



陈志敏, 黄秀东, 张茂, 李中森, 常志敏, 龙见坤. 喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落多样性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (5): 1178–1189.

喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落多样性研究

陈志敏¹, 黄秀东¹, 张茂¹, 李中森¹, 常志敏^{1,2}, 龙见坤^{1,2*}

(1. 贵州大学动物科学学院, 贵阳 550025; 2. 贵州大学昆虫资源开发利用省级特色重点实验室, 昆虫研究所, 贵阳 550025)

摘要: 为探讨喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落多样性。本研究于2018年9月–2019年8月使用“Z”字样方网捕法、陷阱法、黄盘诱集法三种相结合的方法对贵州省大方县星宿乡崔苏坝灌丛草地进行昆虫群落多样性的调查, 采用单因素分析、线性回归分析、相关性分析探讨了灌丛草地昆虫群落多样性。本研究共获昆虫标本12 481号, 隶属8目77科, 其中蚁科和蚊科为优势类群, 分别占总个体数的35.045%和24.950%; 从4个功能群昆虫个体数来看, 其中杂食性功能群昆虫个体数量最大, 占有所有功能群昆虫总个体数的60.365%。研究区喀斯特灌丛草地昆虫群落多样性指数消长随着季节的更替而发生变化, 其中昆虫物种数与丰富度的最高值和最低值分别出现在8月和1月; 个体数最高值和最低值分别出现在5月和1月; 均匀度最高值和最低值分别出现在11月和1月; 多样性指数最高值与最低值分别出现在6月和1月; 而优势度的最高值与最低值出现情况则与多样性指数相反; 功能群昆虫中除植食性昆虫的最高值与最低值分别出现在5月和1月外, 其余3个昆虫功能群的消长情况与昆虫群落多样性消长情况基本一致。相关性分析结果表明, 喀斯特高原山区灌丛草地的环境因子与昆虫群落多样性均有一定的相关性, 其中土壤温度、空气温度、植被物种数与之呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$)。

关键词: 昆虫; 群落多样性; 功能群; 环境因子; 灌丛草地; 喀斯特高原山区

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 05-1178-12

Study on insect community diversity of shrub grassland in Karst Plateau Mountainous Area, Guizhou, China

CHEN Zhi-Min¹, HUANG Xiu-Dong¹, ZHANG Mao¹, LI Zhong-Sen¹, CHANG Zhi-Min^{1,2}, LONG Jian-Kun^{1,2*} (1. College of Animal Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Special Key Laboratory for Development and Utilization of Insect Resources of Guizhou, Institute of Entomology of Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: To study the diversity of insect community in shrub grassland of karst plateau mountain area, three methods (net capture for Z-shaped sample square sampling method, trap method and yellow disk trap method) were used for the investigation in Cuisuba shrub grassland in Xingsu Township, Dafang County, Guizhou Province from September 2018 to August 2019. And single factor analysis, linear regression analysis and correlation analysis were also used to explore the diversity of insect community in the shrub grassland. 12 394 insect specimens, belonging to 8 orders 77 families, were collected here. Among them, the families of Antidae and Culicidae were the dominant groups, accounting for 35.045% and 24.950% of the total number of individuals, respectively; and among four functional groups, the number of omnivorous functional groups was the largest, accounting for 60.365% of the total number of functional groups of

基金项目: 国家自然科学基金 (31601886); 贵州省科技计划项目 (黔科合基础 [2018] 1031); 贵州大学引进人才科研项目 (贵大人基合字 [2017] 18); 贵州省普通高等学校科技拔尖人才支持计划 (黔教合 KY 字 [2017] 059)

作者简介: 陈志敏, 女, 硕士研究生, 主要从事草地保护学的研究, E-mail: zm525_x@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 龙见坤, 博士, 副教授, 主要从事昆虫学的研究, E-mail: longjiankun123@163.com

收稿日期 Received: 2021-05-14; 接受日期 Accepted: 2021-06-28

insects. The diversity indices of insect community in karst shrub grassland changed with the change of months, among them, the species number and richness index respectively with the highest and lowest values in August and January, the individual number respectively in May and January, the richness index respectively in November and January, the diversity index respectively in June and January, while dominance index with the results were opposite to the diversity index. Among 4 functional groups of insects, except the highest and lowest values of phytophagous insects respectively appeared in May and January, the other three insect functional groups were similar to that of insect community diversity. And the results of correlation analysis showed that there was a certain correlation between the environmental factors and the diversity of insect of shrub grassland in karst plateau mountainous area. And among them, the soil temperature, air temperature, number of plant species were significantly positively correlated ($P < 0.01$) to diversity of insect community.

Key words: Insects; community diversity; function group; environmental factors; shrub grassland; karst plateau mountain

灌丛草地是草地生态系统的重要组成部分, 具有涵养水源、防风固沙、保护生物多样性、调节气候等生态功能(张大治, 2012)。喀斯特高原山区, 由于地形较为陡峭, 光、水、土等资源分布不均匀和人类不合理的开发利用使水土流失日趋严重, 导致大面积的灌丛草地退化, 甚至向石漠化方向演变, 农业生产环境恶劣、生态畜牧业发展受阻、生物多样性降低(许留兴, 2015; 史莎娜, 2018)。昆虫作为物种最丰富的动物类群, 对维持植物群落组成及结构稳定性十分重要, 是草地生态系统中生物多样性不可或缺的组成部分(杨兴卓, 2019)。然而, 昆虫群落多样性易受气候条件、植被多样性等环境因子以及人为干扰的影响, 进而产生不同的发生规律(刘生冬, 2019; 郑晓旭, 2020)。因此, 开展放牧背景下灌丛草地昆虫群落多样性研究, 对该生态系统及其物种多样性的保护与利用具有重要的指导作用。

目前, 国内有关灌丛草地昆虫群落多样性及其功能群的研究报道较少, 针对喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落多样性的研究几近空白。因此, 本文通过对贵州省大方县星宿乡崔苏坝境内的灌丛草地昆虫群落多样性进行研究, 旨在弄清喀斯特高山地区灌丛草地昆虫群落多样性变化特征和与环境因素之间的相关性, 为喀斯特灌丛草地生物多样性的保护与利用提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

研究区位于贵州省大方县星宿乡崔苏坝

($27^{\circ}23'N$, $105^{\circ}52'E$, 海拔 1 730 ~ 1 820 m), 地势南北较低, 中部较高, 属于典型的喀斯特峰丛中切槽谷地形。研究区属于亚热带高原季风湿润气候, 具有雨雾日多即属“十里不同天”的立体气候特点。其阴雨天气多, 日照少, 雨季特别明显, 雨量充沛, 年平均降水量为 1 118.05 mm, 月均降水量大于 100 mm 的月份集中在 5 - 9 月。研究区为天然灌丛草地, 面积大小约为 33.33 ha, 灌丛以杜鹃花科 Ericaceae 和蔷薇科 Rosaceae 植物为主, 全年放牧为当地农民自由放牧的本地黄牛和山羊。

