

长江三峡库区土壤动物群落结构初步研究*

杨林章¹ 李运东¹ 李 斌² 陈建秀^{2†}

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 南京大学生命科学院, 南京 210093)

摘 要 于长江三峡大坝工程开工前的 1998 年, 对三峡库区几个地点(秭归、万县、神农架)不同海拔和生境下的土壤动物群落进行了调查研究。研究表明, 整个地区不同生境中土壤动物的优势类群为线虫; 常见类群有螨、弹尾目、线蚓、熊虫和猛水蚤目等; 同一地点不同植被下, 土壤动物类群之间存在着一定的相似性和差异。相关性检验表明: 土壤节肢动物类群数与个体数之间的相关性受海拔、植被影响不大。研究还发现, 生境条件(海拔、植被类型等)越优越, 土壤动物的多样性指数越高。不同群落相似性比较显示, 海拔相同、植被相近的群落相似性指数高。对线虫、螨类和弹尾目的数量差异分析表明, 秭归地区三个类群受植被、海拔影响不大; 万县地区海拔对蜱螨、弹尾目影响较大; 神农架地区线虫分布受植被影响较大, 螨类和弹尾目在不同植被和土层广布, 而该地区枯枝落叶层中螨类数量随植被、海拔变化显著。

关键词 三峡库区; 土壤动物群落; 多样性; 差异性; 相似性

中图分类号 S154.5 文献标识码 A

举世瞩目的特大型水利工程——三峡大坝以及数以十计的大中型水利工程在长江上游和支流上的兴建, 将对沿江地区峡谷生态环境带来巨大的影响。已有不少学者从理化性质方面研究三峡土壤环境^[1,2], 也有研究长江三峡地区昆虫^[3], 但是对三峡工程与土壤动物群落结构的关系研究较少。土壤动物是土壤生态系统中的重要组成成分, 对土壤肥力保持和生产力的提高具有很重要的作用, 土壤生物区系、土壤生物多样性和全球变化对土壤生物的影响已成为土壤生态学研究的前沿领域^[4]。受三峡建设委员会委托, 1998 年 8 月 14 日~ 9 月 19 日, 我们在三峡库区选择了几个地点, 对不同海拔、不同生境条件下的土壤动物进行了调查。国内对土壤动物作为土壤质量表征的研究目前仍处于开展阶段^[5], 本工作试图获得三峡库区土壤动物的群落结构和区系资料, 并找出其中的规律和特点; 同时为土壤动物群落结构及其变化的跨地区横向研究和跨时间的纵向研究, 提供基本资料; 进而为研究和评价三峡库区工程活动对生态系统的影响提供科学依据, 促进三峡工程全面的生态学评价和三峡地区生物多样性保护的研究。

1 研究方法

1.1 野外调查与取样

1.1.1 样地设置 三峡库区以灰岩、紫色砂岩分布为主, 花岗岩、变石岩局部分布, 岩溶地貌广泛发育^[6]。主要土壤类型有黄壤、紫色土、黄棕壤、石灰土、水稻土等^[1]。

1.1.2 取样方法 在秭归、万县各选取三个不同的海拔高度(由低到高为 I, II, III), 每一海拔选取 3 个不同的植被类型和不同的土地利用方式(林地、果园、农田)为采样点, 在神农架地区选择 4 个植被不同的调查地点, 每一样地均进行三组重复取样。每一采样点划定 50 cm × 50 cm 的样方, 分枯枝落叶层(0 层)、0~ 5 cm (1 层)、5~ 10 cm (2 层) 和 10~ 15 cm (3 层) 四层分别取土样; 并在同一位置用环套垂直方向分三层取样, 每层取两个环套的土样。

1.2 土壤动物分离与分类

采用手捡法从中分离大型土壤动物; 分别用于 Tullgren 干漏斗法、Baermann 湿漏斗收集中小型土壤动物。活泼性土壤小型节肢动物以吸虫器采集。土

* 三峡工程建设委员会“三峡工程环境保护补偿经费监测类(施工区外)”项目(SX2004 026)资助

† 通讯作者, E-mail: chenjk@nju.edu.cn

作者简介: 杨林章(1958~), 男, 江苏靖江人, 研究员, 主要从事土壤生态系统中营养物质循环及其环境效应、农业生产活动对农村生态环境的影响、长江流域农业发展模式等的研究。E-mail: lzyang@issas.ac.cn

收稿日期: 2006-04-05; 收到修改稿日期: 2007-03-28

壤动物分类鉴定, 根据青木淳一^[7]和尹文英^[8,9]的分类方法。调查地点情况如下:

