

公路路域植被不同演替阶段土壤动物群落特征*

董炜华¹ 殷秀琴^{1†} 顾卫² 江源³ 刘继亮¹

(1 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

(2 北京师范大学资源学院资源技术与工程研究所, 北京 100875)

(3 北京师范大学资源学院资源科学研究所, 北京 100875)

摘要 通过对半干旱典型草原地带公路路域植被自然恢复过程中, 即不同演替阶段的土壤动物群落研究表明, 当原有的土壤—植被受到彻底破坏后, 大型土壤动物也随之消失; 中小型土壤动物对土壤—植被系统的依存程度要较大型土壤动物小得多, 即便土壤—植被系统受到彻底破坏, 中小型土壤动物也能存活。植被恢复阶段, 土壤动物的类群和密度明显增加, 植被发育顶级阶段两个生境的土壤动物类群和密度存在差异。植被恢复阶段和植被发育顶级阶段土壤动物的多样性差异较小。鞘翅目土壤动物与全部土壤动物的多样性指数变化趋势基本一致, 鞘翅目土壤动物对研究区植被不同演替阶段具有明显的指示作用。土壤动物群落多样性指数与土壤 pH、全磷、全钾和土壤自然含水量的平均灰色关联系数较大, 说明在植被恢复过程中土壤动物群落多样性变化与这几个主要因子关系密切。

关键词 土壤动物; 植被演替; 公路路域; 卓资山

中图分类号 S154.5; S154.1; Q958.1

文献标识码 A

交通基础设施建设, 特别是公路基础设施建设, 是整个国民经济持续稳定发展的重要保障。然而, 公路建设不可避免地要对道路通过地区的生态环境产生影响, 其中最主要的影响是扰乱土壤结构、破坏植物群落、降低生物多样性^[1]。因此, 在公路生态建设中的代表性工作之一是恢复路域范围内的土壤—植被系统。

土壤动物是土壤—植被系统中的重要组成部分, 由于它们直接或间接地以植物残体为食, 作为土壤—植被系统中的分解者, 并对土壤形成和植被发育起着重要的促进作用^[2,3]。不同植物群落中的土壤动物组成存在明显的差异, 同一植物群落不同演替阶段土壤动物也各不相同, 土壤动物对植被的恢复演替阶段具有一定的指示作用^[4,5]。关于土壤动物在植被退化及植被恢复演替过程中的作用已有一些学者进行研究^[6~10], 但关于路域环境土壤动物的研究报道甚少, 尤其是公路路域植被不同演替阶段土壤动物的研究还未见报道。本文以内蒙古呼和浩特—集宁高速公路卓资段为例, 对公路路域植被不同演替阶段的土壤动物进行研究, 旨在探讨

植被演替的不同阶段土壤动物群落结构特征, 为路域生态恢复与重建提供基础资料。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区中部的乌兰察布盟境内的卓资县。该区属温带干旱半干旱大陆性季风气候, 年均温 2.9, 极端最高温 35.2, 极端最低温 -38.2, 年降水量 544 mm 左右, 年蒸发量 1 877 mm, 地带性植被为克氏针茅草原, 地带性土壤为栗钙土。根据 2004 年 8 月中旬的调查, 在研究区路域范围内公路两侧植被存在着三种不同的演替阶段, 一是 110 国道坝沟附近的裸露坡面, 处于原有植被被彻底破坏阶段 (以下简称破坏后裸露阶段); 二是 110 国道庄户人沟附近半裸露坡面, 该坡面形成后已有近 10 年的时间, 处于植被自然恢复阶段 (以下简称恢复阶段), 坡面上只有少量植物; 三是呼—集高速公路庄户人沟附近未受到工程扰动的天然草地 (分为东南坡、西北坡), 该生境处于植物生长的鼎盛阶段 (以下简称发育顶级阶段)。各演替阶段的环境特征见表 1,

* 交通部西部交通建设科技项目“公路路域生态工程技术研究”(200331822333)、内蒙古自治区交通厅科技项目“内蒙古干旱地区公路边坡生态恢复技术应用研究”(NJ-2005-36)资助