1.2 实验设计与样品采集

本研究调查时间为 2018 年 9 月 - 2019 年 8 月, 每月中旬进行一次调查, 调查天气均为晴天。以随机 5 点取样法进行样点取样, 每个样点大小为 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$, 样点间距不低于 500 m, 每个样点以 Z 字型 5 点取样法进行样方取样, 每个样方面积大小均为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$, 共计 25 个样方。每个样方昆虫的采集采用网捕法、陷阱法和黄盘诱集法相结合进行。用昆虫网(昆虫网眼 1 mm, 口径为 35 cm, 网深 80 cm, 整体长度 170 cm)在每个样方内来回重复 2 次扫网(共 20 网)进行昆虫标本的采集, 之后用陷阱法在每个样方内以 Z 字型设置 5 个陷阱(陷阱为 400 mL 塑料杯, 杯口直径为 95 mm, 杯深为 116 mm, 底部直径为 55 mm, 里面加入 1/3 容量的可乐作为引诱剂), 同时每个样方四周分别放置 1 个黄盘(共 4 个, 每个黄盘口径为 20 cm, 盘内加入适量盐及无香味的清洁剂水溶液)。陷阱法与黄盘诱集法的放置时间均为 24 h。将上述采集方法对每个样方所采集到的所有昆虫

标本存放至装有 75% 酒精的 50 mL 离心管内保存, 并做好编号、记录带回室内鉴定与数理统计。参考相关资料 (杨贵军, 2013; 潘卉, 2017; 何云川, 2018; 陈蔚, 2019; 顾伟, 2011) 将灌丛草地昆虫功能群划分为植食性昆虫 (Phytophagous group, 简称 Ph)、捕食性昆虫 (Predatory group, 简称 Pr)、寄生性昆虫 (Parasitic group, 简称 Pa)、杂食性昆虫 (Omnivorous group, 简称 Om; 腐生性昆虫和对植物几乎没有危害也不捕食其它动物的昆虫)。

采用大小为 1 m × 1 m 的样方框对上述样点进行植被数量特征调查, 每个样点 5 个重复, 分别记录样方框内的植被的物种数和植被的自然高度。利用 Ttakeme 土壤温度水分测定仪、温湿度计对样方框内的每个样方进行微气候的测定 (包括土壤表层温度、土壤深度 0 ~ 5 cm 含水量、空气温湿度)。

1.3 数据分析

利用 Excel 和 SPSS 26.0 对灌丛草地所采集到的标本数量进行统计分析, 其中昆虫群落的活动特征、物种丰富度指数、多样性指数、均匀度指数、优势度指数等指数的计算方法参照邹言等 (2020)。灌丛草地昆虫群落的活动特征、物种丰富度、多样性指数、均匀度、优势度等与环境间的互作关系采用单因素方法、相关性分析进行分析。

利用 Berger-Parker 优势度指数 (D) 进行群落物种等级划分。其中 $D \geq 10\%$ 时为优势种 (Dominant species), I 表示; $5\% \leq D < 10\%$ 时为丰盛种 (Abundant species), II 表示; $1\% \leq D < 5\%$ 时为常见种 (Frequent species), III 表示; $0.1\% \leq D < 1\%$ 时为偶见种 (Occasional species),

IV 表示; $D < 0.1\%$ 时为罕见种 (Rare species), V 表示。

2 结果与分析

2.1 灌丛草地昆虫群落及其功能团结构特征分析

本研究共采集标本 12 481 号, 隶属 8 目 77 科 (见表 1)。其中优势科共计 2 科, 分别为蚁科 Formicidae 和蚊科 Culicidae, 分别占总个体数的 35.045% 和 24.950%; 丰盛科仅 1 科, 为姬蜂总科 Ichneumonoidea, 占总个体数 5.244%; 常见科共计 10 科, 占总个体数的 30.514%; 偶见科共计 21 科, 占总个体数的 7.450%; 罕见科共计 43 科, 占总个体数的 0.9%。

灌丛草地昆虫群落的 4 个功能团中 (见表 1), 杂食性昆虫 (Om) 个体数量最多, 共 3 目 8 科 7 534 号标本, 占总个体数 60.365%; 其次为植食性昆虫 (Ph), 共 6 目 45 科 2 961 号标本, 占总个体数 23.881%; 第三为寄生性昆虫 (Pa), 共 2 目 8 科 1 004 号标本, 占总个体数 8.098%; 最后为捕食性昆虫 (Pr) 的个体数量最少, 共 5 目 16 科 982 号标本, 占总个体数 11.743%。而从灌丛草地昆虫群落功能团科级水平来看, 科级数量大小顺序依次为 $Om > Ph > Pa > Pr$ 。其中 Om 共有优势科 2 个、偶见科 2 个和罕见科 4 个; Ph 共有常见科 6 个、偶见科 14 个、罕见科 25 个; Pa 共有丰盛科 1 个、常见科 1 个、偶见科 2 个和罕见科 4 个; Pr 共有常见科 3 个、偶见科 3 个、罕见科 10 个。从 5 个等级划分的级数来看, 其中 Pa 的等级级数最多 (共 4 个等级); 其次为 Om、Ph 和 Pr、(均为 3 个等级), 且均无优势科; Om 有优势科 2 个。

表 1 喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落组成

Table 1 Composition of insect community in shrub grassland of Karst Plateau Mountainous Area

功能群 Functional group	目 Order	科 Family	个体数 Number of individuals	比列 (%) Proportion	等级 Class
一、植食性昆虫 (Ph)	(一) 直翅目 Orthoptera	1. 蚱科 Tetrigidae	61	0.492	IV
		2. 蟋蟀科 Gryllidae	127	1.025	III
		3. 草螽科 Conocephalidae	1	0.008	V
		4. 蝼蛄科 Gryllotalpidae	1	0.008	V
		5. 蛉蟋科 Trigonidiidae	4	0.032	V
		6. 露螽科 Phaneropteridae	1	0.008	V