表 1 调查点分析
Table 1 Conditions of samples

地点 Locality	地理特征 Geographical characters	样地名称 Sampling field	林地 Forest	果园 Orchard	田地 Fam	
湖北省宜昌市秭归县水田坝乡	长江西陵峡北岸, 秭归县旧县城东南, 最高峰(羊角大尖)海拔 1 200 m	归 I (中坝村) 海拔 I (200~300 m)	刺槐为主, 少量松柏、油桐、乌桕及蔷薇科灌木的次生林, 海拔 280 m (归 I 林)	脐橙树, 海拔 265 m (归 I 果)	大豆地, 海拔 240 m (归 I 田)	
		归 II (郭家寨) 海拔 II (700 m)	松树为主, 少量柏树、荆棘的次生林, 海拔 705 m (归 II 林)	板栗树, 海拔 700 m (归 II 果)	玉米地, 海拔 400 m (归 II 田)	
		归 III (石堰村), 海拔 III (1 150 m)	杉树林, 低层多蕨类 (归 III 林)	梨树 (归 III 果)	玉米地 (归 III 田)	
四川省万县市五桥区长岭镇	长江北岸, E108.3°, N30.7°, 汉水谷地和四川盆地之间, 丘陵地貌, 河渠众多。年均温度 16~19℃。土壤类型多样, 多为沙质, 涵水性差, 有机物含量低	万 I (镇政府驻地附近) 海拔 50 m	竹林, 土质肥沃, 为冲积土壤, 表层残落物多, 腐殖质丰富 (万 I 林)	柑橘树, 地表基本无覆盖物 (万 I 果)	甘薯地, 地势低, 土壤湿度大 (万 I 田)	
		万 II (老土村) 海拔 620 m	松树次生林, 土壤干燥, 沙化严重 (万 II 林)	梨树, 树高 4 m, 土质较硬, 为人工移入 (万 II 果)	玉米地, 杂草丛生, 沙质土壤 (万 II 田)	
		万 III (地名不详) 海拔 850 m	松树、冷杉混交林, 石块较多, 覆盖度 60% (万 III 林)	柑橘树, 少许杂草 (万 III 果)	玉米地 (万 III 田)	
神农架自然保护区	中国东西与南北植物区系交界处, 植物区系成分复杂而古老, 包括了北亚热带完整的植被垂直带。区内约有植物 166 科 765 属近 2 000 种, 具有明显的垂直分布地带特征, 森林覆盖率达 68.5%, 生物种群多样性保护完整, 是进行生物多样性研究的好地区	神 I (神农顶风景垭): 海拔 2 850 m	箭竹林 (神 I 竹)	高山草甸 (神 I 草)	冷杉为主的针叶林, 覆盖度 70% (神 I 杉)	
		神 II (小龙潭上游地区): 海拔 1 300 m	针叶林 (神 II 针)	阔叶林 (神 II 阔)	针阔混交林 (神 II 混)	
		神 III (龙滩坪): 海拔 220 m	植被为含有长绿树种的角树等			
		神 IV (兴山县龙门河林场), 位于中国科学院神农架生物多样性研究定位站附近, 海拔 1 300 m 左右	针阔混交林, 树种有桦木、栓及栎、杉树、毛栗、巴山松和槭树等; 乔木覆盖度为 20%, 灌木覆盖度 60%, 草丛覆盖度 30%~40%; 坡度 13°, 阳坡 (神 IV 林)	猕猴桃林, 地面石块、杂草较多 (神 IV 果)	玉米地 (神 IV 田)	

1.3 数据分析

土壤动物的多度按以下标准划分: 个体数量占总捕获量 10% 以上者为优势类群, 占 1%~9.9% 者为常见类群, 不足 1% 者为稀有类群^[10]。

1.3.1 相关性分析 相关系数的计算公式为: $r = (\sum xy - \sum x \sum y) / ((\sum x^2 - (\sum x)^2/n)(\sum y^2 - (\sum y)^2/n))^{1/2}$, 其中 x 为科数, y 为个体数, n 为生境数量。

$r > 0$, 表明 x 随 y 的增加而增加; $r < 0$, 表示 x 随 y 增加而减少。 $p < 0.05$, 相关性显著。

1.3.2 差异显著性分析 T 检验 $T = (x_1 - x_2) / ((S^2 + S^2)/n)^{1/2}$; $S = ((\sum x^2 - (\sum x)^2/n)/n)^{1/2}$; $df = 2n - 2$; x 为个体数, S 为标准差, n 为样本数; $p \leq 0.01$, 差异极显著; $p \leq 0.05$, 有显著差异。

1.3.3 多样性分析 群落的多样性不仅包括其

丰富性,也包含其异质性内容,Shannon Wiener 指数和 Simpson 指数都同时包含着这两方面的信息。如果群落的多样性程度越高,其不定性也就越大,而 Simpson 指数对稀有种的作用较小,但对普通种的作用较大。

(1) Shannon-wiener 指数 $H = - \sum P_i \ln P_i$, 式中 P_i 为群落中第 i 类群的动物个体数占总数比例,即第 i 类群个体数/群落个体总数, S 为群落中的类群数。

(2) 均匀度指数 $E = H/\ln S$, 式中 S 为群落中的类群数, H 为 Shannon-wiener 指数。

(3) Simpson 优势度指数 $D = - \sum (P_i)^2$, 式中 P_i 为群落中第 i 类群的动物个体数占总数的比例, S 为群落中的类群数。

1.3.4 相似性检验 相似性系数^[12]用以比较两个样地中土壤动物群落的相似性程度。

Jaccard 相似性指数 $J = c/(a + b - c)$, 式中 a 为 A 群落类群数, b 为 B 群落类群数, c 为两群落共有类群数。 $0 < J < 0.25$ 为极不相似; $0.25 < J < 0.5$ 为中等不相似; $0.5 < J < 0.75$ 为中等相似; $0.75 < J < 1.0$ 为极相似。

