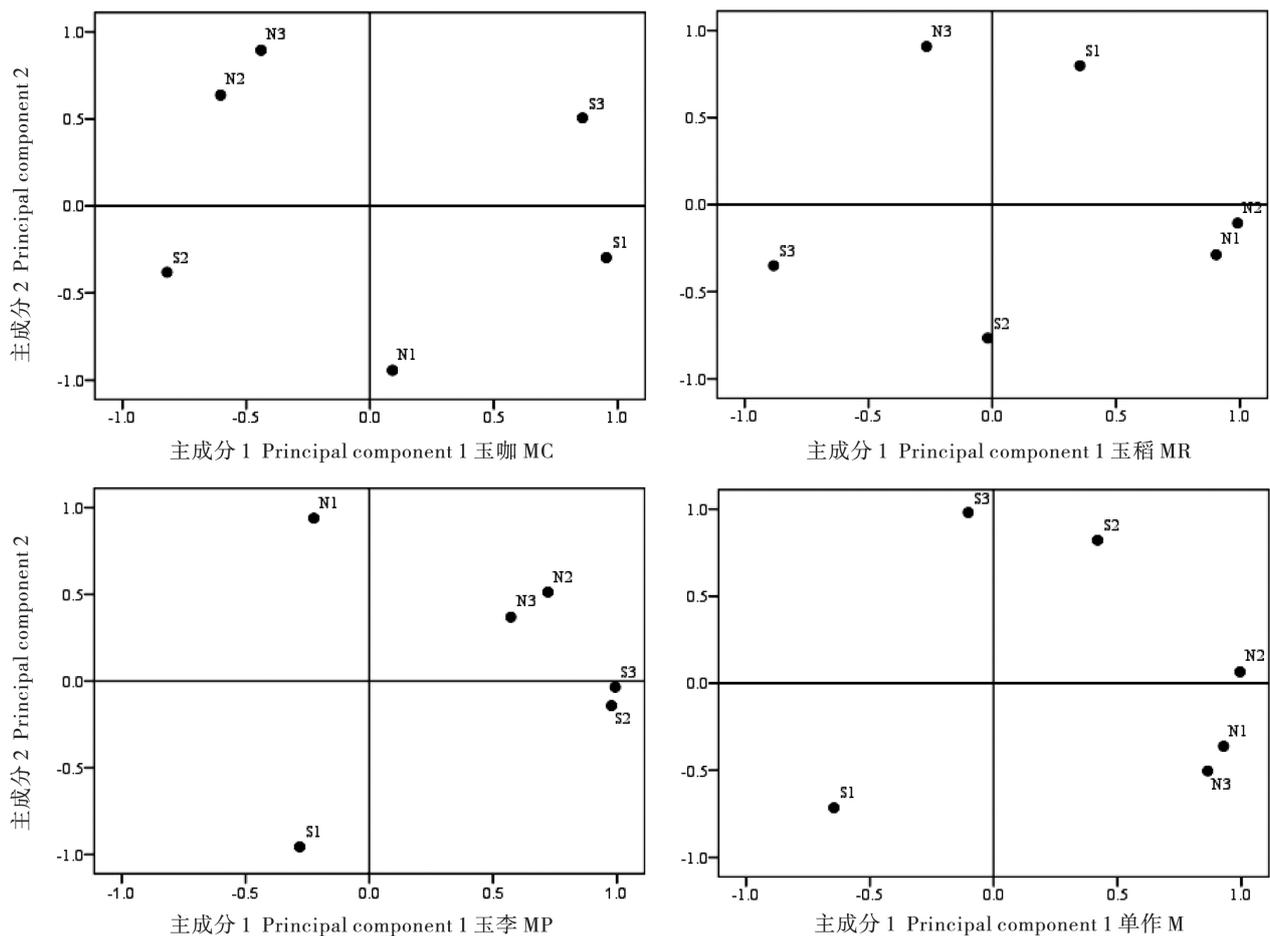


图 2 不同邻作玉米田节肢动物类群的主成分分析

Fig. 2 Analysis of principal component on several arthropod species in different adjacent maize field

