

DOI: 10.5846/stxb202001150117

刘晓丽, 丁训欢, 宁杰, 张旭, 孙涛. 皖北石灰岩山地植被对地表节肢动物组成及多样性的影响. 生态学报, 2021, 41(15): 6115-6122.

Liu X L, Ding X H, Ning J, Zhang X, Sun T. Effect of vegetation on species composition and diversity of soil surface arthropod in the limestone mountains in the North of Anhui Province. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(15): 6115-6122.

皖北石灰岩山地植被对地表节肢动物组成及多样性的影响

刘晓丽, 丁训欢, 宁杰, 张旭, 孙涛*

淮北师范大学 生命科学院, 淮北 235000

摘要: 调查皖北石灰岩山地退化生态系统不同植被恢复类型地表节肢动物群落组成、类群多样性以及功能群组成, 揭示退化生态系统植被恢复进程中土壤地表节肢动物群多样性变化规律及其影响因素, 为石灰岩山地植被恢复成效评价提供科学依据。采用陷阱法对皖北石灰岩山地侧柏+构树混交林、酸枣+牡荆灌丛和荩草+牡荆草灌丛样地地表节肢动物群落组成、多样性以及功能群进行调查。共采节肢动物个体数 11601, 隶属 8 纲 14 目 44 科。酸枣+牡荆灌丛样地采集到节肢动物 37 科, 占有类群的 84.1%, 荩草+牡荆草灌丛和侧柏+构树混交林采集到土壤节肢动物类群为 35 和 26 科, 分别占总科数的 79.6% 和 59.1%。在目的分类单元下, 直翅目、等足目和鞘翅目类群相对多度较高, 而科的分类单元下, 潮虫科、金龟甲科、蚁科和蟋蟀科为皖北石灰岩山地优势地表节肢动物类群。酸枣+牡荆灌丛节肢动物类群丰富度和荩草+牡荆草灌丛多样性指数最高, 侧柏+构树混交林两者均最低。3 个样地地表节肢动物营养功能群均以植食性为主。不同植被恢复类型间群落相似性也有变化, 酸枣+牡荆灌丛和荩草+牡荆草灌丛间相似性较高, 而侧柏+构树混交林与其他 2 种类型之间相似度均较低。研究结果表明石灰岩山地生境不同植被群落组成、数量和结构及其驱动形成的土壤理化特性、表层的凋落物数量、质量和微生境条件的变异, 引起地表节肢动物群落组成、结构和多样性和营养功能群的不同。

关键词: 生态恢复; 群落结构; 节肢动物; 石灰岩山地

Effect of vegetation on species composition and diversity of soil surface arthropod in the limestone mountains in the North of Anhui Province

LIU Xiaoli, DING Xunhuan, NING Jie, ZHANG Xu, SUN Tao*

College of Life Science, Huaibei Normal University, Huaibei 235000, China

Abstract: Afforestation has been proposed as an effective method to restore the degraded limestone mountains, information on the biological succession and mechanisms of ground-dwelling arthropod assemblage is important for enhancing biodiversity conservation after the establishment of ecological afforestation. In this study, the vegetation community composition structure, species diversity and functional group structure were investigated on a typical rocky mountain area in the North of Anhui Province China, in order to reveal variation of diversity of ground-dwelling arthropod communities during the vegetation recovery of degraded ecosystem, which will provide scientific references for evaluating the benefit of vegetation restoration. We used pitfall traps to capture of ground-dwelling arthropods within three vegetation restoration measures, i.e., the artificial mixed forest of *Platycladus orientalis* and *Broussonetia papyrifera* possess (MFPB), the shrub of *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* and *V. negundo* var. *cannabifolia* (SZV) and the grass-shrub of *Arthraxon hispidus* (Thunb.) Makino and *V. negundo* var. *cannabifolia* (GSAV). A total of 11 601 individuals of ground-dwelling arthropod were collected, belonging

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31872413); 安徽省自然科学基金 (1708085MC60)

收稿日期: 2020-01-15; 网络出版日期: 2021-05-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunt231@126.com

to 8 insecta, 14 orders and 44 families. There were 37, 35 and 26 families under SZV, GSAV and MFPB, accounting for 84.1%, 79.6% and 59.1% of the total fauna, respectively. The relative abundance of Orthoptera, Isopoda and Coleoptera was the highest in the taxonomy of the order, and Oniscidae, Scarabacidae, Formicidae and Gryllidae were the dominant group in the taxonomy of the family in the three vegetation restoration measures in the typical rocky mountain area in Northern of Anhui province. The largest values of richness and diversity were found under SZV and GSAV, respectively, while MFPB have the lowest value of richness and diversity. Phytophagous was the main functional group in three vegetation communities. The similarities of ground-dwelling arthropod fauna differed among different vegetation types, with the highest similarity between SZV and GSAV and the lowest similarity between MFPB and other 2 vegetation types. The results of this study indicated that heterogeneity of soil physical-chemical properties, amount and quality of ground litter, and micro-environment condition, which were derived by different vegetation composition and structure of vegetation community, affected the variation of community composition, structure and functional group of arthropods. The long-term changes in ground-dwelling arthropod assemblage were comprehensive responses to the variations of soil physical-chemical properties and vegetation characteristic after the establishment of afforestation.

