

DOI: 10.5846/stxb201801200157

陈 汧, 金道超, 陈航, 王鹏举, 周政, 林丹丹. 强度石漠化区不同植被修复模式下土壤螨类群落差异. 生态学报, 2018, 38(19): - .

Chen H, Jin D C, Chen H, Wang P J, Zhou Z, Lin D D. Differences in soil mite communities under different modes of vegetation restoration in an intense rocky desertification area, Guizhou, China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(19): - .

强度石漠化区不同植被修复模式下土壤螨类群落差异

陈 汧^{1,2}, 金道超^{1,*}, 陈 航², 王鹏举², 周 政², 林丹丹²

1 贵州大学昆虫研究所, 贵州大学昆虫资源开发利用省级特色重点实验室, 贵阳 550025

2 贵州师范大学喀斯特研究院/国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵阳 550001

摘要: 石漠化治理区不同植被修复模式下的土壤螨类群落差异反映了生态系统的恢复状况, 可籍以反映石漠化治理的生态效果。2014 年 1 月、4 月、8 月和 10 月, 对贵州花江喀斯特峡谷区顶坛小流域强度石漠化区域的“花椒”、“金银花”、“花椒+金银花”3 种植被修复生境的土壤螨类进行了调查, 共捕获土壤螨类 1372 头, 隶属 3 目 55 科 89 属。采用类群(属)数、个体数量、个体密度、多样性指数(H')、丰富度指数(SR)、均匀性指数(J)、相似性指数(C_N)、捕食性螨类成熟度指数(MI)和甲螨 MGP 类群等参数对土壤螨类群落差异进行了表征。结果显示, 花椒林拥有较丰富的螨类属, 金银花林拥有较高的个体数量和个体密度。不同模式下的科、属类群组成呈现差异; 属数、个体数量存在一定的季节差异, 花椒林的螨类属数、金银花林的螨类个体数量和个体密度呈现一定的表聚性; 群落多样性大多存在季节差异; 捕食性革螨以 r 选择型为主, 甲螨主要为 O 型和 M 型。研究表明, 强度石漠化在不同植被修复模式下, 土壤螨类生物生态类群存在差异, 土壤生态系统仍处于修复之中, 其中螨类优势属、具有典型生物学与生态学特性差异的螨类类群对石漠化治理的生态效果具有重要的指示作用。

关键词: 土壤螨类; 群落差异; 生态修复; 强度石漠化

Differences in soil mite communities under different modes of vegetation restoration in an intense rocky desertification area, Guizhou, China

CHEN Hu^{1,2}, JIN Daochao^{1,*}, CHEN Hang², WANG Pengju², ZHOU Zheng², LIN Dandan²

1 Institute Entomology Guizhou University; The Provincial Special Key Laboratory for Development and Utilization of Insect Resources, Guizhou University, Guiyang 550025, China

2 School of Karst Science, Guizhou Normal University / State Engineering Technology Institute for Karst Rocky Desertification Control; The State Key Laboratory Incubation Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang 550001, China

Abstract: Differences in soil mite communities among different vegetation restoration modes under rocky desertification control reflect the ecosystem restoration status and ecological effects of different rocky desertification control strategies. During January, April, August, and October 2014, a total of 1,372 soil mites belonging to 3 orders, 55 families, and 89 genera were captured from three kinds of vegetation restoration habitats, Chinese prickly ash (*Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensi*), honeysuckle (*Lonicera japonica*), and Chinese prickly ash + honeysuckle, in an intense rocky desertification area in the Dingtang small watershed in Huajiang Karst canyon, Guizhou Province. The number of genera, number of individuals, individual density, diversity index, richness index, evenness index, similarity index, maturity index, and oribatid mite community structure analysis were used to characterize the differences among soil mite communities. The results showed that the mite genera of Chinese prickly ash forest were rich, the individual mite number and density in the

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0502601); 贵州省科技创新人才团队项目(20144001); 农业昆虫与害虫防治贵州省研究生卓越人才计划(2013-010); 国家重点科技支撑计划课题(2011BAC09B01)

收稿日期: 2018-01-20; 修订日期: 2018-06-23

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

honeysuckle forest were high, and the composition of families and genera were different among the three restoration modes. The genera numbers and individual numbers were different at each sampling time; in particular, the number of mite genera in Chinese prickly ash forests and the individual mite number and density in honeysuckle forests showed surface-aggregations. The community diversity showed seasonal differences. Predatory mites (Gamasina) were r-selected, whereas oribatid mites were mainly O and M-type. In conclusion, the bio-ecological groups of soil mites were different among different modes of vegetation restoration, and the soil ecosystem of the investigated area was still in the restoration process. Meanwhile, the dominant genera of soil mites and groups of typical biological and ecological characteristics could indicate the effect of ecological restoration in rocky desertification control.

Key Words: soil mites; community difference; ecological restoration; intense rocky desertification

为有效遏制石漠化的进一步加剧,促进区域生态的快速修复和农林经济的快速发展,石漠化生态修复一直是石漠化治理面临的关键问题^[1]。自 21 世纪初以来,在以中-强度石漠化为主的贵州花江峡谷喀斯特区石漠化综合治理中,实施了“花椒(顶坛花椒, *Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensi*)^[2]”、“金银花(*Lonicera japonica*)”、“花椒+金银花”、“花椒+砂仁(*Amomum villosum*)”、“石榴(*Punica granatum*)”、“任豆(*Zenia insignis*)”等不同植被修复模式,这些模式在植被生态适宜性、生态效益、经济效益和社会效益上有较好效果^[3-6]。2010—2012 年的监测显示,该区以土壤动物反映的生态效果也十分良好,同时显示土壤螨类是土壤动物的优势类群^[7-8]。

国内外的研究表明,森林火烧、植被砍伐、土壤污染和土地利用变化会改变土壤螨类的原有结构,降低物种丰富度和多样性^[9-13],而受损生态系统的恢复又使土壤螨类呈不同程度地增加,且不同地貌区域不同植被修复方式下的土壤螨类科属组成有所差异^[14-18]。本研究选择贵州花江峡谷区顶坛小流域强度石漠化治理区作为研究区,对研究区内“花椒林”、“金银花林”、“花椒+金银花林”3 种植被修复模式下的土壤螨类群落变化进行了对比研究,以揭示不同植被修复模式下的土壤螨类群落差异与生态恢复进展,为区域石漠化生态治理效益的后续评估提供土壤生物对比参数。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

顶坛小流域面积 1641.01 hm²,地理位置为 105°38′48″—105°39′7.98″E, 25°38′22.08″—25°39′50.88″N, 海拔 500—1200 m,夏季多持续高温,年均温 18.4℃,年降水量 1100 mm,无霜期 300 d 以上,土壤为黄壤和石灰土,土层厚度一般为 5—20 cm。生态治理前石漠化面积达 726.63 hm²,其中中强度石漠化面积占石漠化总面积的 80.68%^[5]。在强度石漠化区,主要野生植物有石岩枫(*Mallotus repandus*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、蒿草(*Artemisia* sp.)、荩草(*Arthraxon hispidus*)等,植被类型为稀疏灌草。