续表 1 Continued table 1

功能群 Functional group	目 Order	科 Family	个体数 Number of individuals	比列 (%) Proportion	等级 Class		
(二) 半翅目 Hemiptera		7. 木虱科 Psyllidae	19	0.153	IV		
		8. 盲蝽科 Miridae	18	0.145	IV		
		9. 长蝽科 Lygaeidae	20	0.161	IV		
		10. 网蝽科 Tingidae	2	0.016	V		
		11. 缘蝽科 Coreidae	3	0.024	V		
		12. 飞虱科 Delphacidae	20	0.161	IV		
		13. 角蝉科 Membracidae	51	0.411	IV		
		14. 沫蝉科 Cercopidae	44	0.355	IV		
		15. 叶蝉科 Cicadellidae	468	3.780	III		
		16. 菱蜡蝉科 Cixiidae	1	0.008	V		
		(三) 鞘翅目 Coleoptera		17. 叩甲科 Elateridae	3	0.024	V
				18. 鳃金龟科 Melolonthidae	7	0.054	V
				19. 象甲科 Curculionidae	2	0.016	V
				20. 叶甲科 Chrysomelidae	54	0.436	IV
				21. 铁甲科 Hispididae	2	0.016	V
				22. 萤叶甲科 Fluorophyllidae	7	0.054	V
23. 卷象科 Attelabidae	1			0.008	V		
24. 伪叶甲科 Lagriidae	1			0.008	V		
25. 吉丁虫科 Buprestidae	1			0.008	V		
26. 豆象科 Bruchidae	1			0.008	V		
27. 跳甲科 Halticidae	102			0.822	IV		
(四) 膜翅目 Hymenoptera		28. 蜜蜂科 Apidae	249	2.009	III		
		29. 地蜂科 Andrenidae	2	0.016	V		
		30. 隧蜂科 Halictidae	472	3.808	III		
		31. 叶蜂科 Tenthredinidae	20	0.161	IV		
		32. 分舌蜂科 Colletidae	2	0.016	V		
		33. 青蜂科 Chrysididae	6	0.048	V		
		(五) 鳞翅目 Lepidoptera		34. 鹿蛾科 Ctenuchidae	2	0.016	V
35. 螟蛾科 Pyralidae	14			0.113	IV		
36. 草螟科 Crambidae	15			0.121	IV		
37. 夜蛾科 Noctuidae	3			0.024	V		
38. 弄蝶科 Hesperidae	1			0.008	V		
39. 眼蝶科 Satyridae	2			0.016	V		
(六) 双翅目 Diptera		40. 水蝇科 Ephydriidae	1	0.008	V		
		41. 禾蝇科 Opomyzidae	77	0.621	IV		
		42. 杆蝇科 Agromyzidae	604	4.873	III		
		43. 眼蕈蚊科 Sciaridae	56	0.452	IV		

续表 1 Continued table 1

功能群 Functional group	目 Order	科 Family	个体数 Number of individuals	比列 (%) Proportion	等级 Class		
二、捕食性昆虫 (Pr)	(一) 鞘翅目 Coleoptera	44. 剑虻科 Therevidae	7	0.054	V		
		45. 花蝇科 Anthomyiidae	406	3.276	III		
		46. 隐翅虫科 Staphylinidae	8	0.065	V		
		47. 步甲科 Carabidae	60	4.304	III		
		48. 皮金龟科 Trogidae	3	0.024	V		
		49. 阎甲科 Histeridae	1	0.008	V		
		50. 花萤科 Cantharidae	5	0.040	V		
		51. 瓢虫科 Coccinellidae	1	0.008	V		
		(二) 膜翅目 Hymenoptera	52. 泥蜂科 Sphecidae	58	0.468	IV	
			53. 马蜂科 Polistidae	1	0.008	V	
		(三) 双翅目 Diptera	54. 长足虻科 Dolichopodidae	455	3.671	III	
			55. 蝇科 Muscidae	288	2.324	III	
			56. 舞蝇科 Sarcophagidae	51	0.411	IV	
			57. 食虫虻科 Asilidae	11	0.089	V	
			58. 粪蝇科 Scathophagidae	1	0.008	V	
	59. 食蚜蝇科 Syrphidae	37	0.299	IV			
	(四) 半翅目 Hemiptera	60. 猎蝽科 Reduviidae	1	0.008	V		
	(五) 长翅目 Mecoptera	61. 蚊蝎蛉科 Bittacidae	1	0.008	V		
三、寄生性昆虫 (Pa)	(一) 膜翅目 Hymenoptera	62. 姬蜂科 Ichneumonidae	650	5.244	II		
		63. 广肩小蜂科 Eurytomidae	56	0.452	IV		
		64. 细蜂科 Proctotrupidae	179	1.444	III		
		(二) 双翅目 Diptera	65. 寄蝇科 Tachinidae	110	0.886	IV	
			66. 蜂虻科 Bombyliidae	1	0.008	V	
			67. 鼻蝇科 Oestridae	5	0.040	V	
			68. 眼蝇科 Conopidae	1	0.008	V	
			69. 虻科 Tabanidae	2	0.016	V	
		四、杂食性昆虫 (Om)	(一) 膜翅目 Hymenoptera	70. 蚁科 Formicidae	4372	35.029	I
				71. 蚊科 Culicidae	3114	24.950	I
72. 蚁蜂科 Mutillidae	2			0.016	V		
(二) 双翅目 Diptera	73. 大蚊科 Tipulidae			3	0.024	V	
	74. 麻蝇科 Sarcophagidae		21	0.169	IV		
	75. 丽蝇科 Calliphoridae		20	0.161	IV		
(三) 鞘翅目 Coleoptera	76. 蜉金龟科 Aphodiidae		1	0.008	V		
	77. 葬甲科 Silphidae		1	0.008	V		

注: Ph, 植食性昆虫; Pr, 捕食性昆虫; Pa, 寄生性昆虫; Om, 杂食性昆虫。Notice: Ph, Phytophagous group; Pr, Predatory group; Pa, Parasitic group; Om, Omnivorous group.

2.2 灌丛草地昆虫群落多样性动态变化分析

灌丛草地昆虫群落物种数的动态变化趋势如图 1 所示。昆虫群落的物种数在研究期间变化趋势为从 1 月 (1 科) 逐渐增加, 至 8 月最高 (28 科), 之后逐渐减少直至次年 1 月最低 (图 1-a), 其中 1 月与 2 月的昆虫群落物种数无显著差异外, 与其它月份均存在显著差异性 ($P < 0.05$); 2 月的昆虫群落物种数与 1 月相同; 6 月与 5 月、7 月、8 月、9 月的昆虫群落物种数无显著差异外, 均与其它月份的昆虫群落物种数存在显著差异性 ($P < 0.05$); 8 月与 5 月、7 月、8 月、9 月的昆虫群落物种数无显著差异外, 均与其他月份的昆虫群落物种数存在显著差异性 ($P < 0.05$); 10 月与 3 月昆虫群落物种数无显著差异, 均与其它月份的昆虫群落物种数存在显著差异性 ($P < 0.05$); 11 月与 12 月、4 月的昆虫群落物种数无显著差异外, 均与其它月份的昆虫群落物种

数存在显著差异性 ($P < 0.05$); 12 月与 3 月、4 月的昆虫群落物种数无显著差异外, 与其他月份的昆虫群落物种数均存在显著差异性 ($P < 0.05$)。期间, 昆虫群落的个体数量变化趋势为 1 月数量最少 (1.6 头), 2 月过后数量才开始逐渐升高, 直至 5 月最多 (393.4 头), 至 6 月有所跌落, 然后进入 7 月数量又逐渐回升, 直至 8 月、9 月达第二个峰值后才逐渐降低至次年 1 月最少 (图 1-b), 其中 1 月与 7 月、8 月、9 月的昆虫个体数存在显著差异性 ($P < 0.05$), 与其它月份的昆虫个体数均无显著差异性; 2 月、5 月的昆虫个体数情况与 1 月相同; 6 月与 11 月、12 月、1 月、2 月的昆虫个体数存在显著差异性 ($P < 0.05$), 与其它月份的昆虫个体数均无显著差异性; 7 月与 5 月、8 月、9 月、11 月、1 月、2 月的昆虫个体数存在显著差异性 ($P < 0.05$), 与其余月份的昆虫个体数均无显著差异性。而昆虫多样性指数则在 6 月 (2.48)