Key Words: ecological restoration; community structure; soil arthropod; limestone mountainous

土壤节肢动物是土壤生态系统的重要组分,参与土壤有机质分解和腐殖化作用,对土壤形成、熟化、肥力保持以及物质循环和能量流动中发挥不可替代的作用^[1-2]。地表节肢动物作为土壤节肢动物的重要组分,具有世代周期短、个体数量小、种群数量大、生殖潜能大等优点^[3-4],能在较小斑块尺度对土壤理化特性、营养状况的变化做出及时响应,也可表征植物群落的结构复杂性,反映群落的结构类型、发展阶段、稳定程度和微生境差异,其多样性组成及其变化已被当作敏感指标预警生态系统变化^[4-6]。因此,国内外有大量研究利用地表节肢动物作为生物指示剂来监测土壤环境质量和植被群落状况,来评价退化生态系统植被恢复状况^[5-8]。

皖北石灰岩山地是我国中东部地区石灰岩主要分布区域之一,恶劣的自然地理条件和独特的地质环境决定了其生态环境的脆弱性,主要表现为基岩暴露,风蚀剧烈,土质稀松,土壤养分匮乏,植被退化,生态环境极为脆弱^[9-11]。受自然条件、不合理人类活动影响,研究区土壤侵蚀加剧,基岩裸露,植被生长条件恶劣、自然恢复缓慢,生态系统结构简单、抗干扰能力较低、生态服务功能下降,给当地生态恢复治理工作带来了极大挑战^[12-13]。为解决这一难题,林业技术人员长期开展石质山植被恢复探索,摸索出的“炸穴挖坑、客土回填、壮苗栽植、多级提水、培大土堆、覆盖地膜、修鱼鳞坑”七步造林法^[14],发展形成了别具一格的石灰岩山地植被恢复技术模式,在退化石灰岩山地生态系统恢复治理中取得显著成效,已形成以乔、灌和草本不同生活型组合配置的多种植被恢复群落^[9,13]。当前皖北石灰岩退化山地生态系统已构建较为完整成熟的生态恢复技术模式,在土地复垦与恢复重建技术体系、植物群落结构优化配置组建技术体系、群落演替调控技术体系等方面已制定有关技术标准和规范^[9,14]。随着治理工作的持续推进,以及对皖北石灰岩山地生态恢复重建的认识和理解的不断深入,关注重点从生态工程技术层面上升到科学探索。有研究就石灰岩山地植被恢复演替过程中优势树种解剖特征^[12],不同植被恢复类型群落组成对土壤理化特性的影响^[9-10,15]、人工恢复植被生态系统造林模式^[14,16]、种子库特征等方面进行较为全面的研究^[17]。然而,对于退化石灰岩山地生态系统植被恢复对土壤节肢动物群落组成、结构以及多样性影响缺乏系统深入研究,相关作用尚不清楚。因此,本研究选择区域内3种最为常见植被恢复群落,调查比较了不同植被组合模式下地表节肢动物类群数量及其多样性,旨在探明地表土壤节肢动物多样性以及营养功能群对退化石灰岩山地不同植被恢复模式的响应,为深入了解石灰岩山地不同植被模式下地表节肢动物多样性维持机制,为皖北石灰岩山地植被恢复重建功效评价体系,以及石灰岩山地植被生态系统的生态恢复和生物多样性保育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于安徽省北部淮北市境内,属暖温带半湿润季风气候区,四季分明,气候温和。海拔 80—320 m,年均气温在 14.8 ℃,年平均无霜期 203 d,年平均相对湿度 71%,日照时数 2315.8 h,年均降水量 830 mm,主要集中在夏季(6—8 月),占全年总降水量的 60%以上^[11]。土壤类型主要为石灰土层及淋溶褐土。当地原生暖温带落叶阔叶林受人类干扰已不存在,现有植被主要有次生裸地上形成的次生灌丛或灌草丛,以及人工植被恢复林。研究区主要植被以构树(*Broussonetia papyrifera*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)为优势种的混交林,以牡荆(*Vitex negundo*)、酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)、苎草(*Arthraxon hispidus* (Thunb.) Makino)和金色狗尾草(*Setaria lauca* (L.) Beauv)等为优势种的灌丛或草灌丛^[11]。

