

# 皇甫川流域大型土壤动物对不同水土治理措施的响应

哈斯塔米尔 罗瑞芳 刘新民\*

内蒙古师范大学 生命科学与技术学院 呼和浩特 010022

**摘要:**为了解大型土壤动物对不同水土治理措施的响应,于2008年5~9月,采用手拣法采集大型土壤动物,以内蒙古皇甫川流域人工松树林、人工杨树林、人工锦鸡儿灌木林、人工沙打旺草地、撂荒地和农田6种不同土地利用方式为采样地,分析了大型土壤动物群落的组成、多样性和季节动态特征。共捕获大型土壤动物1653只,隶属于1门3纲8目34科,优势类群为鳃金龟科幼虫和蚁科成虫。不同水土治理措施下,大型土壤动物群落个体数、类群数和生物量较农田明显增加,人工杨树林增加最显著。Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )和Pielou均匀度指数( $J$ )反映的大型土壤动物群落的类群配置状况,在不同水土治理样地不如农田,但群落复杂性指数( $C_j$ )则高于农田。不同土壤动物类群对水土治理措施有不同响应特征,由于个别动物类群个体数的显著增加,不同水土治理措施有导致大型土壤动物群落结构简单化趋势。研究地区采用的各种水土治理措施对大型土壤动物群落的恢复和保护都是有益的,但适时监测和预报害虫发生以及在制定综合治理措施时考虑种植植物的多样性很有必要。

**关键词:**皇甫川流域;水土流失治理;大型土壤动物;群落特征

中图分类号:Q958.1 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2011)06-01-10

## The Response of Soil Macrofaunal Community to Water-soil Erosion Controlling Methods in Huangfuchuan Watershed, Inner Mongolia

HASITAMIER LUO Rui-Fang LIU Xin-Min\*

College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China

**Abstract:** Soil macrofauna were sorted by hand. The responses of soil macrofaunal community to water-soil erosion controlling methods (i. e. *Pinus tabulaeformis* woodland, *Populus simonii* woodland, *Caragana intermedia* shrub, *Astragalus adsurgens* meadow, abandoned and cropland) were investigated with emphasis on their composition, biodiversity and seasonal dynamic in Huangfuchuan Watershed, Inner Mongolia, from May to September, 2008. A total of 1653 soil macrofauna belonging to 1 phyla, 3 classes, 8 orders and 34 families were collected. The dominant groups were Melolonthidae larvae and Formicoidae imago. Compared to farmland, the individual number, group number, and biomass of soil macrofaunal communities in other land use plots increased significantly, and it is most remarkably in *Populus simonii* woodland. In different land use plots, the status of animal group collocating which reflected by Shannon-Wiener index ( $H'$ ) and Pielou index ( $J$ ) were not as good as that of in farmland, but the complexity index ( $C_j$ ) of soil macrofaunal community was higher than that of in

基金项目 内蒙古自然科学基金项目(No. 20067010506, 2010MS0519);

\* 通讯作者, E-mail: Liuxm6596671@163.com;

第一作者简介 哈斯塔米尔,男,硕士研究生;研究方向:土壤动物生态学;E-mail: hasitamira@sina.com。

收稿日期:2011-04-11,修回日期:2011-07-04

farmland. Different soil macrofauna had different response to water-soil erosion controlling methods. Because the individual number of some main groups significantly increased, the construction of soil macrofaunal communities in different land use plots had the trend of simplification. The results suggested that all water-soil erosion controlling methods are benefit to the recovery and conservation of soil macrofaunal community. But it is necessary to predict pest's dynamics in management practices, and enhance the plantation biodiversity in working-out the means of water-soil erosion controlling.

**Key words:** Huangfuchuan Watershed; Water-soil erosion controlling; Soil macrofauna; Community features

土壤动物是土壤生态系统的重要成员,在分解生物残体、改变土壤理化性质、促进系统物质循环和能量转化等过程中起着重要作用<sup>[1]</sup>。有研究表明,土壤动物对环境变化敏感<sup>[2-5]</sup>,不同土地利用方式下,土壤动物的群落组成和多样性会发生明显改变<sup>[6-9]</sup>,可以作为评价环境变化的指示生物。皇甫川是黄河中游的一级支流,属典型的半干旱区季节性河流,多粗泥沙,水土流失极其强烈,并严重影响着流域的生态环境<sup>[10]</sup>。自1978年流域实施水土综合治理和试验示范研究以来,在控制水土流失方面取得了良好效果<sup>[11]</sup>,并在植被空间动态变化<sup>[12]</sup>、生物多样性恢复<sup>[13]</sup>、微生物类群组成<sup>[14]</sup>和土壤肥力改善<sup>[15]</sup>等方面起到了较好的促进作用。

我们以皇甫川流域贺家湾五分地沟综合治理实验区为研究地点,分析了大型土壤动物群落对不同水土治理措施的响应特征,并与天然百里香草地中的大型土壤动物群落进行了比较,试图对皇甫川流域综合治理的科学评价提供土壤动物方面的依据。

