

长白山土壤动物在物质循环中 作用的初步探讨

陈鹏

(东北师范大学地理系)

富德义

(中国科学院长春地理研究所)

摘 要

土壤动物是土壤生态系统中的重要组成部分。在物质的生物循环过程中，对于生命元素的转换、储存和释放，土壤动物作为中间环节具有特殊的功能性作用。

本文讨论了长白山北坡四个垂直景观带的土壤动物类群的数量和分布，分析了其化学元素含量和生物富集量。探讨了土壤动物在每公顷土地面积上对绿色植物必需的常量元素 K、Na、Ca、Mg、Fe 以及微量营养元素 Cr、Mn、Co、Ni、Zn、Cu、Sr、Mo 的转换量。

生态系统中第一性生产者——绿色植物生长的营养来源，主要依赖于土壤中有机的转换，即依赖于凋落物的分解，释放可利用的矿质元素。这是一个复杂的物质循环过程，其中很重要的一方面，取决于微生物和土壤动物的联合活动。如果仅有微生物的作用，而无土壤动物的活动，则有机物的分解和矿质元素淋失作用会进行得很快。土壤动物的存在，可使矿化物质在整个植物生长季内缓慢地释放。这有利于植物对矿质元素的吸收利用。因而土壤动物在生态系统中具有特殊的功能性的作用。

近年来，国内已开展了土壤动物区系、分布方面的考察研究，同时也在探讨土壤动物在物质分解方面的作用。我们就长白山北坡矿质元素在土壤动物中的含量和分布，以及其在物质循环中的作用，作一尝试性探讨。

一、工作方法

1982年夏，我们对长白山四个垂直带的土壤动物进行了取样调查。方法是在每个垂直景观带的上下两段（按海拔高度）各选一个点，每个点按50厘米×50厘米取2个样（手检）、10厘米×10厘米取5个样（Tullgren法）、12.5厘米取5个样（Baermann法），分三层（凋落物和半腐解层A₀、腐殖质层A、过渡层AB）随机取样，共取样288个，总面积为13.35平方米。回到实验室分别用手检法、Tullgren法（干漏斗）和Baermann法（北沢右三，1977）（湿漏斗）进行分离提取。所得土壤动物主要是大中型和部分小型种类。有关微小动物，特别是土壤原生动物及某些巨型种类，则需用另外的方法进行采集调查，不列为本文讨论。关于土壤动物的分类鉴定，限于缺少较细的检索表和图鉴，仍采用青木淳一（1973）的大类分类系统。

二、长白山北坡土壤动物群结构特征

1. 种类、数量组成

1982年夏, 在长白山北坡四个垂直带内共采得土壤动物23类, 分隶于6门(表1)。

表1 长白山北坡土壤动物数量统计表

(1982年8月调查)

号	种	类	数量 (个/米 ²)	%	
1	线虫纲	Nematoda	53,230.6	72.8	
2	线蚓科	Enchytraeidae	7,195.4	9.8	
3	蜱螨目	Acarina	4,414.5	6.0	
4	弹尾目	Collembola	3,538.8	4.8	
5	双翅目	Diptera (幼虫)	1,985.0	2.7	
6	涡虫纲	Turbellaria	1,420.0	2.0	
7	真熊虫目	Eutardigrada	380.0	1.3	
8	鞘翅目	Coleoptera (幼虫)	319.3		
9	倍足纲	Diplopoda	118.9		
10	石蜈蚣目	Lithobiomorpha	107.3		
11	地蜈蚣目	Geophilomorpha	85.6	1.9	
12	腹足纲	Gastropoda	76.3		
13	蜘蛛目	Araneide	59.6		
14	鞘翅目	Coleoptera (成虫)	59.1		
15	双翅目	Diptera (成虫)	53.3		
16	综合纲	Symphyla	33.3		
17	双尾目	Diplura	26.0		
18	拟蝎目	Pseudoscorpionida	12.8		
19	膜翅目(蚊)	Hymenoptera	12.5		
20	蚯蚓(后孔寡毛目)	Oligochaeta Opisthopora	9.3		
21	长跗目	Phalangida	8.0		
22	鳞翅目	Lepidoptera (幼虫)	5.5		
23	原尾目	Protura	0.8		
合 计			73,151.9		100.0