1.2 样地设置及样品采集

选择 3 种典型的植被恢复类型作为样地分别为,Ⅰ:侧柏+构树混交林,优势种为人工建植侧柏和自然形成构树;Ⅱ:酸枣+牡荆灌丛,优势种为酸枣合肥牡荆;Ⅲ:苎草+牡荆草灌丛,草本层以苎草为优势种,灌丛牡荆占优势。

2018 年 5 月上旬,在每个植被群落中选取 3 个典型样地,每典型样地各选取 6 个样方,采用陷阱法调查地表节肢动物,具体方法参照相关文献^[4,17]。为确保每个调查点收集器统计学上独立性,其间距大于 15 m。节肢动物采样期内,每 6—8 d 检查一次收集器,整个采集期为 132 d,采集标本放于 75%酒精浸泡保存,在体视显微镜下进行分类鉴定和数量统计,将土壤动物鉴定到目、科,并按不同类群(科)进行计数。土壤动物标本鉴定参照有关工具书进行^[19-20],依据食性对土壤动物营养功能群进行划分^[21-22]。

1.3 数据分析方法

节肢动物类群的相对多度、丰富度、Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数、计算公式见文献^[23]。群落相似性分析,采用 Cody 指数、Sørensen 指数和 Bray-Curtis 距离指数计算土壤节肢动物群落的相似性^[24]。

将各样地内 6 个样点放置在一起形成 1 个样本数据,每典型样地为 3 个样本,进行分析石灰岩山地不同植被恢复类型间的类群多样性以及功能群组成的差异。为确保数据符合正态分布,对地表节肢动物均匀性指数、多样性指数和优势度指数进行 $\lg(1+x)$ 转化,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Tukey HSD 进行各植被恢复类型间相关数据分析。数据统计与分析采用 SPSS 21.0,制图采用 Sigmaplot 14.0。

2 结果与分析

2.1 植被群落类型对地表节肢动物群落组成的影响

植被恢复类型对土壤地表节肢动物群落组成及各纲、目和科类群相对多度产生重要影响(表 1)。本次调查样地共采集的地表节肢动物数量为 11601 只,属 5 纲 14 目 44 科。从纲、目的组成看,昆虫纲在石灰岩山地植被恢复群落有绝对优势,含 8 个目、37 个科。从目的类别看,优势类群为鞘翅目、直翅目和双翅目,分别含 8、7 和 6 个科,占总科数的 47.7%,而蛛形目、蜈蚣目、等足目、蝎目和带马陆目含有 1 科。在科级分类水平下,优势类群为潮虫科、金龟甲科、蚁科和蟋蟀科,分别占总数的 51.9%、9.86%、8.3%和 4.5%。钳蝎科、萤科、瓢甲科、丽蝇科、猎蝽科、蜚蠊科、漏斗蛛科和蚤蝇科数量所占比例很小,占总个体数的 0.5%都不到,为稀有类别。

2.2 植被群落类型对地表节肢动物群落分布的影响

皖北石灰岩山地地表节肢动物群落组成和数量在不同植被群落间也有差异(表 1)。酸枣+牡荆灌丛样地调查到地表节肢动物科类群数量最高,为 37 科,占有所有采集样的 84.1%,侧柏+构树混交林、苎草+牡荆草灌丛样地调查到节肢动物类群为 26 科和 35 科,分别占总类群数的 59.1%和 79.6%。酸枣+牡荆灌丛不仅含有最

高类群(目/科),而且具有最高的节肢动物数量(占全部总数的43.7%)。侧柏+构树混交林所含类群小,且调查到的节肢动物数量也仅占全部数量的28.2%。调查也发现不同植被群落间物种空间分布差异较大,直翅目、蛭蟥目、带马陆目和等足目物种分布较广,除直翅目锥头蝗科在侧柏+构树混交林未调查到外,其他类群在3个植被恢复群落均有发现,且等足目类群数量极为丰富,所含数量高达总数的51.9%。另外,不同植被恢复群落也有各自特有类群,如天牛科和虎甲科为侧柏+构树混交林特有类群,而丽蝇科、萤科分别为酸枣+牡荆灌丛和苕草+牡荆草灌丛的特有类群。

表1 植被类型对地表节肢动物群落组成及其相对多度的影响/%

Table 1 Effect of vegetation types to composition and relative abundance of ground-dwelling arthropod groups

