

# 湘中低山丘陵红壤森林生态系统土壤动物群落结构的特征\*

王振中<sup>1</sup> 张友梅<sup>1</sup> 李忠武<sup>2</sup>

(1 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081)

(2 湖南大学环境科学与工程学院, 长沙 410082)

**摘要** 中亚热带低山丘陵区, 气候温暖、湿润, 植被生长繁茂, 土壤动物资源丰富。通过对湘中丘陵山地红壤森林土壤动物群落定位调查, 共获得 36 018 只土壤动物标本, 计有 31 类, 其中蜚螨类、弹尾类和线虫类为优势类群, 三类群占动物总量的 92.33%, 为森林土壤动物群落的主体。其他 28 类常见类群和稀有类群, 分别占土壤动物总量的 5.28% 和 2.39%。土壤动物密度 ( $10^4 \text{ind m}^{-3}$ ) 受多种环境因素制约, 其主要限制因素是植被类型和土壤干湿季节变化, 根据 4 个采样点的定位调查结果, 以地带性常绿阔叶次生林和灌草丛群落最丰富, 分别为  $78.41 (10^4 \text{ind m}^{-3})$  和  $75.33 (10^4 \text{ind m}^{-3})$ , 人工针叶林土壤动物密度仅为  $56.41 (10^4 \text{ind m}^{-3})$ 。土壤动物在土体中垂直分布与土壤有机物质的表聚和土壤理化特性的垂直差异有密切关系, 在森林土壤中主要分布于凋落物层和土壤的腐殖质层, 向下锐减。

**关键词** 土壤动物; 中亚热带; 丘陵红壤; 土壤侵蚀; 人工针叶林

中图分类号 S154.4 文献标识码 A

土壤动物是一个庞大而复杂的动物群落, 对土壤的形成、发育和退化土壤的恢复具有特殊功能 and 作用。有试验表明, 在草原无机肥料试验中, 加入大型土壤动物蚯蚓的活动, 可使牧草增产 17%, 而在施用牛粪的草地试验中, 可增产牧草 93%, 并大大加速了土壤的熟化过程<sup>[1,2]</sup>。在我国中亚热带季风气候区, 温暖、湿润、雨量丰沛, 生物小循环旺盛, 而在一些低山丘陵区, 由于开发利用不当, 不少地方表土流失, 网纹层外露, 地表寸草不生, 被人们喻之为“红色沙漠”。在长沙高桥地区还可见有“白沙岗”之称的花岗岩风化残丘, 在这里很少见到有土壤动物的活动。地处湘中—浏盆地西沿的低山丘陵地区, 现在仍保存有较大面积的常绿阔叶次生林, 但大部分山体主要由人工针叶林所覆盖, 生物作用减弱, 水土流失, 土壤贫瘠, 酸性增强, 土壤动物多样性减少。早在 1991 年联合国粮农组织 (FAO) 提出: 可持续农业应该是“能保持和维护土地、水和动、植物资源, 而不造成环境退化……”, 这也正是现代土壤动物学的研究目标, 土壤动物学研究现在已进入生物生产力与环境关系的研究阶段。因此, 系统研究中亚热带低山丘陵区土壤动物群落结构特征, 对恢复

