

茂名油页岩废渣场土壤动物的种类组成及其多样性

李健雄¹, 廖崇惠^{1,*}, 杨悦屏¹, 刘世忠², 柯宏华³

(1. 广东省昆虫研究所, 广州 510260; 2. 中国科学院华南植物研究所, 广州 510650;

3. 中国石油化工股份有限公司茂名分公司环保处, 广东省茂名市 525011)

摘要: 研究不同生态改造状况下, 茂名市油页岩废渣场的土壤动物种类组成及其多样性。研究样地分别设在 1985 年形成并同时植树造林和 1992 年形成后刚开始种树的两个废渣场(南排和北排)上。研究的土壤动物包括手拣法和干漏斗法收集的以大、中型为主的类群。动物分类至科或属, 只有很小的部分分类至目(如唇足纲)或分类至种(如等足目等)。本研究共获得 11164 号标本(分属 27 目, 110 科-属), 并根据此样本进行分析: 在土壤动物种类组成方面, 分别在群落和类群两个层面上, 分析样地间的差异; 在土壤动物的多样性方面, 除用 Shannon 指数(H')进行样地间种类多样性比较外, 还用以类群为基础的 DG_s 指数, 及以种类为基础的 DG_s 指数, 分别进行样地间的比较。主要结果: (1) 在只有幼树的北排废渣场, 获得土壤动物 9 目 33 科属; 在南排废渣场中, 经过约 20a 自然恢复的草地及种植约 20a 的大叶相思林地, 分别获得 23 目 67 科属和 23 目 61 科属。(2) 以种类为基础的 DG_s 指数, 3 个样地分别为 4.0、17.7 和 16.7。显示出北排的土壤动物种类组成简单, 多样性很低; 南排的两个样地, 土壤动物的种类组成都较复杂, 多样性较高而且很相近。但是, (3) 以类群为基础的 DG_s 指数, 则南排的两个样地可分高低: 大叶相思林为 7.75, 稍高于草地的 7.20; 此外, 作为环境质量的甲螨指数(甲螨个体数 / 蜱螨类总个体数), 也是前者(0.93)高于后者(0.73)。因此, 从实际上看, 人工纯林对土壤改造效果应比草地要好一些, 但还不是最理想的。

关键词: 土壤动物; 种类组成; 多样性; 油页岩废渣场

文章编号: 1000-0933(2006)04-0989-10 中图分类号: Q968 文献标识码: A

Species composition and diversity of soil animals in oil shale dump in Maoming, Guangdong Province

LI Jian-Xiong¹, LIAO Chong-Hui^{1,*}, YANG Yue-Ping¹, LIU Shi-Zhong², KE Hong-Hua³ (1. Guangdong Entomological Institute of Entomology, Guangzhou 510260, China; 2. South China Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510650, China; 3. Environmental Protection Department of Maoming Petrochemical Corporation, Maoming, Guangdong 525011, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 989 ~ 998.

Abstract: The oil shale dump in Maoming, Guangdong, has been a great social problem on environmental pollution and destruction so that great attention has been paid to its ecological restoration and reconstruction. The objective of this study was to investigate the species composition of soil fauna and its diversity in oil shale dump after the application of different ecological restoration approaches in the past in order to understand the biological effect of different ecological restoration approaches. Three plots were set on oil shale dump near Maoming city: "North plot" was a newly-planted mixed young forest with various tree species, "south plot" was a 20-year-old *Acacia auriculaeformis* forest, and the "control plot" was a 20-year-old naturally-recovering grassland. Soil animals, mainly including macro-meso groups, were collected by methods of hand-sorting and Tullgren funnel extraction and

基金项目: 广东省环保局科技研究开发资助项目(2001-07); 茂名石化公司科研资助项目; 广东省科技厅计划项目(C20403, 2003C201035)资助项目**收稿日期:** 2004-07-02; **修订日期:** 2005-12-02**作者简介:** 李健雄(1962~), 男, 湖南浏阳人, 副研究员, 主要从事动物生态学和土壤动物研究。

* 通讯作者 Corresponding author

致谢: 承蒙中国科学院华南植物园傅声雷博士帮助修改文章, 特此致谢

Foundation item: The project was supported by the Maoming petroleum chemical corporation and the exploitation item on science and technology research from Guangdong Environment Protection Agency; It is also supported by the plan item of the Department of Science and Technology of Guangdong Province (No. C20403, 2003C201035)

Received date: 2004-07-02; **Accepted date:** 2005-12-02**Biography:** LI Jian-Xiong, Associate professor, mainly engaged in animal ecology and soil animal ecology.

were identified into family or genus level, with only a small portion into order (e.g. Chloppoda) level or into species (e.g. Isopoda) level. The total number of samples obtained in the present study was 11,164 individuals, which belonged to 27 orders and 110 families or genera. Shannon index (H'), DG_s (based on species) and DG_g (based on groups) were used to analyze the diversity difference of soil animals between different plots. The major results were:

(1) North plot: 33 families or genera belonging to 9 orders were found in this plot. The main Group was *Caritermes*, accounting for 63.4% of total; next was *Tetramorium*, 21.3%; Hymenoptera, mainly Formicidae, has more genera than others, accounting for 80% of the whole genera in this group. Diversity of soil animal in this plot was very low because that H' index was only 1.2 and the DG_s index and DG_g index were 4.0 and 1.3, respectively.