其中优势类群(个体数 $>10000/\text{米}^2$)是线虫类; 常见类群(个体数 $1000-10000/\text{米}^2$)是线蚓类、蜱螨类、弹尾类、双翅类幼虫、涡虫类; 稀有类群(个体数 $100-1000/\text{米}^2$)是真熊虫类、鞘翅类幼虫、倍足类、石蜈蚣类。其余为极稀有类群(个体数 $<100/\text{米}^2$), 即表1中的11—23号。

优势类群线虫类($53230.6/\text{米}^2$), 占总捕量的72.8%, 常见类群(5类)占25.3%。优势类群加常见类群共6类, 其个体数占总量的98.1%, 构成了长白山北坡土壤动物的基本成分。其余17类仅占1.9%(表1), 个体数是微不足道的, 但就其在物质循环中的作用, 其中某些类群如蚯蚓、蜘蛛、倍足类、腹足类、鞘翅类幼虫等, 由于其个体重量很大, 因而也不能忽视。

2. 各垂直景观带土壤动物群结构

长白山北坡土壤动物种数、个体数、生物量，在四个垂直带的分布，皆随海拔高度的增加而递减（图 1）。以基带针阔叶混交林带为最多。

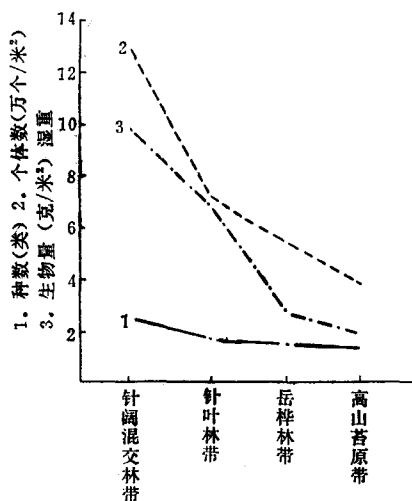


图 1 长白山北坡土壤动物的垂直分布

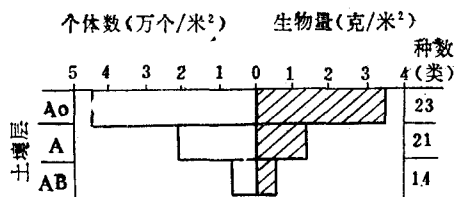


图 2 长白山北坡土壤动物在不同土层中的分布

在各垂直带不同土壤层中，种数、个体数，生物量皆以 A₀ 层为最多，随着土壤深度的增加而递减（图 2）。

针阔叶混交林带：类群数 23 类，占全山 100%，个体数 129416 米²，占全山 44.2%，生物量为 9.83 克/米²，占全山 46.4%（表 2）。就数量看，该带土壤动物代表类群依次为线虫类（94420/米²） 蛭螨类（9433/米²）、线蚓类（8433/米²）、弹尾类（7588/米²）、涡虫类（3840/米²）、双翅类幼虫（3068/米²）（图 3，表 3）。

表 2 长白山北坡土壤动物种数、个体数生物量表 (1982年8月)

垂直带	针阔混交林	%	针叶林	%	岳桦林	%	高山苔原	%	全山
类群数	23	100	16	69.6	15	65.2	14	60.9	23
个体数(个/米 ²)	129,416	44.2	73,570	25.1	52,582	18.0	37,023	12.7	292,591
*生物量(克/米 ²)	9.830	46.4	6.986	33.0	2.716	12.8	1.653	7.8	21.185