金银花、花椒是该区域最为适生的经济植物,是实施经济植物修复中使用的主要物种。在该小流域内实施的多种经济植物修复模式中,“花椒”、“金银花”、“花椒+金银花”模式维持时间长:花椒 10 年,金银花 5 年。

1.2 样地设置与样品采集

以强度石漠化生态修复区作为研究样区,在样区内分别选择花椒林、金银花林和花椒+金银花林作为样地,在各样地内地势相对平缓区域分别设置(1—2m)×(1—2 m)样方,每样地设置样方 6 个,相同样地的样方比邻以确保样方土壤质地的相对一致性,每个样方每期设 1 个不重复样点。

2014 年 1 月、4 月、8 月和 10 月,在样方内按期(季)采集土样样品,每期每样点采用 10 cm×6.4 cm 的圆筒形不锈钢土壤环刀连续上(0—6.4 cm)、下(6.4—12.8 cm)层采集土壤样品 2 个,共采集样品 136 个。所有样品分别用棉布袋分装并编号后带回室内分离土壤动物。

1.3 螨类标本的收集与鉴定

螨类标本的收集:供试土壤采用 Tullgren 法分离土壤动物,分离时温度保持在 35℃ 以下,连续烘烤 48 h。然后将盛有土壤动物的培养皿置于显微镜下,用小毛笔和软镊再将土壤螨类从土壤动物中分离,并对分离出来的标本用 70%酒精固定和清洗,清洗后的螨类标本保存于盛有乳酸溶液的小塑料管中进行透明。

螨类标本的鉴定:将透明后的螨类标本制作装片后置于显微镜下,主要参考《A Manual of Acarology》(Third Edition)^[19]、《蜱螨学》^[20]、《中国土壤动物图鉴》^[21]、《中国东北土壤革螨》^[22]和《中国粉螨概论》^[23]等进行鉴定,所有标本鉴定到属级单元(若螨和体型不完整标本除外)。文中螨类分类阶元主要采用《A Manual of Acarology》(Third Edition)^[19]的分类系统。

1.4 数据处理

数量优势度:按郑祥等^[24]的方法进行划分,即个体数占总捕获量的百分比,>10%为优势类群(+++),1%—10%为常见类群(++),<1%为稀有类群(+)。

Shannon-Winner 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(SR)和 Pielou 均匀度指数(J)^[25]:

$$H' = -\sum (P_i \times \ln P_i)$$

式中, P_i 为属 i 的个体数占全部个体数的比例;

$$SR = (S-1) / \ln N$$

式中, N 为土壤螨类群落全部类群的个体总数;

$$J = H' / \ln S$$

式中, H' 为 Shannon-Winner 多样性指数, S 为属数。

Bray-Curtis 相似性指数(C_N)^[26]:

$$C_N = 2jN / (N_a + N_b)$$

式中, N_a 、 N_b 分别为样地 A_j 、 B_j 的总个体数, $2jN$ 为每个种在两个样地都存在的较低多度值之和。相似性划分见表 1。

表 1 群落相似性划分

Table 1 Community similarity assigned to predatory soil mites (Gamasina)

相似性 Similarity	Bray-Curtis 相似性指数值 Bray-Curtis similarity Index value (C_N)	相似性 Similarity	Bray-Curtis 相似性指数值 Bray-Curtis similarity Index value (C_N)
极相似 Much similar	$0.75 \leq C_N < 1.00$	中等不相似 Medium dissimilar	$0.25 \leq C_N < 0.50$
中等相似 Medium similar	$0.5 \leq C_N < 0.75$	极不相似 Much dissimilar	$0.00 < C_N < 0.25$

捕食性螨类成熟度指数(MI)^[13,27]:

$$MI = \frac{\sum_{i=1}^s K_i}{\sum_{i=1}^s K_i + \sum_{i=1}^s r_i}$$

式中, s 为土壤螨群落革螨类属数, K_i 为第 i 属所属科的 K 值, r_i 为第 i 属所属科的 r 值。

甲螨 MGP 分析^[28-29]:M,大孔低等甲螨(Macropylina);G,无翅坚背甲螨(Gymnonota);P,有翅孔背甲螨(Poronota)。分别计算各类群种类数百分比进行 MGP I 分析和各类群个体数百分比进行 MGP II 分析。群落类型划分见表 2。

数据分析在 Excel 2007 和 SPSS 19 中完成,群落差异通过方差分析(ANOVA),差异显著性水平取 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 螨类组成差异

对 3 种植被模式下的土壤螨类调查,共捕获土壤螨类 1372 头,隶属 3 目 55 科 89 属。其中,中气目

(Mesostigmata) 13 科 21 属, 绒螨目 (Trombidiformes) 6 科 6 属, 疥螨目 (Sarcoptiformes) 36 科 62 属。土壤螨类在各生境的分布为花椒林 3 目 44 科 66 属, 金银花林 2 目 31 科 50 属, 花椒+金银花林 3 目 41 科 56 属(表 3)。螨类属数由多到少的排序为花椒林、花椒+金银花林、金银花林。

表 2 甲螨群落类型划分

Table 2 Community types assigned to soil mites (Oribatida)			
群落类型 Community types	甲螨类群取值范围(百分比) Value range of oribatid mite groups	群落类型 Community types	甲螨类群取值范围(百分比) Value range of oribatid mite groups
M 型 M type	M>50%	MG 型 MG type	M, G=20%—50%, P<20%
G 型 G type	G>50%	GP 型 GP type	G, P=20%—50%, M<20%
P 型 P type	P>50%	MP 型 MP type	M, P=20%—50%, G<20%
O 型 O type	20%<M, G, P<50%		

M: 大孔低等甲螨, Macropylina; G: 无翅坚背甲螨, Gymnionota; P: 有翅孔背甲螨, Poronota; O: 全部, Overall; MG: 大孔低等—无翅坚背甲螨, Macropylina-Gymnionota; GP: 无翅坚背—有翅孔背甲螨, Gymnionota-Poronota; MP: 大孔低等—有翅孔背甲螨, Macropylina-Poronota

数量优势度方面, 花椒林有 3 个优势属: 懒甲螨属 (*Nothrus*)、盖头甲螨属 (*Tectocephus*) 和合若甲螨属 (*Zygoribatula*) (表 3), 优势属、常见属和稀见属的百分组成为 4.55%、24.24% 和 71.21%; 金银花林有 2 个优势属: 罗甲螨属 (*Lohmannia*) 和懒甲螨属, 优势属、常见属和稀见属的百分组成为 4.00%、36.00% 和 60.00%; 花椒+金银花林的优势属是懒甲螨属, 优势属、常见属和稀见属的百分组成为 1.79%、41.07% 和 57.14%。显见, 懒甲螨属是 3 种模式下共同的优势属, 不同模式下的优势属类群组成存在差异, 优势属、稀见属的百分组成按花椒林、金银花林、花椒+金银花林顺序逐渐减少, 而常见属的百分组成则按此顺序增加。