(2) South plot: 61 families or genera belonging to 23 orders found in this plot; and *Malmcoangelia* and *Tetramorium* were the main groups, accounting for 60.3% and 10.2%, respectively. Two genera of Annelda and two genera of Isopoda, only accounted for 2.6% and 1.9%, but they were considered to be major groups due to their large body sizes and distinct habitat characteristics. Acarina has more number of individuals and families or genera, with its individual number accounting for 67.5% of the total; and the number of families or genera of this group accounting for 70% in this plot. The diversity indexes (H' , DG_s and DG_g) in this plot were significantly higher than those in north plot, they were 1.65, 16.7 and 7.75, respectively.

(3) Control plot: 67 families or genera of soil animals belonged to 23 orders. The main Groups were *Tetramorium*, *Lasius*, *Bothriomymex* of Formicidae and *Malmcoangelia* of oribatid mites which accounted for 20.0%, 17.1%, 13.8% and 14.5%, respectively. Formicidae of Hymenoptera was the group with the maximum number of individuals, accounted for 51.0%; and Diplopoda was the group with the most families or genera. The H' index and DG_s index, being 2.54 and 17.7, were higher than those in south plot, while DG_g index with 7.20 was lower than that in south plot.

Results showed that the species composition and diversity indexes were higher in "south plot" than those in "north plot" and "control plot", which demonstrated that using *Acacia auriculaeformis* forest to restore the oil shale dump was an effective approach in terms of soil biodiversity.

Key words: soil animals; species composition; diversity; oil shale dump

茂名市前油页岩工业固体废渣堆置场对环境的污染与破坏,一直是个重大的社会问题。中国石油化工股份有限公司茂名分公司早在 1985 年就开始在其南废渣排放场(以下简称“南排”)种植速生树种,进行初步生态改造。1999 年起又在北排放场(以下简称“北排”)规划种植多种热带植物的混交林,以进行更为深化的生态与经济效益并重的生态改造工程。工程的首要目标是要使废渣场形成良好的土壤环境,消除其渗出液对周围农地的影响。由于土壤动物与土壤环境状况密切相关,在废渣场生态改造之初,详细了解其土壤动物组成及其多样性现状,有助于将来评估该项工程的生物生态效应。

有关不同土壤环境中土壤动物的组成及其多样性问题的研究很多。在国内有不少论文如本文一样,把包括用手拣法和 Tullgren 法所能收集到的全部土壤动物类群作为研究对象,而国外则多是针对土壤动物中的某些类群,特别是节肢动物^[1];多样性方面也多是其中的描述内容之一,而非专门的研究^[2];一般的土壤动物群落研究,多为结构与功能方面^[3]。有关矿业废渣堆置场这样特殊环境的研究很少。油页岩工业世界各地都有,但未见有同类的研究。对茂名地区的土壤动物,廖崇惠等曾于 1984 年发表了有关侵蚀台地不同人工植被类型下的土壤动物群落结构的调查,研究涉及的是极度退化的砖红壤地区,内容仅为土壤动物各类群(以目为主)的分布状况,而没有涉及到土壤动物目以下的种类组成^[4]。土壤动物群落组成的研究,分类至目以下的,除以名录形式出现之外^[5],一般只限于对某些类群,如大型土壤动物类群^[6]、节肢动物类群^[7]、蜚蠊类与跳虫类^[8]等。本文拟通过实验数据,研究油页岩废矿渣地土壤动物(目以下)的种类组成(小型湿生类除外),并通过比较不同生态改造状况下的土壤动物群落组成及其多样性,讨论更深化的植被改造(北排)的必要性及其群落发展的趋向。

1 研究样地

1.1 油页岩废渣场概况

茂名市位于广东省西南部,处于热带植被分布区的北缘,年平均气温 23 ℃,历年平均降雨量 1705mm。研究样地为茂名石化南、北两个油页岩废渣排放场。南排是自 20 世纪 50 年代开始由剥离土和油页母岩炼油后的废渣逐渐堆放成高出地面 30~40m 的台地,于 1985~1988 年进行了大面积的植树绿化。北排是在 1971~1992 年间堆积成的,其植被则在以后自然形成的,以禾本科为主的草本植物群落,并于 1999 年开始进行生态恢复工程。

1.2 样地概况

(1)南排样地 南排面积 1.4 km²,植被是由多树种各自成片地组成的人工林。样地仅选在改良土壤效果最好的^[9],有固氮作用的豆科类大叶相思(*Acacia auriculaeformis*)林中。林冠高约 15m,较郁闭,林下有灌木(如五色莓 *Lantana camara*)和草本植物(如弓果黍 *Cyrtococcum patens* 等)。林下凋落物层厚度 1~2cm。

(2)北排样地 北排面积达 6.7 km²。样地选在 2000~2001 年间定植的幼林区,这是茂名油页岩废渣场新的生态恢复工程的重点。区内按热带季雨林结构配置,拟建成多树种、多层次的阔叶混交林。目前已种有铁刀木(*Acacia siamea*)、非洲桃花心木(*Khaya senegalensis*)、海南红豆(*Ormosia pinnata*)等 28 种,苗高一般在 1~1.5 m 以下。地被物很少,地面上还没有形成凋落物层。

(3)对照样地 位于南排边缘的小块草地,是在原废渣地上自然恢复的,形成时间约有 20a,草高约 50~80cm,主要为飞机草(*Eupatorium odoratum*)、日本草(*Borreria latifolia*)等。地面凋落物厚度 2~3cm。