† 通讯作者, E-mail: yinxq773@nenu.edu.cn

作者简介: 董炜华 (1978~) 女, 博士研究生, 主要从事土壤动物生态学和生物地理学等方面研究。E-mail: DongWh78@126.com

收稿日期: 2006-12-31; 收到修改稿日期: 2007-04-23

其中发育顶级阶段 -1和 -2反映的是相同演替阶段中不同生境的差异。

表 1 不同演替阶段的环境特征

Table 1 The characteristics of environment at different succession stages

演替阶段 Succession stage	地理位置 Position	海拔 (m) Elevation	坡向 Exposure	土壤 Soil	植物种类 Composition of plant	盖度 (%) Coverage
破坏后裸露阶段 Bare stage	位于 110 国道北侧坝沟附近, 40°53'55.6"N, 112°31'30.5"E	1 480	南偏东 45°	风化物	无	0
恢复阶段 Restoration stage	位于 110 国道庄户人沟附近, 40°53'55"N, 112°31'3"E	1 480	南偏东 45°	栗钙土	主要有草木樨、兴安胡枝子、蒙古百里香	10
发育顶级阶段 -1 Climax stage -1	位于呼 - 集高速公路庄户人沟附近, 40°53'28"N, 112°31'38"E	1 470	南偏东 15°	栗钙土	以克氏针茅、蒙古百里香和冷蒿占优势, 伴生兴安胡枝子、瑞香狼毒、狭叶柴胡、三叶萎陵菜和鸡儿肠	80 ~ 90
发育顶级阶段 -2 Climax stage -2	位于呼 - 集高速公路庄户人沟附近, 40°53'28"N, 112°31'38"E	1 480	北偏西 40°	栗钙土	以克氏针茅、羊草、冷蒿和蒙古百里香占优势, 伴生蓝刺头、黄蒿、鸡儿肠、矮葱、三叶萎陵菜和蒲公英	90 ~ 95

2 研究方法

2.1 野外方法

在三个演替阶段即四个生境中, 首先对生境进行调查, 用 GPS 测定经纬度、海拔高度, 用坡度仪测定坡向; 然后在每个生境设置 3 个有代表性的样方 (1 m × 1 m), 测定植物的盖度和统计植物种类, 采集土壤动物, 大型土壤动物取样面积为 50 cm × 50 cm, 中小型土壤动物取样面积为 10 cm × 10 cm。分别按 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm、10 ~ 15 cm 和 15 ~ 20 cm 4 层取样, 共取土样 96 个。大型土壤动物在野外直接采用手捡法。同时在每个样方内取 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm 土壤样品及铝盒土样带回室内待分析测定 pH、有机质、全氮、全磷、全钾和自然含水量。

2.2 室内方法

中小型土壤动物室内采用 Tullgren 法分离提取, 在实体显微镜下鉴定土壤动物^[11]及数量统计, 一般鉴定到科的水平。土壤 pH 采用 PHS-3B 精密 pH 计测定, 土壤有机质采用重铬酸钾 (K₂C₂O₇) 容量法测定, 全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定, 全磷含量采用酸溶—钼锑抗比色法测定, 全钾采用原子吸收法测定, 土壤自然含水量采用烘干法 (温度为 105 °C) 测定。

2.3 数据分析方法

土壤动物群落分析采用 Shannon-Wiener 多样性

指数 (H'): $H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln(P_i)$; Pielou 均匀度指数 (J): $J = H' / \ln S$; Simpson 优势度指数 (D_s): $D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1) / N(N - 1)}$ 和密度 - 类群指数 (DG): $DG = (g/G) \prod_{i=1}^g (D_i C_i / D_{\max} C)$ ^[12-15] 公式进行计算。式中, S 为类群数, $P_i = n_i / N$, n_i 为第 i 个类群的个体数; N 为群落中所有类群的个体总数; g 为某个群落中的类群数; G 为 C 个群落所包含的总类群数, D_i 为第 i 类群的密度; D_{\max} 为各群落中第 i 个类群的最大密度; C_i 为 i 个类群在 C 个类群中出现的次数。

采用灰色关联分析方法分析土壤动物的多样性与环境因子的关系^[16,17]。计算公式如下:

设 x_1, x_2, \dots, x_n 为 n 个因素, 反映各因素变化特性的数据列为 $\{x_1(t)\}, \{x_2(t)\}, \dots, \{x_i(t)\}, t = 1, 2, \dots, M$ 。因素 x_j 对 x_i 的关联系数定义为 $\gamma_{ij}(t) = \frac{\min_j + k \max_j}{\gamma_{ij}(t) + k \max_j}$, $t = 1, 2, 3, \dots, M$ 。式中, $\gamma_{ij}(t)$ 为因素 x_j 对 x_i 在 t 时刻的关联系数; $\gamma_{ij}(t) = |x_i(t) - x_j(t)|$, $\max_j = \max_i \max_j \gamma_{ij}(t)$, $\min_j = \min_i \min_j \gamma_{ij}(t)$, k 为介于 $[0, 1]$ 区间上的灰数。

在实际运用中, x_j 对 x_i 的关联度近似计算公式为: $\gamma_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M \gamma_{ij}(t)$ 求得的灰色关联度按照从小到大进行排序, 即得到灰色关联度序列, 关联度越大表明该因子对被影响因子的作用越大。