2.2 多属科、优势科的差异

不同模式下除科数上的差异外, 从 5 个多属科即厉螨科 (*Laelapidae*)、罗甲螨科 (*Lohmanniidae*)、奥甲螨科 (*Oppiidae*)、单翼甲螨科 (*Haplozetidae*) 和大翼甲螨科 (*Galumnidae*) 组成属数上看, 花椒林分布有 21 属, 金银花林分布有 19 属, 花椒+金银花林分布有 15 属, 显示了不同模式下多属科在属数组成上的差异(表 3)。在科的个体数量上, 盖头甲螨科 (*Tectocephidae*)、懒甲螨科 (*Nothridae*) 和若甲螨科 (*Oribatulidae*) 是花椒林的优势科, 罗甲螨科和懒甲螨科是金银花林的优势科, 单翼甲螨科和懒甲螨科是花椒+金银花林的优势科, 显示了不同模式下优势科的差异。

2.3 属的差异

从表 3 还看出, 不同模式下的螨类属, 除了优势属的差异外, 3 种模式下的共有属有 29 属; 花椒林和金银花林有共有属 35 属, 花椒林和花椒+金银花林有共有属 40 属, 金银花林和花椒+金银花林有共有属 35 属, 无论是 3 种模式还是两两模式对比, 共有属的比例均<50%, 显示不同模式间螨类属数组成的差异较大。分布于各模式单一生境的不同螨类有 35 属, 包括花椒林的 18 属、金银花林的 8 属和花椒+金银花林的 9 属, 其中花椒林螨类属数和个体数量均以无翅坚背甲螨、有翅孔背甲螨和革螨 (*Gamasina*) 占优势; 金银花林的大孔低等甲螨、无翅坚背甲螨和革螨各属数虽占优势但各属数相差不大, 个体数量则以大孔低等甲螨占优势; 花椒+金银花林的螨类属数以革螨和尾足螨 (*Uropodina*) 略占优势, 个体数量上以革螨占优势。

表 3 土壤螨类群落组成

Table 3 Community compositions of soil mites under different vegetation modes				
属 Genus	Z.	L.	Z. + L.	合计 Total
	个体数(优势度) Ind.(Dom.)	个体数(优势度) Ind.(Dom.)	个体数(优势度) Ind.(Dom.)	个体数(优势度) Ind.(Dom.)
糙尾足螨属 <i>Trachyuropoda</i>			1(+)	1(+)
内特螨属 <i>Nenteria</i>			1(+)	1(+)
二爪螨属 <i>Dinychus</i>			1(+)	1(+)
新革螨属 <i>Neogamasus</i>			8(++)	8(+)

续表

属 Genus	Z.	L.	Z. + L.	合计 Total
	个体数(优势度)	个体数(优势度)	个体数(优势度)	个体数(优势度)
	Ind.(Dom.)	Ind.(Dom.)	Ind.(Dom.)	Ind.(Dom.)
寄螨属 <i>Parasitus</i>	3(+)	1(+)	15(++)	19(++)
常革螨属 <i>Vulgarogamasus</i>		2(+)		2(+)
维螨属 <i>Veigaia</i>		2(+)		2(+)
胭螨属 <i>Rhodacarus</i>			1(+)	1(+)
革伊螨属 <i>Gamasiphis</i>	4(+)		8(++)	12(+)
卡盾螨属 <i>Krantzholaspis</i>			3(+)	3(+)
派伦满属 <i>Parholaspulus</i>	1(+)	2(+)	17(++)	20(++)
厚厉螨属 <i>Pachylaelaps</i>	1(+)		2(+)	3(+)
囊螨属 <i>Asca</i>	3(+)		3(+)	6(+)
钝绥螨属 <i>Amblyseius</i>	23(++)	1(+)	3(+)	27(++)
手绥螨属 <i>Cheiroseius</i>	1(+)	2(+)	1(+)	4(+)
毛绥螨属 <i>Lasioseius</i>	1(+)			1(+)
鞘厉螨属 <i>Coleolaelops</i>	1(+)			1(+)
殖厉螨属 <i>Geolaelaps</i>	1(+)	2(+)	16(++)	19(++)
广厉螨属 <i>Gosmolaelaps</i>	1(+)			1(+)
厉螨属 <i>Laelaspis</i>	4(+)			4(+)
土厉螨属 <i>Ololaelaps</i>	1(+)	2(+)	2(+)	5(+)
吸螨属 <i>Bdella</i>	1(+)		1(+)	2(+)
纤赤螨属 <i>Leptus</i>	1(+)			1(+)
土皮须螨属 <i>Ledermuelleria</i>	5(+)		39(++)	44(++)
副小真古螨属 <i>Paraeupalopsellus</i>	1(+)			1(+)
短须螨属 <i>Brevipalpus</i>	1(+)			1(+)
肉食螨属 <i>Cheyletus</i>			1(+)	1(+)
曲螨属 <i>Alycus</i>	2(+)	1(+)		3(+)
缝甲螨属 <i>Hypochthonius</i>		1(+)		1(+)
隐罗甲螨属 <i>Cryptacarus</i>	7(++)	16(++)	5(++)	28(++)
鳞甲螨属 <i>Lepidacarus</i>		9(++)		9(+)
罗甲螨属 <i>Lohmannia</i>		86(+++)	14(++)	100(+++)
裂甲螨属 <i>Meristacarus</i>		8(++)	1(+)	9(+)
毛罗甲螨属 <i>Vepacarus</i>	19(++)	9(++)	20(++)	48(++)
广缝甲螨属 <i>Cosmochthonius</i>	1(+)			1(+)
球缝甲螨属 <i>Sphaerochthonius</i>	9(++)	1(+)	3(+)	13(+)
全罗甲螨属 <i>Perlohmannia</i>	2(+)	1(+)		3(+)
上罗甲螨属 <i>Epilohmannia</i>	24(++)	15(++)	23(++)	62(++)
真卷甲螨属 <i>Euphthiracarus</i>	1(+)		2(+)	3(+)
三皱甲螨属 <i>Rhysotritia</i>	1(+)	1(+)		2(+)
小瓣卷甲螨属 <i>Hoplophorella</i>	2(+)	6(+++)	2(+)	10(+)
懒甲螨属 <i>Nothrus</i>	74(+++)	121(+++)	48(+++)	243(+++)
新懒甲螨属 <i>Novonothrus</i>	7(++)	6(+++)	2(+)	15(++)
矮汉甲螨属 <i>Nanhermannia</i>	1(+)	2(+)		3(+)
异懒甲螨属 <i>Allonothrus</i>	5(+)		2(+)	7(+)
礼服甲螨属 <i>Trhypochthonius</i>		1(+)		1(+)
迭蜕甲螨属 <i>Plateremaeus</i>	3(+)		1(+)	4(+)
裸珠足甲螨属 <i>Gymnodamaeus</i>	7(++)			7(+)
平壳甲螨属 <i>Palatyloides</i>	2(+)			2(+)