各样地的土壤基本情况如表 1。

2 研究方法

(1)时间 为要取得丰富的种类,先后两次调查都在 2001 年雨季期间,即在 7 月和 10 月份明显降雨之后数天进行。

(2)取样 在南排及对照样地中各设 5 个取样点;北排中,因土壤动物的密度小需要样地较大,共设 20 个取样点。枯枝落叶层取样:每个点取样面积为 1/6m²,样品用干漏斗法(Tullgren 改良装置^[10])收集大-中型土壤动物。土壤层的取样:每个点用面积为 1/200 m² 的取样器取出 15cm 深的土样 10 个,即时用手拣法收集土壤中的大、中型土壤动物标本。北排因没有枯枝落叶层,仅作土壤层取样。

(3)环境调查 在各取样点,经手拣法收集标本后,从余下的土壤(0~15cm)中留取样品,用作土壤有机质和 pH 值的测定。另外再取土壤样品用作含水量的测定:南排及对照样地各设 2 个取样点,北排样地则设 9 个,每个取样点的取样深度为 0~15cm。结果见表 1。

(4)分类与分析 获得的标本按《中国土壤动物检索图鉴》^[11],分类至科或属,个别分到目。所得标本的分类检查数据直接用于 Shannon 指数(H')和密度-类群指数(DG)^[12]的分析。 DG_g ,指类群层次上的; DG_s ,指种类层次上的。所谓类群,是通常土壤动物群落研究的,以目为主的分类单位;所谓种类,这里是指目以下的分类单位,以科、属为主,包括个别目或种。

3 结果

3.1 不同样地土壤动物的个体数量及种类数的差异

检查的标本共 11164 个,分属 27 目,110 科-属(个别为种,以下同)。其中未经生态改造的北排只有标本 1949 个,分属 9 目,32 科-属;自然形成的草地(对照)在取样面积仅为前者的 1/4 的情况下,获得标本 3459 个,分属 23 目,67 科-属;经单一树种改造的南排也在同样情况下获取标本,而其所得最多,有 5756 个,分属 23 目,61 科-属(表 2)。从这一点看,草被形成时间短并被翻耕过的废矿渣地的北排,土壤动物在数量及种类上

表 1 各调查样地土壤基本资料(平均值)*

Table 1 Average data of soil in all sample plots			
项目 Item	南排 South plot	对照 Control	北排 North plot
有机质 Soil organic matter(%)	3.99	—	0.39
pH 值 Soil acidity	3.7	4.0	3.6
含水量 Soil moisture content(%)	20.6	17.5	7.2

* 调查深度 depth 0~15cm; 除含水量为两次调查总平均值外,其余为 10 月份调查资料 All datum are obtained in October except that soil moisture content is a mean data of the two investigations

都是非常贫乏的;已形成单一树种的大叶相思林地,其土壤动物的个体数量虽较多,但在种类数上还不如同期自然恢复的无林草地。

表 2 茂名油页岩废渣场土壤动物的种类及其实检标本数*

Table 2 Species and quantity of specimens of soil animals actually examined in oil shale dump in Maoming, Guangdong*						
种类 Species	南排 South plot	对照 Control	北排 North plot	小计 Total		
				目 Ord.	科 Spe.	属 Gen.
近孔寡毛目 Plesiopora				114		
仙女虫科 Naididae					114	
小吻盲虫属 <i>Pristinella</i>	110	4				114
后孔寡毛目 Opistopora				139		
寒蛭蚓科 Ocneroдрilidae					139	
寒蛭蚓属 <i>Ocneroдрil</i>	136	3				139
蜘蛛目 Araneae				64		
地蛛科 Atypidae		2			2	
类石蛛科 Segestriidae		1	1		2	
拟壁钱蛛科 Oecobiidae			1		1	
卷叶蛛科 Ditynidae		1	6		7	
蛭蛛科 Uloboridae		1			1	
皿蛛科 Lynphiidae	1				1	
圆蛛科 Araneidae			2		2	
管巢蛛科 Clubionidae		1			2	
管巢蛛属 <i>Clubiona</i>	1					1
平腹蛛科 Crnaphosidae	7		6		13	
卵形蛛科 Onopidae	4	1	2		7	
球体蛛科 Theridiosomatidae	1	3	2		6	
漏斗蛛科 Agelenidae		1			1	
狼蛛科 Lycosidae	3	2	1		6	
安蛛科 Anapidae	1				1	
光螯蛛科 Lioceanidae		10			10	
跳蛛科 Salticidae			2		2	
蜱螨目 Acarina				5039		
绒螨科 trombidiidae		41			41	
厉螨科 Laeclapidae					359	
上厉螨属 <i>Ololaelaps</i>	61					61
下盾属 <i>Hypoaspis</i>	145	153				298
派盾螨科 Parholaspididae	2				2	
维螨科 Vigaiidae	39				39	
真伊螨科 Evphididae	17				17	
上革螨科 Ologamasidae					133	
革伊螨属 <i>Gamasiphis</i>		133				133
罗甲螨科 Lohmannidae					10	
裂甲螨属 <i>Meristacarus</i>	10					10
缝甲螨科 Hypochthoniidae					4189	
天使甲螨属 <i>Malmcoangelia</i>	3468	501				3969
东缝甲螨属 <i>Eohypochthonius</i>		220				220
卷甲螨科 Phthiracaridae					71	
闭甲螨属 <i>Stegacarus</i>	71					71
真卷甲螨科 Euphthiracaridae					21	
三皱甲螨属 <i>Rhyssotritia</i>	21					21
龙足甲螨科 Eremaeidae	3				3	
注甲螨科 Camisiidae					2	
注甲螨属 <i>Camisia</i>	2					2
副大翼甲螨科 Parakalumnidae					119	
原大翼甲螨属 <i>Protokalumna</i>		119				119
菌甲螨科 Scheloribatidae					33	
菌甲螨属 <i>Schelorbates</i>		33				33
等足目 Isopoda				293		
喜湿虫科 Philosciidae					112	
眼斑蛭阴虫 <i>Burmoniscus ocellatus</i>	133	2				112