## 1 材料与方 法

**1.1 样地选择** 研究地点选择在皇甫川流域五分地沟(地理坐标为39°45'N,111°07'E)和阳泉沟(地理坐标39°45'N,111°06'E),该区域属半干旱大陆性季风气候,年平均气温6.2~7.2℃,≥10℃年均积温约2 900~3 500℃,年降雨量379~420 mm,集中于6~8月,地带性土壤为栗钙土,植被以人工林、次生草地和农田为主。五分地沟位于长川中游东岸,采样点选择在国家黄土高原造林示范区贺家湾水土保持站,种植人工林和人工草地为主要水土治理措

施,包括人工油松(*Pinus tabulaeformis*)林、杨树(*Populus simonii*)林、锦鸡儿(*Caragana intermedia*)灌木林和沙打旺(*Astragalus adsurgens*)草地等。阳泉沟位于长川中游西岸,成土条件及地形地貌与五分地沟相似,原生植被为本氏针茅(*Stipa bungeana*)草原,由于人为活动的影响,大多被百里香(*Thymus serpyllum*)草地取代<sup>[12-13,15]</sup>。

选择人工松树林(PTW)、人工杨树林(PSW)、人工锦鸡儿灌木林(CIS)、人工沙打旺草地(AAM)、撂荒地(AC)和农田(FL1和FL2)6类不同管理方式样地,以反映大型土壤动物对水土治理的响应,其中PTW、PSW、CIS和FL1位于长川中游东岸,相互靠近,AAM、AC和FL2位于谷底。同时,在阳泉沟选择百里香草地(TSG)和退化草地(DG)这2种样地,反映未治理情况下大型土壤动物的组成特征。各采样点背景资料见表1。

**1.2 研究方法** 2008年5、7、9月份的每月下旬,以样方法采集大型土壤动物标本,样方大小为,面积25 cm×25 cm、深度30 cm,每10 cm一层,分三层,手拣收集动物标本,称生物量鲜重,75%酒精固定,实验室内依照有关文献<sup>[16-18]</sup>分类统计,每样地每次10个重复。用100 cm<sup>3</sup>土壤环刀采集土壤剖面0~5 cm、5~10 cm和10~15 cm的土壤样品,每样地5个重复。

采用Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )<sup>[6]</sup>、Simpson优势度指数( $D$ )<sup>[6]</sup>、Pielou均匀度指数( $J$ )<sup>[6]</sup>和复杂性指数( $C_j$ )<sup>[19]</sup>计算大型土壤动物群落的多样性。采用(相对频度+相对生物量+相对密度)/3<sup>[20]</sup>计算主要动物类群的重要

表 1 样地背景资料  
Table 1 Background data of sampling plots

样地 Plots	植被类型 Vegetation type	海拔 Altitude (m)	树(草)高 Height of wood (grass) (m)	郁闭 (盖)度 Canopy closure (%)	土壤 含水量 Water content (%)	土壤 pH Soil pH	土壤 有机质 Organic matter (g/kg)
PTW	松树林 <i>Pinus tabulaeformis</i> woodland	1 157	3.0 ~ 4.0	80 ~ 90	11.20 <sup>d</sup>	7.89 <sup>cd</sup>	9.79 <sup>a</sup>
PSW	杨树林 <i>Populus simonii</i> woodland	1 134	3.0 ~ 5.0	50 ~ 60	14.54 <sup>bc</sup>	7.84 <sup>d</sup>	6.00 <sup>cd</sup>
CIS	锦鸡儿灌木林 <i>Caragana intermedia</i> shrub	1 169	0.7 ~ 0.8	40	16.37 <sup>b</sup>	7.96 <sup>cd</sup>	6.11 <sup>cd</sup>
FL1	农田 1 Farmland 1	1 158	—	—	18.16 <sup>a</sup>	8.30 <sup>b</sup>	8.82 <sup>ab</sup>
AAM	沙打旺草地 <i>Astragalus adsurgens</i> meadow	1 080	0.1 ~ 0.2	70	13.48 <sup>c</sup>	8.65 <sup>a</sup>	2.46 <sup>e</sup>
AC	撂荒地 Abandoned cropland	1 105	0.7 ~ 0.8	70 ~ 80	13.53 <sup>c</sup>	8.03 <sup>cd</sup>	4.55 <sup>d</sup>
FL2	农田 2 Farmland 2	1 084	—	—	14.60 <sup>bc</sup>	8.15 <sup>bc</sup>	7.31 <sup>bc</sup>
TSG	百里香草地 <i>Thymus serpyllum</i> grassland	1 178	0.5	70	15.62 <sup>b</sup>	7.22 <sup>e</sup>	5.93 <sup>dc</sup>
DG	退化草地 Degenerated grassland	1 143	<0.1	<40	15.56 <sup>b</sup>	8.10 <sup>bc</sup>	6.70 <sup>dc</sup>

PTW: 松树林; PSW: 杨树林; CIS: 锦鸡儿灌木林; AAM: 沙打旺草地; AC: 撂荒地; FL1: 农田 1; TSG: 百里香草地; DG: 退化草地; FL2: 农田 2; 下同。同列不同上标字母表示样地间差异显著 ( $P < 0.05$ ); “—” 未测定数据。

PTW: *Pinus tabulaeformis* woodland. PSW: *Populus simonii* woodland. CIS: *Caragana intermedia* shrub. AAM: *Astragalus adsurgens* meadow. AC: Abandoned cropland. FL1: Farmland 1. TSG: *Thymus serpyllum* grassland. DG: Degenerated grassland. FL2: Farmland 2. The same below. Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level among plots. “—” Data were not determined.