3 结果与分析

3.1 不同演替阶段土壤动物群落组成

在三个演替阶段四个生境中共获土壤动物 67 类, 1 208 只, 其中大型土壤动物 470 只, 45 类, 隶属于 2 门 4 纲 13 目 37 科, 优势类群分别为: 阶段蚁科、蜘蛛和象甲科幼虫; -1 阶段蚁科、正蚓科、蜘蛛、象甲科幼虫和隐翅虫科; -2 阶段蚁科和正蚓科。中小型土壤动物 738 只, 40 类, 隶属于 2 门 5 纲 15 目 34 科, 优势类群分别为: 阶段辐螨、革螨和球角跳虫科; 阶段节跳虫科、辐螨、革螨、鳞跳虫科和球角跳虫科; -1 阶段节跳虫科、辐螨、革螨和球角跳虫科; -2 阶段辐螨、革螨和球角跳虫科。各植被演替阶段大型和中小型土壤动物类群和密度统计结果见表 2。

表 2 不同演替阶段土壤动物类群和密度

Table 2 Group and density of soil fauna at different succession stages

序号 No.	土壤动物名称 Soil fauna		-1		-2					
			(ind m ⁻²)	(%)	(ind m ⁻²)	(%)				
1	革螨亚目 Gamasida	蜱螨目	850	20.24	1 433	27.40	2 033	30.01	867	12.36
2	辐螨亚目 Actinedida	Acari	1 000	23.81	1 200	22.95	1 100	16.24	1 800	25.67
3	甲螨亚目 Oribatida		450	10.71	233	4.46	667	9.85	267	3.81
4	赤螨科 Erythraeidae		0	0	3	0.06	0	0	0	0
5	球角跳虫科 Hypogastruridae	弹尾目	1 300	30.95	333	6.37	1 267	18.70	900	12.83
6	节跳虫科 Isotomidae	Collembola	200	4.76	451	8.62	601	8.87	500	7.13
7	山跳虫科 Pseudachonutidae		0	0.00	467	8.93	300	4.43	0	0
8	鳞跳虫科 Tomoceridae		50	1.19	388	7.42	134	1.98	67	0.96
9	圆跳虫科 Sminthuridae		0	0	0	0	167	2.47	200	2.85
10	棘跳虫科 Onychiuridae		0	0	67	1.28	0	0	0	0
11	鞘翅目幼虫 Coleoptera	鞘翅目	0	0	0	0	0	0	33	0.47
12	隐翅虫科 Staphylinidae	Coleoptera	50	1.19	57	1.09	16	0.24	22	0.31
13	隐翅虫科幼虫 Staphylinidae		50	1.19	167	3.19	0	0	35	0.50
14	步甲科 Carabidae		0	0	45	0.86	88	1.30	119	1.70
15	步甲科幼虫 Carabidae		50	1.19	0	0	17	0.25	0	0
16	象甲科 Curculionidae		0	0	7	0.13	0	0	5	0.07
17	象甲科幼虫 Curculionidae		0	0	33	0.63	20	0.30	20	0.29
18	叩甲科 Elateridae		0	0	0	0	1	0.01	3	0.04
19	叩甲科幼虫 Elateridae		50	1.19	52	0.99	0	0	2	0.03
20	叶甲科 Chrysomelidae		0	0	0	0	0	0	1	0.01
21	叶甲科幼虫 Chrysomelidae		0	0	1	0.02	0	0	0	0
22	长扁甲科 Cupidae		0	0	0	0	1	0.01	0	0
23	露尾甲科 Nitidulidae		0	0	0	0	0	0	1	0.01
24	长角象甲科 Anthribidae		0	0	1	0.02	1	0.01	0	0
25	拟步甲科 Tenebrionidae		0	0	3	0.06	0	0	0	0
26	缨甲科 Ptiliidae		0	0	0	0	0	0	1	0.01
27	虎甲科 Cicindelidae		0	0	0	0	0	0	3	0.04
28	金龟子科幼虫 Scarabaeidae		0	0	0	0	0	0	1	0.01
29	天牛科幼虫 Cerambycidae		0	0	0	0	0	0	4	0.06
30	扁甲科幼虫 Cucujidae		0	0	0	0	0	0	3	0.04
31	豆象科幼虫 Bruchidae		0	0	0	0	0	0	133	1.90
32	瓢虫科幼虫 Coccinellidae		0	0	0	0	1	0.01	33	0.47