* 表中生物量以鲜重计

表 3 长白山北坡各垂直带不同土壤层土壤动物统计表

垂直带	针阔混交林			针叶林			岳桦林			高山苔原		
	A ₀	A	AB	A ₀	A	AB	A ₀	A	AB	A ₀	A	AB
类群数	22	21	11	15	14	9	15	9	6	13	9	4
个体数(个/米 ²)	65,568	45,453	18,395	51,453	18,177	3,940	35,457	14,262	2,863	31,119	5,593	311
生物量*(克/米 ²)	5.991	2.724	1.115	5.200	1.349	0.437	1.559	0.781	0.376	1.027	0.414	0.212

* 生物量以鲜重计

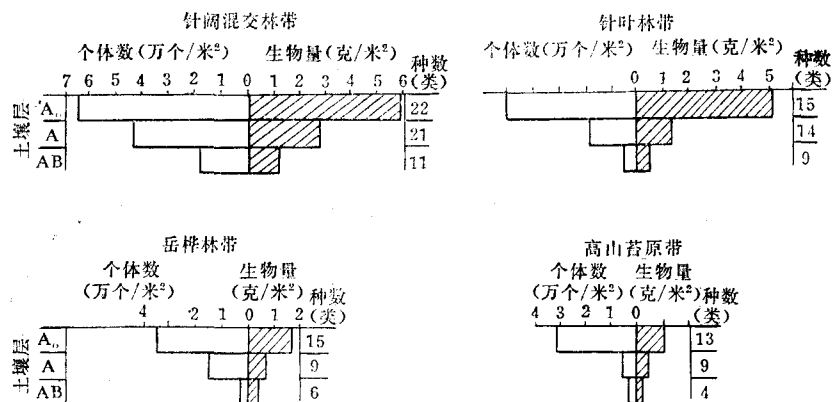


图 3 长白山北坡土壤动物在各垂直带土层中的分布

针叶林带：类群数16类，占全山 69.6%，个体数 73570/米²，占全山25.1%，生物量为 6.986克/米²，占全山33.0%（表 2）。该带土壤动物代表类群依次为线虫类（46160/米²），线蚓类（17011/米²）、蜚螨类（3565/米²）、弹尾类（2694/米²）、双翅类幼虫（2301/米²）（表 3、图 3）。

岳桦林带：类群数15类，占全山 65.2%，个体数为 52582/米²，占全山18%，生物量为 2.716克/米²，占全山12.8%（表 2）。该带土壤动物代表类群依次为线虫类（44486/米²）、双翅类幼虫（2156/米²）、蜚螨类（1930/米²）、线蚓类（1574/米²）、弹尾类（1220/米²）。该带土壤动物个体数较针叶林带低29%，较针阔混交林带低60%；生物量为针叶林带的39%，为针阔混交林带的28%（表 3，图 3）。

高山苔原带：类群数14类，占全山60.9%，个体数为 37023/米²，占全山 12.7%，生物量为1.653克/米²，占全山7.8%（表2）。该带土壤动物代表类群依次为线虫类（27856/米²）、蜚螨类（2710/米²）、弹尾类（2653/米²）、线蚓类（1763/米²）。

三、土壤动物的化学组成特点

1. 分析方法

准确称取一定数量的风干样品，用硝酸、高氯酸混酸消解，0.3N 盐酸定容。制备分析 13种元素的样品，除元素 Mo 是采用极谱催化波法测定外，其余12种元素均采用火焰原子吸收法测定。元素 Hg 用无焰原子吸收法测定，样品通过空气燃烧热解，消除样品制备过程中的误差。上述方法回收率除 Cr、Sr 达到85%以上，其它12种元素均达到90%以上。

2. 土壤动物中元素的含量和分布

1) 背景含量 随机采集的 288 个样品中，多数样品量过少，不足以达到某些元素的检出下限。因此，按照各垂直带土壤的发生层次，将体重小而个体数量很大的线虫类、线蚓类和蜚螨类等，分别进行合并，获得供化学分析的土壤动物样品19个。将取得的数据分别采用“4d法”和“平均数加二倍标准差法”（朱颜明等，1982）对背景值进行可靠性检验，发现元素 Cu、Zn、Sr 各有一个样品出现异常值而予以剔除。用图示法确定元素频数分布类型。