值 (%)。采用 Jaccard 指数 ( $q$ ) 和 Gower 指数 ( $S_c$ )<sup>[19]</sup> 计算群落相似性。烘干法测定土壤含水量<sup>[21]</sup>, PB10 精密酸度计测定土壤 pH (水土比为 5:1), 重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量<sup>[21]</sup>。

以 Excel 2003 和 SPSS 11.5 软件进行数据统计与处理。采用 Duncan 法进行相关数据间的差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 大型土壤动物群落组成的变化

共捕获大型土壤动物 1 653 只, 43 类, 隶属于 1 门 3 纲 8 目 34 科 (表 2)。在 43 类大型土壤动物中, 鳃金龟科幼虫 (47.31%) 和蚁科成虫 (26.86%) 为优势类群, 合计占总捕获量的 74.17%; 常见类群包括平腹蛛科物种 (2.00%)、步甲科幼虫 (1.81%)、隐翅甲科成虫 (1.15%)、鳃金龟科成虫 (3.87%)、叩甲科幼虫 (2.84%)、象甲科幼虫 (2.72%) 和食虫虻科幼虫 (2.78%) 7 类, 占总捕获量的 17.17%; 其余为稀有类群, 共有 34 类, 占总捕获量的 8.66%。

与农田 (FL1 和 FL2) 比较, 本研究涉及的几种水土治理措施均导致大型土壤动物个体数、类群数和生物量的显著提高 ( $P < 0.05$ ) (表 2), 个体数和生物量以人工杨树林提高幅度最大, 类群数则为锦鸡儿灌木林最高; 43 类土壤动物中, 鳃金龟科幼虫和蚁科成虫在不同治理措施样地中的数量均有明显增加。5 种水土治理措施样地与对照农田的优势土壤动物类群基本相同, 均为鳃金龟科幼虫和蚁科成虫。但有 2 类土壤动物的优势度变化较为特殊。平腹蛛科物种在农田中数量较低 (农田 1 中的优势度为 3.03%, 农田 2 中没有捕获), 但在人工松树林中数量达到 12.15%, 成为优势类群, 并在其他治理措施样地中也有一定数量分布。拟步甲科幼虫则在农田 1 中为优势类群, 农田 2 中没有捕获, 5 种水土治理样地中优势度均低, 甚至没有分布。不同水土治理措施导致土壤动物群落结构变化的主要形式是非优势类群优势度的变化。与未治理的百里香草地和退化草地比较, 不同水土治理措施样地中大型土壤动物的个体数和生物量也明显较高, 但类群数却较少。

表 2 不同水土治理措施下大型土壤动物群落组成变化  
Table 2 Changes of soil macrofaunal community in different plots

土壤动物 Soil macrofauna	PTW	PSW	CIS	FLI	AAM	AC	FL2	TSG	DG	合计 Total
狼蛛科 Lycosidae	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
平腹蛛科 Gnaphosidae	13	10	2	1	0	2	0	3	2	33
蟹蛛科 Thomisidae	0	0	0	0	3	0	1	2	1	7
逍遥蛛科 Philodromidae	0	2	0	0	0	0	0	0	1	3
皿蛛科 Linyphiidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
其他蜘蛛目物种 Araneae	0	3	0	0	1	0	0	0	0	4
蜈蚣科 Scolopendridae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
蝼蛄科 Gryllotalpidae	0	0	0	0	0	2	1	0	0	3
珠蚶科 Margarodidae	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
叶蝉科 Cicadellidae	0	1	0	0	1	0	0	0	1	3
长蝽科 Lygaeidae	0	0	4	0	0	1	0	1	2	8
缘蝽科 Coreidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
盾蝽科 Scutelleridae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
蝽科 Pentatomidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
猎蝽科 Reduviidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
盲蝽科 Miridae	0	0	2	0	0	1	0	0	1	4
步甲科成虫 Carabidae	3	3	0	1	0	3	2	0	0	12
步甲科幼虫 Carabidae	1	1	3	3	4	15	0	2	1	30
隐翅甲科成虫 Staphylinidae	5	0	1	0	8	3	0	1	1	19
鳃金龟科成虫 Melolonthidae	0	33	4	1	2	8	1	12	3	64
鳃金龟科幼虫 Melolonthidae	29	458	46	4	41	56	9	122	17	782
蜉金龟科幼虫 Aphodiidae	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2
丽金龟科幼虫 Rutelidae	0	0	0	0	8	0	3	2	2	15
粪金龟科成虫 Geotrupidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
叩甲科成虫 Elateridae	0	0	0	0	0	3	0	1	4	8
叩甲科幼虫 Elateridae	0	3	7	0	2	3	0	18	14	47
粉蠹科幼虫 Lyctidae	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2
瓢甲科幼虫 Coccinellidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
拟步甲科成虫 Tenebrionidae	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
拟步甲科幼虫 Tenebrionidae	0	0	2	5	0	2	0	1	1	11
叶甲科成虫 Chrysomelidae	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3
叶甲科幼虫 Chrysomelidae	0	1	1	1	0	1	0	1	0	5
象甲科成虫 Curculionidae	0	0	2	0	1	0	0	0	1	4
象甲科幼虫 Curculionidae	0	0	13	1	2	0	2	20	7	45
其他鞘翅目成虫 Coleoptera	1	0	0	0	0	2	0	1	0	4
鹬虻科幼虫 Rhagionidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
食虫虻科幼虫 Asilidae	2	9	3	1	4	1	4	20	2	46
剑虻科幼虫 Therevidae	0	0	1	0	2	0	3	1	0	7
双翅目幼虫 Diptera larvae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
粉蝶科幼虫 Pieridae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
螟蛾科幼虫 Pyralidae	0	0	13	0	0	0	0	1	0	14
夜蛾科幼虫 Noctuidae	0	1	0	0	1	1	0	0	0	3
蚁科成虫 Formicidae	49	55	90	15	74	56	20	32	53	444
个体数 Individual number (只)	107 <sup>cd</sup>	583 <sup>a</sup>	196 <sup>bc</sup>	33 <sup>d</sup>	156 <sup>bc</sup>	160 <sup>bc</sup>	47 <sup>d</sup>	247 <sup>b</sup>	124 <sup>cd</sup>	1 653
类群数 Group number	12	15	18	10	17	17	11	24	23	43
生物量 Biomass (mg/m <sup>2</sup> )	1 069 <sup>cd</sup>	2 720 <sup>a</sup>	1 416 <sup>bc</sup>	309 <sup>d</sup>	1 527 <sup>bc</sup>	2 030 <sup>bc</sup>	587 <sup>d</sup>	2 400 <sup>b</sup>	870 <sup>cd</sup>	12 928