注: N₁, N₂, N₃, S₁, S₂ 和 S₃ 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。玉咖表示玉米与咖啡邻作, 玉稻表示玉米与水稻邻作, 玉李表示玉米田与李树邻作, 单作表示玉米单作; 表 2、图 3 和图 4 下同。Note: N₁, N₂, N₃, S₁, S₂, S₃ were the individual number of natural enemies, the individual number of phytophagous arthropods, the individual number of neutral arthropods, the species number of natural enemy, the species number of phytophagous arthropods, the species number of neutral arthropods. MC indicated maize and coffee adjacent cropping, MR indicated maize and rice adjacent cropping, MP indicated maize and plum tree adjacent cropping, and M indicated that maize monoculture cropping. The same for table 2, fig. 3 and fig. 4.

表 1 不同邻作玉米田中调查天敌总个体数占比统计

Table 1 Statistics of the proportion on total number of natural enemies in maize fields with different adjacent cropping maize field

纲 Classes	目 Orders	科 Families	占诱集比例 (%) Proportion
昆虫纲	半翅目	姬蝽科 Nabidae	0.008
Insecta	Hemiptera	猎蝽科 Reduviidae	0.003
		膜翅目	姬蜂科 Ichneumonidae
	Hymenoptera	茧蜂科 Braconidae	0.003
		泥蜂科 Sphecidae	0.003
		青蜂科 Chrysalidae	0.003
		泥蜂科 Sphecidae	0.023
		蛛蜂科 Pompilidae	0.005
		土蜂科 Scoliididae	0.003
		鞘翅目	步甲科 Carabidae
	Coleoptera	隐翅甲总科 Staphylinoidea	0.005
		瓢甲科 Coccinellidae	0.023
		双翅目	长足虻科 Dolichopodidae
	Diptera	食虫虻科 Asilidae	0.003
食蚜蝇科 Syrphidae		0.013	
蛛形纲		蜘蛛目	园蛛科 Araneidae
Arachnida	Araneida	球蛛科 Theridiidae	0.018
		蟹蛛科 Thomisidae	0.023
		盲蛛目 Opiliones	拟长奇盲蛛科 Phalangodidae
	唇足纲	蛸蜒目	蛸蜒科 Scutigerae
Chilopoda	Scutigeraomorpha		

不同邻作玉米田节肢动物群落天敌个体数和多样性差异对比, 邻作玉米田天敌个体数和节肢动物群落多样性均高于单作田, 其中邻作咖啡的玉米田节肢动物群落天敌个体数均值最高位 675 头, 且与其它田块差异显著; 邻作咖啡的玉米田节肢动物群落多样性指数为 4.082, 显著高于其它田块 (图 3)。结果表明在不同邻作玉米田中, 邻作咖啡的玉米田天敌个体数最高, 多样性指数最高。

2.3 不同邻作模式对玉米田物种多样性的影响

不同邻作的天敌个体数与不同主成分相关性分析表明, 邻作咖啡玉米田赤池信息量准则最低为 -14.086, 最优模型为 ($Y = -37.042 + 3.238D + 2.353PC2$, Y 为物种多样性, D 为调查总个体数, $PC2$ 为邻作咖啡玉米田中主成分 2 (表 2)), 最优模型分析显示, 玉米田物种多样性和玉米田

天敌数量呈正相关, 与主成分 2 成正相关; 邻作水稻玉米田赤池信息量准则最低为 -4.469, 最优模型为 ($Y = 7.761 - 0.948PC1$, Y 为物种多样性, $PC1$ 为邻作水稻玉米田中主成分 1 (表 2)); 邻作李树玉米田赤池信息量准则最低为 -6.302, 最优模型为 ($Y = -11.823 + 0.332D + 1.156PC2$, Y 为物种多样性, D 为调查总个体数, $PC2$ 为邻作李树玉米田中主成分 2 (表 2)); 玉米单作田赤池信息量准则最低为 -16.858, 最优模型为 ($Y = -10.312 - 1.639D + 2.629PC2$, Y 为物种多样性, D 为调查总个体数, $PC2$ 为单作玉米田中主成分 2 (表 2))。总体对比单作田赤池信息量准则最低, 在数据分析时可选此模型进行分析。同时说明天敌亚群落在玉米田节肢动物群落多样性中起很重要作用。