续表

属 Genus	Z.	L.	Z. + L.	合计 Total
	个体数(优势度)	个体数(优势度)	个体数(优势度)	个体数(优势度)
	Ind.(Dom.)	Ind.(Dom.)	Ind.(Dom.)	Ind.(Dom.)
珠甲螨属 <i>Damaeus</i>		1(+)		1(+)
表珠甲螨属 <i>Epidamaeus</i>	2(+)		1(+)	3(+)
贝氏梭甲螨属 <i>Berlesezetes</i>		1(+)	1(+)	2(+)
沙甲螨属 <i>Eremulus</i>	7(++)	6(++)	5(++)	18(++)
窝甲螨属 <i>Fosseremus</i>	10(++)	6(++)	18(++)	34(++)
大龙骨足甲螨属 <i>Megeremaeus</i>	1(+)			1(+)
跳甲螨属 <i>Zetorchestes</i>			1(+)	1(+)
溯甲螨属 <i>Birnsteinius</i>	2(+)	1(+)	1(+)	4(+)
丽甲螨属 <i>Liacarus</i>		3(+)	1(+)	4(+)
麦考瑞奥甲螨属 <i>Macquarioppia</i>	4(+)		1(+)	5(+)
小盾珠甲螨属 <i>Suctobelbella</i>		1(+)	1(+)	2(+)
弓奥甲螨属 <i>Arcoppia</i>		3(+)		3(+)
长矛奥甲螨属 <i>Lanceoppia</i>	9(++)	3(+)	7(++)	19(++)
多奥甲螨属 <i>Mutioppia</i>	8(++)	5(++)	1(+)	14(++)
奥甲螨属 <i>Oppia</i>	8(++)	1(+)		9(+)
枝奥甲螨属 <i>Ramusella</i>	1(+)			1(+)
梯奥甲螨属 <i>Trapezoppia</i>	25(++)	23(++)	11(++)	59(++)
自发甲螨属 <i>Autogneta</i>	2(+)			2(+)
盖头甲螨属 <i>Tectocepheus</i>	111(+++)	9(++)	8(++)	128(++)
垂盾甲螨属 <i>Scutovertex</i>	3(+)		1(+)	4(+)
吕克奥甲螨属 <i>Lucoppia</i>	1(+)	2(+)		3(+)
若甲螨属 <i>Oribatula</i>	3(+)			3(+)
合若甲螨属 <i>Zygoribatula</i>	58(+++)	8(++)	19(++)	85(++)
原结甲螨属 <i>Prinodus</i>		1(+)		1(+)
树穴甲螨属 <i>Truncopes</i>	1(+)	6(++)	10(++)	17(++)
菌甲螨属 <i>Scheloribates</i>			1(+)	1(+)
足肋甲螨属 <i>Podoribates</i>	8(++)		4(+)	12(+)
美奥甲螨属 <i>Caloppia</i>	2(+)	3(+)	7(++)	12(+)
单翼甲螨属 <i>Haplozetes</i>	3(+)	1(+)	1(+)	5(+)
圆单翼甲螨属 <i>Peloribates</i>	1(+)	1(+)	8(++)	10(+)
细单翼甲螨属 <i>Pilobatella</i>	1(+)			1(+)
针单翼甲螨属 <i>Setoxylobates</i>	15(++)	13(++)	35(++)	63(++)
威单翼甲螨属 <i>Vilhenabates</i>		5(++)	9(++)	14(++)
木单翼甲螨属 <i>Xylobates</i>	3(+)	14(++)	8(++)	25(++)
点肋甲螨属 <i>Punctoribates</i>	4(+)			4(+)
顶翼甲螨属 <i>Acrogaluma</i>	1(+)			1(+)
大翼甲螨属 <i>Galumna</i>	8(++)	3(+)	1(+)	12(+)
全大翼甲螨属 <i>Pergalumna</i>	1(+)			1(+)
原大翼甲螨属 <i>Protokagalumna</i>	1(+)	2(+)		3(+)
毛大翼甲螨属 <i>Trichogalumna</i>	1(+)	9(++)	11(++)	21(++)

Z.: 花椒林, *Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensi* forests; L.: 金银花林, *Lonicera japonica* forests; Z. + L.: 花椒+金银花林, *Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensi* + *Lonicera japonica* forests; Ind.: 个体数量 Individual numbers; Dom.: 优势度, dominance; +++: 优势类群, Dominant groups; ++: 常见类群, Common groups; +: 稀有类群, Rare groups

2.4 螨类水平和垂直结构差异

由前述 2.1, 螨类属数排序为花椒林>花椒+金银花>金银花林。在土壤层变化上, 秋季的花椒林下层和花

椒+金银花林上层具有丰富的属;季节变化上,金银花林的春季、花椒林和花椒+金银花林的秋季具有丰富的属(图1)。不同模式下的螨类属数在土壤上、下层之间以及相同层位上差异均不显著($P>0.05$),而秋季分别与夏季和冬季之间则差异显著($P<0.05$)。

个体数量的排序为金银花林(529 头) $>$ 花椒林(526 头) $>$ 花椒+金银花林(418 头)。土壤层变化上,个体数量较高分别出现于春季金银花林的上层、秋季花椒林和花椒+金银花林的上层;季节变化上,金银花林的春季、花椒林和花椒+金银花林的秋季拥有较高的个体数量(图1)。不同模式下螨类个体数量的差异性变化与螨类属数的差异性变化是相同的情形。

个体密度的排序为金银花林(6072.19 头/ m^2) $>$ 花椒+金银花林(5324.84 头/ m^2) $>$ 花椒林(4467.09 头/ m^2)。土壤层变化上,最高出现在春季金银花林的上层;季节变化上,花椒林的春季和秋季、金银花林的春季和冬季、花椒+金银花林的秋季和冬季拥有较高的个体密度,其中金银花林的春季拥有最高的个体密度(15668.79 头/ m^2)(图1)。各模式下的个体密度在土壤层和季节差异上均不显著($P>0.05$)。

垂直变化上(图1),除秋季和冬季的花椒林螨类属数表现出微弱的逆分布外,其他均表现为表聚性(主要聚集分布于土壤上(表)层时即表现为表聚性,反之则为逆分布);个体数量上,除冬季的金银花林为逆分布和花椒林上、下层相等外,其余均表现为表聚性;个体密度上,除冬季的金银花林为逆分布外,其他均表现为表聚性。