续表 2

潮虫科 Oniscidae		1			147	
雅潮虫属 <i>Exallonicus</i>	147					147
卷壳虫科 Armadillidae	34				34	
球形虫属 <i>Sphaerillo</i>	27					27
综合纲 Symphyla				1		
乂蚰科 Scutigerellidae		1			1	
蚰蜒目 Scutigermorpha				1		
石蛭蚣目 Leolopendromorpha	1			1		
地蛭蚣目 Geophilomorpha				39		
盲蛭蚣科 Cryptopidae	29	10			39	
蛭蚣目 Scolopendromorpha	4	4	4	12		
毛马陆目 Polyxenida				8		
毛马陆科 Polyxenidae		2			7	
单尖毛马陆属 <i>Monographis</i>	5					7
异蛭目 Spirostreptida				21		
交翅马陆科 Cambalopsidae		1			1	
圆交翅马陆科 Pericambalidae					8	
拟双舌马陆属 <i>Parabilingulus</i>	4	4				8
山蛭科 Spirobolidae	8	4			12	
山蛭属 <i>Spirobolus</i>		3				3
带马陆目 Polydesmida				17		
矛带马陆科 Dolydesmidae		17			17	
奇马陆科 Prardoxosomatidae		1			1	
石蛭目 Microcoryphia				9		
石蛭科 Machilidae		4			4	
光角蛭科 Meinertellidae	5				5	
双尾目 Diptera				1		
原蛭蚱科 Projapygidae					1	
综合蚱属 <i>Symphylurinus</i>			1			1
弹尾目 Collembola				295		
等节蛭科 Isotomidae					1	
近缺蛭属 <i>Paranurophorus</i>		1				1
长角蛭科 Entomobryidae					253	
长蛭属 <i>Entomobrya</i>	233	19	1			253
圆蛭科 Sminthuridae						17
羽圆蛭属 <i>Dicytoma</i>	7	10				17
驼蛭科 Cypoderidae					1	
驼蛭属 <i>Cypoderus</i>	1					1
棘蛭科 Onychiuridae					15	
土蛭属 <i>Yullbergia</i>	9	6			15	
疣蛭科 Neanuridae		5			5	
爪蛭科 Paronellidae					3	
盐长蛭属 <i>Salina</i>		3				3
蜚蠊目 Blattoptera				79		
蔗蠊科 Pycnoscelidae					62	
蔗蠊属 <i>Pycnoscelus</i>	62					62
蜚蠊科 Blattidae					13	
大蠊属 <i>Periplancte</i>	11	1	2			14
厚唇蠊科 Euthyrhaphidae	2				2	
光蠊科 Epilampridae					2	
土蠊属 <i>Opishoplattia</i>			2			2
等翅目 Isoptera				1702		
白蚁科 Termitidae					1702	
菱巢锯白蚁 <i>Microcerotermes marilimbus</i>		82				82
歪白蚁属 <i>Caritermes</i>	191	168	1236			1620
直翅目 Orthoptera				6		

续表 2

蟋蟀科 Grullidae			2		4	
蟋蟀属 <i>Grullus</i>	1	1				2
蛉蟀科 Trigoniidae			1	*	1	
蚱科 Tetrigidae		1			1	
革翅目 Dermaptera				1		
绵螬科 Spongiphorida					1	
毛螬属 <i>Chaetospania</i>	1					1
同翅目 Homoptera				2		
蚜科 Aphididae		1			1	
大叶蝉科 Cicadellidae		1			1	
半翅目 Hemiptera				11		
栉蜡科 Ceratocombidae	1	1			2	
膜蜡科 Hebridae		1			1	
长蜡科 Lygaeidae					7	
毛肩长蜡属 <i>Neolethaeus</i>		7				7
驼蜡科 Microphysidae	1				1	
缨翅目 Thysanoptera				30		
管蓟马科 Phloeothripidae		28			30	
冠管蓟马属 <i>Stephanothrips</i>	1	22				23
隐管蓟马属 <i>Ethirotheips</i>	1					1
鞘翅目 Coleoptera				82		
扁甲科 Cucujidae	1	1			2	
叩甲科 Elateridae	3		3		6	
伪叶甲科 Lagriidae		7			7	
长朽木甲科 Melandryidae		2			2	
盘甲科 Discolomidae		26			26	
隐翅甲科 Staphylinidae	5	17	2		24	
金龟甲科 Scarabacidae		1	2		3	
阎甲科 Histeridae	1		1		2	
三锥象甲科 Brentidae		1			1	
锹甲科 Lucanidae					1	
虎甲科 Cicingelidae			1		1	
出尾草甲科 Scaphidiidae			3		3	
蚊甲科 Pselaphidae			1		1	
步甲科 Carabicae			3		3	
鳞翅目 Lepidoptera				24		
卷叶蛾科 Tortricidae	1	2			3	
小卷叶蛾属 <i>Laspeyresia</i>		2				2
夜蛾科 Noctuidae		1			1	
螟蛾科 Pyralidae	1	19			20	
禾草螟蛾属 <i>Chilo</i>	1	8				9
双翅目 Diptera				42		
摇蚊科 Chitonomidae	14	14			28	
毛蠓科 Psychodidae	1				1	
蚤蝇科 Phoridae	5	7			12	
花蝇科 Anthomyiidae	1				1	
膜翅目 Hymenoptera				3185		
蚁科 Formicidae					3185	