检验结果表明：土壤动物中分析的14种元素，大多数服从对数正态或近似对数正态的正偏分布。对于这些元素以几何平均值和几何标准差表征其背景值。为数较少的几个元素如Cr、Cu、Zn呈近似正态的正偏分布。以算术平均值和算术标准差表征其背景值。为便于统计方法和数据的比较，我们分别列出了其算术平均值和几何平均值（表4）。从表中看出，元素的含量顺序为Ca>K、Mg>Na、Zn、Fe>Mn、Cu>Sr、Ni、Cr、Co>Mo、Hg。

表4 长白山地区土壤动物中化学元素背景值（以风干样计）

元 素	样品数	含量范围 (ppm)	平均值 (ppm)		标准差 (S, σ)	变异系数 (C_s, C_σ)	分布**
			算术平均值	几何平均值			
Na	19	59—4147	861	581	(σ) 2,643	(C_σ) 1,253	NL—np
Mg	19	30—2316	1,577	1021	(σ) 3,219	(C_σ) 1,7097	NL—np
K	19	132—14976	2,569	1431	(σ) 3,337	(C_σ) 1,809	NL
Ca	19	0.032—13.7(%)	2.881(%)	1.145(%)	(σ) 5.445	(C_σ) 4.084	NL
Cr	19	1.0—21.4	6.4	4.5	(S) 5.688	(C_s) 0.885	N—np
Mn	19	3.1—299.5	39.6	21.2	(σ) 2,966	(C_σ) 1,5035	NL
Fe	19	6—4516	451.2	167.1	(σ) 3,934	(C_σ) 2,3507	NL
Co	19	0.3—59.7	8.4	4.1	(σ) 3,364	(C_σ) 1,8321	NL
Ni	19	<1—184.3	20.0	8.8	(σ) 3,396	(C_σ) 1,8952	NL
Cu*	18	4.0—47.8	27.1	21.2	(S) 15.1	(C_s) 0.557	N—np
Zn*	18	69.0—603.4	271.7	227.9	(S) 162.1	(C_s) 0.597	N—np
Sr*	18	<0.5—282.6	52.2	9.1	(σ) 11,110	(C_σ) 18,135	NL—np
Mo	19	0.069—6.065	1.441	0.715	(σ) 3,639	(C_σ) 2,0742	NL
Hg	9	0.004—0.273	0.066	0.035	(σ) 3,474	(C_σ) 1,927	NL

* 剔除1个异常值：Zn(1,424ppm)，Cu(322,6ppm)，Sr(864,6 ppm)。

** N——正态分布；N—np——近正态的正偏分布；NL——对数的正态分布；NL—np——近对数正态的正偏分布。

上述元素含量差异反映了土壤动物对环境不同元素的富集程度。从含量范围和变幅看出Cu、Zn、Cr、Na较之其它元素变异偏小，表明多数土壤动物对其吸收富集量相近。

2) 土壤动物中元素含量特点及其与环境的关系 我们将长白山四个垂直带的土壤、植物（优势种）与相对应的各带土壤动物的化学元素含量进行比较，看出土壤动物与环境在化学元素组成上不呈线性关系（表5），环境要素的化学组成差异性，一般比土壤动物小。不同垂直带土壤动物中的元素，有的相差十分悬殊。如针阔叶混交林带土壤动物中Ca的含量，分别是针叶林带和苔原带的4倍，岳桦林带的53倍；Sr含量分别高于岳桦林带7倍、高山苔原带21倍及针叶林带28倍。这种差异主要是由于组成土壤动物类群不同造成的，如腹足类富集元素Ca为特点，其含Ca量分别是蚯蚓类的11倍和线蚓类的19倍。蚯蚓类则富集Fe，其含Fe量分别是线蚓类的3倍和腹足类的120倍（表6）。上述特点反映了不同类群的土壤动物具有选择性吸收和富集某些元素的功能而与环境元素的多寡关系不大。当然，土壤动物也受环境因素的影响，如果环境中某种元素含量较高，则土壤动物中该元素的含量也相应要高些。如分布在火山口附近的苔原土，由于它是发育在含Na元素很高的碱性粗面岩母质之上，因此其含Na量要高于发育在玄武岩母质之上的暗棕壤，生活在苔原土中的土壤动物和植物比生活在暗棕壤中的土壤动物和植物有较高的含Na量。再者，同一垂直带不同地貌部位，其环境条件（水、温度、植被）有较大的差异，因而分布的土壤动物类群百分比也是不同