2 结果与分析

2.1 土壤动物群落结构

本调查共获土壤动物标本 2 111 680 头, 隶属 6 个门 13 个纲 35 个目, 229 个科; 1 个优势类群(个体数 $> 10\%$): 线虫(70.50%); 5 个常见类群(个体数 $1\% \sim 10\%$): 螨类(9.70%), 弹尾目(8.74%), 线蚓(3.41%), 熊虫(2.50%), 猛水蚤目(1.57%) (表 2); 螨类和弹尾目数量比 $A/C = 1.11$ 。其中, 秭归地区土壤动物 259 476 头, 2 个优势类群: 线虫(66.38%), 螨类(22.40%); 2 个常见类群: 弹尾目(8.48%), 线蚓(1.11%); $A/C = 2.64$ 。万县地区土壤动物 836 646 头, 1 个优势类群: 线虫(66.15%); 6 个常见类群: 线蚓(8.07%), 螨类(7.07%), 弹尾目(4.67%), 熊虫(4.34%), 轮虫(2.48%), 猛水蚤目(2.19%), 鞘翅目(1.62%); $A/C = 1.51$ 。神农架地区土壤动物 1 015 558 头, 2 个优势类群: 线虫(75.13%), 弹尾目(12.15%); 3 个常见类群: 螨类(8.62%), 熊虫(1.51%), 猛水蚤目(1.44%); $A/C = 0.71$ 。

表 2 土壤动物数量统计

Table 2 Individuals of soil animals

分类 Classification	个体数 Individuals				频度 Frequency (%)			
	秭归 Zigui	万县 Wanxian	神农架 Shennongjia	Σ	秭归 Zigui	万县 Wanxian	神农架 Shennongjia	Σ
弹尾目 <i>Collembola</i>	22 014	39 118	123 405	184 537	8.48	4.67	12.15	8.74
线蚓 <i>Enchytraeidae</i>	2 884	67 559	1 650	72 093	1.11	8.07	0.16	3.41
熊虫 <i>Tardigrada</i>	1 190	36 250	15 330	52 770	0.46	4.34	1.51	2.50
猛水蚤目 <i>Harpacticoida</i>	170	18 360	14 620	33 150	0	2.19	1.44	1.57
轮虫 <i>Rotifera</i>	0	20 740	0	20 740	0	2.48	0	0.98
鞘翅目 <i>Coleoptera</i>	425	13 546	704	14 675	0.16	1.62	0.07	0.69
膜翅目 <i>Hymenoptera</i>	392	8 330	840	9 562	0.15	0.99	0.08	0.45
多足类 <i>Myriapoda</i>	0	5 190	0	5 190	0	0.62	0	0.25
双尾目 <i>Diplura</i>	41	4 337	43	4 421	0	0.52	0.004	0.21
半翅目 <i>Hemiptera</i>	761	3 146	13	3 920	0.29	0.38	0	0.19
少足纲 <i>Pauropoda</i>	171	0	3 576	3 747	0	0	0	0.18
啮目 <i>Corrodentia</i>	0	2 890	73	2 963	0	0.35	0	0.14
双翅目幼虫 <i>Diptera larva</i>	103	1 669	339	2 111	0	0.2	0.03	0.10
正蚓目 <i>Lumbricida</i>	433	288	637	1 358	0	0.03	0.06	0.06
同翅目 <i>Homoptera</i>	5	906	75	986	0	0.11	0.007	0.05
石蜈蚣目 <i>Lithobiomorpha</i>	20	0	883	903	0	0	0.09	0.04
鞘翅目幼虫 <i>Coleoptera larva</i>	163	0	760	923	0	0	0.07	0.04
带马陆目 <i>Polydesmida</i>	93	0	817	910	0	0	0.08	0.04
鳞翅目幼虫 <i>Coleoptera larva</i>	12	520	0	532	0	0.06	0	0.03
蜘蛛目(其他) <i>Araneida</i>	60	246	263	569	0	0.03	0.03	0.03
地蜈蚣目 <i>Geophilomorpha</i>	50	0	399	449	0	0	0.04	0.02
等足目 <i>Isopoda</i>	12	298	56	366	0	0.03	0.005	0.02
缨翅目 <i>Thysanura</i>	0	340	27	367	0	0.03	0.003	0.02
革翅目 <i>Dermaptera</i>	8	51	47	106	0	0	0.005	0.01

续表

分类 Classification	个体数 Individuals				频度 Frequency (%)			
	秭归	万县	神农架	Σ	秭归	万县	神农架	Σ
	Zigui	Wanxian	Shennongjia		Zigui	Wanxian	Shennongjia	
等翅目 <i>Isoptera</i>	1	188	4	193	0	0.02	0	0.01
泡马陆 <i>Chordeumida</i>	0	0	134	134	0	0	0.01	0.01
综合目 <i>Symphyla</i>	22	0	241	263	0	0	0.02	0.01
伪蝎 <i>Pseudoscorpionida</i>	27	0	57	84	0	0	0.006	0
盲蛛科 <i>Opiliones</i>	0	0	8	8	0	0	0	0
纓尾目 <i>Diplura</i>	22	10	10	42	0	0	0	0
蜚蠊目 <i>Blattaria</i>	0	28	2	30	0	0	0	0
直翅目 <i>Orthoptera</i>	2	17	4	23	0	0	0	0
涡虫 <i>Turbellaria</i>	5	4	0	9	0	0	0	0
脉翅目 <i>Neuroptera</i>	0	1	0	1	0	0	0	0
毛马陆目 <i>Polyxenida</i>	2	0	0	2	0	0	0	0
球马陆目 <i>Glomerida</i>	0	0	11	11	0	0	0	0
蜈蚣目 <i>Scolopendromorpha</i>	21	0	10	31	0	0	0	0
总计 Total	259 476	836 646	1 015 558	2 111 680				

2.2 土壤节肢动物类群数与个体数的相关性

相关系数在秭归地区三个海拔分别显著(表3), 但是总体的相关性 $r = 0.365$, $p = 0.335$, 万县为 $r = 0.259$, $p = 0.502$; 神农架地区: 土层中 $r = -0.038$, $p = 0.916$, 枯枝落叶层中 $r = -0.389$,