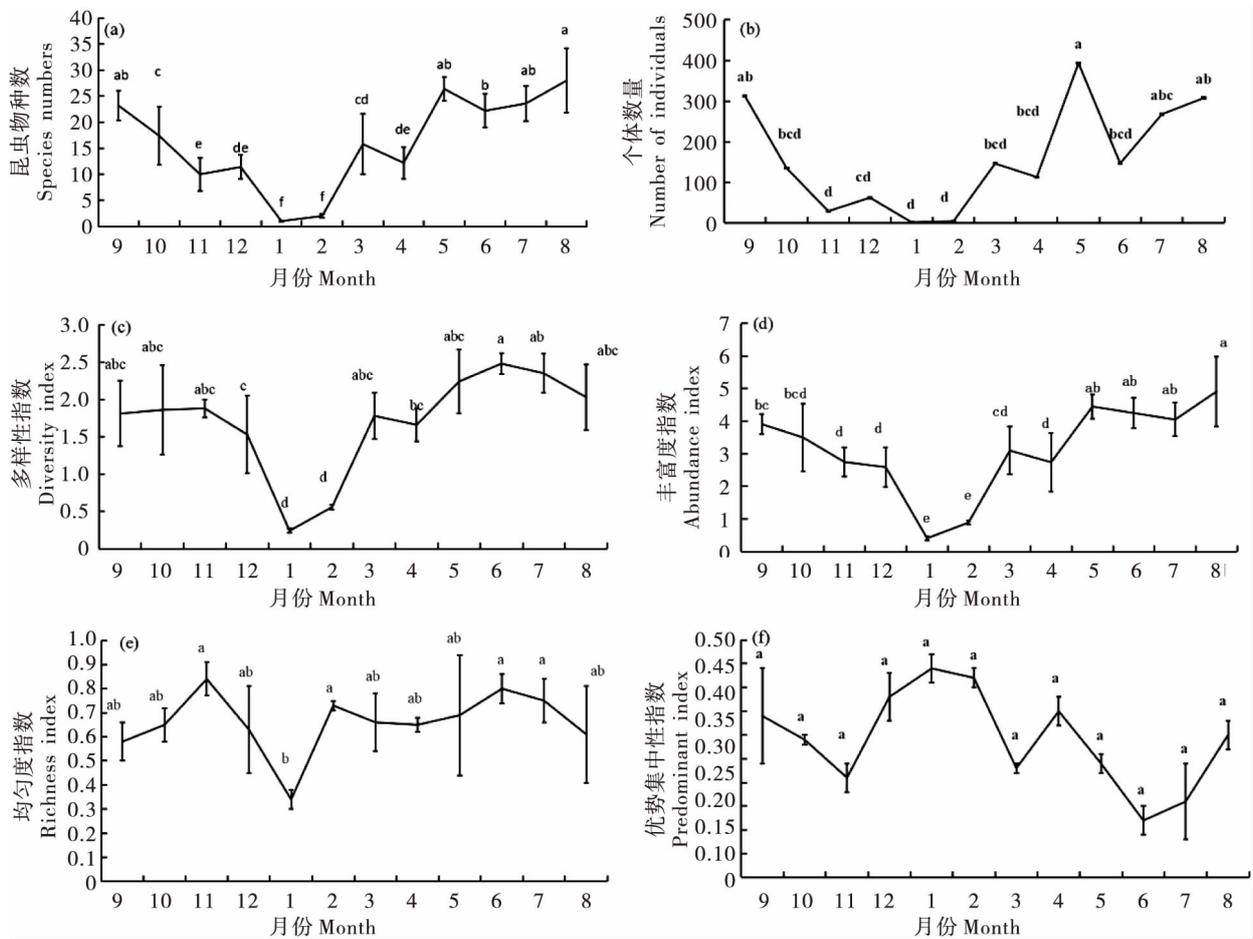


图 1 喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落多样性动态变化 (2018 - 2019 年)

Fig. 1 Dynamic change of diversity indices of insect community in shrub grassland of Karst Plateau Mountainous Area

注: 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different letters indicated significant differences ($P < 0.05$).

最高, 6月到次年1月份呈现逐渐降低的现象, 且在次年1月(0.24)达最低(图1-c); 其中6月与12月、1月、2月、4月的昆虫多样性指数存在显著差异性($P < 0.05$), 与其它月份的昆虫多样性指数均无显著差异性。丰富度1-8月份呈上升趋势, 其中8月(4.91)最高, 之后8月至次年1月份逐渐下降达最低(0.41)(图1-d), 其中8月与5月、6月、7月、8月的丰富度无显著差异外, 与其他月份的丰富度均存在显著差异性($P < 0.05$)。昆虫群落均匀性指数在研究期间波动相对较小, 其中11月(0.84)最高, 次年1月(0.34)最低(图1-e)。其中11月与1月的均匀度指数存在显著差异性($P < 0.05$), 与其它月份的均匀度指数均无显著差异性; 而1月与2月、6月、7月、11月的均匀度指数存在显著差异($P < 0.05$), 与其它月份的均匀度指数均无显著差异性。灌丛草地昆虫群落的优势集中性指数共出现3个峰值, 分别为1月(0.44)、4月(0.35)和9月(0.34)。

灌丛草地昆虫4个功能群个体数在不同时间的呈现趋势如图2所示。植食性昆虫个体数

(图2-a)有4个峰值, 变化趋势为1月最少(0.6头), 5月最多(100.4头), 6月时迅速减少, 7月迅涨呈第二个峰值, 8月又迅速降低, 9月缓慢上升呈第三个峰值, 10月缓慢降低, 之后次年的2月升高呈第四个峰值, 之后逐渐减少直至次年1月、2月最低, 其中5月与8月、10月、11月、12月、1月、4月的植食性昆虫个体数均存在显著差异性($P < 0.05$); 1月与5月、7月、9月的植食性昆虫个体数均存在显著差异性($P < 0.05$)。捕食性昆虫个体数(图2-b)有3个峰值, 变化趋势为由1月(1头)逐渐增加至7月最高(68.2头)呈现第一峰值, 至8月降低, 之后逐渐增加至9月呈现第二个峰值, 10月急剧降低, 至12月有所增加呈第三个峰值, 之后逐渐减少到次年1月、2月最低; 其中7月与5月、6月、8月、9月、12月的捕食性昆虫个体数无差异性外, 其余均存在显著差异性($P < 0.05$); 1月与2-5月、10月、11月的捕食性昆虫个体数无差异外, 其余均存在显著差异性($P < 0.05$)。寄生性昆虫个体数(图2-c)有2个峰值, 变化趋势为1月最少(0头), 缓慢增加至3月呈第一