自然植被、合理利用森林土壤资源、保护生态环境和资源基因库具有重要意义<sup>[3,4]</sup>。

## 1 研究方法

### 1.1 区域环境概况

定位研究点系长(沙)—浏(阳)盆地西沿的低山丘陵, 面积约  $553.3 \text{ km}^2$ , 位于北纬  $28^\circ 20' \sim 28^\circ 27'$  和东经  $112^\circ 44' \sim 112^\circ 48'$ , 最高海拔 295.7 m, 土壤类型为地带性红壤(黏化强育湿润富铁土)。地处中亚热带季风气候区的低山丘陵, 气候温暖湿润, 雨量丰沛, 年均温  $17^\circ \text{C}$ , 年降水量  $1\ 200 \sim 1\ 400 \text{ mm}$ 。这里仍保存有较大面积的地带性常绿阔叶次生林, 主要建群树种有水青冈 (*Fagus longipetiolata*)、苦槠栲 (*Castanopsis sclerophylla*)、冬青 (*Ilex chinensis*) 等并伴有落叶树种栓皮栎 (*Quercus variabilis*)、岭南酸枣 (*Chorospondias axillaris*)、枫香树 (*Liquidambar formosana*)、朴树 (*Celtis sinensis*) 等, 林区大面积栽培的人工林是马尾松 (*Pinus massoniana*) 林。

### 1.2 土壤动物定位调查

由于低山丘陵区相对高差只有 235 m, 林区气

\*国家自然科学基金项目(49070031)、国家自然科学基金重点项目(39230070)和湖南省自然科学基金项目(962027)资助

作者简介:王振中(1935~),男,教授,主要从事土壤动物生态学研究。E-mail:wanzhng@163.com

收稿日期:2007-01-29;收到修改稿日期:2007-04-30

候没有明显垂直差异,定位研究主要考察林相变化对土壤动物群落的影响。共设置 4 个取样点:人工针叶林( )、针阔叶混交林( )、常绿阔叶次生林( )和灌木林—草本群落( )。取样方法:在每块林地选择有代表性的样点 3 处,挖掘土壤剖面,按 0~5、5~10、10~15 cm 三个层次,分别用 100cm<sup>3</sup>和 25 cm<sup>3</sup>土壤环刀采集土样,带回室内分离土壤动物,每月调查取样一次。

### 1.3 土壤动物分离提取方法

将野外采集的土壤样品分别用 Tullgren(干漏法)和 Baermann(湿漏法),分离提取土壤动物,中小型动物在体视显微镜下进行计数和类群分类<sup>[5,6]</sup>。大型土壤动物蚯蚓、蜈蚣等取 50 cm × 50 cm 样方内的凋落物和土壤用手捡法收集。

### 1.4 土壤主要理化指标测定方法

土壤有机质采用重铬酸钾法测定,土壤 pH 值采用

酸度计法测定,土壤机械组成采用比重计法测定,土壤容重采用环刀法测定,土壤含水量采用烘干法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同植被类型对土壤动物群落结构的影响

土壤动物属于土壤亚系统,它与植被亚系统共同组成陆生生态系统,生活在土壤中的动物数量大,种类丰富,几乎涵盖陆栖无脊椎动物所有类群。然而,在亚热带季风气候区,随着原生植被被破坏,演变退化成次生林以及人工针叶林的建立,导致水土流失,土壤侵蚀增强,生物作用减弱,土壤动物减少。研究结果表明,土壤动物丰度,常绿阔叶次生林 > 灌木林—草本群落 > 针阔叶混交林 > 人工针叶林,分别占动物总量的 20.67%、21.77%、29.40%和 28.15%,即以人工针叶林土壤动物减少最明显(表 1)。

表 1 不同植被类型土壤动物群落的组成

Table 1 Composition of soil animal communities under different types of vegetation