类群(纲/目/科) Group (class/family)	功能群 Functional group	植被类型 Vegetation types		
		MFPB	SZV	GSAV
昆虫纲 Insecta		37.77	39.99	63.16
蜚蠊目 Blattaria		0.06	0.08	0.19
蜚蠊科 Blattidae	Om	0.06	0.08	0.19
膜翅目 Hymenoptera		10.10	7.35	10.46
胡蜂科 Vespidae	Ph		0.49	0.03
叶蜂科 Tenthredinidae	Ph		0.12	0.71
蜜蜂科 Apidae	Ph	0.24	0.14	0.28
蚁科 Formicidae	Om	9.86	6.60	9.44
半翅目 Hemiptera		2.63	1.47	7.09
土蝽科 Cydnidae	Om	1.99	0.59	2.85
猎蝽科 Reduviidae Latreille	Pr	0.37	0.02	
兜蝽科 Dimidiidae	Ph		0.16	0.46
臭蝽科 Cimicidae	Pr		0.06	0.31
缘蝽科 Coreidae	Ph	0.28	0.57	3.37
猎蝽科 Reduviidae	Pr		0.08	0.09
直翅目 Orthoptera		7.41	10.23	29.10
螽斯科 Tettigoniidae	Om	1.10	0.53	2.20
蟋蟀科 Gryllidae	Om	3.86	5.29	3.84
斑翅蝗科 Oedipodidae	Ph	0.37	2.94	4.83
斑腿蝗科 Catantopidae	Ph	1.62	0.49	7.93
剑角蝗科 Acrididae	Ph	0.09	0.24	1.61
锥头蝗科 Pyrgomorphidae	Ph		0.51	7.77
癞蝗科 Pamphagidae	Ph	0.37	0.24	0.93
革翅目 Dermaptera		2.91	2.70	2.79
蠼螋科 Labiduridae	Om	2.91	2.21	2.32
大尾蠼螋科 Pygidicidae	Om		0.49	0.46
双翅目 Diptera		4.78	3.45	3.56
蚊科 Culicidae	Pr	0.12	0.06	
丽蝇科 Calliphoridae	De		0.18	
蚤蝇科 Phoridae	De			0.56
蝇科 Muscidae	De	4.65	3.21	3.00
鞘翅目 Coleoptera		8.85	13.71	9.26
金龟甲科 Scarabacidae	Om	7.44	12.87	7.55
步甲科 Carabidae	Pr	0.43	0.57	0.59
瓢甲科 Coccinellidae	Pr			0.80
天牛科 Cerambycidae	Ph	0.37		
虎甲科 Cicindelidae	Pr	0.61		

续表				
类群(纲/目/科) Group (class/family)	功能群 Functional group	植被类型 Vegetation types		
		MFPB	SZV	GSAV
萤科 Lampyridae	Pr			0.06
锹甲科 Lucanidae	De		0.06	0.09
拟步甲科 Tenebrionidae	Ph		0.22	0.15
鳞翅目 Lepidoptera		1.04	1.00	0.71
夜蛾科 Noctuidae	Ph	0.73	0.59	0.25
尺蛾科(幼虫) Geometridae	Ph		0.12	0.46
螟蛾科 Pyralidae	Ph	0.31	0.29	
唇足纲 Chilopoda		0.67	0.24	0.31
蚰蜒目 Scutigerae		0.67	0.24	0.31
蚰蜒科 Scutigerae	Pr	0.67	0.24	0.31
蜘蛛纲 Arachnida		0.09	0.71	0.43
蜘蛛目 Araneae		0.09	0.71	0.43
漏斗蛛科 Agelenidae	Pr	0.09	0.22	0.15
狼蛛科 Lycosodae	Pr		0.49	0.28
倍足纲 Diplopoda		2.08	0.69	1.36
带马陆目 Polydesmida		2.08	0.69	1.36
条马陆科 Paradoxosomatidae	S	2.08	0.69	1.36
甲壳纲 Crustacea		59.38	58.39	34.74
等足目 Isopoda		59.14	58.25	34.46
潮虫科 Oniscidae	De	59.14	58.25	34.46
蜈蚣目 Scolopendridae		0.24	0.02	
蜈蚣科 Scolopendridae	Pr	0.24	0.02	
蝎目 Scorpiones	Om		0.12	0.28
钳蝎科 Buthidae	Pr		0.12	0.28
总类群数/科 Total fauna/family		26	37	35
总个体数 Total individuals		3267	5070	3217

Ph: 植食性 Phytophagous group; Pr: 捕食性 Predatory group; Om: 杂食性 Omnivorous group; De: 腐食性 Detritivore; MFPB:侧柏+构树混交林, mixed forest of *P. orientalis* and *B. papyrifera*; SZV:酸枣+牡荆灌丛, shrub of *Z. jujuba* var. *spinosa* and *V. negundo* var. *cannabifolia*; GSAV:苣荬草+牡荆草灌丛, grass-shrub of *A. hispidus* (Thunb.) Makino and *V. negundo* var. *cannabifolia*