$p = 0.341$ 。各地区的类群数与个体数见表4所示。总体而言讲, 个体数与类群数相关性不明显, 可能由于分类阶元的局限导致类群水平不统一, 故本研究仅针对个体数量做了初步统计研究。

表3 秭归地区不同海拔节肢动物类群数与个体数相关性分析

Table 3 Correlation between Arthropoda groups and individuals at different elevations in Zigui region

秭归 Zigui	林地 Forest			果园 Orchard			田地 Fam			相关系数 r Correlation coefficient r		p
	0~ 5 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	0~ 5 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	0~ 5 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm			
海拔 I Altitude I	类群数 Group number	24	11	7	11	13	8	17	14	12	0.759*	0.018
	个体数 Individuals	9 733	1 703	705	4 265	3 421	3 576	1 901	3 154	1 714		
海拔 II Altitude II	类群数 Group number	13	6	3	27	13	23	18	13	15	0.706*	0.034
	个体数 Individuals	718	15	9	5 941	3 795	3 123	7 338	5 111	2 771		
海拔 III Altitude III	类群数 Group number	21	12	8	23	22	20	16	14	13	0.736*	0.024
	个体数 Individuals	2 801	1 887	1 337	5 866	3 670	2 244	901	878	1 914		

* 表示相关性显著 * means significant correlation

2.3 土壤动物类群数量的显著性检验

由于三峡库区的三个地区(秭归、万县和神农架)的优势类群为线虫、弹尾目、蛴螬类(见2.1), 故对这三个类群的个体数量做统计分析。

2.3.1 秭归地区不同地点线虫、蛴螬类、弹尾目的差异显著性检验 线虫的数量分布在整体上差异并不显著, 归 I 和归 II 的林地与农田之间的差异总是大于林地与果园之间的差异, 而果园和农田之间的差异最小。但归 III 却不符合这样的规律, 这是因为归 III 梨园为落叶林, 且认为干扰较少, 因此土壤中线虫的数量最多; 归 III 林虽然人为干扰最少, 但为针叶

林(杉树), 故线虫数量较少; 而归 III 田人为干扰最大, 所以线虫数量最少。因此, 归 II 果和归 II 田之间差异大于归 III 林与归 II 田的差异, 而归 II 果与归 III 林的差异最小。弹尾目的差异检验可以看出, 也是在林地与果园、农田之间差异比较大, 这与果园和农田的土壤已经过人类的改造, 生态环境发生了变化有关(表5)。关于人类活动对土壤动物的影响, 其他同类文献中也有叙述^[14]。从表6可以看出, 秭归地区蛴螬、弹尾目、线虫的个体数随着生境和海拔的变化差异基本不显著, 即分布比较稳定。从表7可以看出秭归地区蛴螬和弹尾目的数量

在枯枝落叶层的分布随着海拔的变化差异也不显著。

表 4 不同生境节肢动物类群数与个体数分析

Table 4 Numbers of Arthropoda groups and individuals in different habitats

稀归 Z _{xi} ui	归 I 林	归 I 果	归 I 田	归 II 林	归 II 果	归 II 田	归 III 林	归 III 果	归 III 田	
类群数 Group number	29	21	29	18	40	26	35	37	29	
个体数 Individuals	12 168	11 262	6 769	742	12 859	15 220	6 065	11 780	3 693	
万县 Wanxian	万 I 竹	万 I 果	万 I 田	万 II 林	万 II 果	万 I 田	万 III 林	万 III 果	万 III 田	
类群数 Group number	26	12	22	28	22	26	24	19	28	
个体数 Individuals	5 296	2 903	3 331	13 461	14 810	16 163	28 026	30 986	25 362	
神农架 Shennongjia	神 I 竹	神 I 杉	神 I 草	神 II 针	神 II 阔	神 II 混	神 III	神 IV 林	神 IV 果	神 IV 田
类群数 Group number	32	37	31	42	50	41	48	59	60	44
个体数 Individuals	13 831	24 609	31 902	11 262	30 532	10 905	26 859	18 275	18 282	9 222
神农架 0 层 Leaf litter	类群数 Group number	21	22	17	26	28	36	27	32	
个体数 Individuals		2 034	2 988	1 421	2 184	2 882	4 256	968	1 079	

表 5 同一海拔不同生境之间土壤动物数量的差异性 ($t_{0.01} = 4.604, t_{0.05} = 2.776, df = 4$)

Table 5 Difference between habitats in population of soil animals at the same altitude

		归 I 果	归 I 田		归 II 果	归 II 田		归 III 果	归 III 田
线虫	归 I 林	0.426	1.209	归 II 林	1.735	2.077	归 III 林	0.108	0.61
<i>Nematoda</i>	归 I 果		0.376	归 II 果		0.369	归 III 果		0.725
蜱螨	归 I 林	0.079	0.715	归 II 林	2.441	4.119*	归 III 林	0.946	0.708
<i>Acarina</i>	归 I 果		0.557	归 II 果		1.017	归 III 果		1.252
弹尾目	归 I 林	0.567	0.478	归 II 林	1.368	1.778	归 III 林	1.081	1.316
<i>Collembola</i>	归 I 果		0.107	归 II 果		0.877	归 III 果		0.749

* $p < 0.05$

表 6 不同海拔高度间 t 检验 ($t_{0.01} = 4.604, t_{0.05} = 2.776, df = 4$)