动物类群 Animal group					个体总数	占全捕量 (%)	多度
三歧肠目 Tricladid		8			8	0.02	+
线虫类 Nematoda	851	1 487	2 365	1 885	6 588	18.29	+++
近孔寡毛目 Oligochaeta P.	188	305	678	223	1 394	3.87	++
后孔寡毛目 Oligochaeta O.	9	8	16	4	37	0.10	+
柄眼目 Sylumphora		1	3	1	5	0.013	+
真熊虫目 Eutardigrada		1	6		7	0.019	+
蜱螨目 Acarina	4 090	3 606	5 916	6 422	20 034	55.62	+++
蜘蛛目 Araneae	16	25	18	10	69	0.19	+
鼠妇科 Porcellionidae			2	1	3	0.014	+
地蜈蚣科 Geophilomorpha	4	2	1	3	10	0.03	+
石蜈蚣科 Lithobiomorpha	13	18	13	11	55	0.15	+
大蜈蚣科 Scolopendromorpha			1		1	0.002	+
倍足类 Diplopoda		1	2	6	9	0.03	+
等足类 Symphyla	4	12	7	13	36	0.09	+
蜈蚣类 Pauropoda			3	1	4	0.011	+
原尾目 Prolura	16	8	13	52	89	0.25	+
弹尾目 Collembola	2 056	2 122	1 272	1 340	6 790	18.76	+++
康氏科 Gampodeidae	5	6	3	16	30	0.08	+
缺氏科 Japygidae	4	8	1	7	20	0.05	+
蟋蟀目 Blattoptera		1	3	5	9	0.03	+
蟋总科 Grylloidea	2	3	1		6	0.016	+
等翅目 Isoptera		3			3	0.014	+
蜚虫目 Psocoptera			3		3	0.014	+
半翅目 Hemiptera	1		5	1	8	0.019	+
鞘翅目 Coleoptera	8	11			19	0.05	+
革翅目 Permaptera			1	1	2	0.008	+
缨翅目 Thysanoptera	16	9		12	37	0.10	+
蚁总科 Formicidae	124	153	172	67	516	1.43	++
同翅目 Homoptera	1	4	11	1	17	0.04	+
双翅目 Diptera	40	39	71	56	206	0.56	+
鳞翅目 Lepidoptera			1	2	3	0.014	+

注: +++, ++, + 分别表示优势类群、常见类群、稀有群 Note: +++, ++, +, mean dominant group, common group and rare group, respectively. Total number; Percentage of the number; Many degree

本研究经过一年的土壤动物定位调查取样,共获得 36 018 只土壤动物标本,计有 31 类,其中常绿阔叶次生林有 27 类,占动物总量的 29.40%,灌草丛群落有 24 类,占动物总量的 28.15%,针阔叶混交林 25 类,占 21.77%,人工针叶林 19 类,占 20.67%。在这些土壤动物类群中,蛴螬、弹尾和线虫三类群占动物总量的 92.33%,其他 28 类仅占动物总量的 7.6%,可以看出人工林土壤动物种类和数量明显低于其他林区。根据 Margalef 多样性指数公式:  $H = (S - 1) / \ln(N)$ 。式中  $H$  为多样性指数,  $S$  为种类数,  $N$  为总个体数。  $H$  值、 、 、 区分别为 2.013 8、2.676 5、2.805 6 和 2.492 8,即 4 林区土壤动物多样性指数  $> > >$ 。均匀性指数  $J = H / \ln(S)$ ,均匀性指数  $J$  值、 、 、 区分别为 0.225 3、0.298 4、0.342 7 和 0.270 2,亦表现同样变化趋势。

## 2.2 土壤动物群落与土壤环境变化

在诸环境因素中影响土壤动物消长的主导因素

是土壤水分和土壤温度的季节性变化,本地区年降水集中在 4~7 月,而 8~12 月进入季节性干旱期,则土壤含水量明显下降,根据土壤含水量对土壤动物生态分布的影响,青木淳一将土壤动物区分为水生、湿生和干生动物<sup>[5]</sup>。如唇足类、弹尾类、蛴螬类、蚁类等属于干生动物,对水分过多反应敏感,雨季明显减少。而涡虫类、线虫类、寡毛类等湿生或水生型动物则对高温干旱反应敏感,雨季增多。同时土壤动物属变温动物,对土温的改变只能被动地适应。由于土温的变化比较缓慢,短暂的高温或低温不会导致大量的死亡,从土壤动物适应高低温的能力来看,忍耐低温的能力远大于抗高温的能力,所以 8 月高温期成为土壤动物急剧减少的直接原因。全年 8 月份高温干旱期土壤动物密度为  $11.38 (10^4 \text{ ind } m^{-3})$ ,而 1、2 月低温期平均密度为  $21.68 (10^4 \text{ ind } m^{-3})$ ,11 月份土壤动物密度高达  $40.85 (10^4 \text{ ind } m^{-3})$ ,可以看出土壤动物丰度有明显的季节性变化<sup>[7,8,11,12]</sup>(表 2)。然而,土壤动物的季节性消长,