的, 由于土壤动物类群不同而产生的元素含量平均值的差异, 远远大于环境化学组成差异对它的影响(表6, 表7)。

表5 长白山北坡土壤动物中化学元素含量与环境对比* (ppm)

元素	针阔叶混交林带			暗针叶林带			岳桦林带			高山苔原带		
	土壤动物	土壤	植物	土壤动物	土壤	植物	土壤动物	土壤	植物	土壤动物	土壤	植物
Na	622	1.13(%)	117	832	3.12(%)	248	1,144	2.07(%)	120	2073	3.38(%)	1328
Mg	0.13(%)	0.55(%)	0.11(%)	784	0.31(%)	807	920	0.42(%)	0.15(%)	0.23(%)	0.22(%)	0.10(%)
K	0.18(%)	1.82(%)	0.54(%)	2088	3.2(%)	0.35(%)	2,466	2.25(%)	0.83(%)	0.36(%)	3.33(%)	0.30(%)
Ca	3.19(%)	0.46(%)	1.12(%)	0.74(%)	0.52(%)	0.98(%)	640	0.51(%)	0.58(%)	0.81(%)	0.59(%)	0.44(%)
Cr	3.5	66.7	<0.2	3.8	19.5	<0.2	4.6	30.6	<0.2	4.3	14.8	<0.2
Mn	23.5	832	376	34.7	683	435	20.5	928	677	74.8	717	591
Fe	185	3.1(%)	167	472	3.0(%)	438	264	3.0(%)	728	903	2.7(%)	0.25(%)
Co	3.7	26.6	0.93	4.4	20.2	1.18	1.2	24.4	1.03	5.4	19.0	1.8
Ni	12.5	30.0	2.1	7.5	18.7	4.5	3.9	22.1	1.9	36.8	12.9	2.1
Cu	27.9	20.4	5.2	10.5	9.5	7.2	33.1	13.1	9.9	64.4	9.5	14.5
Zn	280.3	94.0	60.7	172.7	131.4	42.1	268.7	144.2	100.5	284.8	168.5	48.8
Sr	62.6	53.1	28.4	2.2	30.1	19.9	8.8	32.3	19.5	3.0	17.4	14.3
Mo	1.41	1.82	0.19	0.93	3.40	0.24	0.25	2.76	0.17	0.67	4.95	0.28

* 土壤动物以风干样计算的几何平均值。土壤、植物(优势种)是以风干样计算的算术平均值。

表6 长白山地区三种土壤动物的化学元素组成(ppm)*

元素	蚯蚓类	线蚓类	腹足类	元素	蚯蚓类	线蚓类	腹足类
Na	873	595	547	Co	4.6	1.98	12.1
Mg	2,105	1,823	480	Ni	16.8	9.9	24.3
K	2,766	1,362	987	Cu	15.6	44.6	46.8
Ca	1.24(%)	0.72(%)	13.7(%)	Zn	175.6	603.4	142.7
Cr	6.2	5.4	2.1	Sr	8.9	<0.5	106.9
Mn	59	27.7	24.9	Mo	0.078	2.566	0.802
Fe	718	257.6	6.0	Hg	0.173	0.050	0.026

* 以风干样品计

表7 不同地貌部位A₀层中土壤动物的化学元素含量*(ppm)