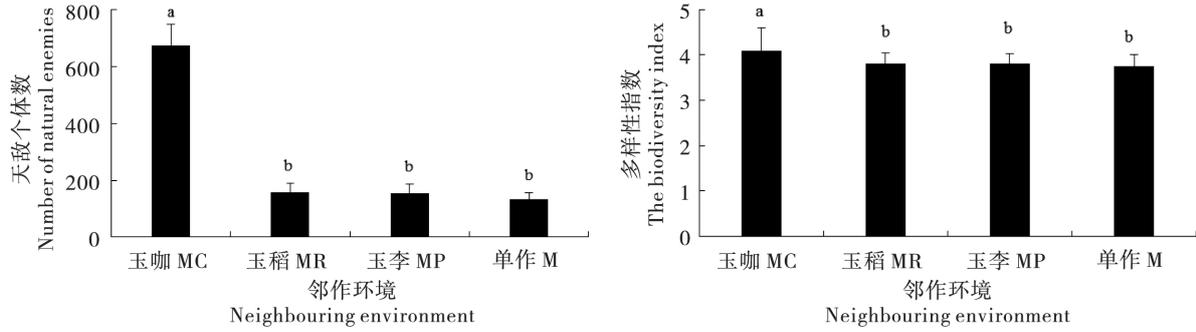


图3 不同邻作玉米田中天敌个体数与物种多样性分析

Fig. 3 Analysis of the number of natural enemies and species diversity in maize fields with different adjacent cropping
 注: 图中数据为平均值 + 标准差。同列不同小写字母分别表示经 Duncan 法检验不同邻作模式玉米田之间存在差异显著 ($P < 0.05$)。图4 下同。Note: Data in the figure were mean + SD. Different lowercase letters in the same column indicated significant difference among different adjacent cropping by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). The same for fig. 4.

表2 不同邻作玉米田调查个体总数变化与物种多样性的模型分析

Table 2 Model analysis of total individual number change and species diversity in different adjacent cropping

邻作模式 Adjacent cropping mode	模型 Model	残差平方和 S^2_p	样本量 Sample size	阶数 K	赤池信息量准则 AIC
玉咖 MC	$Y = -2.055 + 0.918D$	0.188	4	3	-0.685
	$Y = 4.049 + 0.02PC1$	1.196	4	3	6.716
	$Y = 12.148 - 0.896PC2$	0.046	4	3	-6.316
	$Y = 14.906 - 0.507PC1 - 1.079PC2$	0.114	4	4	-0.686
	$Y = -1.545 + 1.049D - 0.369PC1$	0.046	4	4	-4.316
	$Y = -37.042 + 3.238D + 2.353PC2$	0.004	4	4	-14.086
	$Y = -20.59 + 0.31D - 0.089PC1 + 0.99PC2$	0.114	4	5	1.314
玉稻 MR	$Y = -0.218 + 0.802D$	0.258	4	3	0.581
	$Y = 7.761 - 0.948PC1$	0.073	4	3	-4.469
	$Y = 3.043 + 0.317PC2$	0.649	4	3	4.271
	$Y = 11.92 - 1.059PC1 - 0.180PC2$	0.018	4	4	-8.070
	$Y = 5.987 + 0.219D - 0.786PC1$	0.057	4	4	-3.459
	$Y = -1.922 + 0.903D + 0.500PC2$	0.049	4	4	-4.064
	$Y = 13.926 - 1.952D - 0.765PC1 - 0.822PC2$	0.052	4	5	-1.826
玉李 MP	$Y = 4.788 - 0.366D$	1.484	4	3	7.579
	$Y = 4.754 - 0.173PC1$	1.662	4	3	8.032
	$Y = -8.373 + 0.956PC2$	0.148	4	3	-1.642
	$Y = -11.57 + 0.291PC1 + 1.081PC2$	0.030	4	4	-6.026
	$Y = -8.087 - 4.756D + 4.484PC1$	0.060	4	4	-3.254
	$Y = -11.823 + 0.332D + 1.156PC2$	0.028	4	4	-6.302
	$Y = 19.385 + 11.254D - 9.642PC1 + 3.610PC2$	0.034	4	5	-3.526