Table 6 Differences of individuals of different Altitudes in the same habitats

		归 II 林	归 III 林		归 II 果	归 III 果		归 II 田	归 III 田
线虫	归 I 林	1.091	0.421	归 I 果	0.500	0.523	归 I 田	1.005	1.464
<i>Nematoda</i>	归 II 林		0.440	归 II 果		0.077	归 II 田		1.308
蜱螨	归 I 林	2.630	1.380	归 I 果	0.049	0.118	归 I 田	1.844	0.952
<i>Acarina</i>	归 II 林		2.253	归 II 果		0.094	归 II 田		3.334*
弹尾目	归 I 林	1.221	1.393	归 I 果	0.702	0.653	归 I 田	0.388	0.398
<i>Collembola</i>	归 II 林		0.458	归 II 果		0.249	归 II 田		0.143

* $p < 0.05$

表 7 枯枝落叶层(0层) T 检验

($t_{0.01} = 4.604, t_{0.05} = 2.776, df = 4$)

Table 7 Difference between *Acarina* and *Collembola* individuals in the litter layer

	蜱螨 <i>Acarina</i>		弹尾目 <i>Collembola</i>	
	归 II 林 0	归 III 林 0	归 II 林 0	归 III 林 0
归 I 林 0	1.344	1.398	1.208	1.548
归 II 林 0		0.703		0.36

2.3.2 万县地区不同地点线虫、螨类、弹尾目的差异显著性检验 线虫数量在海拔 I 中, 在 0~ 5 cm 和 10~ 15 cm 之间差异显著; 海拔 III 中, 0~ 5 cm 和 5~ 10 cm 之间差异显著, 0~ 5 cm 和 10~ 15 cm 之间差异极显著(表 8); 海拔高度对土壤动物的影响分析(表 9), 可以看出线虫数量无显著差异性; 蜱螨海拔 I 与海拔 II、III 之间差异极显著; 弹尾目数量在海拔 III 与 II 之间差异显著, 海拔 III 与 I 达到极显著。说明海拔对蜱螨、弹尾目影响较大。

表 8 线虫数量同一海拔层间差异表

Table 8 Numbers of Nematoda in different layers at the same elevation

P(df= 8)	海拔 I Altitude I		海拔 II Altitude II		海拔 III Altitude III	
	0~ 5 cm	5~ 10 cm	0~ 5 cm	5~ 10 cm	0~ 5 cm	5~ 10 cm
	5~ 10 cm	0.141		0.079		0.021*
10~ 15 cm	0.025*	0.165	0.085	0.187	0.0014**	0.111

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

表 9 海拔和层间差异表

Table 9 Differences between soil fauna at different elevation and layers

P(df= 26)	线虫 <i>Nematoda</i>		蜱螨 <i>Acarina</i>		弹尾目 <i>Collembola</i>	
	海拔 I Altitude I	海拔 II Altitude II	海拔 I Altitude I	海拔 II Altitude II	海拔 I Altitude I	海拔 II Altitude II
	海拔 II Altitude II	0.7091		0.005**		0.1743
海拔 III Altitude III	0.5026	0.9168	0.001**	0.133	0.0022**	0.0468*

P(df= 26)	线虫 <i>Nematoda</i>		蜱螨 <i>Acarina</i>		弹尾目 <i>Collembola</i>	
	0~ 5 cm	5~ 10 cm	0~ 5 cm	5~ 10 cm	0~ 5 cm	5~ 10 cm
	5~ 10 cm	0.00295*		0.00193**		0.0125*
10~ 15 cm	0.00086**	0.0082**	0.00023**	0.07546	0.01339*	0.62512

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

2.3.3 神农架地区不同地点线虫、螨类、弹尾目的差异显著性检验 不同层间线虫、螨类、弹尾目的差异显著性检验(表 10): 线虫层间差异不显著。但 $t_{1-3} > t_{1-2}$, 说明线虫数量由第一层到第三层逐渐减少。海拔 III 1 层、2 层的线虫分布有显著差异, 1 层、3 层差异极显著。弹尾目层间差异不显著。 $t_{1-3} > t_{1-2}$, 说明弹尾目昆虫由第一层到第三

层逐渐减少。神 I 竹 1 层、2 层和神 II 针 1 层、2 层之间有显著差异, 且神 II 针 1 层、3 层间有极显著差异。螨类数量层间差异不显著。但 $t_{1-2} > t_{2-3}$, $t_{1-3} > t_{2-3}$, 可见螨类主要分布于 1 层、2 层。但神 II 阔 1 层、2 层, 1 层、3 层有显著差异, 神 IV 田 2 层、3 层有显著差异, 神 I 竹 1 层、3 层、神 IV 田 1 层、3 层有极显著性差异。

表 10 神农架地区不同地点线虫、弹尾目和螨类的显著性检验($t_{0.01} = 4.604, t_{0.05} = 2.776, df = 4$)

Table 10 Differences of the number of Acarina, Nematoda and Collembola in Shennongjia region

类群 Groups	土层 Depth (cm)	神 I 竹		神 I 杉		神 I 草		神 II 针		神 II 阔	
		5~ 10 cm	10~ 15 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm
线虫 <i>Nematoda</i>	0~ 5	1.75	1.91	0.28	0.66	0.75	0.79	1.67	2.01	0.69	0.82
	5~ 10		0.99		0.32		0.1		0.54		0.18
弹尾目 <i>Collembola</i>	0~ 5	3.93*	0.66	0.67	0.67	1.57	1.84	4.24*	4.97**	1.79	1.89
	5~ 10		1.44		0.57		1.03		1.03		0.64
螨类 <i>Acarina</i>	0~ 5	2.31	10.77**	2.48	1.08	1.31	1.58	0	2.12	4.26*	4.41*
	5~ 10		1.73		1.39		2.36		0.81		0.95