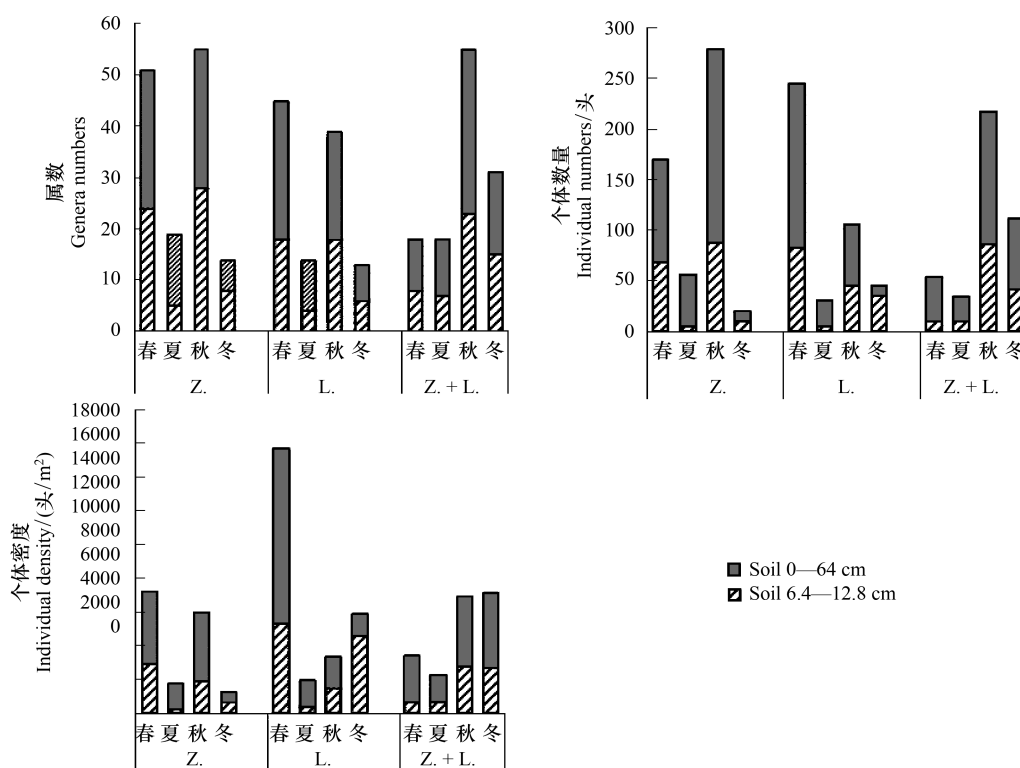


图1 土壤层螨类属数、个体数量与个体密度的水平和垂直分布

Fig.1 Horizontal and vertical distribution of genera numbers, individual numbers and individual density on soil mites under different vegetation modes

Z.: 花椒林, *Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensi* forests; L.: 金银花林, *Lonicera japonica* forests; Z. + L.: 花椒+金银花林, *Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensi* + *Lonicera japonica* forests

2.5 群落多样性差异与相似性

不同植被修复模式下,金银花林拥有较高的多样性指数,花椒+金银花林拥有较高的丰富度指数,均匀性指数的变化不明显(图2)。

在季节变化上,春季的花椒林拥有较高的多样性指数和丰富度指数;各季节均匀性指数的变化不大(图2)。各模式下,春季分别与夏季和冬季、夏季与秋季多样性差异显著($P<0.05$),丰富度指数和均匀性指数在各季节差异均不显著($P>0.05$)。

3 种不同生境下土壤螨类的 Bray-Curtis 相似性指数(C_N)值分别为:花椒林-金银花林:0.45;花椒林-花椒林+金银花林:0.47;金银花林-花椒林+金银花林:0.44。表明各生境间土壤螨类群落的相似性较低,且均表现为中等不相似。

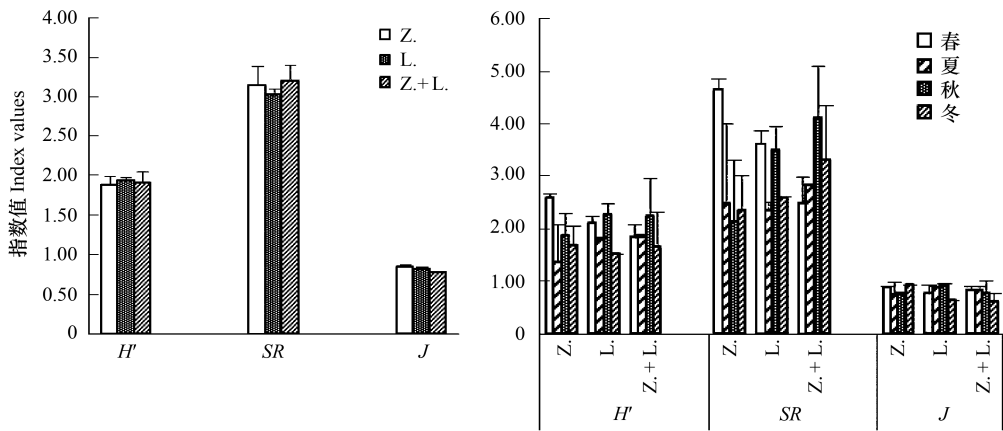


图2 土壤螨类群落多样性、丰富度和均匀性的一致性与季节变化

Fig.2 Consistency and seasons change of diversity (H'), richness (SR) and evenness (J) on soil mites under different vegetation modes
 H' :Shannon-Winner 多样性指数,Shannon-Winner diversity index; SR :Margalef 丰富度指数,Margalef richness index; J :Pielou 均匀度指数,Pielou evenness index

2.6 捕食性革螨群落结构的差异

捕食性革螨(Gamasina) K 和 r 的赋值参照 Ruf^[27]、吴东辉^[13],其中蟬蟎科根据 Karg^[30] 植綫蟎分类参比植綫蟎进行赋值(表4),各生境中革蟎的 MI 指数值见表5。结果显示,金银花林夏季的蟎类以 K 选择型为主,花椒林与金银花林的秋季和冬季蟎类为 r 选择型,其他均以 r 选择型为主。

表4 捕食性土壤革蟎(Gamasina)的 K -值和 r -值

Table 4 K - values or r - values assigned to predatory soil mites (Gamasina)

科 Family	K -值 K-value	r -值 r-value	科 Family	K -值 K-value	r -值 r-value
寄蟎科 Parasitidae		4	厚厉蟎科 Pachylaelapidae	1	
维蟎科 Veigaiaidae	2		囊蟎科 Ascidae		1
胭蟎科 Rhodacaridae	2		植綫蟎科 Phytoseiidae		2
土革蟎科 Ologamasidae		1	蟬蟎科 Blattisociidae		2
派伦蟎科 Parholaspididae	2		厉蟎科 Laelapidae		1

表5 捕食性土壤革蟎(Gamasina)的成熟度指数(MI)值和主要生态类群

Table 5 MI values and main ecological groups of predatory soil mites (Gamasina) under different vegetation modes

生境 Habitat	春 Spring		夏 Summer		秋 Autumn		冬 Winter	
	MI	类群 Groups	MI	类群 Groups	MI	类群 Groups	MI	类群 Groups
Z.	0.14	r	0.17	r	0.00	r	0.00	r
L.	0.15	r	0.67	K	0.00	r	0.00	r
Z.+L.	0.38	r	0.33	r	0.40	r	0.17	r

MI :捕食性蟎类成熟度指数,Maturity index of predatory mites; K :有利于竞争能力增加的选择,The choice that is advantageous to enhancement of competition ability; r :有利于增大内禀增长率的选择,It is beneficial to increase the choice of intrinsic growth rate

2.7 甲螨群落结构的差异

不同模式下土壤甲螨群落结构-MGP 分析见表 6,结果显示,类群属数上 3 种模式均为 O 型;个体数百分比上花椒林为 O 型,金银花林为 M 型,花椒+金银花林为 MP 型,从数值上看,除花椒林以 G 群为主外其他两种模式均以 M 群为主。