续表 1 Continued table 1

邻作模式 Adjacent cropping mode	模型 Model	残差平方和 S^2_p	样本量 Sample size	阶数 K	赤池信息量准则 AIC
单作 M	$Y = 1.375 + 0.984D$	0.037	4	3	-7.187
	$Y = 4.820 - 0.295PC1$	1.101	4	3	6.385
	$Y = -3.059 + 0.993PC2$	0.016	4	3	-10.541
	$Y = -3.472 + 0.068PC1 + 1.018PC2$	0.011	4	4	-10.039
	$Y = 0.798 + 1.035D + 0.125PC1$	0.022	4	4	-7.267
	$Y = -10.312 - 1.639D + 2.629PC2$	0.002	4	4	-16.858
	$Y = -9.979 - 2.576D - 0.079PC1 + 3.536PC2$	0.018	4	5	-6.070

注: Y 为生物多样性指数, D 为整体调查个体数, PC1 为主成分 1, PC2 为主成分 2。表中字体加粗的模型表示最优模型。
 Note: Y was the biodiversity index, D was the total number of individuals, PC1 was represents principal component 1, PC2 was represents principal component 2. The model of bold font in the table represented the optimal model.

不同邻作模式物种多样性存在一定差异, 在分析过程中使用调整 R^2 平均值大小判断不同邻作模式对玉米田物种多样性的影响, 调整 R^2 值越大说明邻作模式中总体个体数和主成分与物种多样性的关系越大。单作田中 R^2 值最大为 0.888, 大于其它邻作模式的值 (图 4)。结合表 2, 单作田中计算调查个体总数与物种多样性的计算模型最佳。

根据最优模型中调查个体总数、主成分 2 与物种多样性指数的相关性分析结果表明, 调查个体总数和主成分 2 均与物种多样性呈正相关关系, 说明个体数越多物种的多样性越丰富 (图 5)。其中调查总个体数与物种多样性的相关性趋势线公式为 $y = 0.0019x + 1.3748$, 相关系数 r 为 0.984; 主成分 2 与物种多样性的相关性趋势线公式为 $y = 0.0203x - 3.0586$, 相关系数 r 为 0.993 (表 3)。

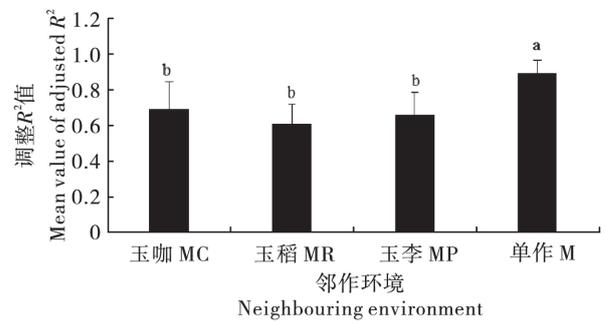


图 4 不同邻作玉米田中调查总个体数与物种多样性的关系
 Fig. 4 Relationship between the total number of investigated individuals and species diversity in maize fields with different adjacent cropping

结合图 5, 节肢动物总个体数越多, 天敌亚群落个体数越多, 玉米田节肢动物物种多样性越高。

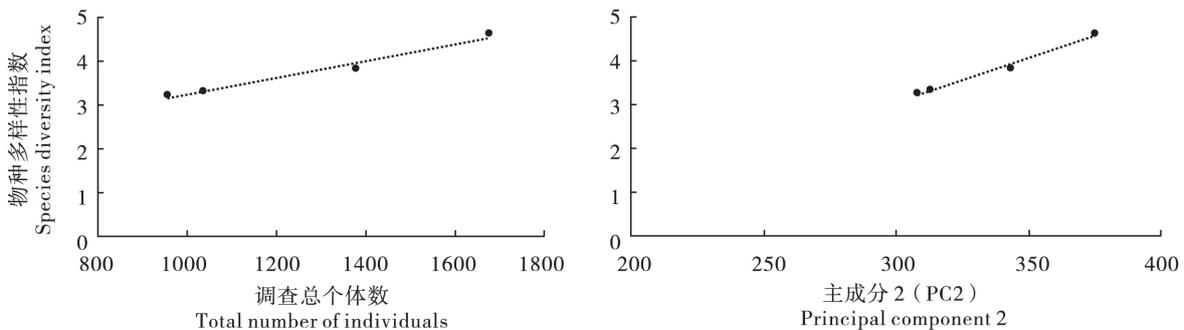


图 5 玉米单作田中调查个体数和主成分 2 与物种多样性指数的相关性分析

Fig. 5 Analysis of the correlation between the number of surveyed individuals and principal component 2 and species diversity index in maize monoculture field