表 2 土壤动物数量的干湿季节变化

Table 2 Change in soil animal population with the alternation of dry and wet seasons

项目 Item	采样点 Sample sites	月份 Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
土壤温度		4.5	1.5	6.5	14.5	20.5	22.5	25.5	26.5	21.5	23	17	10.5
		4.5	1.5	6	14.5	20	21.5	25	26.5	22	21	16.5	9.5
		3.5	2.0	5.5	14.5	19.5	20.5	24.5	27	21.5	20	16.5	9.5
		3.5	2.0	5.5	15.5	19.5	20	24.5	27.5	21.5	19	16	8.5
土壤含水量	A	12	18	17	19	24	23	16	7	10	18	23	13
	B	14	16	17	17	18	16	17	8	15	19	12	10
	C	14	15	16	15	17	14	14	7	13	17	12	10
	A	17	20	20	23	18	21	18	11	17	18	26	12
	B	18	21	20	20	15	18	17	9	16	18	14	11
	C	19	19	17	16	14	18	16	9	13	15	11	13
	A	24	21	21	23	21	24	22	13	22	18	26	20
	B	23	20	20	24	18	23	19	12	19	18	25	17
	C	22	23	20	22	18	24	20	13	22	19	26	15
动物数量	A	23	23	20	25	24	32	22	7	16	27	24	14
	B	20	20	21	18	23	23	17	5	10	23	16	11
	C	21	18	15	18	23	22	17	4	13	24	12	10
		469	688	431	585	532	348	334	242	715	735	1 205	1 164
		831	779	562	655	690	361	209	383	930	590	1 021	831
	864	1 228	748	667	877	591	232	467	942	1 232	1 549	1 191	
	621	549	569	597	985	716	254	435	1 819	728	1 998	869	
	2 785	3 244	2 310	2 504	3 084	2 016	1 029	1 527	4 406	3 285	5 773	4 055	

注:A、B、C 分别代表 0~5、5~10、10~15 cm 土层 Notes: A, B, C mean three soil layers, including 0~5, 5~10, 10~15 cm layer, respectively. Soil temperature ( ); Soil water content ( % ); Soil animal number

主要是由于优势类群蜱螨类、弹尾类和线虫类的数量变化,三类群占土壤动物总量的 92.33%,是森林土壤

动物群落的主体,但随着年际干湿季节交替,土壤环境的周期变化,亦发生明显的周期性变化(图 1)。

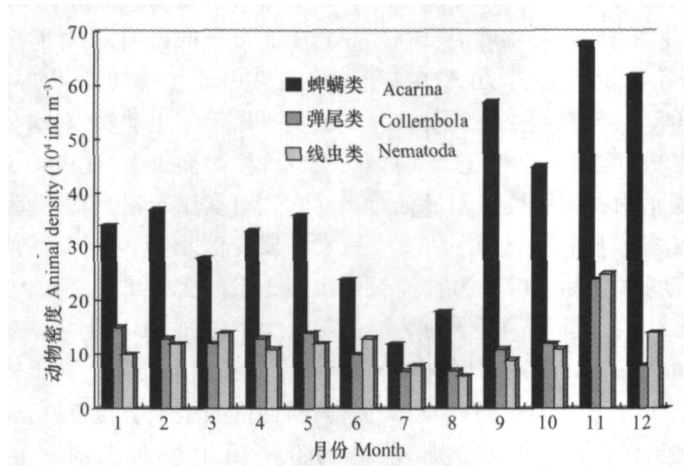


图 1 优势类群蜱螨类、弹尾类和线虫类个体数量月变化

Fig. 1 Monthly change in individual number of the dominant groups of Acarina, Collembola and Nematoda