续表

序号 No.	土壤动物名称 Soil fauna	-1		-2	
		(ind m ⁻²)	(%)	(ind m ⁻²)	(%)
33	蓟马科 Thripidae 其他	50	1.19	0	0
34	么蚣科 Scolopendrellidae Other	0	0	33	0.63
35	瘿蚊科 Cecidomyiidae	50	1.19	33	0.63
36	蚁科 Formicidae	0	0	84	1.61
37	蕈蚊科 Mycetophilidae	0	0	0	0
38	毛蠓科 Psychodidae	0	0	0	0
39	蚜科 Aphididae	0	0	17	0.33
40	摇蚊科 Chironomidae	50	1.19	0	0
41	双翅目幼虫 Diptera	0	0	0	0
42	地蜈蚣科 Geophilidae	0	0	42	0.80
43	蜘蛛目 Araneae	0	0	39	0.75
44	蚋科 Simuliidae	0	0	0	0
45	线蚓科 Enchytraeidae	0	0	0	0
46	正蚓科 Lumbricidae	0	0	0	0
47	蟠若虫 Hemiptera	0	0	0	0
48	草蝇科 Pallopteridae	0	0	33	0.63
49	大蚊科 Tipulidae	0	0	0	0
50	分盾细蜂科 Ceraphronidae	0	0	0	0
51	拟网蝽科 Piesnidae	0	0	0	0
52	猎蝽科若虫 Reduviidae	0	0	0	0
53	啮虫科 Psocidae	0	0	0	0
54	叶蝉科 Jassidae	0	0	0	0
55	夜蛾科幼虫 Noctuidae	0	0	0	0
56	盲蝽科 Miridae	0	0	0	0
57	大蚊科幼虫 Tipulidae	0	0	0	0
58	鳞翅目幼虫 Lepidoptera	0	0	1	0.02
59	姬蝽科 Nabidae	0	0	3	0.06
60	花蝇科幼虫 Anthomyiidae	0	0	0	0
61	蜈蚣目 Scolopendromorpha	0	0	1	0.02
62	菱蝗科 Tettigidae	0	0	0	0
63	蝗科 Acridiidae	0	0	1	0.02
64	胡蜂科 Vespidae	0	0	1	0.02
65	缘蝽科若虫 Coreidae	0	0	0	0
66	花蝽科 Anthocoridae	0	0	0	0
67	长蝽科若虫 Lygaeidae	0	0	0	0
A/C		1.48		1.13	
个体密度合计		4 200		5 229	
Total individual density(ind m ⁻²)				6 774	
类群合计		13		30	
Total group numbers				31	
					1.76
					7 013

破坏后裸露阶段土壤尚未形成,表面为岩石风化物。取样时未发现大型土壤动物,表明当原有的土壤—植被受到彻底破坏后,大型土壤动物随之消失。与大型土壤动物不同的是,该演替阶段分离出了中小型土壤动物。尽管中小型土壤动物的密度较其他两个阶段密度小,但中小型土壤动物的出现表明它们对土壤—植被系统的依存程度要较大型土壤动物小的多,即便土壤—植被系统受到彻底破坏,中小型土壤动物也有可能生存下去。在植被恢复阶段和发育顶级阶段,由于已经不同程度地存在土壤—植被系统,因此在这两个阶段的三个生境中土壤动物密度高并存在差异,而发育顶级阶段的土壤动物密度要大于恢复阶段土壤动物密度(表 2)。

通过对各演替阶段大型土壤动物类群数和个体密度进行方差分析,经显著性检验,植被演替过程中大型土壤动物群落的类群总数发生了显著变化 ($F = 15.002, p < 0.05$),但总密度的变化较为平缓 ($F = 3.523, p > 0.05$)。中小型土壤动物的类群数 ($F = 1.778, p > 0.05$)和个体密度 ($F = 1.158, p > 0.05$)差异不显著,说明植被不同演替阶段中小型土壤动物的类群数和个体密度变化不大。

3.2 不同演替阶段土壤动物群落结构

植被自然恢复过程中,土壤动物群落结构也发生相应的变化。破坏后裸露阶段边坡没有发现大

型土壤动物,是以中小型土壤动物蜱螨类(Acari)和弹尾类(Collembola)为主;植被恢复阶段大型土壤动物中捕食类群蚁科、地蜈蚣和蜘蛛等开始出现,土壤动物类群明显增加。植被恢复的顶级阶段-1土壤动物类群增加较少,而个体密度增加较大。植被恢复的顶级阶段-2土壤动物的类群和密度增加均较大,植被恢复的顶级阶段对生境条件要求较高的腐食类群蚯蚓和线蚓开始出现。