表中数据为大型土壤动物类群个体数,同行不同上标字母表示样地间差异显著( $P < 0.05$ )。

Data in the table were individual number of soil macrofauna. Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level among plots.

表 3 大型土壤动物主要类群的重要值和生物量  
Table 3 Important value and biomass of the main soil macrofaunal groups

土壤动物 Soil macrofauna	生物量 Biomass (mg/m <sup>2</sup> )										重要值 Important value (%)									
	PTW	PSW	CIS	FL1	AAM	AC	FL2	TSG	DG	PTW	PSW	CIS	FL1	AAM	AC	FL2	TSG	DG		
平腹蛛科 Gnaphosidae	4	25	9	1	0	16	0	4	6	9.03	2.23	1.22	2.41	0.00	1.54	0.00	1.24	1.66		
步甲科成虫 Carabidae	26	152	0	19	0	16	25	0	0	3.58	2.85	0.00	4.30	0.00	2.19	4.79	0.00	0.00		
步甲科幼虫 Carabidae	18	5	17	375	30	188	0	44	26	1.47	0.39	2.00	10.12	2.72	10.97	0.00	1.40	1.68		
隐翅甲科成虫 Staphylinidae	3	0	1	0	3	4	0	0	2	4.69	0.00	0.52	0.00	4.01	1.99	0.00	0.39	0.77		
鳃金龟科成虫 Melolonthidae	0	274	15	158	5	79	7	139	28	0.00	7.95	3.50	2.81	1.49	5.13	2.08	5.87	3.19		
鳃金龟科幼虫 Melolonthidae	753	1 889	1 111	988	76	494	157	1 098	257	37.96	65.86	34.78	17.36	42.26	27.57	23.12	41.00	18.80		
叩甲科幼虫 Elateridae	0	6	24	0	9	3	0	33	38	0.00	1.06	4.10	0.00	1.36	1.97	0.00	6.25	10.03		
象甲科幼虫 Curculionidae	0	0	56	74	4	0	11	36	13	0.00	0.00	6.22	10.31	1.25	0.00	4.00	6.56	4.56		
食虫虻科幼虫 Asilidae	109	227	108	3	20	3	11	557	33	5.24	5.74	4.06	2.60	2.78	0.68	7.37	14.60	2.69		
蚊科成虫 Noctuidae	48	85	101	16	160	78	25	25	42	30.09	9.61	26.78	28.41	30.05	21.60	23.47	9.58	24.20		
蟋蟀科 Gryllotalpidae	0	0	0	0	0	877	37	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.68	3.78	0.00	0.00		
丽金龟科幼虫 Rutelidae	0	0	0	0	168	0	247	294	266	0.00	0.00	0.00	0.00	7.23	0.00	19.06	4.87	11.21		
拟步甲科幼虫 Tenebrionidae	0	0	13	74	0	18	0	9	24	0.00	0.00	1.32	18.18	0.00	1.58	0.00	0.52	1.63		
螟蛾科幼虫 Pyralidae	0	0	118	0	0	0	0	9	0	0.00	0.00	8.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00		

表3为个体数占总捕获量1%以上或生物量占群落总生物量1%以上的14个主要动物类群的生物量和重要值。生物量反映了与个体数优势度不同的土壤动物类群对水土治理措施响应特征。与农田比较,不同水土治理措施样地中部分土壤动物类群的生物量反映的重要性排序显著提高,如鳃金龟科幼虫、食虫虻科幼虫、平腹蛛科物种和叩甲科幼虫,而且,它们在不同样地中的重要性排序是有差别的,显然与它们对不同环境的适应性有关。重要值反映的重要性排序与生物量有相似之处,如鳃金龟科幼虫、食虫虻科幼虫和平腹蛛科物种等动物类群同样在不同水土治理措施的样地中较农田重要性排序有提高趋势,但象甲科幼虫的重要性排序则有降低的趋势。