不同季节甲螨群落结构显示,花椒林在类群属数上春、夏季分别为 MG 和 MP 型,秋、冬季为 O 型,在个体数量上均为 O 型;金银花林在属数上春、秋、冬季为 M 型,夏季为 O 型,个体数量上春、夏、秋季为 O 型,冬季为 M 型;花椒+金银花林春、秋季为 O 型,夏季和冬季分别为 P 型和 M 型,个体数量上春季、秋季和冬季为 O 型,夏季为 MP 型(表 7)。整体看,研究区域的土壤甲螨主要为 O 型和 M 型。

表 6 不同模式下甲螨的群落结构

Table 6 Community structure of soil mites (Oribatida) under different vegetation modes								
生境 Habitat	类群属数百分比 Genera percent/%			群落类型 Community type	类群属数百分比 Genera percent/%			群落类型 Community type
	M 群 Macropylina	G 群 Gymnonota	P 群 Poronota		M 群 Macropylina	G 群 Gymnonota	P 群 Poronota	
Z.	27.66±5.56	34.04±6.72	38.30±3.15	O	32.55±1.18	42.98±1.43	24.47±0.67	O
L.	36.58±9.12	31.71±1.66	31.71±1.25	O	68.35±2.20	15.22±0.40	16.43±0.30	M
Z. + L.	28.95±4.39	36.84±1.39	34.21±2.52	O	41.36±1.49	19.67±0.47	38.97±0.85	MP

表 7 不同模式下不同季节甲螨的群落结构

Table 7 Community structure of soil mites (Oribatida) in different seasons under different vegetation modes									
生境 Habitat	季节 Season	类群属数百分比 Genera percent/%			群落类型 Community type	类群属数百分比 Genera percent/%			群落类型 Community type
		M 群 Macropylina	G 群 Gymnonota	P 群 Poronota		M 群 Macropylina	G 群 Gymnonota	P 群 Poronota	
Z.	春	41.01±1.87	45.32±2.77	13.67±0.24	MG	31.03±0.18	24.14±0.40	44.83±0.40	O
	夏	42.31±1.89	17.31±0.58	40.38±2.65	MP	42.86±0.20	35.71±0.25	21.43±0.50	O
	秋	26.22±5.18	47.19±6.26	26.59±4.48	O	27.27±0.22	42.42±0.40	30.30±0.25	O
	冬	25.00±0.50	41.67±0.25	33.33±0.33	O	22.22±1.00	33.33±0.00	31.03±0.00	O
L.	春	73.53±12.49	15.13±1.20	11.34±1.95	M	34.78±0.33	39.13±0.50	26.09±0.50	O
	夏	42.86±1.17	21.43±1.00	35.71±1.20	O	50.00±1.50	20.00±1.00	30.00±0.50	O
	秋	55.34±1.32	19.42±0.65	25.24±0.56	M	38.46±0.49	30.77±0.14	30.77±0.40	O
	冬	82.22±4.99	6.67±0.50	11.11±0.67	M	82.22±0.25	6.67±0.00	11.11±0.00	M
Z. + L.	春	43.33±3.33	20.00±0.00	36.67±1.75	O	33.33±0.00	22.22±0.00	44.44±0.33	O
	夏	30.00±0.71	6.67±0.00	63.33±2.78	P	45.45±0.33	18.18±1.00	36.36±0.00	MP
	秋	39.69±2.68	22.16±1.55	38.14±1.85	O	34.38±0.60	34.38±0.22	31.25±0.30	O
	冬	56.10±4.11	14.63±0.50	29.27±1.00	M	28.57±0.00	28.57±0.00	42.86±0.20	O

3 讨论

在天然林,土壤螨类的类群丰富,个体数量多,生物多样性指数大,群落垂直分布表聚性明显^[31-32]。不同类型和不同程度的干扰则对土壤螨类群落结构有不同程度影响:森林火灾后,螨类的物种数减少,丰富度和多样性降低,原有群落的平衡关系丧失,不同过火程度环境的土壤螨类存在差异^[9-10];森林植被遭砍伐后,甲螨的密度降低,中气门和前气门螨类的物种数也减少,但多样性指数未发生显著变化^[11];在不同的土地利用下,土壤螨类的类群数、个体密度、群落多样性和丰富度会降低,中气门亚目、甲螨亚目螨类比前气门亚目和无气门亚目螨类对土壤耕作的影响更为敏感^[13,33],少耕和免耕更有利于土壤螨类群落结构的稳定性及多样性的保持^[34];重金属的污染在个体水平上还会导致甲螨(*Chamobates cuspidatus*)附肢(腿)的残缺^[12]。这些变化与不同影响下调落物的破坏与移除、环境条件的改变等有关^[11,13,33]。

在植被修复环境,如俄罗斯哈巴罗夫斯克市从耕地、禾本科草地、豆科草地、高山植物到苔藓云杉林 35 年的植被恢复,江西余江退化红壤区旱生草坡、稀疏针叶林、针叶林和针阔混交林 4 种植被修复,纽约市中部石灰岩、砂岩、页岩区种植冬黑麦草进行侵蚀控制以及松嫩草原中度和重度退化草地种植苜蓿、围栏封育和种植碱茅的植被恢复中,土壤螨类的物种数、个体数量和个体密度呈不同程度的增加;同时,俄罗斯哈巴罗夫斯克市 35 年植被恢复后,土壤螨类群落结构变得复杂,表层物种和非特有物种比例增加,深层物种减少,群落组成趋于稳定并随植被和气候表现带性特征。相关研究表明,土壤螨类群落结构的差异与植被类型、植被年龄、郁闭度、凋落物重量、土壤特征等综合因素有关^[13,35-37],植被的恢复和干扰的减少有利于有机物的积累、土壤湿度增加和微环境多样性的形成,有利于土壤螨类群落结构的恢复^[14-18]。本研究中,以恢复期较长的花椒林和花椒+金银花林土壤拥有丰富的螨类科数和属数,恢复期较短的金银花林土壤则拥有较高的个体数量和个体密度,但由于研究区土壤螨类群落多样性指数值相对较低,且花椒林的螨类属数和金银花林的螨类个体数量与个体密度还存在一定的逆分布,表明研究区的土壤螨类仍处于恢复变化中。

优势类群是生物适应环境和指示环境变化程度的重要指标,强度石漠化生态修复环境与其他生态修复环境的优势类群存在较大差异。松嫩草原中度退化草地的围栏封育生境以吸螨属(*Bdella*)占优势,种植苜蓿以下盾螨属(*Hypoaspis*)占优势;重度退化草地的围栏封育生境以吸螨属、下盾螨属占优势,种植碱茅以原大翼甲螨属(*Protokolumna*)、吸螨属、肉食螨属(*Cheyletus*)占优势^[17-18]。在江西余江退化红壤区的不同植被修复环境,旱生性植被以单翼甲螨科(Haplozeidae)、若甲螨科(Oribatulidae)和矮汉甲螨科(Nanhermanniidae)为优势,稀疏针叶林以单翼甲螨科和矮汉甲螨科为优势,针叶林以盖头甲螨科(Tectocephidae)、奥甲螨科(Oppiidae)和矮汉甲螨科为优势,针阔混交林以喜螨科(Terpnacaridae)、珠足甲螨科(Belbidae)和矮汉甲螨科为优势^[16]。而在本研究区,花椒林以懒甲螨属、盖头甲螨属和合若甲螨属为优势属,金银花林以罗甲螨属和懒甲螨属为优势属,花椒+金银花林以懒甲螨属为优势属。其中,罗甲螨属、懒甲螨属属大孔低等甲螨,宜于人为影响较小的环境栖息^[38],合若甲螨属可能与生态修复中凋落物的积累有关^[39],盖头甲螨属常栖息于受干扰或早期演替环境^[19],表明研究区的土壤环境虽已得到初步恢复,但花椒林的土壤环境恢复较慢。