在所获的中小型土壤动物中蜱螨类与弹尾类个体数量多,构成研究区中小型土壤动物的主体。不同地区不同生境蜱螨类与弹尾类的 A/C 值不同,PKira提出的地球上土壤动物水平地带规律是热带和亚热带 $A/C > 1$,温带 $A/C = 1$,寒带 $A/C < 1$ ^[2]。表 2 的计算结果表明:在本研究区所调查生境中,蜱螨类与弹尾类的 A/C 值均大于 1,其值域范围不仅明显大于温带地区的平均水平,而且接近于亚热带的平均水平。从表 2 可以看出,植被恢复阶段到发育顶级阶段 A/C 值呈现出先减少后略有增加的变化特征,并在发育顶级阶段-2达到最大值。这与易兰等在天童常绿阔叶林五个演替阶段凋落物中土壤动物群落的 A/C 值是随着演替的进行而逐渐下降,在演替顶极阶段达到最低值的结论不同^[18]。分析其原因,一方面可能是由于不同自然地带的环境因子差异所致,另一方面是-2与-1坡向不同,也是导致差异的原因。

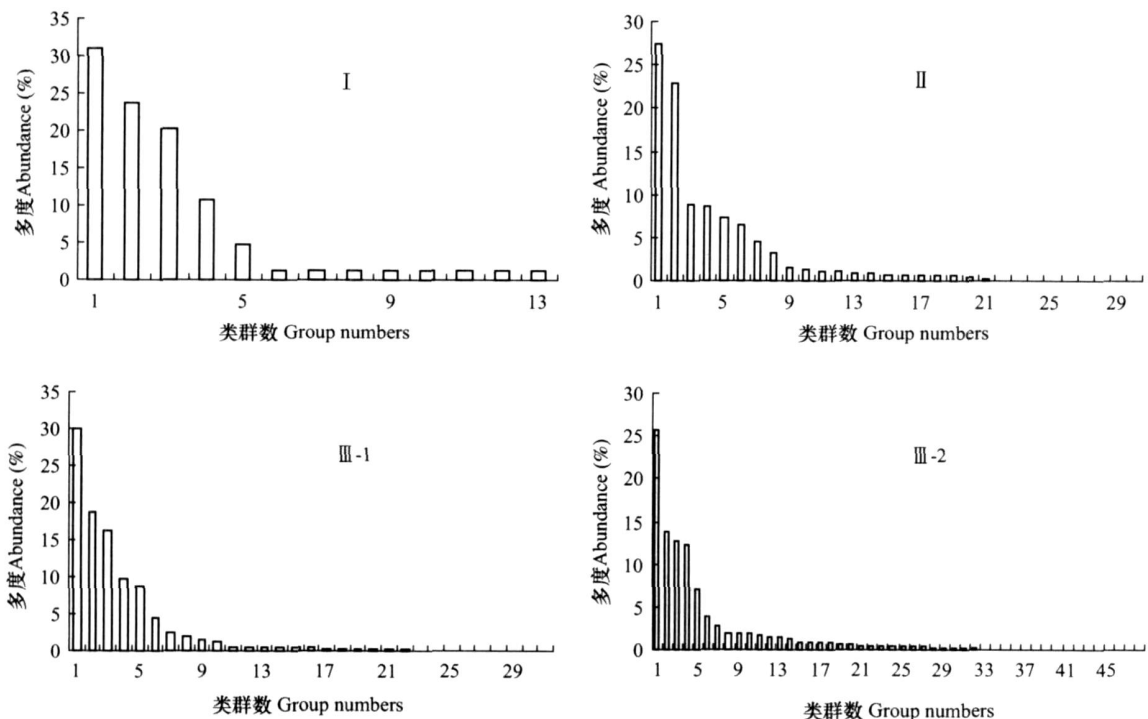
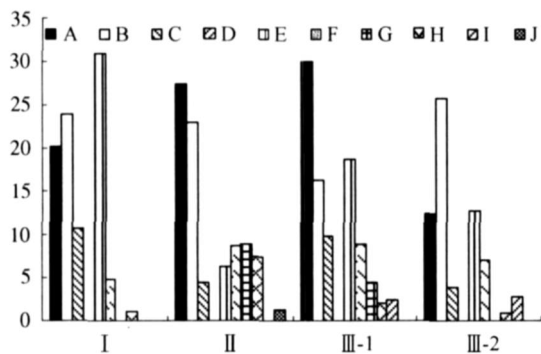


图 1 不同演替阶段土壤动物多度变化

Fig. 1 Abundance of soil fauna at different succession stages

土壤动物群落的不同类群多度组成可以反映群落的结构,图 1 为不同演替阶段土壤动物多度变化。由于植被恢复的时间不同,土壤动物群落结构存在着明显的差异,裸露边坡土壤动物类群少,只有中小型土壤动物(表 2)。植被恢复阶段,土壤动物的类群逐渐增加,蜱螨类和弹尾类中的一些类群多度降低,尤其是甲螨和球角跳虫的多度明显降低(图 2),群落中的稀有类群明显增加(表 2)。植被恢复的顶级阶段 -2 蚁科的多度与 -1 有较大的区别,可能与取样位置有关,两个生境土壤动物的类群和密度存在差异,但主要类群的差异较小。随着植被恢复时间的延长,土壤动物的类群和密度增加,至发育顶级阶段达最大值,而优势类群的多度逐渐降低(表 2)。土壤动物群落结构越复杂,优势类群在群落中所占的比例就越小。