续表 2

短猛蚁属 <i>Brachyonera</i>	36	591	61	688
厚结猛蚁属 <i>Pachycondyla</i>		4		4
路舍蚁属 <i>Tetramorium</i>	585	692	415	1792
双节行军蚁属 <i>Aenictus</i>	37			37
行军蚁属 <i>Drolylus</i>			6	6
穴臭蚁属 <i>Bothriomymex</i>		478	32	510
寡节切叶蚁属 <i>Oligomyrmex</i>			1	1
举腹蚁属 <i>Crematogaster</i>			1	1
弓背蚁属 <i>Camponotus</i>			7	7
草蚁属 <i>Lasius</i>			139	139
检查标本 Quantities of examined samples	5756	3459	1949	11164
科属(种)数 Quantities of species	61	67	33	110
目数 Quantities of orders	23	23	9	27
<i>H'</i> 指数 <i>H'</i> index	1.65	2.54	1.20	
<i>DG_s</i> 指数 <i>DG_s</i> index	16.7	17.7	4.0	

* 土壤层(0~15cm)的标本用手拣法,枯枝落叶层的标本用改良的 Tellgren 法获得 soil animals in 0~15cm soil layer were collected by hand-sorting, and those in litter layer by Tellgren funnel; 样地间个体数不能直接作比较,因为北排采样面积比其它大 4 倍 individual abundance among the sample plots cannot be directly compared, for the sampling area in north plot is 4 times larger than the others; 南排 south plot: 大叶相思林(约 20a) *Acacia auriculaeformis* plantation (about 20 years); 对照 control: 林边草地 grassland on the verge of forest; 北排 north plot: 新植幼树林 newly planted young plantation; $H' = -\sum P_i \cdot \ln P_i$; $DG_s = (g/G) \sum (D_i/D_{i\max})^{[7]}$; DG_s 指种类(科-属)层次上的 DG_s , was based on species (family-genus) composition, 黑体字表示种类较多的类群 the groups marked in bold type were the predominant ones with more species; 下同 the same below

3.2 不同样地土壤动物的主要种类组成

从占群落总体数量来看,北排样地的主要种类为歪白蚁属(*Caritermes*), 占总数量的 63.4%, 其次为路舍蚁属(*Tetramorium*)占 21.3% 和草蚁属(*Lasius*)占 7.1%(表 2)。对照样地则以路舍蚁属为主,其次是短猛蚁属(*Brachyonera*)、天使甲螨属(*Malmcoangelia*)和穴臭蚁属(*Bothriomymex*),它们分别占 20.0%、17.1%、14.5% 和 13.8%; 以下是东缝甲螨属(*Eohypochthonius*)和歪白蚁属。南排数量最多的种类为天使甲螨属,占总数量的 60.3%; 其次才是路舍蚁属,占 10.2%, 以下为长蚬属(*Entomobrya*)和歪白蚁属等。其它占数量更少的,如等足类中的雅潮虫属(*Exalloniscus*)和眼斑缅甸阴虫(*Burmoniscus ocellatus*)仅占 2.6% 和 2.3%, 以及环节动物中的寒蛭蚓属(*Ocmerodril*)和小吻盲虫属(*Pristinella*)仅占 2.4% 和 1.9% 等。它们都属于大型土壤动物种类,是其它两个样地所没有的或甚少的种类,因而具有明显的特色性,其数量虽较少,但其重要性应在长蚬属等之上。

3.3 不同样地土壤动物种类的多样性比较

测量动物种类的多样性,常用 Shannon 指数(H'),这是以种间相互对立为假设基础的。土壤动物群落种类多,相互关系复杂,群落结构研究一般只分类到目(或类群),不宜用 H' 作为多样性测度。本研究由于大都分类到科、属,暂且试用,以作参考。作为对照的草地,种类的多样性最大, H' 指数为 2.54(表 2)。这里种类数较多,个体数也由多个种类来分摊,缺乏绝对的优势种类。南排样地是纯林地,种类的多样性明显地低于草地, H' 指数仅为 1.65。该样地的种类数较草地少不了太多,主要是由于蜚蠊目的天使甲螨属占了个体数量的大部分。北排基本上是原样的矿渣地,土壤动物种类的多样性自然很低, H' 指数只有 1.20。土壤动物由于包括的范围广,种间关系可能更多的是相互依存,或互不干扰。所以,本文再用以种间互不干扰为基础的 DG 指数来分析,其结果与上述有所不同。这 3 个样地的 DG_s 指数分别是 17.7、16.4 和 4.0,其排列次序没变,但前二者(对照和南排)之间则很接近,差别不大,并与后者之间的差距拉大。