元素	平地	向阳坡地	湿沟地	元素	平地	向阳坡地	湿沟地
Na	456	595	864	Co	5.1	3.9	5.85
Mg	1,803	1,716	1,943	Ni	17.1	10.4	13.9
K	1,854	1,629	1,068	Cu	30.8	41.5	32.0
Ca	4.66(%)	4.07(%)	1.37(%)	Zn	298.4	405.1	386.4
Cr	1.5	4.5	10.5	Sr	12.6	36.0	19.0
Mn	28.5	26.5	16.3	Mo	0.725	1.695	4.644
Fe	119.8	230.3	264.6	Hg	0.011	0.036	0.148

* 以风干样计

四、土壤动物在物质循环中的作用

物质在生态系统中进行循环是生态系统的主要功能之一。土壤动物与其生活环境——土壤之间不断地进行着物质转换。研究者通常应用计算生物吸收量、生物归还量（黄德华等，1982）、生物富集量以及三者之关系：吸收量 \approx 富集量+归还量（彭克明等译，1974）来说明生物的物质循环。由于我们尚没有足够的资料和实验来获得土壤动物的生物归还量和生物吸收量，因此本文仅以生物富集量来说明土壤动物在物质循环中的作用。

所谓土壤动物富集量：是指在单位面积的土壤中，某时间内土壤动物的活有机质中所含有元素的总量（公斤/公顷或克/米²）。通过生物量计算的土壤动物中元素生物富集量列入表8。从表8看出，长白山北坡土壤动物中13种元素的平均富集量，在各垂直带土壤层中都是表层最多，向下递减；不同垂直带土壤动物的元素生物富集量变化规律是随着海拔高度的增加而呈现递减趋势。与土壤动物生物量的分布特点相一致。

表8 长白山土壤动物中元素的生物富集量* (公斤/公顷)

层位	Na	Mg	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Mo	
针阔混交林	A ₀	6.633	13.938	19.280	340.181	0.037	0.251	1.973	0.039	0.133	0.298	2.989	0.668	0.015
	A	3.016	6.337	8.766	154.674	0.017	0.114	0.897	0.018	0.061	0.135	1.539	0.304	0.007
	AB	1.234	2.594	3.558	63.312	0.007	0.047	0.367	0.007	0.025	0.055	0.556	0.124	0.003
	小计	10.883	22.869	31.634	558.167	0.061	0.412	3.201	0.064	0.219	0.488	5.084	1.096	0.025
针叶林	A ₀	7.701	7.257	19.327	68.494	0.035	0.321	4.369	0.041	0.069	0.097	1.599	0.020	0.009
	A	1.998	1.883	5.014	17.769	0.009	0.083	1.133	0.011	0.018	0.025	0.415	0.005	0.002
	AB	0.638	0.601	1.602	5.677	0.003	0.027	0.362	0.003	0.006	0.008	0.132	0.002	0.0007
	小计	10.337	9.741	25.934	91.940	0.047	0.431	5.864	0.055	0.093	0.130	2.146	0.027	0.0117
岳桦林	A ₀	3.175	2.553	6.843	1.776	0.013	0.057	0.733	0.003	0.011	0.092	0.746	0.024	0.0007
	A	1.590	1.279	3.676	0.890	0.006	0.028	0.367	0.002	0.005	0.046	0.374	0.012	0.0003
	AB	0.766	0.616	1.650	0.428	0.003	0.014	0.177	0.001	0.003	0.022	0.180	0.006	0.0002
	小计	5.531	4.448	12.169	3.094	0.022	0.099	1.277	0.006	0.019	0.160	1.300	0.042	0.0012
高山苔原	A ₀	3.790	6.654	6.656	14.730	0.008	0.137	1.651	0.010	0.067	0.118	0.521	0.005	0.0012
	A	1.528	2.682	2.683	5.940	0.003	0.055	0.665	0.004	0.027	0.047	0.210	0.002	0.0005
	AB	0.782	1.374	1.374	3.042	0.002	0.028	0.341	0.002	0.014	0.024	0.107	0.001	0.0003
	小计	6.100	10.710	10.713	23.712	0.013	0.220	2.657	0.016	0.108	0.189	0.838	0.008	0.0002