3 种生境中只在各单一生境分布的 35 属不同土壤螨类,其优势类群包括革螨股、尾足螨股、大孔低等甲螨、无翅坚背甲螨和有翅孔背甲螨的一些属。有研究显示,不同土壤螨类具有一定的生态学特性差异,其中革螨喜潮湿环境^[22,40];尾足螨中糙尾足螨属、内特螨属和二爪螨属主要栖息于腐烂有机质、凋落物和好的土壤环境^[19,41-42];大孔低等甲螨丰富可能与土质疏松和腐殖质含量增加有关^[33];无翅坚背甲螨中裸珠足甲螨属、大龙骨足甲螨属主要分布于干旱环境,自发甲螨属在潮湿和干旱环境中均有分布,珠足甲螨属主要分布于腐殖质和凋落物环境^[19,43];有翅孔背甲螨中若甲螨属、顶翼甲螨属和全大翼甲螨属栖息于多种环境^[19],细单翼甲螨属、点肋甲螨属主要分布于森林土壤和凋落物环境^[44-45]。因此从植被恢复使土壤湿度增加^[14-15]和研究区尚存一些喜干旱环境分布的螨类类群推断,该区土壤环境的恢复速度较慢,以花椒林的更为明显。

土壤捕食性革螨生态对策类型和甲螨生态类群可以反映土壤受扰动的状况,在干扰较小的环境,捕食性革螨以 K 选择型为主,在顶级常绿阔叶林、自然林和防护林,甲螨群落为 O 型^[16,27,46]。从不同植被恢复下的捕食性革螨和甲螨生态类群看,江西余江退化红壤区的植被修复中,除针阔混交林外其他生境均有 K 选择类群的存在,甲螨群落为 P 型、O 型和 M 型^[16],松嫩草原中度退化草地的恢复生境,捕食性革螨以 K 选择型所占的比例较大^[17],表明它们的生态恢复已取得较好效果。本研究区的捕食性革螨主要为 r 选择型,其中金银花林的夏季主要为 K 选择型,甲螨生态类群主要为 O 型和 M 型,表明研究区的土壤螨类和土壤环境的恢复已取得一定效果。

4 结论

在强度石漠化生态修复区,不同植被修复模式下土壤螨类的群落组成和结构均表现出一定的差异,可利用优势属和具有典型生物学与生态学特性差异的土壤螨类对石漠化生态恢复的进程和效果进行初步指示。

由于喀斯特地区土壤斑块的大小、厚度、质地、肥力等与降雨、植被、土壤微生物、基岩特性、地上地下连通性、人类活动程度等密切相关,具有强烈的异质性^[47-48],喀斯特地区尤其是喀斯特石漠化地区土壤螨类的研究相对匮乏,因此,要深入认识石漠化地区不同植被修复环境土壤螨类群落结构的差异及其反映环境修复的程度,还有待对环境因子差异与螨类群落结构关系、基本分类单元(物种)及其参与的生态过程等开展深入研究。

致谢:感谢安明态教授对植物标本的鉴定和朱佳运、付超凡、吕小溪等对样品采集的帮助。

参考文献 (References):

- [1] 熊康宁,李晋,龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题. 地理学报, 2012, 67(7): 878-888.
- [2] 屠玉麟,韦昌盛,左祖伦,鲁永明. 花椒属一新变种——顶坛花椒及其品种的分类研究. 贵州科学, 2001, 19(1): 77-80.
- [3] 王德炉,喻理飞,熊康宁. 喀斯特石漠化综合治理效果的初步评价——以花江为例. 山地农业生物学报, 2005, 24(3): 233-238.
- [4] 邓坤丰,刘肇军,肖时珍,李翔翔,符树琴,吴胜利. 石漠化防治区综合治理效益指标体系的构建及评价研究——以贵州关岭-贞丰花江示范区为例. 中国农学通报, 2012, 28(17): 187-194.
- [5] 熊康宁,陈永毕,陈许,兰安军,隋喆. 点石成金——贵州石漠化治理技术与模式. 贵阳: 贵州科技出版社, 2011: 57-172.
- [6] 杨龙,熊康宁,肖时珍,蓝家程,敖向红. 花椒林在喀斯特石漠化治理中的碳汇效益. 水土保持通报, 2016, 36(1): 292-297.
- [7] 樊云龙,陈许,熊康宁,苏孝良,韩会庆. 花椒林地土壤动物多样性及其对凋落物分解的作用——以贵州花江峡谷为例. 地球与环境, 2010, 38(3): 314-319.
- [8] 王仙攀,陈许,熊康宁,李晋,赵基,徐玲,罗井升. 喀斯特石漠化地区土壤动物功能类群及培育研究. 干旱区资源与环境, 2012, 26(12): 191-195.
- [9] Camann M A, Gillette N E, Lamarche K L, Mori S R. Response of forest soil Acari to prescribed fire following stand structure manipulation in the southern Cascade Range. Canadian Journal of Forest Research, 2008, 38(5): 956-968.
- [10] Jung C, Kim J W, Marquardt T, Kaczmarek S. Species richness of soil gamasid mites (Acari: Mesostigmata) in fire-damaged mountain sites. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2010, 13(3): 233-237.
- [11] Lindo Z, Visser S. Forest floor microarthropod abundance and oribatid mite (Acari: Oribatida) composition following partial and clear-cut harvesting in the mixedwood boreal forest. Canadian Journal of Forest Research, 2004, 34(5): 998-1006.
- [12] Eeva T, Penttinen R. Leg deformities of oribatid mites as an indicator of environmental pollution. Science of the Total Environment, 2009, 407(16): 4771-4776.
- [13] 吴东辉,张柏,卜照义,陈鹏. 长春市不同土地利用生境土壤螨类群落结构特征. 生态学报, 2006, 26(1): 16-25.
- [14] Ryabinin N A, Pan'kov A N. Successions of oribatid mites (Acariformes: Oribatida) on disturbed areas. Biology Bulletin, 2009, 36(5): 510-515.
- [15] Minor M A, Norton R A. Effects of weed and erosion control on communities of soil mites (Oribatida and Gamasina) in short-rotation willow plantings in central New York. Canadian Journal of Forest Research, 2008, 38(5): 1061-1070.
- [16] 丁程成,戴征凯,薛晓峰,李辉信,刘满强,陈小云,周静,张斌,胡锋. 退化红壤植被恢复对土壤螨类群落结构的影响. 生态学报, 2008, 28(10): 4771-4781.
- [17] 吴东辉,尹文英,杨振明. 松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤螨类群落特征的差异. 动物学报, 2007, 53(4): 607-615.
- [18] 吴东辉,尹文英,阎日青. 东北松嫩草原重度退化草地两种典型植被恢复处理方式间土壤螨类群落特征比较. 动物学研究, 2007, 28(5): 519-525.
- [19] Krantz G W, Walter D E. A manual of Acarology. 3rd ed. Texas: Texas Tech University Press, 2009: 1-807.
- [20] 李隆术,李云瑞. 螨类学. 重庆: 重庆出版社, 1988: 1-520.
- [21] 尹文英,胡圣豪,沈韞芬,宁应之,孙希达,吴纪华,诸葛燕,张云美,王敏,陈建英,徐成钢,梁彦龄,王洪铸,杨潼,陈德牛,张国庆,宋大祥,陈军,梁来荣,胡成业,王慧英,张崇州,匡溥人,陈国孝,赵立军,谢荣栋,张骏,刘宪伟,韩美贞,毕道英,肖宁年,杨大荣. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998: 163-242, 527-562.
- [22] 殷绥公,贝纳新,陈万鹏. 中国东北土壤革螨. 北京: 中国农业出版社, 2013: 1-360.
- [23] 李朝品,沈兆鹏. 中国粉螨概论. 北京: 科学出版社, 2016: 1-568.
- [24] 郑祥,鲍毅新,孔军苗,葛宝明. 金华北山阔叶林大型土壤动物群落的初步研究. 土壤, 2005, 37(5): 545-550.
- [25] Yeates G W, Bongers T. Nematode diversity in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1999, 74(1/3): 113-135.
- [26] Magurra A E. Ecological diversity and its measurements. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1988.
- [27] Ruf A. A maturity index for predatory soil mites (Mesostigmata: Gamasina) as an indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. Applied Soil Ecology, 1998, 9(1/3): 447-452.