3.4 各类群土壤动物种的多样性在样地间的差异

3.4.1 各样地最具特征性的类群 按通常方法把油页岩矿渣地土壤动物分成如表 3 各类群,其中最具特征性的,即个体数和种类数特别地多于其它样地的类群:(1)北排,数量特多的是等翅目,占样地土壤动物总个体数的 63.4%。按同等采样面积计算,其标本数实为 309 只(1236/4),亦比其它样地的 119 和 250 只都多。种类

数特多的是膜翅目,实质上就是蚁类,有 8 属,占废矿渣地蚁科的属数 80%,远多于环境条件较好的、只有 4 属的对照和只有 3 属的南排。(2)对照,数量特多的是膜翅目,占 51.0%;种类数特多的是倍足纲,共 6 科 1 属,其它样地有的种类它都有;南排样地只及其 1/2,北排更是没有。(3)南排,蜚蠊目的个体数和种类数都特多,个体数占 67.5%,11 科,约占总科数的 79%。

3.4.2 各类群的 H' 指数在样地间的差异 将种类数较多的 9 个类群分别独立计算 H' 值(以黑体字表示),并列于表 3,以比较各类群在不同样地间的差异:(1)北排样地,土壤动物从群落角度看,种类的多样性最低,但从单个类群看,仍有 2 个类群的种类多样性高于其它样地。如蜘蛛目和鞘翅目,其 H' 为 1.96 和 1.95,明显地较高。其它两个样地的蜘蛛目和鞘翅目的 H' 值均在 1.64 以下;(2)对照草地,土壤动物群落不仅其整体的种类多样性最高,而且有近 50% 的类群,其种类多样性与其它群落同类相比也明显较大。其中弹尾目和蜚蠊目的 H' 值为 1.45 和 1.73,远高于南排的 0.24 和 0.84;倍足纲和膜翅目的 H' 值也比南排的高;(3)南排样地只有两个类群,即等足目和双翅目的 H' 值高于其余两地,因为成林后的南排较阴暗、潮湿,更适应这类动物的生存。

4 讨论

4.1 从不同样地土壤动物的组成,看油页岩废渣地的植被改造

土壤动物的组成与土壤的自然环境、结构和肥力等有密切的关系,因而被看作是土壤状况的指示。如用甲螨指数(甲螨类个体数/蜚蠊类总个体数)来指示自然环境受人为干扰破坏的程度^[13]。指数越高,自然环境被破坏的程度越小,也可以说指数越高,土壤自然环境越好。本研究结果表明,不同改造情况的样地,土壤动物有不同的种类组成,显示出其不同的土壤状况。北排样地,是将原废渣地上的草被(仅经短期自然恢复)翻耕、破坏,并开始植树改造的,因此土壤动物的种类组成及类群组成最为简单, DG_s 仅为对照样地(草地)的 1/4(表 2); DG_g 则为 1/7(表 3),表明北排的土壤状况远差于经近 20 年自然恢复的草地。北排中最重要的土壤动物组成是白蚁,这可能是由于原有草被被翻压,突然成为白蚁大量的营养资源所致。在南排样地,人工大叶相思林经长期的自然恢复,形成了林下的灌木、草被及凋落物层,使土壤动物群落的 DG_s 稍高于对照的草地(表 3);其蜚蠊类的种类及数量都较丰富,并在甲螨指数(0.93)上明显高于草地的(0.73)。大叶相思林的这两个指标可以表明,它的土壤环境条件优于对照样地的草地。但是从另一方面看,大叶相思纯林的土壤环境条件,比草地也好不太多。因为,在群落的种类组成上,南排样地的 H' 及 DG_s 值反比对照样地的小(表 2),以及具最大科-属多样性的类群数也比对照样地的少(表 3)。据许嘉琳等对该地植林修复后土壤状况的调查,认为南排的新成土已基本形成,展示出明显的改良效果^[9],这是可以承认的。但可惜该研究没有调查不植林的草地,以作对照资料。因而还没有充分证据说明,在土壤改良的效果上,造林就一定比自然恢复的草地要好。南排以造林来改良土壤,虽然全林有多个树种,除大叶相思、隆缘桉(*Eucalyptus exerta*)、湿地松(*Pinus elliotii*)等速生种外,还有一些果树,但各树种都是各自成片的,所以实际改良土壤的效果是纯林的效果。根据近年来对热带亚热带退化生态系统植被恢复规律的研究,认为植被恢复过程,无论其起始的物种或样地的异质性,植物物种结构总是朝着地带性顶极群落方面发展^[14]。南排的大叶相思林经长期自然发展,必向植物物种多样性方面缓慢的变化。而这一过程也必然是土壤肥力和土壤动物的多样性发展的漫长的过程^[15,16]。基于以上种种理由,认为南排的改良土壤效果离最终的理想还很远。现在北排的生态改造,直接走多种类混交林路线,其改土速度将会较快较好。可以预测,北排的土壤动物群落的多样性发展也会超越南排,显示出更好的生态效果。

4.2 关于土壤动物群落的多样性

对土壤动物以类群为基础的群落多样性分析,作者曾指出用 Shannon 指数(H')会得出不符合实际的结果。因为这个指数是在物种互相对立竞争的基础上建立的^[12]。这次本文改为用以科-属为基础的 H' 指数来分析,其结果也一样难以解释实际状况:对照样地(草地)的 H' 指数明显地高于南排(大叶相思林)的。这个结果并不能说明草地的土壤动物多样性会明显地高于大叶相思林的。因为不管怎么说,林地的生态条件不会比草地还差。较高的土壤有机质和含水量,以及较低的地面光照和较小的地面温度变幅,这些都是土壤动物生