A 革螨 Gamasida; B 辐螨 Actinedida; C 甲螨 Oribatida;
D 赤螨 Erythraeidae; E 球角跳虫科 Hypogastridae;
F 节跳虫 Isotomidae; G 山跳虫 Pseudachorutidae;
H 鳞跳虫 Tomoceridae; I 圆跳虫 Sminthuridae;
J 棘跳虫 Onychiuridae

图 2 不同生境蜱螨类和弹尾类多度变化

Fig. 2 Abundance of main groups of Acari and Collembola at different habitats

3.3 不同演替阶段土壤动物群落多样性

不同演替阶段各生境土壤动物群落的多样性计算结果见表 3。植被恢复阶段土壤动物的 H 和 DG 指数高于植被破坏后裸露阶段,而 J 和 D_s 指数低于破坏后裸露阶段。植被发育顶级阶段土壤动物 H 和 DG 指数的平均值高于植被恢复阶段,植被发育顶级阶段 -1 的 H 指数略低于恢复阶段,但高于破坏后裸露阶段, J 指数低于和阶段, D_s 指数略高于阶段,但低于阶段。 H 、 J 和 DG 指数的计算结果与实际调查结果不完全一致,原因是 -1 的革螨和球角跳虫的个体密度高,优势现象明显,导致 -1 的 H 、 J 和 DG 指数略低于恢复阶段。多样性指数揭示了在植被破坏恢复阶段,土壤动物的多样性明显增加,但发育顶级阶段的两个生境土壤动物多样性存在差异,小尺度的生境差异可能对土壤动物群落产生较大的影响^[19]。土壤动物群落变化与植被恢复演替阶段并不完全一致,但土壤群落中某些类群如鞘翅目、弹尾目等对植被恢复演替阶段具有明显的指示作用^[20~23]。

内蒙古地区草原土壤动物中鞘翅目为主要的优势类群^[20],鞘翅目对草原植被恢复阶段有明显的指示作用。本研究区的地带性植被为克氏针茅草原,三个演替阶段四个生境获得 22 类鞘翅目土壤动物,并在四个生境中均有分布,类群和密度随着植被恢复时间逐渐增加(见表 2),鞘翅目土壤动物的多样性指数见表 3。从表 3 可以看出 H 、 J 和 DG 指数与全部土壤动物的变化趋势接近,说明鞘翅目土壤动物对研究区植被恢复的三个阶段具有明显的指示作用。

表 3 土壤动物多样性指数

Table 3 Diversity indexes of soil fauna

生境 Habitats	全部土壤动物 Total soil fauna				鞘翅目 Coleoptera			
	H	J	D_s	DG	H	J	D_s	DG
	1.83	0.72	0.21	1.31	1.386	1.000	0.246	0.709
	2.25	0.66	0.16	6.00	1.546	0.704	0.275	1.671
-1	2.10	0.61	0.17	5.95	1.196	0.575	0.411	1.828
-2	2.56	0.66	0.13	13.07	1.916	0.676	0.204	3.562

3.4 土壤动物群落多样性与土壤因子的灰色关联分析

随着植被恢复时间的延长和土壤动物的作用,土壤条件也发生改变,土壤因子与土壤动物有着密

切的联系。采用灰色关联分析,把土壤动物的各种多样性指数作为群落结构参数分析土壤动物与土壤 pH、有机质、全氮、全磷、全钾和自然含水量间的关系,结果见表 4。土壤动物与土壤因子的平均灰

色关联度的顺序为:pH、全磷、全钾、自然含水量、有机质和全氮。土壤动物的多样性与pH、全磷、全钾、自然含水量的灰色关联度较大,与有机质和全氮的灰色关联度较小。随着植被恢复,土壤条件发生变化,植被恢复阶段土壤pH降低接近中性,土壤自然含水量随着植被盖度的增加而增加,土壤有机质、全氮含量随着恢复时间的延长持续增加,土壤中有有机质和全氮积累较慢。植被破坏阶段土壤动物类

群较少,植被恢复阶段,土壤动物类群和密度迅速增加,土壤动物的多样性与土壤pH和自然含水量关系密切,植被恢复的顶级阶段(两个坡)土壤动物多样性差异较大,是由于生境条件差异而导致的土壤有机质、土壤自然含水量和全氮含量的不同。土壤动物多样性与土壤全磷、全钾含量变化的灰色关联度较大,具体原因还有待进一步研究。