**2.2 不同治理措施下大型土壤动物垂直分布的变化** 图1为大型土壤动物群落垂直分布的变化。除农田2土壤动物群落分布在10~20 cm土层中的个体数较高外,所有样地土壤动物群落的个体数和类群数垂直分布形式均为0~10 cm > 10~20 cm > 20~30 cm,可以认为,不同水土治理对大型土壤动物群落的垂直分布形式没有影响。

**2.3 不同治理措施下大型土壤动物群落多样性和相似性** 4种大型土壤动物群落多样性指数的计算表明(表4),不同水土治理措施样地的Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )、Simpson优势度指数( $D$ )和Pielou均匀度指数( $J$ )均低于对照农田,仅人工锦鸡儿灌木林(CIS)中土壤动物群落的Shannon-Wiener多样性指数( $H' = 1.7851$ )高于对照农田(FL1,  $H' = 1.7538$ )。复杂性指数( $C_j$ )显示的结果正相反,不同水土治理措施样地均高于对照农田。

对于未治理的百里香草地和退化草地,土壤动物群落的Shannon-Wiener多样性指数和群落复杂性指数均高于其他样地,Simpson优势度指数和Pielou均匀度指数则无明显的变化特征。

大型土壤动物群落中类群和数量组成因在不同的治理措施下而存在差异,但也具有一定

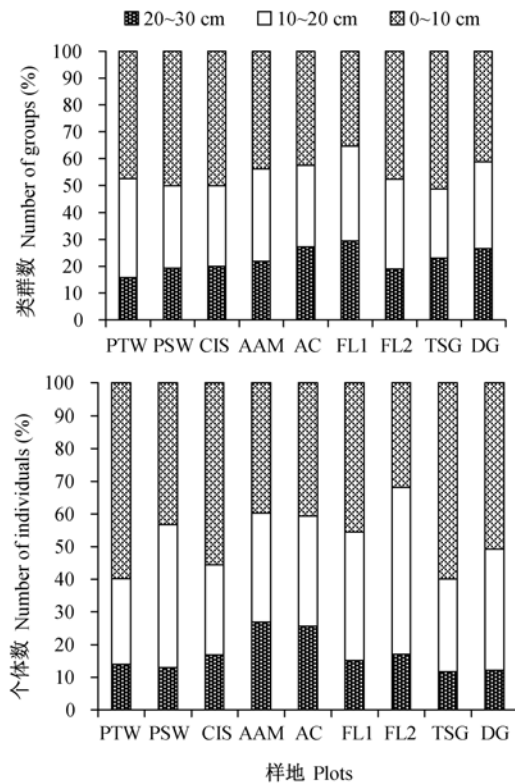


图1 不同治理措施下大型土壤动物垂直分布  
Fig. 1 Vertical distribution of soil macrofauna in different plots

的相似性。由表5可以看出,9个样地的Jaccard相似性指数( $q$ )最大值为0.5217,表明样地之间大型土壤动物群落的相似程度均较低。相对而言,人工锦鸡儿灌木林(CIS)与撂荒地(AC)之间相似程度最高。此外,人工锦鸡儿灌木林(CIS)与百里香草地(TSG)、退化草地(DG)之间,以及撂荒地(AC)与农田1(FL1)之间,相似性也较高。不同治理措施样地与农田之间的土壤动物群落相似性均较低。

Gower系数( $S_c$ )反映的是群落之间差异程度,与Jaccard系数一样,Gower系数计算的结果表明,各样地之间的土壤动物群落有较大差异(表5)。样地之间Gower系数的最小值(0.5267)出现在百里香草地(TSG)与人工杨树林(PTW)之间,即它们的土壤动物群落结构具有较大的相似性。退化草地(DG)分别与人工松树林(PTW)、人工杨树林(PSW)、百里香草地(TSG)之间,人工锦鸡儿灌丛(CIS)与人工

表 4 大型土壤动物群落多样性

Table 4 Diversities of soil macrofaunal communities

多样性指数 Biodiversity indices	PTW	PSW	CIS	FLI	AAM	AC	FL2	TSG	DG
$H'$	1.547 4	0.883 9	1.785 1	1.753 8	1.691 1	1.782 5	1.837 4	1.840 9	2.124 4
$D$	0.698 2	0.370 1	0.722 1	0.742 0	0.698 1	0.741 5	0.761 4	0.717 9	0.776 8
$J$	0.622 7	0.326 4	0.617 6	0.761 7	0.596 9	0.629 2	0.766 3	0.579 3	0.677 5
$C_j$	2.012 7	1.333 9	1.882 0	0.604 0	1.911 3	1.497 4	1.076 2	2.134 7	2.286 4