### 2.3 土壤理化特性对土壤动物群落生态分布的影响

土壤是生物、气候与地质相互作用的产物,土壤有机质则是土壤形成的物质基础、植物营养的贮藏库。在森林土壤中,有机物质主要来源于树木自身凋落物的分解,通过土壤动物和土壤微生物的共同作用,转化成植物可利用的矿质元素和简单盐类。根据 4 个样点森林凋落物的调查,常绿阔叶次生林为 7 143 kg hm<sup>-2</sup>,而人工针叶林仅为 3 017 kg hm<sup>-2</sup>,常绿阔叶林是针叶林的 2.3 倍,同时,针叶林中含有大量为腐生物难以消化的植物混合物,有机碳含量低且分解缓慢,亦是针叶林土壤动物没有常绿林丰富的原因之一,特别是一些较大的节肢动物。因此,土壤有机质含量是反映土壤动物丰度的重要指标,如果没有土壤动物的参与则有机质不能形成和积累。4 样点土壤有机质分析结果表明: > > >,其中针叶林只有 36.5 g kg<sup>-1</sup>,而常绿阔叶林和灌草丛群落高达 64.8 g kg<sup>-1</sup>和 87.8 g kg<sup>-1</sup>,可以看出二者土壤动物的种类和数量则明显高于人工针叶林,这说明土壤动物在土

壤物质的生物小循环过程中具有特殊的功能和作用(表 3)。同时从表 3 中还可以看出,人工针叶林由于植物种群单一,林下灌木草本稀疏,覆盖率降低,土壤侵蚀加剧,土壤容重增加,孔隙度减少,成为土壤动物生存繁衍的主要限制因素,特别是在土壤干湿季节交替对湿生类群线虫类而言<sup>[1,13,14]</sup>。

线虫类的季节性数量变化非常显著,根据定位调查:1 月低温度期平均土壤温度 1.75,8 月高温干旱期土温 26.9,这两月线虫分别占全年总量的 7.5%和 3.3%(表 4)。有研究表明线虫生存环境的最适温度为 20~25,高于 30 则受到明显抑制,而线虫属于湿生动物,一般要求土壤湿度达到 100%时,即土壤颗粒上形成膜状水时,线虫才能通过粒间孔隙自由地移动,所以 8 月高温干旱期线虫密度明显下降。这时特别以人工针叶林区影响最明显,线虫密度为 12.4(10<sup>4</sup> ind m<sup>-3</sup>),而常绿阔叶次生林高达 49.3(10<sup>4</sup> ind m<sup>-3</sup>),但水分过多处于过饱和状态,长期缺氧,亦影响线虫的生长发育。

表 3 不同植被类型土壤动物与土壤理化特性的关系

Table 3 Relationship between soil animal and soil physical and chemical properties under different types of vegetation

采样点 Sample sites	凋落物 Litter (kg hm <sup>-2</sup> )	有机质 OM (g kg <sup>-1</sup> )	pH	容重 Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	孔隙度 Porosity (%)	机械组成 Mechanical constitute (mm, %)			动物密度 Animal density (10 <sup>4</sup> ind m <sup>-3</sup> )
						1~0.5	0.05~0.01	<0.01	
3 017	36.5	3.87	1.39	47.58	45.2	19.2	35.5	56.41	
5 902	52.9	4.07	1.23	53.77	43.5	19.5	33.0	58.08	
7 143	64.8	4.30	0.98	63.02	42.6	20.4	37.1	78.41	
5 802	87.8	4.18	0.87	67.13	53.1	16.9	30.1	75.33	

表 4 土壤线虫数量的月变化

Table 4 Monthly change in population of soil Nematode

采样点 Sampling sites	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	53	39	55	82	16	72	37	28	99	62	87	121
	82	168	248	146	147	161	53	53	183	54	145	124
	136	139	240	126	270	114	133	111	213	174	363	297
	187	159	247	184	121	133	66	10	196	237	299	122
	458	505	790	538	554	480	289	202	691	527	889	664