类群 Groups	土层 Depth (cm)	神 II 混		神 III		神 IV 林		神 IV 果		神 IV 田	
		5~ 10 cm	10~ 15 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm	5~ 10 cm	10~ 15 cm
线虫 <i>Nematoda</i>	0~ 5	1	1.29	4.3*	8.23**	1.31	1.33	0.61	1.03	0.51	1.71
	5~ 10		0.86		1.02		0.23		0.79		1.65
弹尾目 <i>Collembola</i>	0~ 5	1.44	1.79	0.77	1.03	0.94	2.37	2.14	1.95	0.32	1.33
	5~ 10		0.68		0.68		0.42		0.38		0.82
螨类 <i>Acarina</i>	0~ 5	0.63	0.9	1.78	1.75	1.38	1.32	2.56	0.8	2.48	10.6**
	5~ 10		0.32		0.08		0.37		0.43		2.87*

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

不同生境中线虫、弹尾目、螨类分布的差异显著性检验(表 11):不同群落分别比较表明, 螨类、弹尾目随不同生境分布仅少数有显著差异。说明螨类及

弹尾目在各处广布。线虫数量的 t 检验表明其随生境变化较大。

表 11 不同生境中的线虫、弹尾目、螨类数量显著性检验($t_{0.01} = 4.604, t_{0.05} = 2.776, df = 4$)

Table 11 Difference between habitats in number of Acarina, Nematoda and Collembola

T 检验 T test		神 I 杉	神 I 草	神 II 针	神 II 阔	神 II 混	神 III	神 IV 林	神 IV 果	神 IV 田
线虫 <i>Nematoda</i>	神 I 竹	2.13	1.68	2.002	2.211	2.096	1.066	2.351	0.055	2.594
	神 I 杉		0.284	0.372	0.079	0.179	2.75*	0.341	0.121	0.953
	神 I 草			0.006	0.279	0.162	1.775	0.576	0.178	1.011
	神 II 针				0.441	0.221	2.634	0.87	0.227	1.713
	神 II 阔					0.166	4.263*	0.713	0.083	2.83*
	神 II 混						2.952*	0.635	0.039	1.465
	神 III							4.249*	2.484	6.379**
	神 IV 林								0.42	0.996
	神 IV 果									1.059
弹尾目 <i>Collembola</i>	神 I 竹	0.696	0.746	0.437	1.541	0.216	0.575	0.903	0.628	1.863
	神 I 杉		0.103	0.594	0.539	0.607	0.327	0.744	0.415	1.002
	神 I 草			6.102**	0.723	0.620	0.261	0.797	0.371	1.151
	神 II 针				1.424	0.083	0.394	0.505	2.016	2.016
	神 II 阔					1.411	1.866	1.562	1.879	1.879
	神 II 混						0.411	0.346	1.215	1.215
	神 III							0.641	1.125	1.125
	神 IV 林								0.773	0.773
	神 IV 果									1.414
螨类 <i>Acarina</i>	神 I 竹	0.282	0.972	1.421	0.233	1.195	1.541	0.713	0.359	0.381
	神 I 杉		0.824	1.905	1.205	1.645	1.433	0.571	0.056	0.813
	神 I 草			1.710	0.928	1.613	0.330	0.157	0.814	1.233
	神 II 针				3.067*	0.388	2.588	1.373	2.325	3.216*
	神 II 阔					2.456	1.621	0.652	0.213	1.256
	神 II 混						2.458	1.286	1.998	2.065
	神 III							0.486	1.446	2.018
	神 IV 林								0.556	0.929
	神 IV 果									1.055

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

不同生境枯枝落叶层(0 层)中螨类、弹尾目分布的差异显著性检验(表 12): 螨类神 I 草-神 I 竹、神 I 草-神 I 杉、神 II 针-神 I 草、神 II 混-神 I 竹以及神 I 杉-神 IV 林之间有显著差异。神 II 混-神 I 草、神 III-神 II 混、神 IV 林-神 II 混有极显著差异。结果

显示, 海拔和植被因素对螨类在枯枝落叶中的分布有明显影响。

弹尾目仅神 II 混-神 II 阔之间有极显著差异。结果说明, 海拔、气候及植被对弹尾目昆虫在枯枝落叶中的分布没有明显影响。

表 12 不同生境中枯枝落叶层螨类、弹尾目分布的显著性检验($t_{0.01} = 4.604, t_{0.05} = 2.776, df = 4$)

Table 12 Difference between habitats in numbers of Acarina and Collembola in the litter layer

T 检验 T test		神 I 竹	神 I 杉	神 I 草	神 II 针	神 II 阔	神 II 混	神 III	神 IV 林
螨类 <i>Acarina</i>	神 I 竹		1.714	3.059*	1.544	0.315	3.008*	3.467*	2.495
	神 I 杉			3.415*	2.414	0.752	0.603	3.362*	3.009*
	神 I 草				2.849*	0.909	8.195**	0.600	0.086
	神 II 针					0.459	10.25**	3.388*	1.897
	神 II 阔						0.522	1.042	0.916
	神 II 混							8.324**	5.537**
弹尾目 <i>Collembola</i>	神 I 竹		0.502	0.227	0.062	0.352	0.986	0.841	0.949
	神 I 杉			0.791	0.388	0.150	0.454	1.484	1.593
	神 I 草				0.265	0.623	1.365	0.773	0.923
	神 II 针					0.175	0.814	0.766	0.850
	神 II 阔						6.129**	1.295	1.403
	神 II 混							2.242	2.370
神 III								0.453	