表 5 群落相似性比较

Table 5 Comparison on similarity of soil macrofaunal communities

	PTW	PSW	CIS	AAM	AC	TSG	DG	FLI	FL2
PTW		0.653 1	0.616 1	0.643 9	0.719 9	0.648 7	0.583 1	0.779 3	0.758 1
PSW	0.285 7		0.580 3	0.643 4	0.700 0	0.526 7	0.563 7	0.729 5	0.666 7
CIS	0.250 0	0.320 0		0.631 9	0.698 7	0.611 1	0.684 2	0.773 3	0.732 1
AAM	0.208 3	0.391 3	0.416 7		0.658 6	0.547 9	0.634 2	0.716 4	0.748 3
AC	0.381 0	0.454 5	0.521 7	0.307 7		0.613 0	0.633 5	0.811 4	0.739 8
TSG	0.333 3	0.258 1	0.500 0	0.366 7	0.464 3		0.593 2	0.684 3	0.638 6
DG	0.206 9	0.310 3	0.518 5	0.428 6	0.428 6	0.468 8		0.679 6	0.709 6
FLI	0.375 0	0.470 6	0.473 7	0.285 7	0.500 0	0.360 0	0.269 2		0.858 0
FL2	0.210 5	0.238 1	0.333 3	0.400 0	0.272 7	0.296 3	0.307 7	0.400 0	

左下三角为  $q$  指数;右上三角为  $S_C$  指数。Lower left triangle for the  $q$  index; Upper right triangle for the  $S_C$  index.

表 6 大型土壤动物主要类群密度

Table 6 Density of soil macrofaunal groups (ind/m<sup>2</sup>)

土壤动物 Soil macrofauna	PTW	PSW	CIS	FLI	AAM	AC	FL2	TSG	DG
隐翅甲科成虫 Staphylinidae	0.09 <sup>ab</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.14 <sup>a</sup>	0.05 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>
步甲科成虫 Carabidae	0.05 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
步甲科幼虫 Carabidae	0.02 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.05 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.07 <sup>b</sup>	0.27 <sup>a</sup>	0.05 <sup>b</sup>	0.04 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>
拟步甲科幼虫 Tenebrionidae	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.04 <sup>ab</sup>	0.09 <sup>a</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.04 <sup>ab</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>
鳃金龟幼虫 Melolonthidae	0.68 <sup>bc</sup>	8.14 <sup>a</sup>	0.82 <sup>bc</sup>	0.07 <sup>c</sup>	0.73 <sup>bc</sup>	1.00 <sup>bc</sup>	0.16 <sup>c</sup>	2.17 <sup>b</sup>	0.30 <sup>c</sup>
鳃金龟成虫 Melolonthidae	0.00 <sup>b</sup>	0.59 <sup>a</sup>	0.07 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.04 <sup>b</sup>	0.14 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.21 <sup>b</sup>	0.05 <sup>b</sup>
丽金龟科幼虫 Rutelidae	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.14 <sup>a</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.05 <sup>ab</sup>	0.04 <sup>b</sup>	0.04 <sup>b</sup>
象甲科幼虫 Curculionidae	0.00 <sup>c</sup>	0.00 <sup>c</sup>	0.23 <sup>ab</sup>	0.02 <sup>c</sup>	0.04 <sup>c</sup>	0.00 <sup>c</sup>	0.04 <sup>c</sup>	0.36 <sup>a</sup>	0.12 <sup>bc</sup>
象甲科成虫 Curculionidae	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>
叩甲科成虫 Elateridae	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.05 <sup>ab</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0.02 <sup>ab</sup>	0.07 <sup>a</sup>
叩甲科幼虫 Elateridae	0.00 <sup>c</sup>	0.05 <sup>c</sup>	0.12 <sup>bc</sup>	0.00 <sup>c</sup>	0.04 <sup>c</sup>	0.05 <sup>c</sup>	0.00 <sup>c</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.25 <sup>ab</sup>
叶甲科幼虫 Chrysomelidae	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
叶甲科成虫 Chrysomelidae	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>
蚁科成虫 Noctuidae	0.87 <sup>abc</sup>	0.98 <sup>abc</sup>	1.60 <sup>a</sup>	0.27 <sup>c</sup>	1.32 <sup>ab</sup>	1.00 <sup>abc</sup>	0.36 <sup>bc</sup>	0.57 <sup>bc</sup>	0.94 <sup>abc</sup>
食虫虻科幼虫 Asilidae	0.04 <sup>bc</sup>	0.16 <sup>b</sup>	0.05 <sup>bc</sup>	0.02 <sup>c</sup>	0.07 <sup>bc</sup>	0.02 <sup>c</sup>	0.07 <sup>bc</sup>	0.40 <sup>a</sup>	0.04 <sup>bc</sup>
剑虻科幼虫 Therevidae	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
平腹蛛科 Gnaphosidae	0.23 <sup>a</sup>	0.18 <sup>ab</sup>	0.04 <sup>bc</sup>	0.02 <sup>bc</sup>	0.00 <sup>c</sup>	0.04 <sup>bc</sup>	0.00 <sup>c</sup>	0.05 <sup>bc</sup>	0.04 <sup>bc</sup>
长蜡科 Lygaeidae	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>

同行不同上标字母表示样地间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 levels among plots.