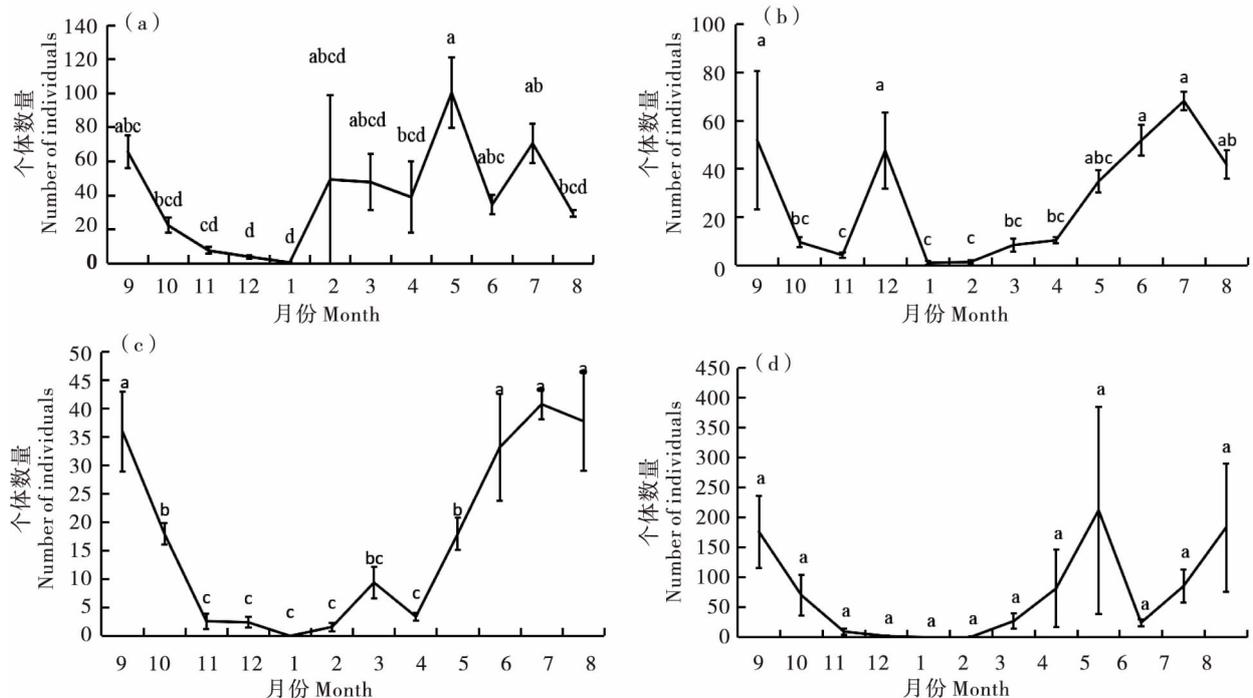


图2 喀斯特高原山区灌丛草地昆虫功能群个体数动态变化

Fig. 2 Dynamic change of individual number of insect functional groups in shrub grassland of Karst Plateau Mountainous Area
注: (a), 植食性昆虫; (b), 捕食性昆虫; (c), 寄生性昆虫; (d), 杂食性昆虫; 不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。
Note: (a), Phytophagous group; (b), Predatory group; (c), Parasitic group; (d), Omnivorous group; Different letters indicated significant differences ($P < 0.05$).

个较小的峰值, 4 月稍有下降, 至 5 月逐渐增加到 7 月呈第二个大的峰值 (40.8 个), 8 月逐渐减少至次年的 1 月达到最低, 其中 6 月、7 月、8 月、9 月分别与其他月份的寄生性昆虫个体数存在显著差异性 ($P < 0.05$); 1 月与 2 月、3 月、4 月、11 月、12 月的寄生性昆虫个体数无差异外, 其余均存在显著差异性 ($P < 0.05$)。杂食性昆虫个体数 (图 2 - d) 有 2 个峰值, 变化趋势为从 1 月 (0 头) 开始逐渐增加至 3 月出现第一峰值, 4 月稍微降低, 至 5 月呈现第二个峰值, 之后在 6 月份急剧降低, 6 月后逐渐增加至 9 月出现第 3 个峰值且为最高峰 (137.7 头), 10 月后至次年 1 月缓慢较少, 杂食性昆虫个体数在调查研究过程中 9 月与次年的 8 月均与其它月份的寄生性昆虫个体数存在显著差异性 ($P < 0.05$); 1 月与 7 月、8 月、9 月的寄生性昆虫个体数存在显著差异性 ($P < 0.05$), 其余均无差异性。

2.3 灌丛草地生态环境与昆虫群落多样性的相关性分析

生态环境与昆虫功能群个体数的相关性分析表明植食性昆虫 (Ph) 的个体数、丰富度、多样性指数与土壤温度、空气温度、植被物种数均呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$); 其丰富度、多样性指数与植被高度呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与土壤含水量呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$); 其均匀度和优势度与空气湿度呈极显著负相关

($P < 0.01$) (表 2)。捕食性昆虫 (Pr) 的个体数、丰富度、多样性指数与土壤温度、空气温度、植被物种数均呈极显著正相关关系; 其个体数和多样性指数与土壤含水量呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$); 其优势集中性指数与土壤温度、空气温度、植被高度、植被物种数均呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$)。寄生性昆虫 (Pa) 的个体数、丰富度与土壤温度、空气温度、植被物种数均呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$); 其多样性指数、均匀度与土壤温度、空气温度均呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$); 其均匀度与空气湿度呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$), 而优势集中性指数与土壤温度、土壤含水量、空气温度、空气湿度、植被高度、植被物种数均呈负相关关系 ($P > 0.05$)。杂食性昆虫 (Om) 个体数、丰富度指数、多样性指数、均匀度指数均与空气温度呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$); 其个体数与土壤温度、植被高度、植被物种数均呈极显著正相关关系, 而多样性指数和均匀度指数均与空气湿度呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$)。昆虫的个体数、丰富度指数、多样性指数均与土壤温度、空气温度、植被物种数呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 其丰富度与植被高度呈极显著正相关关系, 而优势集中指数与土壤温度、空气温度、植被物种数均呈极显著负相关关系 ($P < 0.01$) (表 2)。

表 2 环境因子与昆虫功能群的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of environmental factors and insect functional groups

功能群 Functional group	指标 Indices	土壤温度 Soil temperature	土壤含水量 Soil moisture content	空气温度 Air temperature	空气湿度 Air humidity	植被高度 Vegetation height	植被物种数 Number of vegetation species
Ph	多样性指数 Shannon-wiener index	0.847**	-0.397**	0.696**	-0.001	0.434**	0.636**
	丰富度指数 Margalef's index	0.778**	-0.378**	0.588**	0.072	0.401**	0.598**
	均匀度指数 Pielou index	-0.663**	-0.338**	-0.604**	0.079	0.327*	0.497**
	优势度指数 Simpson index	-0.623**	-0.177	-0.550**	-0.032	-0.405**	-0.391**
	个体数 Number of individuals	0.489**	-0.138	0.520**	0.225	0.068	0.430**