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

2.4 土壤动物群落的多样性分析

总体而言, 秭归枯枝落叶层的多样性指数最高, 其次为田地, 果园的多样性最低; 而随海拔变化不明显。万县地区竹林的多样性指数最高, 其次是田地, 果园和林地的区别不明显。神农架地区从海拔看, 低海拔多样性指数最高; 从植被看, 同一海拔, 冷杉林、混交林及农田的多样性指数较高, 而箭竹林、针叶林和针阔混交林的多样性较低。

在神农架枯枝落叶层中, 从海拔上看, 随海拔的降低多样性指数增加。因为海拔降低, 气温升高, 湿度增大, 环境条件逐渐优越, 可见气候与湿度等环境因子对枯枝落叶中土壤动物分布影响的明显性。从植被看, 海拔 I 草地因其植被单一, 土壤动物多样性最小; 海拔 II 中, 阔叶林及混交林植被丰富, 多样性较大; 海拔 III 因气候适宜, 植被丰富, 多样性最大。均匀性指数的变化也有上述规律。

表 13 三峡库区生物多样性分析¹⁾

Table 13 Biodiversity of soil animal communities in the Three Gorge Reservoir Region

	归 I 林 0	归 I 林	归 I 果	归 I 田	归 II 林 0	归 II 林	归 II 果	归 II 田	归 III 林 0	归 III 林	归 III 果	归 III 田
H	1.758	2.188	1.817	2.297	2.82	0.707	2.000	1.858	3.403	2.022	1.968	2.195
E	0.292	0.388	0.308	0.395	0.468	0.125	0.339	0.320	0.565	0.358	0.331	0.378
D	0.463	0.734	0.669	0.731	0.741	0.164	0.626	0.635	0.850	0.677	0.657	0.747
	万县	万 I 竹	万 I 果	万 I 田		万 II 林	万 II 果	万 II 田		万 III 林	万 III 果	万 III 田
H		3.08	2.03	2.99		2.36	2.53	3.16		1.81	1.74	2.18
E		0.945	0.817	0.967		0.708	0.818	0.970		0.570	0.591	0.654
D		0.800	0.700	0.810		0.760	0.760	0.840		0.640	0.600	0.710
	神农架	神 I 竹	神 I 杉	神 I 草		神 II 针	神 II 阔	神 II 混	神 III	神 IV 林	神 IV 果	神 IV 田
H		1.95	2.246	1.954		1.881	1.924	2.173	2.192	2.1	2.17	2.227
E		0.676	0.724	0.658		0.656	0.678	0.681	0.742	0.705	0.687	0.737
D		0.276	0.318	0.277		0.267	0.273	0.308	0.311	0.298	0.308	0.316
	神农架	枯枝落叶	神 I 竹 0	神 I 杉 0	神 I 草 0		神 II 针 0	神 II 阔 0	神 II 混 0	神 III 0	神 IV 林 0	
H		2.378	2.329	1.957		2.476	3.024	3.02	3.327	3.328		
E		0.709	0.729	0.591		0.689	0.824	0.82	0.841	0.864		
D		0.368	0.316	0.303		0.383	0.468	0.468	0.515	0.515		

1) “0”表示枯枝落叶层, H、E、D 分别表示 Shannon wiener 指数、均匀度指数、Simpson 优势度指数“0” stands for leaf litter; H, E, D stand for Shannon wiener index, evenness index, Simpson dominance index, respectively

表 14 秭归地区不同地点土壤中节肢动物群落组成的 Jaccard 相似性系数检验

Table 14 Similarity of soil arthropod community in different locations in Zigui Country

	归 II 林	归 III 林	归 I 果	归 II 果	归 III 果	归 I 田	归 II 田	归 III 田	归 I 林 0	归 II 林 0	归 III 林 0
归 I 林	0.426	0.531*	0.480	0.435	0.485	0.379	0.400	0.448	0.400	0.357	0.308
归 II 林		0.415	0.359	0.345	0.400	0.255	0.455	0.511*	0.305	0.356	0.259
归 III 林			0.464	0.400	0.472	0.313	0.459	0.500	0.289	0.323	0.336
归 I 果				0.525*	0.345	0.440	0.511*	0.360	0.355	0.500	0.421
归 II 果					0.416	0.377	0.636	0.464	0.370	0.388	0.342
归 III 果						0.364	0.444	0.455	0.410	0.281	0.219
归 I 田							0.364	0.276	0.343	0.321	0.185
归 II 田								0.545*	0.328	0.453	0.323
归 III 田									0.286	0.286	0.277
归 I 林 0										0.471	0.416
归 II 林 0											0.603*
归 III 林 0											

* $J > 0.5$

2.5 土壤动物节肢动物群落组成的相似性分析

2.5.1 秭归地区不同地点土壤中节肢动物群落组成的相似性系数检验

同一种生态环境的土壤动物群落与海拔高度的关系明显, 整体而言是 I 与 II、II 与 III 之间相似性甚高, 而 I 与 III 之间相似性则较

低。果园和农田的规律比较明显, 果园三个海拔高度上均有不同, 其相似性不同在海拔上表现出来, 因此, I 和 II、II 和 III 之间相似性较高。归 II 田和归 III 田均为玉米田, 所以其相似性甚高, 而归 I 田属大豆地, 与归 II 田和归 III 田之间作物属性不同, 海拔上又