表 3 玉米单作田中调查总个体数和主成分 2 与物种多样性指数的回归方程

Table 3 Regression equation of total individual number and PC2 with species diversity index in maize monoculture field

自变量 Independent variable	因变量 Dependent variable	回归方程 Regression equation	相关系数 r Correlation coefficient
调查总个体数 Total number of individuals	物种多样性指数 Species diversity index	$y = 0.0019x + 1.3748$	0.984
主成分 2 (PC2) Principal component 2	物种多样性指数 Species diversity index	$y = 0.0203x - 3.0586$	0.993

3 结论与讨论

本研究对不同邻作玉米田节肢动物群落动态进行了调查。云南地区作物种植环境复杂多样,在多样化的种植模式中,几种邻作对玉米田节肢动物群落多样性均有增加,不同邻作作物对玉米田节肢动物影响存在差异。多样性种植能够显著增加节肢动物的多度,提高作物产出(付兴飞等,2017)。天敌亚群落个体数、中性亚群落个体数和中性亚群落物种数为节肢动物群落发生的主导因子,中性节肢动物对群落发生具有重要意义(毕守东等,2019)。邻作作物能够不同程度增加节肢动物群落多样性(罗凯等,2015;边振兴等,2019),不同玉米田生态种植类型以及玉米田周边植被都有较强关联(朱莹等,2017)。本研究中相比玉米单作田,邻作水稻同为一年生禾本植物,邻作李树和咖啡均为多年生木本植物,但邻作咖啡增加最显著,可能与作物种类和当地种植方式有关,具体原因尚待进一步研究。玉米单作田赤池信息量准则(AIC)值最低为-16.858,最优模型为 $Y = -10.312 - 1.639D + 2.629PC2$,说明该模型最能表现玉米田多样性指数与其他指数的关系,节肢动物总个体数和天敌亚群落个体数最能影响节肢动物群落多样性。

邻作玉米田天敌数量调查结果表明,双翅目与膜翅目数量占总体调查最高,双翅目中主要以长足虻科和食蚜蝇科为主,膜翅目中主要以姬蜂科和泥蜂科为主。此结果和禹田等(2018)在滇南暖热地区夏玉米单作田天敌调查结果相符,双翅目天敌类群数量占比最高;吕晓坤等(2013)在云南省昭通地区玉米单作田中研究也得到双翅目个体数量占比最高,与本研究结果相似;辛肇

军等(2012)研究发现山东地区玉米田直翅目和鳞翅目节肢动物数量占比最高,这与本研究结果存在差异,表明了相同或相似种植模式作物田中节肢动物发生规律受地理环境影响。边振兴等(2019)发现不同玉米周边环境对玉米田天敌影响不同,张晓明等(2015)在调查花椒园昆虫群落时发现不同间作和套种物种对花椒园昆虫影响较大,这与本文研究结果不同邻作对玉米田节肢动物群落多样性影响有差别相似,同时本研究发现邻作咖啡对玉米田节肢动物群落多样性增高影响最大。本研究中邻作模式玉米田多样性指数高于单作田,结果与张晓明等(2009)研究花椒园间作与单作调查结果相符,由此表明邻作能增加玉米田节肢动物群落多样性。不同邻作玉米田主成分因子存在一定差异,不同主成分的因子中,天敌亚群落个体数、中性亚群落个体数和中性亚群落物种数出现次数最高均为3次(Han *et al.*, 2001; Rivers *et al.*, 2015; 杨福芹等, 2016)。天敌亚群落个体数量增加会提高玉米田节肢动物物种多样性,调查总个体数量增加,同样会提高玉米田节肢动物物种多样性(辛肇军等,2012;刘文惠等,2014; Dong *et al.*, 2015)。表层节肢动物可以在种植环境之间迁移,农田周边防护带可以加强对瓢虫种群的保护(Nelson *et al.*, 2018)。不同邻作缓冲区和作物生境之间群落特征指数一致,说明邻作与作物之间存在节肢动物的迁移(Shelton *et al.*, 2017)。Tschamtker等(2002)在研究5种田缘条带时发现不同农田边缘类型之间节肢动物物种丰富度无差异,反映了植物区系多样性的总体相似性,但比无边缘条带的多样性高。多样性种植和保护性农业种植可以保护节肢动物天敌类群,维持植物-害虫-捕食者的三级营养关系的运转,进而对害虫进行生物防治,在此基