表4 土壤动物群落多样性与土壤环境因子的灰色关联度

Table 4 The grey relevant coefficient of diversity of soil fauna community and soil environmental factors

	pH	有机质 Soil organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	含水量 Soil moisture
H	0.855 3	0.450 9	0.453 3	0.822 6	0.706 7	0.729 4
J	0.934 4	0.455 3	0.457 0	0.848 1	0.797 4	0.692 3
D	0.856 0	0.487 0	0.491 8	0.820 2	0.850 1	0.714 5
DG	0.651 2	0.685 5	0.658 7	0.653 1	0.571 2	0.741 6
平均值 Mean	0.824 2	0.519 7	0.515 2	0.786 0	0.731 4	0.719 5

4 结 论

1) 当原有的土壤—植被受到彻底破坏后,大型土壤动物也随之消失。只要不同程度恢复土壤—植被系统,大型土壤动物也就随之侵入。中小型土壤动物对土壤—植被系统的依存程度要较大型土壤动物小得多,即便土壤—植被系统受到彻底破坏,中小型土壤动物也有可能存在下去。随着植被演替的进行,土壤动物的群落结构发生明显变化。土壤动物群落结构越复杂,优势类群在群落中所占的比例越小。

2) 蜱螨类与弹尾类的A/C值均大于1,其值域范围不仅明显高于温带地区的平均水平,而且接近于亚热带的平均水平。植被恢复阶段到发育顶级阶段A/C值呈现出先减少后略有增加的变化特征。

3) 随着植被演替的进行,土壤动物的多样性在植被恢复后明显增加,植被恢复阶段和恢复顶级阶段差异较小。在植被恢复的顶级阶段,不同生境土壤动物多样性存在差异,说明土壤动物群落的演替还受到其他因子影响。

4) 鞘翅目土壤动物在四个生境均有分布,类群和密度随着植被恢复时间而增加。鞘翅目土壤动物的H、J和DG指数与全部土壤动物的变化趋势接近,说明鞘翅目土壤动物对研究区植被恢复的3个阶段具有明显的指示作用。

5) 土壤动物群落多样性指数与土壤pH、全磷、

全钾和土壤自然含水量的平均灰色关联系数较大,植被恢复过程中土壤动物多样性的变化与这几个主要土壤环境因子关系密切,植被恢复的各阶段不同土壤因子与土壤动物多样性的关系存在差异。

参 考 文 献

- [1] 王海春. 浅谈公路工程施工对环境的破坏及防治. 青海环境, 2002, 12(2): 82~83. Wang H C. Environmental destruction by highway construction and its prevention measures (In Chinese). Journal of Qinghai Environment, 2002, 12(2): 82~83
- [2] 殷秀琴, 等. 东北森林土壤动物研究. 长春: 东北师范大学出版社, 2001. 1~222. Yin X Q, et al. Study on Forest Soil Animals in the Northeast of China (In Chinese). Changchun: Northeast Normal University Press, 2001. 1~222
- [3] 贺金生, 王政权, 方精云. 全球变化下的地下生态学: 问题与展望. 科学通报, 2004, 49(13): 1226~1233. He J S, Wang Z Q, Fang J Y. Issues and prospects of belowground ecology with special reference to global climate change (In Chinese). Chinese Science Bulletin, 2004, 49(13): 1226~1233
- [4] Katrin G. Nematodes in a coastal dune succession: Indicators of soil properties? Applied Soil Ecology, 1998, 9: 465~469
- [5] Negrete-Yankelevich S, Frago C, Newton A C, et al. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. Applied Soil Ecology, 2007, 35: 340~355
- [6] Thierry D, Thibaud D, Didier A. Successional changes and diversity of soft macrofaunal communities on chalk grasslands in Upper Normandy (France). Acta Oecologica, 1997, 18(2): 135~149
- [7] Decae Ensa T, Dutoit T, Alard D, et al. Factors influencing soil macrofaunal communities in post-pastoral successions of west