- [28] Aoki J I. Analysis of oribatid communities by relative abundance in the species and individual numbers of the three major groups (MGP-analysis). Bulletin, Institute of Environmental Science and technology, Yokohama National University, 1983, 10(1): 171-176.
- [29] 谢桂林, 傅荣恕, 刘建丽, 王昌儒, 郑继军. 菏泽牡丹园土壤甲螨群落特点研究. 生态学报, 2004, 24(4): 693-699.
- [30] Karg W. To the knowledge of the superfamily Phytoseioidea Karg, 1965. Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik, 1976, 103: 505-546.
- [31] 阿加儿·恰肯, 吾玛尔·阿布力孜, 排孜力耶·合力力. 新疆玛纳斯河流域土壤螨类群落多样性. 生态学报, 2017, 37(24): 8385-8396.
- [32] Zhang Y, Jin D C, Zhou Y F, Yang G P, Liang W Q. Community composition and diversity of soil oribatid mites (Acari: Oribatida) in karst forests in Shibing, Guizhou, Southwestern China. Acta Entomologica Sinica, 2015, 58(7): 791-799.
- [33] Bedano J C, Cantú M P, Doucet M E. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. Applied Soil Ecology, 2006, 32(3): 293-304.
- [34] 战丽莉, 许艳丽, 张兴义, 裴希超, 赵刚, 王建华. 耕作方式对土壤螨类群落结构的影响. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 598-605.
- [35] 高梅香, 刘冬, 张雪萍, 吴东辉. 三江平原农田地表和地下土壤螨类丰富度与环境因子的空间关联性. 生态学报, 2016, 36(6): 1782-1792.
- [36] Nielsen U N, Osler G H R, Campbell C D, Burslem D F R P, van der Wal R. The influence of vegetation type, soil properties and precipitation on the composition of soil mite and microbial communities at the landscape scale. Journal of Biogeography, 2010, 37(7): 1317-1328.
- [37] Hasegawa M, Okabe K, Fukuyama K, Makino S, Okochi I, Tanaka H, Goto H, Mizoguchi T, Sakata T. Community structures of Mesostigmata, Prostigmata and Oribatida in broad-leaved regeneration forests and conifer plantations of various ages. Experimental and Applied Acarology, 2013, 59(4): 391-408.
- [38] 尹文英, 杨逢春, 王振中, 罗志义, 沈韞芬, 胡圣豪, 王孝祖, 赵立军, 孙希达, 伍惠生, 张友梅, 谢荣栋, 陈德牛, 梁彦龄, 杨潼, 宋大祥, 张崇洲, 张福祥, 杨毅明, 刘江, 宋碧玉, 顾曼如, 伍焯田, 谢志才, 梁来荣, 董惠琴, 胡成业, 戴爱云, 李枢强, 王大庆, 范树德, 薛鲁征, 张骏, 刘宪伟, 毕道英, 郑乐怡, 唐觉, 李参. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992: 30-39.
- [39] Badieritakis E G, Fantinou A A, Emmanouel N G. A qualitative and quantitative study of mites in similar alfalfa fields in Greece. Experimental and Applied Acarology, 2014, 62(2): 195-214.
- [40] 邓国藩, 王慧芙, 忻介六, 王敦清, 吴伟南, 王孝祖. 中国蜱螨概要. 北京: 科学出版社, 1989: 25-27.
- [41] Athias-Binche F. Écologie des uropodides édaphiques (Arachnides: Parasitiformes) de trois écosystèmes forestiers. 1. Introduction, matériel, biologie. Vie Milieu, 1981, 31: 137-147.
- [42] Karg W. Vorkommen und ernährung der milbencohors Uropodina (Scgildkrötenmilben) sowie ihre eignung als indikatoren in agroökosystemen. Pedobiologia, 1986, 29: 285-295.
- [43] Paschoal A D. Recharacterization of Gymnodamaeioidea and erection of Plateremaeioidea (Acari, Oribatei), with key to families and genera. Revista Brasileira de Zoologia, 1989, 6(2): 191-200.
- [44] Labandeira C C, Phillips T L, Norton R A. Oribatid mites and the decomposition of plant tissues in Paleozoic coalswamp forests. Palaios, 1997, 12(4): 319-353.
- [45] Ermilov S G, Winchester N N, Lowman M M, Wassie A. Two new species of oribatid mites (Acari: Oribatida) from Ethiopia, including a key to species of *Pilobatella*. Systematic and Applied Acarology, 2012, 17(3): 301-317.
- [46] 木卡热木·阿吉木, 吾玛尔·阿布力孜, 阿布都如苏力·吐逊, 吴松林. 准噶尔盆地东南缘绿洲——荒漠交错带土壤甲螨群落结构. 干旱区资源与环境, 2013, 27(8): 164-170.
- [47] 王克林, 苏以荣, 曾馥平, 陈洪松, 肖润林. 西南喀斯特典型生态系统土壤特征与植被适应性恢复研究. 农业现代化研究, 2008, 29(6): 641-645.
- [48] 周运超, 王世杰, 卢红梅. 喀斯特石漠化过程中土壤的空间分布. 地球与环境, 2010, 38(1): 1-7.