基础上产生更复杂的食物网结构,提升玉米田生态系统稳定性(朱莹等,2017)。

玉米田中总体节肢动物个体数和天敌亚群落个体数的增加均能够增加玉米田节肢动物多样性(何云川等,2019),具体造成玉米田物种和发生差异的机制还在研究中。接下来将探究邻作作物对玉米田几种优势节肢动物影响的关键因子,为玉米种植过程调控节肢动物群落提供科学依据,以期达到绿色农业可持续发展。

参考文献 (References)

- Bi SD, Zhang SP, Yu Y, *et al.* Effect and status of neutral insect mosquitoes on arthropod community in different tea plantations [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University* (Natural Science Edition), 2019, 34 (2): 223–232. [毕守东, 张书平, 余燕, 等. 在不同品种茶园节肢动物群落中的作用和地位 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2019, 34 (2): 223–232]
- Bian ZX, Gong LC, Guo X Y, *et al.* Effect of agricultural landscape composition on natural enemy population of corn borer [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27 (1): 30–41. [边振兴, 龚玲春, 果晓玉, 等. 农业景观组成对玉米螟天敌数量的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2019, 27 (1): 30–41]
- 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节肢动物群落特征及稳定性 [J]. 生态学杂志, 2016, 35 (12): 3306–3314]
- Chen ZL. *Corn Science of Yunnan* [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2007: 1–25. [陈宗龙. 云南玉米科学 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2007: 1–25]
- Dong Z, Ou YF, Lu F, *et al.* Shelterbelts in agricultural landscapes enhance ladybeetle abundance in spillover from cropland to adjacent habitats [J]. *Biocontrol*, 2015, 60 (3): 351–361.
- Fei XD, Li C, Zhang QW, *et al.* The effects of wheat planted adjacent to rape on natural enemy population dynamics and wheat production [J]. *Plant Protection*, 2011, 37 (6): 186–190. [费晓东, 李川, 张青文, 等. 油菜-小麦邻作模式对麦蚜主要天敌种群动态以及小麦生产的影响 [J]. 植物保护, 2011, 37 (6): 186–190]
- Fu XF, Lu ZX, Zhao QW, *et al.* Effects of facultative mutualism on arthropod communities and *Amomum villosum* productions in lac plantation-*Amomum villosum* agroforest [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University* (Natural Science Edition), 2017, 32 (6): 1100–1107. [付兴飞, 卢志兴, 赵婧文, 等. 紫胶林-砂仁混农林中兼性互利关系对节肢动物群落及砂仁生产的影响 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2017, 32 (6): 1100–1107]
- Han B, Jiang C, Li Z. Components of arthropod communities in tea gardens with four different cultivation types [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (4): 646–652.
- He YC, Yang GJ, Wang XP. Functional guild composition and diversity of insect communities in Mingcui Lake wetland [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37 (10): 2968–2975. [何云川, 杨贵军, 王新谱. 鸣翠湖湿地昆虫群落功能团组成及其多样性 [J]. 生态学杂志, 2018, 37 (10): 2968–2975]
- Huang J, Ke SJ, Chai ZQ, *et al.* The effects of non-crop vegetation on arthropod community in maize fields [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (4): 857–864. [黄吉, 可胜杰, 柴正群, 等. 非作物植被对玉米地节肢动物群落的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (4): 857–864]
- Isbell F, Cowles J, Dee LE, *et al.* Quantifying effects of biodiversity on ecosystem functioning across times and places [J]. *Ecology Letters*, 2018, 21 (6): 763–778.
- Jiang JX, Wan NF, Ji XY, *et al.* Diversity and stability of arthropod community in peach orchard under effects of ground cover vegetation [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (9): 2303–2308. [蒋杰贤, 万年峰, 季香云, 等. 桃园生草对桃树节肢动物群落多样性与稳定性的影响 [J]. 应用生态学报, 2011, 22 (9): 2303–2308]
- Li SK, Liu YH, Li X, *et al.* Handbook of Maize Field Planting in Southwest China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 23–37. [李少昆, 刘永红, 李晓, 等. 西南玉米田间种植手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 23–37]
- Lu YH, Zhao ZH, Cai XM, *et al.* Progresses on integrated pest management (IPM) of agricultural insect pests in China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54 (3): 349–363. [陆宴辉, 赵紫华, 蔡晓明, 等. 我国农业害虫综合防治研究进展 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (3): 349–363]
- Luo K, Yue L, Yin SS, *et al.* The effects of loquat-pepper adjacent planting on insect community and *Aphis gossypii* in *Zanthoxylum bungeanum* garden [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University* (Natural Science Edition), 2015, 30 (2): 159–166. [罗凯, 岳磊, 殷山山, 等. 枇杷-花椒邻作对花椒园昆虫群落和棉蚜的影响 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2015, 30 (2): 159–166]
- Lv XK, Xu X, Ma L, *et al.* Study on characteristics and dynamics of arthropod community in corn field of Zhaotong Yunnan [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (6): 707–712. [吕晓坤, 徐雪, 马丽, 等. 云南昭通玉米田节肢动物群落特征及动态研究 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (6): 707–712]
- Nelson JL, Hunt LG, Lewis MT, *et al.* Arthropod communities in warm and cool grass riparian buffers and their influence on natural enemies in adjacent crops [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 257 (2018): 81–91.
- Rivers A, Barbercheck M, Govaerts B, *et al.* Conservation agriculture affects arthropod community composition in a rainfed maize-wheat system in central Mexico [J]. *Applied Soil Ecology*, 2015,