* 生物富集量是由土壤动物风干物质生物量计算的

土壤动物在其生命活动过程中，通过食物链（植物残体，微生物，腐殖质及水等）不断地从环境中吸收富集必要的营养及矿质元素，作为自身的组成成分；与此同时也不断的排出

异化作用后的废弃物。随着生物生命的终结, 在微生物的分解和化学的综合作用下, 组成土壤动物的化学元素变成土壤中的有效成分, 并最终为绿色植物所吸收。这就构成以土壤动物为中间环节的物质循环模式。

我们仅以元素的生物富集量计算, 在针阔叶混交林带每公顷面积的土壤中, 土壤动物就能为绿色植物储存和缓慢释放10公斤以上的Na, 20公斤以上的Mg, 30公斤以上的K和500公斤左右的Ca。对于微量元素, 土壤动物的提供量也是很可观的。我们仍以具有重要经济价值的针阔叶混交林带为例: 每公顷面积土壤中的土壤动物能转换5公斤左右的Zn、3公斤的Fe、近500克Cu和Mn、200克Ni和25克Mo(表8)上述元素都是天然植物和作物生长所必需的生命元素。考虑到有些微型土壤动物和土壤原生动物尚未统计在内。此外, 土壤动物在其生命周期内通过排泄而归还给土壤的矿质元素远大于其生物富集量, 因此研究土壤动物的生活特点和其生态环境, 促进有益土壤动物的发展和抑制有害土壤动物的活动, 维护土壤生态系统平衡, 无疑是十分有意义和必要的。

参 考 文 献

- 朱颜明、富德义、吴敦虎 1982 关于环境背景值研究的几个问题。第二松花江环境科学论文集, 1—8。吉林人民出版社。
- 张荣祖, 杨明宪、陈鹏、张庭伟 1980 长白山北坡森林生态系统土壤动物初步调查。森林生态系统研究 1980(1): 133—152。
- 陈鹏、张一 1981 长白山北坡针叶林带土壤动物调查。野生动物 1981(8):25—28。
- 富德义、朱颜明、黄钊畴 1982 长白山优势植物中微量元素研究。地理科学 2(3):264—270。
- 黄钊畴等 1982 长白山自然保护区生态环境的化学结构。地理学报 37(1):65—74。
- 黄德华、陈佐忠、张鸿芳 1982 北京地区碳酸盐褐土不同农作物氮及灰分元素生物循环的比较研究。植物生态学与地植物学从刊 6(2):120—129。
- 青木淳一 1973 土壤动物学。北隆馆, 东京。612—663。
- 北沢右三 1977 土壤动物生态研究法。共立出版, 东京。95—150。
- P. Duviols 等 (彭克明、陈佐忠译) 1974 温带落叶林矿质元素的生物循环。植物生态学译丛, 第1集, 科学出版社。

A PRELIMINARY APPROACH TO THE EFFECT OF SOIL ANIMALS ON THE CYCLING OF MATERIALS IN THE CHANGBAI SHAN MOUNTAIN

Chen Peng

(Northeast Normal University)

Fu Deyi

(Changchun Institute of Geography, Academia Sinica)

The soil animals are an important integral part of the soil ecosystem. They, as a medium, perform a function in the transformation, storage and release of vital nutrients in the process of material biocycles.

The distribution and the number of the soil animal population of four vertical zones in the northern slope of the Changbai Shan Mountain have been presented in the paper.

The content and the bio-concentration of various chemical elements in the body of soil animals have also been determined.

The capacity of the soil animals in one hectare area of land to transform the macronutrients (K, Na, Ca, Mg, Fe) and the micronutrients (Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Cu, Sr, Mo) essential for green plant growth has been studied.