存的首要条件,在草地上是不可能比林地上明显地好的。相比之下,用 DG 指数来进行以“种类层次”的群落多样性分析,其结果(南排的 DG 指数接近于对照的,而与北排的距离拉远,见表 2)看来要合理一些。当回到以前在“类群层次”上的 DG 指数分析时,大叶相思林的 DG_s 指数便较高于草地的。表明土壤动物类群的多样性与土壤环境条件相一致。这样,其结果应比用 DG 指数更合理些。关于对庞大的土壤动物群落的多样性分析,在“种类层次”上,还是在“类群层次”上进行要好一些,目前还很难一概而论。

表 3 茂名油页岩废渣地各类群土壤动物的种类组成及其多样性指数 (H')^{*}

Table 3 Species composition and diversity index (H') of each group of soil animals in oil shale dump in Maoming, Guangdong [*]												
	南排 South plot				对照 Control				北排 North plot			
	科属数	个体数	(%)	H'	科属数	个体数	(%)	H'	科属数	个体数	(%)	H'
	No. of fam. or gen.	No. of ind.			No. of fam. or gen.	No. of ind.			No. of fam. or gen.	No. of ind.		
小蚓类 Microdrile oligochaetes	1	110	1.9		1	4	0.1					
蚯蚓 Eearthworm	1	136	2.4		1	3	0.1					
蜘蛛目 Araneas	7	18	0.3	1.6	10	23	0.7	1.5	9	23	1.2	2.0
蜱螨目 Acarina	11	3830	67.5	0.5	7	1200	34.7	1.7				
等足目 Isoptera	3	314	5.5	1.0	2	3	0.1	0.6				
综合纲 Symphyla					1	1						
唇足纲 Chilopoda	4	35	0.6	0.6	2	14	0.4	0.6	1	4	0.2	
倍足纲 Diplopoda	3	17	0.3	1.1	6	29	0.8	1.3				
石蛎目 Microcoryphia	1	5			1	4	0.1					
双尾目 Diplura									1	1		
弹尾目 Collembola	4	250	4.4	0.2	6	44	1.3	1.5	1	1	0.1	
蜚蠊目 Blattoptera	3	75	1.3		1	1			1	4	0.2	
等翅目 Isoptera	1	191	3.4		2	250	72		1	1236	63.4	
直翅目 Orthoptera	1	1			2	2			2	3	0.2	
革翅目 Dermaptera	1	1										
同翅目 Homoptera					2	2						
半翅目 Hemiptera	2	2			3	9	0.3					
缨翅目 Thysanoptera	2	2			2	28	0.8					
鞘翅目 Coleoptera	5	10	0.2	1.2	7	55	1.6	1.3	8	16	10.8	2.0
鳞翅目 Lepidoptera	2	2			3	22						
双翅目 Diptera	4	21	0.4	0.9	2	21	0.6	0.6				
膜翅目 Hymenoptera	3	658	11.6	0.4	4	1765	51.0	1.1	8	662	34.8	1.0
合计 total		5756	100			3458	100			1950	100	
类群数 number of groups	19				20							
DG_s 指数 DG_s index	7.75				7.20					1.03		

^{*} 类群按常用方法划分;个体数是指实际检查数;%是指各类群个体数与群落总个体数的比例; H' 是指本类群中种的多样性; DG_s 指类群层次上的 The groups were classified by common method, The number of individual was the actual quantity obtained in the investigation; % shows ratio between the group individual quantity and the community individual quantity; H' index was the diversity of family-genus in each group; DG_s was based on group composition

4.3 关于取样数量问题

本研究对南、北排取样数量不一样,这种做法对结果分析不会有大的影响。多样性的比较,在于获得的多样性指标能否代表样地的真实性。北排土壤动物的密度很低,若不大量增加取样数量,就不能取得尽可能多的种类。若为了取样数一致,而把南排的取样数也硬性跟随增加,工作量太大。南排土壤动物的密度很高,按常规 5 个取样,已可获得绝大部分的土壤动物类群^[17],增大工作量是不必要的。南排的超常取样数,自然‘增加’了这一样地土壤动物的多样性(包括 H' 指数和 DG 指数),但这是真实的反映。若增加北排的取样数,其土壤动物的多样性当然也会有所增加,但可预计其增加量是微弱的,不会对结果的判断有丝毫的影响。

References:

[1] Sally G L, Donald M W. Seasonal and annual variation in litter arthropod populations. In: Egbert G. L. *et al* eds. The Ecology of a tropical forest, Seasonal rhythms and long-term changes. Smithsonian Institution Press, 1982.