2.3 植被群落类型对地表节肢动物群落多样性和相似性的影响

植被恢复群落类型能够显著改变节肢动物群落类群的丰富度和 Shannon-Wiener 指数,但均匀度和优势度指数未受到明显影响(表 2)。不同恢复群落间地表节肢动物的类群丰富度表现为,酸枣+牡荆灌丛>苣荬草+牡荆草灌丛>侧柏+构树混交林,而 Shannon-Wiener 指数表现为,苣荬草+牡荆草灌丛>酸枣+牡荆灌丛>侧柏+构树混交林,且之间差异显著($P<0.05$)。均匀度和优势度指数在 3 个群落间没有呈现显著差异($P>0.05$)。

表 2 植被恢复类型对地表节肢动物多样性的影响
Table 2 Effect of vegetation types to diversity of ground-dwelling arthropod

植被类型 Vegetation types	丰富度/科 Richness	均匀性指数 Evenness index	多样性指数 Diversity index	优势度指数 Dominance index
MFPB	11.1±4.05c	0.53±0.01	1.28±0.18c	0.52±0.01
SZV	19.6±6.41a	0.47±0.02	1.47±0.32b	0.49±0.01
GSAV	17.7±4.12b	0.56±0.01	1.56±0.13a	0.45±0.01

不同植被类型间不含相同字母表示差异显著($P<0.05$)

石灰岩山地地表节肢动物群落相似性受植被类型的影响见表 3。酸枣+牡荆灌丛和苣荬草+牡荆草灌丛 Sørensen 多样性值较高,而侧柏+构树混交林和苣荬草+牡荆草灌丛间其值较低。Cody 值则呈现出不同的特点,

侧柏+构树混交林和酸枣+牡荆灌丛之间达到最高,而最低值出现在侧柏+构树混交林和苎草+牡荆草灌丛之间。不同植被恢复群落之间 Bray-Curtis 距离系数表现的趋势与 Sørensen 极为接近,其最大值和最小值也分别出现在酸枣+牡荆灌丛和苎草+牡荆草灌丛,以及侧柏+构树混交林和苎草+牡荆草灌丛之间。

表 3 植被恢复类型对地表节肢动物群落相似性的影响

指标 Index	植被类型 Vegetation types	MFPB	SZV	GSAV
Sørensen 指数	MFPB	1		
Sørensen indices	SZV	0.76	1	
	GSAV	0.62	0.89	1
Cody 指数	MFPB	1		
Cody indices	SZV	7.5	1	
	GSAV	11.5	4	1
Bray-Curtis 指数	MFPB	1		
Bray-Curtis indices	SZV	0.29	1	
	GSAV	0.31	0.41	1

2.4 地表节肢动物群落多样性和相似性

该石灰岩山地退化生态系统 3 种植被恢复群落类型中,土壤动物各个营养功能群科类群数有显著差异 ($P < 0.05$) (图 1)。酸枣+牡荆灌丛、苎草+牡荆草灌丛所含杂食性和植食性科类群数显著高于侧柏+构树混交林($P < 0.05$),捕食性类群数在侧柏+构树混交林与苎草+牡荆草灌丛之间未发现明显差异($P > 0.05$)。不同营养功能群之间,植食性地表节肢动物在 3 种植被恢复群落间均占优势地位。植食性主要以昆虫纲直翅目、鳞翅目和膜翅目等组成,按其类群数所占比例来看,酸枣+牡荆灌丛(37.84%)>苎草+牡荆草灌丛(27.03%)>侧柏+构树混交林(43.48%)。蛛形纲蜘蛛目下狼蛛科和漏斗蛛科,鞘翅目下的步甲科、瓢甲科及半翅目下的猎蝽科、猎蝽科构成了捕食性功能群主要的主要组分,其功能群丰富度比例表现为,酸枣+牡荆灌丛(31.77%)>侧柏+构树混交林(41.38%)>苎草+牡荆草灌丛(39.13%)。杂食性功能群所占比例与捕食性较为接近,其主要类群主要以革翅目和蜚蠊目为主。腐食性功能群所占比最小,3 个群落间所占比重均不到总类群数的 15%,主要带马陆目和等足目以及部分双翅目昆虫为主。