续表 2 Continued table 2

功能群 Functional group	指标 Indices	土壤温度 Soil temperature	土壤含水量 Soil moisture content	空气温度 Air temperature	空气湿度 Air humidity	植被高度 Vegetation height	植被物种数 Number of vegetation species
Pr	多样性指数 Shannon-wiener index	0.679**	-0.334**	0.659**	0.126	0.319*	0.458**
	丰富度指数 Margalef's index	0.384**	-0.314*	0.391**	0.156	0.199	0.344**
	均匀度指数 Pielou index	0.428**	-0.307*	0.558**	0.274*	0.284*	0.260*
	优势度指数 Simpson index	-0.247	-0.207	0.228	-0.009	0.016	0.236
	个体数 Number of individuals	0.559**	0.350**	0.421**	0.136	0.05	0.365**
Pa	多样性指数 Shannon-wiener index	0.744**	0.21	0.665**	0.057	0.242	0.417**
	丰富度指数 Margalef's index	0.392**	0.054	0.431**	-0.107	0.097	0.129
	均匀度指数 Pielou index	0.550**	0.169	0.620**	0.256*	-0.2	-0.254*
	优势度指数 Simpson index	-0.189	-0.290*	-0.103	-0.122	-0.046	-0.225
	个体数 Number of individuals	0.761**	-0.369**	0.434**	0.281*	0.435**	0.475**
Om	多样性指数 Shannon-wiener index	0.119	-0.182	0.329*	0.287*	0.028	0.025
	丰富度指数 Margalef's index	0.205	0.153	0.395**	-0.305*	0.185	0.096
	均匀度指数 Pielou index	0.162	0.202	0.381**	-0.318*	0.01	0.01
	优势度指数 Simpson index	-0.198	-0.07	-0.029	0.199	0.201	-0.205
	个体数 Number of individuals	0.370**	-0.058	0.257*	0.122	0.292*	0.181
NI	多样性指数 Shannon-wiener index	0.657**	-0.217*	0.427**	-0.14	0.141	0.347**
	丰富度指数 Margalef's index	0.817**	-0.281**	0.456**	0.005	0.290**	0.483**
	均匀度指数 Pielou index	0.133	-0.009	0.068	-0.134	-0.108	-0.057
	优势度指数 Simpson index	-0.509**	0.189*	-0.403**	0.15	-0.107	-0.278**
	个体数 Number of individuals	0.593**	-0.182	0.454**	0.09	0.308*	0.365**

注: Ph, 植食性昆虫; Pr, 捕食性昆虫; Pa, 寄生性昆虫; Om, 杂食性昆虫; NI, 昆虫总个体数; ** 在 0.01 级别 (双尾), 相关性显著, * 在 0.05 级别 (双尾), 相关性显著。Note: Ph, Phytophagous group; Pr, Predatory group; Pa, Parasitic group; Om, Omnivorous group; NI, Number of insects; ** at the 0.01 level (two-tailed), the correlation was significant, * at the 0.05 level (two-tailed), the correlation was significant.

3 结论与讨论

本研究表明, 在喀斯特灌丛草地不同季节昆虫群落组成与分布具有一定的差异。双翅目和膜翅目昆虫个体数量占据较大优势, 这与王美娜等 (2017) 对山地昆虫研究结果相同。本研究的昆虫物种多样性大小变化与其丰富度和均匀度变化趋势一致, 与其优势度相反, 与周玉锋等 (2009) 对人工草地节肢动物多样性研究结果相同。个体数在 6 月份最高, 这与李帅等 (2016) 对贵州人工混播草地昆虫群落多样性的研究结果相似。此外, 昆虫多样性指数与均匀度指数一致时, 昆虫群落结构较稳定 (2011)。本研究结果表明昆虫多样性指数与均匀度指数变化趋势比较一致主要体现在 5-8 月 (图 1-c、1-e), 说明喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落结构在 5-8 月比较稳定。

喀斯特灌丛草地功能群昆虫结构不同, 本研究结果表明, 杂食性昆虫最多, 捕食性昆虫最少, 与前人 (李帅, 2016; 陈蔚, 2019) 的研究结果相反, 这是因为与研究区的生态环境有关, 如杂食性昆虫蚊类数量随温度的升高而降低 (童春富, 2002; 凡美玲, 2017)。研究区位于高海拔地区, 温度较低, 为杂食性昆虫提供了适宜的发育条件, 此外, 杂食性昆虫蚊科与蚁科个体数量异常, 使得杂食性昆虫个体数量最多。杂食性昆虫数量多, 说明灌丛草地害虫种群爆发的可能性较低 (李志刚, 2016), 同时, 也是灌丛草地昆虫生态系统对营养链的调控具有重要作用。此外, 不同昆虫功能群除取食性不同外, 生长发育、繁殖方式、活动等生物学特性也存在着一定的差异, 从而导致不同的昆虫功能群个体数对生态环境因素的响应有着不同的变化模式。

灌丛草地昆虫群落组成与分布随季节的更替而产生差异, 昆虫功能群个体数也随之发生变化。本研究结果显示植食性昆虫个体数在 5 月最多, 这除了气温回暖引起之外, 可能还与植食性昆虫有一部分为访花昆虫 (蜜蜂科、花蝇科等) 访问开花植物有关, 而蜜源植物如火棘在 5 月仍任处于花期 (朱欣, 2021), 从而导致 5 月植食性昆虫多。捕食性昆虫与寄生性昆虫在 7 月个体数量最多, 杂食性昆虫 8 月最多。主要是因夏季高温多雨, 一方面促进植物与植食性昆虫生长繁殖, 为另外三类昆虫功能群 (捕食性昆虫、寄生性昆虫、

杂食性昆虫) 提供了丰富的食物资源, 另一方面在草地生态系统中, 灌丛草地在该气候条件下能为各类昆虫提供良好的栖息地和避难所 (李文琼, 2017; Sloggett, 2020); 同时草地植物群落的多样化也增强了自身的抗病虫害的能力, 如蚂蚁以花蜜为食而保护植物免受其他害虫危害 (Mohseni, 2021)。因此, 捕食性昆虫、杂食性昆虫、寄生性昆虫数量在 7 月、8 月达到最高。

昆虫多样性受诸多环境因素的影响, 有研究认为温度是影响昆虫系统发育多样性的关键性生态因子之一 (金倩, 2018), 李欣芸等 (2020) 对贺兰山自然保护区昆虫多样性调查研究结果表明, 在一定温度范围内, 植食性的鳞翅目昆虫多样性随温度的升高而升高; 同时昆虫群落多样性随植被物种数的增加而增加 (Litt, 2014)。本研究通过分析生态环境与昆虫功能群之间的相关性, 结果表明土壤温度、空气温度、植被物种数与植食性昆虫、捕食性昆虫的个体数、丰富度、多样性指数均呈极显著正相关关系, 而杂食性昆虫中仅有个体数、捕食性昆虫的个体数、丰富度与植被物种数均呈极显著正相关关系, 这与陈蔚等 (2019) 对荒漠草原植物多样性对地面节肢动物功能群多样性的影响研究结果相似, 这可能是因寄生性昆虫多数以腐殖质类动植物为食或为寄主 (David, 2010), 但其多样性指数、均匀度则与植被物种数无显著相关性, 说明喀斯特灌丛草地生态系统在对寄生性昆虫的物种多样性的调节上很可能是通过植被物种多度来影响的, 且在这一过程中植被物种多度对寄生性昆虫的物种数量和个体数量影响较明显, 而对寄生性昆虫的活动、分布 (即均匀度) 等受影响不明显。其三, 杂食性昆虫多样性指数等与植被物种数无显著相关性, 可能是因为杂食性昆虫可以植物为食之外, 其它资源如昆虫等也有可能是它丰富的食物来源。