- [2] Mclean M and Parkinson D. Impacts of the epigeic earthworm *Dendrobaena octaedra* on oribatid mite community diversity and microarthropod abundances in pine forest floor: A mesocosm study. *Applied Soil Ecology*, 1998(7): 125 ~ 136.
- [3] Hüfer H, Hanagarth W and Carcia M. Structure and function of fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *Eus. J. Soil. Biol.*, 2001, 37: 229 ~ 235.
- [4] Liao C H, Chen M Q, Xie Y S. The initial investigation on soil animal in the tropical artificial forest of Xiaoliang. In: Ding Hu Shan Forest Ecosystem Stationary Academia Sinica eds. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem (2)*. Guangzhou: Guangzhou Branch, Popular Science Press, 1984. 214 ~ 226.
- [5] Liao C H, Chen M Q. Study on the soil zoology of subtropical forest in Dinghu Shan I. The composition of the soil fauna. In: Ding Hu Shan Forest Ecosystem Stationary Academia Sinica ed. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem (5)*. Beijing: Science Press, 1989. 83 ~ 94.
- [6] Fu B Q, Chen W, Dong X H, *et al.* The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (2): 215 ~ 223.
- [7] Liu M Q, Hu F, Li H X, *et al.* Soil Arthropod communities under different artificial woodland restored on degraded red soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(1): 54 ~ 61.
- [8] Li Z W, Wang Z Z, Zhang Y M, *et al.* Effect of Cadmium on soil animal community structure. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2000, 11(6): 931 ~ 934.
- [9] Xu J L, Liu H, Jing H W, *et al.* Environmental remediation for the shale oil industrial solid wastes dumping area through forestation. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2000, 20(supp.): 133 ~ 139.
- [10] Liao C H, Lin S M, Li Y Q, *et al.* The relation between biomass of soil animals and decomposition of forest litter. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15, Supp. (A): 156 ~ 164.
- [11] Yin W Y, *et al.* eds. *Pictorial Keys to Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [12] Liao C H, Li J X, Huang H T. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17 (5): 549 ~ 555.
- [13] Zhang Z H, Shen H M, Shao L L. Soil fauna on south slope of west Tianmu Mountain and results its environment. *Journal of Hangzhou University*, 1986, 13(Supp.): 55 ~ 63.
- [14] Peng S L, Fang W. Development of species diversity in restoration process of tropical man-made forest ecosystem in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15 (Supp. A): 18 ~ 30.
- [15] Li Z A, Yu Z Y, Weng H, *et al.* The relationship between the soil fertility and artificial vegetation recovery in tropics and subtropics. In: Yu Z Y, Peng S L, eds. *Ecological Studies on Vegetation Rehabilitation of Tropical and Subtropical Degraded Ecosystems*. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1996. 155 ~ 171.
- [16] Liao C H, Li J X. The succession and function of animal communities in the process of rehabilitation in tropical and subtropical degraded ecosystem. In: Yu Z Y, Peng S L, eds. *Ecological Studies on Vegetation Rehabilitation of Tropical and Subtropical Degraded Ecosystems*. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1996. 192 ~ 213.
- [17] Chen M Q, Liao L H. The soil zoology of subtropical forest in Dinghu Shan II. Community components in varied habitats. In: Ding Hu Shan Forest Ecosystem Stationary Academia Sinica eds. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem (7)*. Beijing: Science Press, 1990. 90 ~ 99.

参考文献:

- [4] 廖崇惠, 陈茂乾, 谢映书. 小良热带人工林土壤动物初步调查. 见: 中国科学院鼎湖山森林生态系统定位站编. *热带亚热带森林生态系统研究*, 第2集. 广州: 科普出版社广州分社, 1984. 214 ~ 226.
- [5] 廖崇惠, 陈茂乾. 鼎湖山森林土壤动物研究 I. 区系组成及其特征. 见: 中国科学院鼎湖山森林生态系统定位站编. *热带亚热带森林生态系统研究*, 第5集. 北京: 科学出版社, 1989. 83 ~ 94.
- [6] 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): 216 ~ 223.
- [7] 刘满强, 胡锋, 李辉信, 等. 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.
- [8] 李忠武, 王振中, 张友梅, 等. Cd对土壤动物群落结构的影响. *应用生态学报*, 2000, 11(6): 931 ~ 934.
- [9] 许嘉琳, 刘虹, 荆红卫, 等. 叶岩油工业固体废物堆置场环境的植林修复. *环境科学学报*, 2000, 20(增): 133 ~ 39.
- [10] 廖崇惠, 林少明, 李耀泉. 土壤动物生物量与森林凋落物分解的关系. *生态学报*, 1995, 15(增 A): 156 ~ 164.
- [11] 尹文英, 等. *中国土壤动物检索图鉴*. 北京: 科学出版社, 1998.
- [12] 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落的多样性研究. *生态学报*, 1997, 17(5): 549 ~ 555.
- [13] 张贞华, 沈海铭, 邵玲珑. 西天目山南坡土壤动物及其对环境的影响. *杭州大学学报*, 1986, 13(增): 54 ~ 63.
- [14] 彭少麟, 方炜. 热带人工林生态系统重建过程物种多样性的发展. *生态学报*, 1995, (增 A): 18 ~ 30.
- [15] 李志安, 余作岳, 翁袁, 等. 热带亚热带人工植被与土壤肥力之关系. 见: 余作岳, 彭少麟主编. *热带亚热带退化生态系统植被恢复生态研究*. 广州: 广东科技出版社, 1996. 155 ~ 171.
- [16] 廖崇惠, 李健雄. 热带亚热带退化生态系统恢复过程中动物群落的演替与功能. 见: 余作岳, 彭少麟主编. *热带亚热带退化生态系统植被恢复生态研究*. 广州: 广东科技出版社, 1996. 192 ~ 213.
- [17] 陈茂乾, 廖崇惠. 鼎湖山森林土壤动物研究 II. 不同生境的群落组成. 见: 中国科学院鼎湖山森林生态系统定位站编. *热带亚热带森林生态系统研究*, 第7集. 北京: 科学出版社, 1990. 90 ~ 99.