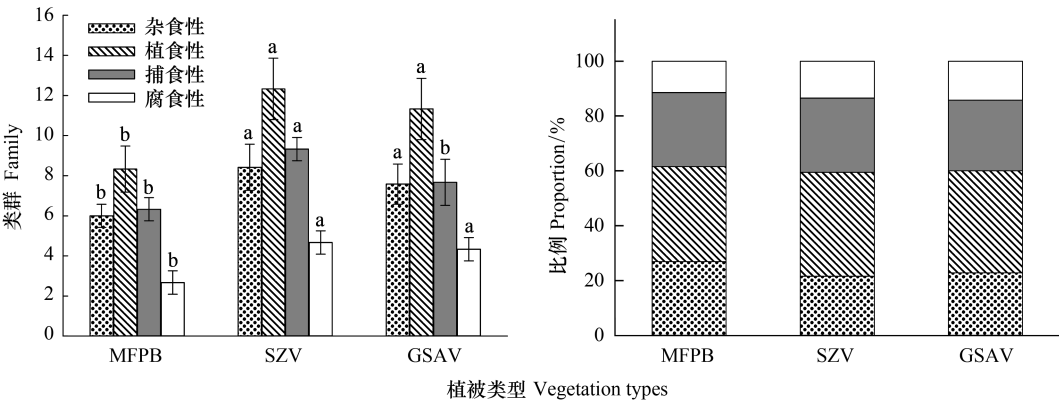


图 1 植被类型对地表节肢动物功能群组成

Fig.1 Effect of vegetation types to composition of functional group of ground-dwelling arthropods

MFPB:侧柏+构树混交林, mixed forest of *P. orientalis* and *B. papyrifera*; SZV:酸枣+牡荆灌丛, shrub of *Z. jujuba* var. *spinosa* and *V. negundo* var. *cannabifolia*; GSAV:苎草+牡荆草灌丛, grass-shrub of *A. hispidus* (Thunb.) Makino and *V. negundo* var. *cannabifolia*

3 结论与讨论

石灰岩山地不同植被恢复类型下地表节肢动物群落的组成、多样性及其营养功能群有显著不同,这与石灰岩山地地貌特征及不同植被恢复类型形成的植被群落组成、数量以及可提供的食物资源和栖息微生境异质性有密切关系。植被的根茎叶作为地表节肢动物的营养源,能给土壤节肢动物提供不同生长时期所需养分,很多节肢动物的生长发育、搜寻和捕食等行为均受食物来源和栖息环境的制约^[25-26]。研究表明植物群落组成、结构、盖度、生物量以及物候差异所引起的时间生态位分化,均会导致所能提供的营养和能量时空动态变异,进而影响节肢动物生活史及其生殖能力,促使其类群数量和组成改变,体现到群落水平,就会形成不同植物群落节肢动物种类组成及数量分异^[4,27]。本研究中侧柏+构树混交林群落主要以高位芽乔木为主,林下草本、灌木层植物种类较少,盖度较低,群落结构简单,为钻蛀性(以鞘翅目为主)植食性昆虫的生长提供了食物和栖息条件,而且构树中含有的糖也有助于天牛的繁殖和种群数量增加^[28],这为天牛科成为该群落特有类群创造了有利条件。研究发现等足目潮虫科类群在3个群落类型中数量均很高,这与石灰岩山地独特地表空间结构形成的潮湿微生境有关^[29],基岩间的缝隙、裂缝和碎石间孔,加上地表枯枝腐叶的遮盖,极易形成局部潮湿的微生境,给多以枯枝落叶为食的潮虫科类群提供了丰富的食物资源和适宜生境。

除植被群落特性外,地表节肢动物组成、种类与营养功能群也会受植被群落土壤理化特性的制约^[6,26-27]。不同的植被群落组成和结构差异以及叶片内部结构的不同,均可导致其冠层结构、郁闭度,根茎生长,地表凋落物存量、组成和分解速率等存有一定程度的不同,这必将引起土壤表层土壤水分和有机质含量的变异^[30-31]。有研究发现土壤水分含量在一定程度上也能影响地表节肢动物个体和类群数量,土壤动物类群数、丰富度和多样性指数与土壤含水量呈负相关,并在科尔沁沙地和拉萨半干旱河谷地区得到进一步验证^[4,32]。但在降水量比较充沛地区,土壤水分含量不在是限制地表节肢动物的数量分布的因子^[23]。本研究区地处大陆性气候与湿润气候间季风气候,年均降水量850 mm以上,不同植被群落间土壤动物类群数量、结构和分布可能受土壤水分含量对的影响,应针对不同节肢动物类群和发育阶段,进行分类和区别化对待,不能一概而论。凋落物分解是土壤有机质的主要来源,土壤动物在其分解过程中发挥重要作用,影响着土壤有机质的转化、腐殖质的形成,其类群丰富度和多样性有机质含量与密切相关^[33]。有研究发现土壤有机质含量与大型土壤个体密度、多样性指数和动物丰富度呈正相关^[34-35],本研究中苘草+牡荆草灌丛和酸枣+牡荆灌丛群落地表节肢动物 Shannon-Wiener 指数均显著高于侧柏+构树混交林和样地,与这2种群落类型地表植被丰富、草灌植物茎叶积累的凋落物量多有关,凋落物种类及其数量可能是石灰岩山地植被恢复群落地表节肢动物种类和数的关键因子。