不良环境对线虫种类多样性的影响,主要是优势种类个体数量的减少和常见种及稀有种类的减少或消失,根据湘中低山丘陵区 4 种植被土壤线虫的调查,共有 23 种,其中优势种为短尾绕线虫、小形绕

线虫、美国剑线虫和长沙多索线虫,稀有种类为轮形线虫、环齿线虫、四毛环线虫和艾士同禱线虫,其他 15 种为常见种类(表 5)。

表 5 湘中低山丘陵区土壤线虫优势种、常见种和稀有种

Table 5 Common, dominant and rare groups of soil Nematode in the low mountain hilly area of middle Hunan

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	多度 Many degree	
垫刃目 Tylenchina	异皮科 Heteroderidae	胞囊属 Heterodera	胞囊线虫 <i>Heterodera</i> sp	++	
		根结线虫属 Meloidogyne	根结线虫 <i>Meloidogyne</i> sp	++	
	枪形科 Hoploaimidae	枪形属 Hoplolaimidae	枪形线虫 <i>Hoplolaimus</i> sp	++	
		轮形科 Criconematidae	轮形属 Criconemodes	轮形线虫 <i>Criconemoides</i> sp	+
小禱目 Rhabditida	小禱科 Rhabditidae	环齿属 Criconema	环齿线虫 <i>Criconema</i> sp	+	
		同禱属 Rhabditella	艾士同禱线虫 <i>Rhabditella axei</i>	+	
窄咽目 Aracolaimida	绕线科 Plectidae	绕线属 Plectus	短尾绕线虫 <i>Plectus granulosus</i>	+++	
			小形绕线虫 <i>Plectus pusillus</i>	+++	
单宫目 Monhystericida	驼线科 Camacolaimidae	环绕属 Aphanolaimus	四毛环线虫 <i>Aphanolaimus attentus</i>	+	
		单宫科 Monhystericidae	单宫属 Monhystera	丝状单宫线虫 <i>Monhystera filiformis</i>	++
			矛线属 Dorylaimus	翼状矛线虫 <i>Dorylaimus alacus</i>	++
矛线目 Dorylaimida	矛线科 Dorylaimidae	剑属 Xiphinema	美国剑线虫 <i>Xiphinema americanum</i>	+++	
			以佰立剑线虫 <i>Xiphinema ebricense</i>	++	
			乳突单齿线虫 <i>Momochus papillatus</i>	++	
	单齿科 Monochidae	单齿属 Monochus	单齿线虫 <i>Monochus</i> sp	++	
			齿锯齿线虫 <i>Prionchulus muscorum</i>	++	
			锉齿属 Mylonchulus	锉齿线虫 <i>Mylonchulus</i> sp	++
			基齿属 Iotonchus	基齿线虫 <i>Iotonchus</i> sp	++
毛管目 Tichostrongyloida	索科 Mermithidae	多索属 Agamermis	库曼线虫 <i>Coomansus</i> sp	++	
			长沙多索线虫 <i>Agamermis Changshaen</i>	+++	
		两索属 Amphimermis	多索线虫 <i>Agamermis</i> sp	++	
		两索线虫 <i>Amphimermis</i> sp	++		

注:标本由中国科学院水生生物研究所伍惠生研究员鉴定 Notes: Specimen is identified by Professor Wu Huisheng, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences

## 2.4 土壤动物群落在土体中的垂直分异

土壤动物主要活动在土壤表层,在森林土壤中主要分布在凋落物层和土壤的腐殖质层,向下锐减,这一垂直分异现象与土壤有机质的表聚有密切关系。调查结果表明: 、 、 、 样点 0~10 cm 土层中,土壤动物数量分别占各点动物总量的 89.6%、87.6%、81.5%和 90.85%(表 6)。另外对地带性常绿阔叶次生林土壤动物垂直分布的深度进行一次采样调查,由于选择的采样点土层比较深厚,土壤动物垂直分布的下限达 45 cm,但在 0~30 cm 土层内土壤动物量占 95%,这种垂直分异或层化比率现象与有关对土壤微生物的研究结果基本一致<sup>[9,15,16]</sup>。