杨树林 (PTW) 之间, 以及人工沙打旺草地 (AAM) 与百里香草地 (TSG) 之间, Gower 系数

值均较低 (0.5 ~ 0.6)。与 Jaccard 相似性指数 ( $q$ ) 反映的土壤动物群落相似性情况一致的

是,农田(FL1 和 FL2)与其他样地之间的 Gower 系数值均较高。

**2.4 不同治理措施下大型土壤动物主要类群的密度** 表 6 为优势度较高的 18 个大型土壤动物类群在不同样地中密度的变化情况。它们对不同水土治理措施的响应表现为,有些类群的密度在不同水土治理样地中较农田有明显提高,如平腹蛛科物种、鳃金龟幼虫、蚁科成虫、食虫虻科幼虫、步甲科幼虫和隐翅甲科成虫等;有些类群的密度则与农田之间无明显差别,如步甲科成虫、叶甲科幼虫等;有些类群的密度还表现为较农田有降低趋势,如拟步甲科幼虫和叶甲科成虫。

很明显,不同动物类群对不同水土治理的响应特征很不相同,除少数主要动物类群(如蚁科成虫、鳃金龟科幼虫和食虫虻科幼虫等)在几种水土治理措施样地中的密度均有增加外,其他大多数动物类群的密度增加基本上只在个别样地中有表现,如鳃金龟科成虫和幼虫在人工杨树林(PSW)样地中、象甲科幼虫在人工锦鸡儿灌木林(CIS)样地中等。

### 3 讨论

在研究地区剧烈的水土流失背景下,持续的农耕活动将改变土壤结构和地表的覆被状况<sup>[22-23]</sup>,并严重干扰土壤动物的生长发育,使农田生境中的土壤动物类群数和个体数均处于较低水平,且土壤动物群落呈结构单调、不完整状态<sup>[24-25]</sup>。人为的水土流失综合治理使环境的植物群落和土壤特征发生了明显改变(表 1),而且不同治理措施之间这些特征的变化有较大差别。采取不同水土治理措施后,大型土壤动物群落的一个基本变化趋势是类群数、个体数和群落的总生物量均有所提高,且在人工杨树林、人工锦鸡儿灌木林和人工沙打旺草地 3 种治理措施下提高相对明显。但综合衡量几种水土治理措施下大型土壤动物群落组成的响应特征,这些治理措施并未使其群落组成的各项指标均优于农田。与研究地区自然植被(百里香草地和退化草地)比较,人工植被(包括农

田)中的大型土壤动物群落尽管个体数增加较为明显,但个别动物类群优势度的显著提高,使群落组成简单化的趋势极为突出,特别是一些农林害虫(如鳃金龟科昆虫和象甲科昆虫)个体数量的变化。单一树种人工林的一个明显缺陷是导致环境状况单一,容易诱发害虫的严重危害,本研究采集到的鳃金龟科昆虫中,基本均为黑绒金龟(*Serica orientalis*),同时在野外采样中也发现了毛缺鳃金龟(*Diphycerus davidis*)成虫在各种人工林样地中集中大量发生。因此,在综合治理区适时监测和预报害虫的发生以及在综合治理措施的制定中考虑种植植物的多样性很有必要。

不同群落多样性指数可以从不同侧面反映大型土壤动物群落的多样性状况。本研究结果显示,不同水土治理措施样地的大型土壤动物群落个体数、类群数和生物量尽管较农田均有所提高,但 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )和 Pielou 均匀度指数( $J$ )所反映的群落中动物类群的配置状态并不优于农田和研究地区的自然植被(百里香草地和退化草地)样地,这种结果显然与人工植被的环境单一、大型土壤动物群落结构简单有关。复杂性指数( $C_j$ )以 Shannon-Wiener 多样性指数为基础,可以同时体现土壤动物群落的类群数、各类群在群落中的相对多度以及在群落间的相对丰度 3 个特征,更适合于复杂的、分类单位较大的土壤动物群落之间的多样性比较<sup>[19]</sup>。本研究中,不同水土治理措施均导致大型土壤动物群落的复杂性指数较农田显著提高,但低于自然植被状态。

大型土壤动物不同类群对不同水土治理措施的响应明显不同。蚁类由于农田的耕作活动影响其筑巢而数量减少是很显然的,这与一些文献中的研究结果极其相似<sup>[4,6,26]</sup>。终止农耕活动的各种水土治理样地中蚁类的数量明显增加,但没有表现出对不同水土治理措施之间反应方式的显著差异。有研究认为,农田耕作会减少鞘翅目昆虫(特别是捕食性的步甲科昆虫)的个体数量,并可以用来指示土壤环境的变化<sup>[27-29]</sup>。本研究中,人工水土治理植被确实



导致了鞘翅目昆虫的数量增加,且鞘翅目幼虫的增加尤其突出,即退耕后种植人工植被,由于消除了人为耕作活动的干扰以及环境状况的变化,更加适合鞘翅目昆虫的产卵活动及卵和幼虫的发育。在主要土壤动物类群中,平腹蛛科物种和食虫虻科幼虫在不同水土治理样地中数量的提高是值得注意的,2类土壤动物均为捕食者,分别生活于植物枝干上和土壤中,它们的数量增加显然是生境条件复杂化的结果,特别是土地覆被状况的变化。

#### 4 结 论

本研究共捕获大型土壤动物 1 653 只,43 类,隶属 1 门 3 纲 8 目 34 科。

不同水土治理措施下,大型土壤动物群落个体数、类群数和生物量较农田明显增加。不同土壤动物类群对不同水土治理措施的响应不同,由于个别类群个体数的大幅度增加,水土治理样地中土壤动物群落结构有简单化趋势。

Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 和 Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) 反映的土壤动物群落的类群配置状况在不同水土治理样地均不如农田,但大型土壤群落的复杂性指数 ( $C_j$ ) 则显示高于农田。

综合以上分析,研究地区采用的各种水土治理措施对土壤动物群落的恢复和保护都是有益的,但适时监测和预报害虫发生以及在制定综合治理措施时考虑种植植物的多样性很有必要。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 葛宝明,孔军苗,程宏毅,等. 不同利用方式土地秋季大型土壤动物群落结构. 动物学研究,2005,26(3): 272-278.
- [ 2 ] 吕世海,卢欣石,高吉喜. 呼伦贝尔草地风蚀沙化土壤动物对环境退化的响应. 应用生态学报,2007,18(9): 2055-2060.
- [ 3 ] Vanbergen A J, Watt A D, Mitchell R, et al. Scale-specific correlations between habitat heterogeneity and soil fauna diversity along a landscape structure gradient. *Oecologia*, 2007,153(3): 713-725.
- [ 4 ] Nakamura A, Catterall C P, House P N, et al. The use of ants and other soil and litter arthropods as bioindicators of the impacts of rainforest clearing and subsequent land use. *Journal of Insect Conservation*, 2007,11(2): 177-186.
- [ 5 ] 刘继亮,李锋瑞. 坡向和微地形对大型土壤动物空间分布格局的影响. 中国沙漠,2008,28(6): 1104-1112.
- [ 6 ] 刘新民,门丽娜. 内蒙古武川县农田退耕还草对大型土壤动物群落的影响. 应用生态学报,2009,20(8): 1965-1972.
- [ 7 ] Minor M A, Cianciolo J M. Diversity of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) along a gradient of land use types in New York. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35(1): 140-153.
- [ 8 ] Liu R T, Zhao H L, Zhao X Y, et al. Soil macrofaunal response to sand dune conversion from mobile dunes to fixed dunes in Horqin sandy land, northern China. *European Journal of Soil Biology*, 2009, 45(5/6): 417-422.
- [ 9 ] 王国利,陈应武,刘长仲,等. 黄土高原退耕地恢复对土壤无脊椎动物多样性的影响. 中国沙漠,2010,30(1): 140-145.
- [ 10 ] 张艳丽,贾志斌. 皇甫川流域不同土地利用对群落结构和植物多样性的影响. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2008,39(3): 325-331.
- [ 11 ] 金争平,史培军,侯福昌,等. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式. 北京: 海洋出版社,1992.
- [ 12 ] 杨劫,高清竹,李国强,等. 内蒙古皇甫川流域植被空间动态变化分析. 水土保持学报,2001,15(3): 41-43.
- [ 13 ] 贾志斌,金争平,刘书润. 流域治理与生物多样性恢复初步研究. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版,2001, 22(3): 56-60.
- [ 14 ] 韩芳,邵玉琴,赵吉,等. 皇甫川流域不同林地土壤微生物类群的初步研究. 内蒙古林业科技,2001,3(3): 5-7.
- [ 15 ] 黄和平,杨劫,毕军,等. 皇甫川流域植被恢复对改善土壤肥力的作用研究. 水土保持通报,2005,25(3): 55-67.
- [ 16 ] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998: 90-387.
- [ 17 ] 郑乐怡,归鸿. 昆虫分类: 上、下册. 南京: 南京师范大学出版社,1999.
- [ 18 ] 钟觉民. 幼虫分类学. 北京: 农业出版社,1990.
- [ 19 ] 傅必谦,陈卫,董晓晖,等. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. 生态学报,2002,22(2): 215-223.
- [ 20 ] 刘新民,乌宁. 大针茅草原蛴螬群落特征研究. 应用生态学报,2004,15(9): 1607-1610.
- [ 21 ] 鲁如坤. 土壤农化分析方法. 北京: 中国农业科技出版社,1991.

- [22] 刘红,袁兴中. 泰山土壤动物群落结构特征. 山地研究, 1988,16(2): 114 - 119.
- [23] 区余端,苏志尧,李镇魁,等. 车八岭山地常绿阔叶林冰灾后土壤节肢动物群落的多样性. 生物多样性,2009, 17(5): 440 - 447.
- [24] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*,2004,304(5677): 1629 - 1633.
- [25] Wenninger E J, Inouye R S. Insect community response to plant diversity and productivity in a sagebrush-steppe ecosystem. *Journal of Arid Environments*,2008,72(1): 24 - 33.
- [26] King J R, Andersen A N, Cutter A D. Ants as bioindicators of habitat disturbance: validation of the functional group model for Australia's humid tropics. *Biodiversity and Conservation*,1998,7(12): 1627 - 1638.
- [27] Döring T F, Hiller A, Wehke S, et al. Biotic indicators of carabid species richness on organically and conventionally managed arable fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*,2003,98(1/3): 133 - 139.
- [28] Kromp B. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1999,74(1/3): 187 - 228.
- [29] Fadl A, Purvis G, Towey K. The effect of time of soil cultivation on the incidence of *Pterostichus melanarius* (Illig.) (Coleoptera: Carabidae) in arable land in Ireland. *Annales Zoologici Fennici*,1996,33: 207 - 214.