本研究发现酸枣+牡荆灌丛和苘草+牡荆草灌丛间 Sørensen 指数最高,侧柏+构树混交林和苘草+牡荆草灌丛间 Bray-Curtis 距离系数值最低。说明皖北石灰岩山地地表节肢动物类群组成相似性差异最大出现在酸枣+牡荆灌丛和苘草+牡荆草灌丛间,同时也表明植被恢复进程中,植物种类组成、结构、生活型谱和层片结构及其对特定综合生境条件的适应而形成不同资源(如水分、养分、热量)分配策略,导致土壤节肢动物类群组成和数量在不同植被恢复群落间的差异。Cody 指数是对不同环境梯度间生物类群多样性的测度,可反映样带间土壤动物类群组成沿环境梯度的替代速率,能揭示物种在环境梯度下被分割的程度^[36]。本研究中,因人为干扰及石灰岩地形和生境所形成的不同植被群落恢复群落间植物类群组成、数量以及分布,导致不同植被恢复群落间环境与资源空间分布的异质性增加,均会对群落内地表节肢动物类群分布产生限制性影响,群落中有些节肢动物类型逐渐被替代,进而最终致使石灰岩山山地不同植被群群落恢复间 Cody 值呈现变异。

本研究将地表节肢动物类群结构、组成和营养功能群应用到人为干扰和生境地貌综合影响下不同植被恢复群落形成的资源与环境异质性响应中。皖北石灰岩山地退化生态系统土壤节肢动物群落组成、结构和多样性变化不仅是对石灰岩生境(包括地貌、地形、土壤等)以及不同植被恢复形成的植被群落组成、数量和结构以及可提供的食物资源和栖息微生境的积极响应,同时也是植物恢复群落组成和功能异质性驱动下土壤水热

环境与资源要素影响制约的结果。因此,以地表节肢动物可作为有效指示生物对石灰岩退化生态系统植被恢复进行评价。

参考文献 (References):