表 6 土壤动物在土层中的垂直分布规律

Table 6 Variation of vertical distribution of soil animals in soil layer

采样点 Sampling sites	各层土壤动物百分率 Percentage of soil animal in each layer (%)		
	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm
	68.45	21.22	10.33
	64.52	23.18	12.30
	52.42	30.25	17.33
	67.87	22.99	9.14

## 3 结 论

1) 在湘中低山丘陵区森林土壤动物定位调查结果表明,在亚热带温暖湿润的季风气候条件下,土壤动物种类和数量非常丰富,全年采集 846 个土壤样品,共获得 36 018 号动物标本,计有 31 类,其中蛴螬类、弹尾类和线虫类为优势类群,占土壤动物总量的 92.33%。

2) 土壤动物是环境变化的敏感指示生物,其丰度受多种环境因素制约,主要限制因素是植被类型和土壤干湿季节变化。在 4 样地中以地带性常绿阔叶次生林土壤动物最丰富,而人工针叶林的建立,造成水土流失、土壤侵蚀加剧,土壤环境质量下降,土壤动物明显减少,特别是 8 月高温期。

3) 土壤理化特性对土壤动物的影响,随着地带性原生植被的破坏,表土流失,生物作用减弱,致使养分淋失,有机质含量降低,土壤酸化,黏重紧实,限制了土壤动物的生存和繁衍。

4) 土壤动物在土体中的垂直分布具有明显的表聚现象,在森林土壤中主要分布于森林凋落物层和

土壤腐殖质层,4 样点 0~10 cm 土层中的动物量占动物总量的 87.38%,向下锐减。

## 参 考 文 献

- [1] 尹文英,等. 中国土壤动物. 北京:科学出版社,2000. Yin W Y, et al. Soil animal of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 2000
- [2] Lee K E. Some trends opportunities in earthworm research. *Soil Biology and Biochemistry*, 1992, 24(12):1 671~1 772
- [3] 王振中,张友梅. 衡山自然保护区森林土壤动物群落研究. *地理学报*, 1989, 44(2):205~213. Wang Z Z, Zhang Y M. A study on forest soil animal invertebrates of the natural protection area in Hengshan Mountains (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 1989, 44(2):205~213
- [4] 由文辉. 我国土壤动物学研究概况与展望. *土壤学进展*, 1994, 22(4):11~17. You W H. Studies of soil zoology in China: A review and prospect (In Chinese). *Progress in Soil Science*, 1994, 22(4):11~17
- [5] 青木淳一. 土壤动物学,东京:北隆馆,1980
- [6] 尹文英,等. 中国土壤动物检索图鉴. 北京:科学出版社,2000. Yin W Y, et al. Pictorial keys to soil animal of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 2000
- [7] 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
- [8] 邱丽丽,殷秀琴. 左家自然保护区坡地土壤动物物种——多度分布格局研究. *土壤学报*, 2006, 43(4):629~634. Qiu L L, Yin X Q. Soil fauna abundance pattern in a sloping field of Zuoqia Nature Reserve, Jilin Province, China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(4):629~634
- [9] 张雪萍,张武,曹会聪. 大兴安岭不同冻土带土壤动物生态地理研究. *土壤学报*, 2006, 43(6):996~1 003. Zhang X P, Zhang W, Cao H C. Geo-ecology of soil fauna in different tundras in Daxinganling Mountains (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6):996~1 003
- [10] 黄玉梅,张健,杨万勤. 巨桉人工林中小型土壤动物类群年分布规律. *应用生态学报*, 2006, 17(12):2 327~2 331. Huang Y M, Zhang J, Yang W Q. Distribution pattern of meso-micro soil fauna in eucalypture grandis plantation (In Chinese). *Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(12):2 327~2 331
- [11] 唐本安,唐敏,陈孝福,等. 海南东郊椰林生态系统土壤动物群落特征. *生态学报*, 2006, 26(1):26~32. Tang B A, Tang M, Chen X F, et al. Characteristics of soil fauna in the dongjiao coco forest ecogystem in Hainan (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1):26~32
- [12] 武海涛,吕宪国,杨青,等. 土壤动物主要生态特征与生态功能研究进展. *土壤学报*, 2006, 43(2):314~323. Wu H T, Lu X G, Yang Q, et al. Ecological characteristics and functions of soil an-