- em France *Applied Soil Ecology*, 1998, 9: 361 ~ 367
- [8] 徐国良,周国逸,莫江明. 南亚热带退化植被重建中土壤动物群落变化. *动物学研究*, 2006, 27(1): 23 ~ 28. Xun G L, Zhou G Y, Mo J M. Changes of soil fauna during forest restoration in subtropical China (In Chinese). *Zoological Research*, 2006, 27(1): 23 ~ 28
- [9] Połpiecha N, Skalski T. Factors influencing earthworm communities in post-industrial areas of Krakow Soda Works. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42: 278 ~ 283
- [10] 佟富春,王庆礼,刘兴双,等. 长白山次生林演替过程中土壤动物群落的变化. *应用生态学报*, 2004, 15(9): 1 531 ~ 1 535. Tong F C, Wang Q L, Liu X S, *et al*. Dynamics of soil fauna communities during succession process of secondary forests in Changbai Mountain (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9): 1 531 ~ 1 535
- [11] 尹文英,等著. *中国土壤动物检索图鉴*. 北京:科学出版社, 1998. Yin W Y, *et al*. *Pictorial Keys to Soil Animals of China* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1998
- [12] 殷秀琴,马立名,董炜华. 小兴安岭天然林土壤革螨的生态分布特征. *土壤学报*, 2004, 41(5): 767 ~ 773. Yin X Q, Ma L M, Dong W H. Ecological distribution of soil Gamasida in forests in Xiaoxing'anling (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(5): 767 ~ 773
- [13] Hurd L E. Stability and diversity at three trophic levels in terrestrial successional systems. *Science*, 1971, 173: 1 134 ~ 1 136
- [14] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法. *生物多样性*, 1994, 2(4): 231 ~ 239. Ma K P, Liu Y M. Measure method in biodiversity (In Chinese). *Biodiversity*, 1994, 2(4): 231 ~ 239
- [15] Nachtergale L, Ghekiere K, Schrijver A D, *et al*. Earthworm biomass and species diversity in windthrow sites of a temperate lowland forest. *Pedobiologia*, 2002, 46: 440 ~ 451
- [16] 张金屯. *数量生态学*. 北京:科学出版社, 2004. Zhang J T. *Quantitative Ecology* (In Chinese). Beijing: Science Press, 2004
- [17] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. *灰色系统理论及应用* (第三版). 北京:科学出版社, 2004. Liu S F, Dang Y G, Fang Z G, *et al*. *Gray System Theories and Applications* (In Chinese). 3rd ed. Beijing: Science Press, 2004
- [18] 易兰,由文辉,宋永昌. 天童常绿阔叶林五个演替阶段凋落物中的土壤动物群落. *生态学报*, 2005, 25(3): 466 ~ 473. Yi L, You W H, Song Y C. Soil animal communities in the litter of the evergreen broad-leaved forest at five succession stages in Tiantong (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 466 ~ 473
- [19] Niemela J, Haila Y, Punttila P. The importance of smallscale heterogeneity in boreal forests: Variation in diversity in forest-floor invertebrates across the succession gradient. *Ecography*, 1996, 19: 352 ~ 368
- [20] 郭砺,刘永江,刘新民. 内蒙古典型草原土壤动物优势类群鞘翅目(Coleoptera)昆虫研究. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2000, 31(2): 189 ~ 192. Guo L, Liu Y J, Liu X M. A study on soil animal dominant group Coleoptera in Neimongol *Stipa grandis* steppe (In Chinese). *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 2000, 31(2): 189 ~ 192
- [21] 刘新民,杨劫. 沙坡头地区人工固沙植被演替中大型土壤动物生物指示作用研究. *中国沙漠*, 2005, 25(1): 40 ~ 44. Liu X M, Yang J. Application of macrofauna as bioindicators of artificial plant succession in Shapotou region (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2005, 25(1): 40 ~ 44
- [22] Hemerik L, Bussard L. Diversity of soil macroinvertebrates in grasslands under restoration succession. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38: 145 ~ 150
- [23] Lia H, Lijbert B. Diversity of soil macro-invertebrates in grasslands under restoration succession. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38: 145 ~ 150

CHARACTERISTICS OF SOIL FAUNA COMMUNITY RELATED TO VEGETATION SUCCESSION ALONGSIDE ROADS

Dong Weihua¹ Yin Xiuqin^{1†} Gu Wei² Jiang Yuan³ Liu Jiliang¹

(1 College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

(2 Institute of Resources Technology and Engineering, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(3 Institute of Resources Science, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract Investigations were made of soil fauna community in relation to vegetation succession alongside roads in typical semiaridity grassland zone. It was found that when the original soil-vegetation system was completely destroyed, the soil macrofauna therein were extincted while soil meso-microfauna could be found surviving in the new system because they depend less than soil macrofauna. Soil fauna increased obviously in diversity and density at the initial stage of vegetation restoration and varied from habitat to habitat at the climax stage. The difference of diversity indexes of soil fauna was not significant at the stage of vegetation climax and restoration. Coleoptera showed a trend similar to that other soil animals did in diversity index and they could be cited as indicators at different stages of vegetation restoration. The grey relevant coefficients of diversity of soil fauna community were high with soil pH value, total P, total K and soil natural moisture, suggesting that these soil factors are closely related to variation of soil fauna diversity.

Key words Soil fauna; Vegetation succession; Road region; Zhuozi Mountain