- [1] Li Y Y, Chen Y Q, Xu C, Xu H M, Zou X M, Chen H Y H, Ruan H H. The abundance and community structure of soil arthropods in reclaimed coastal saline soil of managed poplar plantations. *Geoderma*, 2018, 327: 130-137.
- [2] Andreadis S S, Witzgall P, Becher P G. Survey of arthropod assemblages responding to live yeasts in an organic apple orchard. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2015, 3: 121.
- [3] Longcore T. Terrestrial arthropods as indicators of ecological restoration success in Coastal Sage Scrub (California, U.S.A.). *Restoration Ecology*, 2003, 11(4): 397-409.
- [4] 臧建成, 孙涛, 洪大伟, 杨小林. 拉萨半干旱河谷植被对地表节肢动物多样性的影响. *生态学报*, 2018, 38(22): 8205-8212.
- [5] Jamshidian M K, Saboori A, Akrami M A, van Straalen N M. Oribatid mite communities in contaminated soils nearby a lead and zinc smelting plant in Zanjan, Iran. *Systematic and Applied Acarology*, 2015, 20(3): 251-262.
- [6] 刘继亮, 赵文智, 李锋瑞, 潘成臣. 人工固沙植被恢复对地表节肢动物群落组成及多样性的影响. *生态学报*, 2018, 38(4): 1357-1365.
- [7] Dunbar M W, Gassmann A J, O'Neal M E. Impacts of rotation schemes on ground-dwelling beneficial arthropods. *Environmental Entomology*, 2016, 45(5): 1154-1160.
- [8] 刘满强, 胡锋, 李辉信, 陈小云, 何圆球. 退化红壤不同人工林恢复下土壤节肢动物群落特征. *生态学报*, 2002, 22(1): 54-61.
- [9] 孙涛, 刘艺杉, 孙崇玉, 郑爱辉. 石灰岩山地植被恢复对土壤水稳性团聚体的影响. *草业科学*, 2018, 35(6): 1361-1367.
- [10] Liu C L, Wu Y Z, Liu Q J. Effects of land use on spatial patterns of soil properties in a rocky mountain area of Northern China. *Arabian Journal of Geosciences*, 2015, 8(2): 1181-1194.
- [11] 刘晓丽, 张孝春, 刘艺杉, 张蔚然, 孙涛. 皖北石灰岩山地不同植被恢复模式对植物群落物种组成及多样性的影响. *草业科学*, 2020, 37(5): 845-852.
- [12] Wu Y B, Hong W J, Chen Y H. Leaf physiological and anatomical characteristics of two indicator species in the limestone region of southern China under drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, 2018, 50(4): 1335-1342.
- [13] Niu X, Gao P, Li Y X, Li X. Impact of different afforestation systems on soil organic carbon distribution characteristics of Limestone Mountains. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2015, 24(6): 2543-2552.
- [14] 李晓玲. 淮北石质山场森林生态网络多目标经营的探索. *农业与技术*, 2020, 40(13): 64-67.
- [14] 邵水仙, 董智, 李红丽, 张钦敬, 许婷婷. 不同造林模式对退化石灰岩山地土壤理化性质及水文效应的影响. *水土保持学报*, 2015, 29(1): 263-267.
- [16] Al Harthy L, Grenyer R. Classification and ordination of the main plant communities of the Eastern Hajar Mountains, Oman. *Journal of Arid Environments*, 2019, 169: 1-18.
- [17] Hu Z H, Yang Y, Leng P S, Dou D Q, Zhang B, Hou B F. Characteristics of soil seed bank in plantation forest in the rocky mountain region of Beijing, China. *Journal of Forestry Research*, 2013, 24(1): 91-97.
- [18] van Straalen N M, Rijninks P C. The efficiency of Tullgren apparatus with respect to interpreting seasonal changes in age structure of soil arthropod populations. *Pedobiologia*, 1982, 24: 197-209.
- [19] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
- [20] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 2000.
- [21] Yang X D, Chen J. Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 910-918.
- [22] 李萌, 吴鹏飞, 王永. 贡嘎山东坡典型植被类型土壤动物群落特征. *生态学报*, 2015, 35(7): 2295-2307.
- [23] Krebs C J. *Ecological Methodology*. 2nd ed. Menlo Park, CA, USA: Benjamin Cummings, 1999.
- [24] 龚玉梅, 时项峰, 王新谱. 宁夏沙边子的土壤动物多样性. *林业科学*, 2009, 45(9): 163-168.
- [25] 汪庚伟, 田俊策, 朱平阳, 郑许松, 徐红星, 杨亚军, 吕仲贤. 蜜源食物对节肢动物天敌寿命、繁殖力和控害能力的影响. *昆虫学报*, 2014, 57(8): 979-990.
- [26] 邵珍珍, 吴鹏飞. 小型表栖节肢动物群落对高寒湿地退化的响应. *生态学报*, 2019, 39(19): 6990-7001.
- [27] 刘继亮, 李锋瑞. 干旱区绿洲扩张方式对土壤生物优势类群及功能的影响. *生物多样性*, 2018, 26(10): 1116-1126.
- [28] 高瑞桐, 刘传银, 卢永农, 徐邦新, 邓儒继. 桑天牛喜以构树、桑树为补充营养的原因及其应用的初步研究. *林业科学*, 1994, 30(4): 376-380.
- [29] Maleque M A, Maeto K, Ishii H T. Arthropods as bioindicators of sustainable forest management, with a focus on plantation forests. *Applied Entomology and Zoology*, 2009, 44(1): 1-11.
- [30] 孙涛, 陈强, 张兴义. 东北黑土区耕作措施对地表节肢动物多样性的影响. *昆虫学报*, 2014, 57(1): 74-80.
- [31] 潘颜霞, 王新平. 荒漠人工植被区浅层土壤水分空间变化特征分析. *中国沙漠*, 2007, 27(2): 250-256.
- [32] 赵哈林, 刘任涛, 周瑞莲. 科尔沁沙地土地利用变化对大型土壤节肢动物群落影响. *土壤学报*, 2013, 50(2): 413-418.
- [33] 聂立凯, 于政达, 孔范龙, 李悦, 郝敏. 土壤动物对土壤碳循环的影响研究进展. *生态学杂志*, 2019, 38(3): 882-890.
- [34] 林英华, 朱平, 张夫道, 彭畅, 高洪军, 刘淑环. 吉林黑土区不同施肥处理对农田土壤昆虫的影响. *生态学报*, 2006, 26(4): 1122-1130.
- [35] 张雪萍, 崔国发, 陈鹏. 人工落叶松林土壤动物生物量的研究. *应用生态学报*, 1996, 7(2): 150-154.
- [36] Koleff P, Gaston K J. Latitudinal gradients in diversity: real patterns and random models. *Ecography*, 2001, 24(3): 341-351.