- imal fauna community (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(2):314~323
- [13] 廖崇惠,李健雄,杨悦屏,等.海南尖峰岭热带林土壤动物群落——群落的组成及其特征.生态学报,2002,22(11):1866~1872. Liao C H, Li J X, Yang Y P, *et al.* The community of soil animal in tropical rain forest in Jianfengling mountain, Hainan Island, China—Composition and characteristics of community (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11):1866~1872
- [14] 周维,张健辉.金沙江支流冲沟侵蚀区四种土地利用方式下土壤入渗特性研究.土壤,2006,38(3):333~337. Zhou W, Zhang J H. Soil infiltration under different patterns of land use in gully erosion area of the Jinshajiang River basin (In Chinese). *Soils*, 2006, 38(3):333~337
- [15] 沈程文,肖润林,徐华勤,等.覆盖与间作对亚热带丘陵区菜园土壤微生物量的影响.水土保持学报,2006,20(3):141~144. Shen C W, Xiao R L, Xu H Q, *et al.* Effects of cover and intercropping on soil microbial biomass of tea plantations in subtropical hilly region (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*. 2006, 20(3):141~144
- [16] Diab H G, Louws F J, Mueller J P, *et al.* Responses of soil microbial community structure and diversity to agricultural deintensification. *Perdosphere*, 2005, 15(4):11~17

## STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF FAUNA IN FOREST RED SOILS IN THE LOW MOUNTAIN AND HILLY REGION OF MIDDLE HUNAN

Wang Zhenzhong<sup>1</sup> Zhang Youmei<sup>1</sup> Li Zhongwu<sup>2</sup>

(1 College of Resource and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

(2 College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract** The mid-subtropical low mountain and hilly region in middle Hunan is warm and humid in climate, covered with flourishing vegetation that has an abundant resource of soil animals in the soils underneath. A total of 36 018 animal samples were gathered from sampling sites during soil animal investigation in the hilly mountains of Middle-Hunan Province. They could be sorted into 31 groups, with Acarina, Collembola and Nematoda, being the dominant groups, which occupied 92.33% of the total samples, and formed the main body of the forest soil animal community. The others were common groups and rare groups, accounting for 5.28% and 2.39%, separately. Soil animal intensity ( $10^4 \text{ ind m}^{-3}$ ) was affected by a number of factors, and vegetation and dry-wet alternation of soil are the main limiting factors. The findings at 4 sample sites showed the zonal evergreen broad-leaved forest and bushes-weeds were the highest in average density of soil animal, reaching up to  $78.41 (10^4 \text{ ind m}^{-3})$  and  $75.33 (10^4 \text{ ind m}^{-3})$ , respectively, and the artificial coniferous forest the lowest, being only  $56.41 (10^4 \text{ ind m}^{-3})$ . The vertical distribution of soil animals in the soil was closely related with the surface accumulation of organic matter and the vertical variation of soil physiochemical characteristics. The results show the soil animals are mainly distributed in litter and humus layers, showing an obvious phenomenon of surface accumulation, and a downward decreasing trend.

**Key words** Soil animal; Middle subtropics; Hilly red soils; Soil erosion; Artificial coniferous forest