3 讨论与小结

本调查共获土壤动物标本 2 111 680 头, 隶属 6 个门 13 个纲 35 个目, 229 个科; 1 个优势类群: 线虫; 5 个常见类群: 螨类, 弹尾目, 线蚓, 熊虫, 猛水蚤目。其中, 秭归地区土壤动物 259 476 头, 2 个优势类群: 线虫, 螨类; 2 个常见类群: 弹尾目, 线蚓。万县地区土壤动物 836 646 头, 1 个优势类群: 线虫; 6 个常见类群: 线蚓, 螨类, 弹尾目, 熊虫, 轮虫, 猛水蚤目, 鞘翅目。神农架地区土壤动物 1 015 558 头, 2 个优势类群: 线虫, 弹尾目; 3 个常见类群: 螨类, 熊虫, 猛水蚤目。

三个地区, 神农架多样性指数最高。说明三峡库区生境条件(海拔、植被类型等)越优越, 植被越丰富, 海拔越低, 土壤动物的多样性指数就越高。海拔相同、植被相近的群落相似性指数高。

三峡库区土壤节肢动物类群数与个体数之间的相关性受海拔、植被影响不大。秭归地区三个类群的个体数受植被、海拔影响不大。神农架地区线虫数量受植被影响显著。

万县地区蜱螨、弹尾目数量受海拔影响显著, 线虫数量随海拔变化不显著; 神农架枯枝落叶层螨类数量变化随植被、海拔显著。

参考文献

- [1] 李其林, 黄昀, 刘光德, 等. 三峡库区主要土壤类型重金属含量及特征. 土壤学报, 2004, 41(2): 301~ 304. Li Q L, Huang Y, Liu G D, *et al.* The contents and character of heavy metals of main soil types in Three Gorges Reservoir (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 301~ 304
- [2] Zuo W, Zhou H Z, Zhu X H, *et al.* Integrated evaluation of ecological security at different scales using remote sensing: A case study of

Zhongxian County, the Three Gorges Area, China. *Pedosphere*, 2005, 15(4): 456~ 464

- [3] 杨星科, 等. 长江三峡库区昆虫. 重庆: 重庆出版社, 1997. Yang X K, *et al.* Insect of the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River (In Chinese). Chongqing: Chongqing Press, 1997
- [4] 朱永恒, 赵春雨, 王宗英, 等. 土壤动物群落生态学研究综述. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1 477~ 1 481. Zhu Y H, Zhao C Y, Wang Z Y, *et al.* Research on soil animal community ecology in China (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(12): 1 477~ 1 481
- [5] 张华, 张甘霖. 土壤质量指标和评价方法. 土壤, 2001, 33(6): 326~ 333. Zhang H, Zhang G L. Indexes and estimate methods for soil quality (In Chinese). *Soils*, 2001, 33(6): 326~ 333
- [6] 屈波, 谢世友, 邹红. 三峡库区生态安全问题与对策. 生态环境, 2004, 13(1): 146~ 148. Qu B, Xie S Y, Zou H. Ecological security problems of the Three Gorges Reservoir Area and countermeasures (In Chinese). *Ecology and Environment*, 2004, 13(1): 146~ 148
- [7] 青木淳一. 土壤动物学. 东京: 北隆馆, 1973
- [8] 尹文英, 杨逢春, 王振中, 等. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992. Yin W Y, Yang F C, Wang Z Z, *et al.* Subtropical Soil Animals of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1992
- [9] 尹文英, 胡圣豪, 沈韞芬, 等. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000. Yin W Y, Hu S H, Shen Y F, *et al.* Pictorial Keys to Soil Animals of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 2000
- [10] 郑祥, 鲍毅新, 孔军苗, 等. 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. Zheng X, Bao Y X, Kong J M, *et al.* Soil macrofauna in broadleaf forest in Mountain Bei of Jinhua (In Chinese). *Soils*, 2005, 37(5): 545~ 550
- [11] 杨效东, 沙丽清. 西双版纳热带人工林与次生林土壤动物群落结构时空变化初查. 土壤学报, 2000, 37(1): 116~ 123. Yang X D, Sha L Q. Preliminary investigation on time and space variation of structure of soil fauna community in artificial and secondary forests of Xishuangbanna (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(1): 116~ 123
- [12] Jaccard P. Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.*, 1908, 44: 223~ 270
- [13] Hu F, Li H X, Wu S M. Differentiation of soil fauna populations in conventional tillage and no-tillage red soil ecosystems. *Pedosphere*, 1997, 7(4): 339~ 348

STUDIES ON SOIL ANIMAL COMMUNITIES IN THE THREE GORGES RESERVOIR REGION

Yang Linzhang¹ Li Yundong¹ Li Bin² Chen Jianxiu^{2†}

(¹ Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(² School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract In this experiment carried out in 1998 when the Three Gorges Project was about to start, soil faunae in different habitats and at different altitudes were investigated in the Three Gorges Reservoir Region, including Zigui County, Wanxian County and Shennongjia region. Results show that in the region, Nematoda was the predominant group, and Acarina, Collembola,

Tardigrada and Harpacticoida were common groups. Soil faunae under different vegetations at the same location displayed certain similarity and difference as well. Correlation tests demonstrated that altitude and habitat had little effect on the correlation between the numbers of soil arthropod individuals and groups. It was also discovered that the lower the more favorable the habitat (altitude and vegetation), the higher the biodiversity index. Comparison between communities in similarity showed that fauna communities under similar vegetations at the same elevation were quite high in similarity. In Zigui Country, the numbers of Nematoda, Acarina and Collembola individuals were not much affected by habitat and elevation, while in Wanxian Country, the numbers of Acarina and Collembola were by elevation. In Shennongjia region, distribution of Nematoda varied significantly with vegetation. Acarina and Collembola were widely distributed in various soil layers under different vegetations, whereas the number of Acarina in the litter layer varied significantly with habitat and elevation.

Key words Three Georges Reservoir Region; Soil animal community; Biodiversity; Difference; Similarity