- 100 (2016): 81–90.
- Shelton AM, North RC. Species composition and phenology of Thysanoptera within field crops adjacent to cabbage fields [J]. *Environmental Entomology*, 2017, 15 (3): 513–519.
- Tscharntke DT. Plant–insect communities and predator–prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows [J]. *Oecologia*, 2002, 130 (2): 315–324.
- Xin ZJ, Li ZH, Ye BH. Study on community structure of arthropod in different ecotypes of maize fields [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2012, 44 (11): 90–98. [辛肇军, 李照会, 叶保华. 不同生态型夏玉米田节肢动物群落特征的研究 [J]. *山东农业科学*, 2012, 44 (11): 90–98]
- Yang FQ, Dai HY, Feng HK, et al. Hyper spectral estimation of plant nitrogen content based on Akaike's information criterion [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32 (23): 161–167. [杨福芹, 戴华阳, 冯海宽, 等. 基于赤池信息准则的冬小麦植株氮含量高光谱估算 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32 (23): 161–167]
- Yu T, Jia YC, Chai ZQ, et al. Population dynamics of dominant insect pests and natural enemies on maize in different ecological systems of Yunnan Province [J]. *China Plant Protection*, 2018, 38 (9): 31–37. [禹田, 贾永超, 柴正群, 等. 云南不同生态区玉米害虫优势种及其天敌优势种的种群动态 [J]. *中国植保导刊*, 2018, 38 (9): 31–37]
- Zhang XM, Li Q, Chen GH, et al. Fuzzy clustering analysis of insect community structure in a *Zanthoxylum bungeanum* garden [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (1): 237–248. [张晓明, 李强, 陈国华, 等. 花椒园昆虫群落结构及时间动态的聚类分析 [J]. *应用昆虫学报*, 2015, 52 (1): 237–248]
- 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]
- Zhu Y, Jiang T, Yang YZ. Research advances in arthropod community in corn fields [J]. *Plant Protection*, 2017, 43 (6): 1–5. [朱莹, 姜韬, 杨益众. 玉米田节肢动物群落研究进展 [J]. *植物保护*, 2017, 43 (6): 1–5]