昆虫群落多样性与温度、植被物种数有显著的相关性外, 土壤含水量也是重要的因素之一 (张艳, 2020), 间接的影响昆虫群落的多样性。本研究结果表明土壤含水量与植食性昆虫、捕食性昆虫呈极显著负相关。因土壤含水量影响昆虫幼虫与成虫的取食行为与移动情况、生长发育情况, 对成虫移动具有一定的导向作用 (常晓娜, 2008), 如陈法军等 (2003) 研究表明, 土壤含水量越高, 幼虫与蛹的死亡率越高。土壤含水量与寄生性昆虫、杂食性昆虫相关性不明显, 原因可

能是该类昆虫栖息方式（如不是土栖昆虫）和取食方式不同造成，如对水分的索取主要依赖于其寄主等。但土壤水分条件好能够促长丰富的植被，从而为昆虫提供丰富的食物与栖息地（刘继亮，2017），但寄生性昆虫和杂食性昆虫的物种多样性并未与植被物种数相关性呈明显相关（表2），因此，寄生性昆虫、杂食性昆虫与土壤相关性较弱。

此外有研究表明，植被高度是直接或间接影响昆虫群落多样性的重要因素之一，植被高度从时间和空间上影响昆虫食物资源的丰富度与栖息地的复杂情况，植被复杂程度通过植被高度简单的表现出来，植被结构越复杂，如丰富的凋落物、土壤腐殖质、家畜排泄物等可为昆虫利用（Körösi, 2012; Streitberger, 2016）。因此在植被高度的一定范围内，昆虫种类和数量随植被高度的增加而增加（刘继亮，2017）。

本文对喀斯特高原山区灌丛草地昆虫群落多样性研究调查结果表明，双翅目（蚊科）与膜翅目（蚁科）昆虫为优势类群，可作为灌丛草地的指示性昆虫；灌丛草地昆虫群落多样性随季节时序变化，反映出群落结构的稳定性主要表现在5-8月；功能群中杂食性昆虫最为丰富；灌丛草地生态环境与昆虫均有一定的相关性，其中土壤温度、空气温度、植被物种数相关性最强；研究结果可为保护喀斯特高原山区灌丛草地生态系及其生物多样性提供数据支撑。

参考文献 (References)

- Cai DZ, Wang DS. Study on insect diversity in Jigongshan National Nature Reserve, Henan [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021: 1-13. [蔡东章, 王德森. 河南鸡公山国家级自然保护区昆虫多样性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2021: 1-13]
- Chang XN, Gao HJ, Chen FJ, et al. Effects of environmental moisture and precipitation on insects: A review [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27 (4): 619-625. [常晓娜, 高慧璟, 陈法军, 等. 环境湿度和降雨对昆虫的影响 [J]. 生态学杂志, 2008, 27 (4): 619-625]
- Chen FJ, Zhai BP, Zhang XX. Effects of soil moisture during pupal stage on population development of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 1: 112-121. [陈法军, 翟保平, 张孝羲. 棉铃虫蛹期土壤水分对其种群发生的影响 [J]. 生态学报, 2003, 1: 112-121]
- Chen W, Huang XK, Liu RT, et al. Effect of plant diversity on functional diversity of ground-active arthropods in desertified steppe of Ningxia [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27 (6): 1587-1595. [陈蔚, 黄兴科, 刘任涛, 等. 宁夏荒漠草原植物多样性对地面节肢动物功能群多样性的影响 [J]. 草地学报, 2019, 27 (6): 1587-1595]
- David JF, Handa IT. The ecology of saprophagous macroarthropods (millipedes, woodlice) in the context of global change [J]. *Biological Reviews*, 2010, 85 (4): 881-895.
- Fan ML, Fang SY, Chen L, et al. Comparison of four non-linear models between temperature and intrinsic rate of increase of insects and mites [J]. *Journal of Plant Protection*, 2017, 44 (4): 544-550. [凡美玲, 方水元, 陈磊, 等. 温度与昆虫内禀增长率关系模型的比较 [J]. 植物保护学报, 2017, 44 (4): 544-550]
- Gu W, Ma L, Ding XH, et al. Insect diversity of different habitat types in Zhalong Wetland, Northeast China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (9): 2405-2412. [顾伟, 马玲, 丁新华, 等. 扎龙湿地不同生境的昆虫多样性 [J]. 应用生态学报, 2011, 22 (9): 2405-2412]
- He DH, Chang YD, Tian Z, et al. Numerical analysis for dynamics of insect community diversity in the ecological succession of desertified and artificial sand-fixing grassland [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 1999, 4: 2-8. [贺达汉, 长有德, 田真, 等. 草原沙化和人工固沙草地生态演替中昆虫群落多样性变化的数值分析 [J]. 应用与环境生物学报, 1999, 4: 2-8]
- 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]
- Jin Q, Ruan QQ, Chen F, et al. Species diversity and phylogenetic diversity of moth species on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (1): 102-110. [金倩, 阮倩倩, 陈芬, 等. 青藏高原地区不同环境条件下鳞翅目昆虫物种多样性与系统发育多样性的初步研究 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (1): 102-110]
- Körösi Á, Batary P, Orosz A, et al. Effects of grazing, vegetation structure and landscape complexity on grassland leafhoppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha) and true bugs (Hemiptera: Heteroptera) in Hungary [J]. *Insect Conservation and Diversity*, 2012, 5 (1): 57-66.
- Li S, Zhang L, Su S, et al. Composition and seasonal dynamics change of insect community in mixed sowing artificial grassland in Guizhou [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2016, 44 (11): 61-64. [李帅, 张莉, 苏生, 等. 贵州人工混播草地昆虫群落组成与季节动态变化 [J]. 贵州农业科学, 2016, 44 (11): 61-64]
- Li WQ, Xu ZH, Zhou XY, et al. Distribution pattern of ant species from mount in the everest section of Mt. Himalayas [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (5): 1054-1062. [李文琼, 徐正会, 周雪英, 等. 喜马拉雅山珠峰段蚂蚁物种的分布格局 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (5): 1054-1062]
- Li XY, Yang YC, He ZS, et al. Diversity of butterfly community and its environmental factors in Helan Mountain Nature Reserve, Ningxia [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (3): 660-673. [李欣芸, 杨益春, 贺泽帅, 等. 宁夏贺兰山自然保护区蝴蝶群落多样性及其环境影响因子 [J]. 环境昆虫学报,

- 2020, 42 (3): 660–673]
- Li ZG, Xu HL, Li J, *et al.* Diversity of insect community in mangrove ecosystem in Futian National Nature Reserve [J]. *Forest Pest and Disease*, 2016, 35 (6): 27–31. [李志刚, 徐华林, 李军, 等. 深圳福田红树林生态系统昆虫群落多样性调查 [J]. 中国森林病虫, 2016, 35 (6): 27–31]
- Litt AR, Cord EE, Fulbright TE, *et al.* Effects of invasive plants on arthropods [J]. *Conservation Biology*, 2014, 28 (6): 1532–1549.
- Liu JL, Zhao WZ, Li FR, *et al.* Effects of microtopography variation on the distribution of ground darkling beetles in a sandy desert ecosystem [J]. *Arid Zone Research*, 2017, 34 (6): 1388–1394. [刘继亮, 赵文智, 李锋瑞, 等. 微地形变化对沙质荒漠拟步甲科昆虫分布的影响 [J]. 干旱区研究, 2017, 34 (6): 1388–1394]
- Liu SD, Meng X, Shang JY, *et al.* Composition and temporal dynamics of insect community in the tundra zone in Changbai Mountain, Northeast China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2019, 62 (2): 233–240. [刘生冬, 孟昕, 尚军辉, 等. 长白山苔原带昆虫群落组成与时间动态 [J]. 昆虫学报, 2019, 62 (2): 233–240]
- Mohseni MR, Rad SP. The effect of edaphic factors on the distribution and abundance of ants (Hymenoptera: Formicidae) in Iran [J]. *Biodiversity Data Journal*, 2021, 9 (4): e54843.
- Pan H, Chen XZ, Wu J, *et al.* Effects of *Spartina alterniflora* invasion on the structural characteristics and seasonal dynamics of insect functional groups in Jiuduansha wetland of the Yangtze River Estuary, East China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2017, 60 (1): 67–83. [潘卉, 陈秀芝, 吴捷, 等. 互花米草入侵对长江口九段沙湿地昆虫功能群组成特征及季节动态的影响 [J]. 昆虫学报, 2017, 60 (1): 67–83]
- Shi SN, Tang CY, Xie BG, *et al.* Remote sensing investigation and normalization monitoring of grassland resources in karst: A case study of Guanyang County [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27 (1): 14–21. [史莎娜, 汤传勇, 谢炳庚, 等. 喀斯特山地草地资源遥感调查及常态化监测研究——以灌阳县为例 [J]. 草业学报, 2018, 27 (1): 14–21]
- Streitberger M, Fartmann T, *et al.* Vegetation heterogeneity caused by an ecosystem engineer drives oviposition – site selection of a threatened grassland insect [J]. *Anthropod Plant Interactions*, 2016, 6 (10): 545–555.
- Sloggett JJ, Zeilstra I. Geographic variation in the habitat preference of a scarce predatory insect: Evolutionary and conservation perspectives [J]. *Ecological Entomology*, 2020, 45 (3): 386–395.
- Tong CF, Lu JJ. Study on species diversity and functional groups of invertebrate communities in an artificial turf [J]. *Biodiversity Science*, 2002, 10 (2): 149–155. [童春富, 陆健健. 草坪无脊椎动物群落物种多样性及功能群研究 [J]. 生物多样性, 2002, 10 (2): 149–155]
- Wang MN, Ding SY, Lu XL, *et al.* Responses of pollinator diversity to geomorphic types and seasons in mountainous region of western Henan Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28 (9): 2879–2887. [王美娜, 丁圣彦, 卢训令, 等. 豫西山地传粉昆虫物种多样性对地貌和季节的响应 [J]. 应用生态学报, 2017, 28 (9): 2879–2887]
- Xu LX, Xiong KN, Zhang JH, *et al.* The problems and resolutions of grassland ecosystem in karst southwest Chian [J]. *Pratacultural Science*, 2015, 32 (5): 828–836. [许留兴, 熊康宁, 张锦华, 等. 西南喀斯特地区草地生态系统面临的问题及对策 [J]. 草业科学, 2015, 32 (5): 828–836]
- Yang GJ, Wang XP. Nutrient structure and stability of insect community in Luhutai wetland in Yinchuan, Ningxia of Northwest China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32 (12): 3268–3275. [杨贵军, 王新谱. 银川芦花台湿地昆虫群落营养结构及稳定性 [J]. 生态学杂志, 2013, 32 (12): 3268–3275]
- Yang XZ, Yuan ML. Effect of grazing on insect communities in grassland ecosystems: Research status and progress [J]. *Pratacultural Sciences*, 2019, 36 (11): 2937–2951. [杨兴卓, 袁明龙. 放牧对天然草地昆虫群落的研究现状及进展 [J]. 草业科学, 2019, 36 (11): 2937–2951]
- Yu XD, Zhou HZ, Luo TH. Patterns of damage by phytophagous insect on leaves of *Quercus liaotungensis* [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2001, 5: 553–560. [于晓东, 周红章, 罗天宏. 辽东栎叶片昆虫取食形状多样性及其变化模式 [J]. 植物生态学报, 2001, 5: 553–560]
- Zhang DZ, Chen X, He DH. Species diversity of darkling beetles in desert landscape and their value as bioindicators [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (1): 229–235. [张大治, 陈曦, 贺达汉. 荒漠景观拟步甲科昆虫多样性及其对生境的指示作用 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (1): 229–235]
- Zhang Y, Li HM, Liu LL, *et al.* Effects of different soil types and soil moisture content on egg hatching of *Oedaleus decorus asiaticus* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (3): 559–565. [张艳, 李红梅, 刘路路, 等. 不同土壤类型及其含水量对亚洲小车蝗卵孵化的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 559–565]
- Zheng XX, Xiao NW, Zhao MH, *et al.* Investigation and evaluation of insect diversity in Xingshan County, Three Gorges Reservoir Area, Hubei Province, Central China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2020, 63 (12): 1497–1507. [郑晓旭, 肖能文, 赵慕华, 等. 湖北三峡库区兴山县昆虫多样性调查与评估 [J]. 昆虫学报, 2020, 63 (12): 1497–1507]
- Zhou YF, Yang MF, Wen KJ, *et al.* Path analysis on diversity and its main ecological indicators of artificial community in tall fescue artificial grassland [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2009, 9: 159–162. [周玉锋, 杨茂发, 文克俭, 等. 苇状羊茅人工草地节肢动物群落多样性与主要生态指标的通径分析 [J]. 贵州农业科学, 2009, 9: 159–162]
- Zou Y, Liu JW, Li LK, *et al.* Investigation and analysis of insect diversity in different habitats in Yanqing District of Beijing [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2020, 57 (5): 1161–1172. [邹言, 刘佳文, 李立坤, 等. 北京市延庆区不同生境昆虫多样性特征调查分析 [J]. 应用昆虫学报, 2020, 57 (5): 1161–1172]