

大兴安岭不同冻土带土壤动物生态地理研究*

张雪萍¹ 张武² 曹会聪³

(1 哈尔滨师范大学地理系, 哈尔滨 150080)

(2 佳木斯大学地理系, 黑龙江佳木斯 154007)

(3 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要 2003 年 6 月、8 月、10 月对大兴安岭不同冻土带选择沼泽、柳丛、耕地、次生林群落进行土壤动物调查, 共获土壤动物 39 225 只, 隶属于 4 门 8 纲 24 目。由对大型、中小型及湿生三类土壤动物的数量分析可知, 三类土壤动物数量的变化在群落间并不总是成正相关的关系。水平分布调查表明, 中小型土壤动物的个体数量和类群数量从岛状冻土带到连续多年冻土带逐渐减少, 该分布与土壤动物分布的一般规律(土壤动物分布通常符合纬度地带性分布规律, 即由低纬向高纬逐渐减少)一致, 但大型土壤动物的个体数量、类群数和生物量基本上从岛状冻土带到连续多年冻土带逐渐增加(即由低纬向高纬逐渐增加), 湿生动物的数量也如此分布, 这与土壤动物分布的一般规律不一致甚至相悖, 这一特点表现出生态系统局部-区域相互关系的复杂性; 土壤动物的类群数、个体数量与土壤有机质、全氮的含量呈明显的正相关; 垂直分布调查表明, 中小型土壤动物的个体数量和类群数量分布表现出明显的表聚性, 但大型土壤动物的个体数量与生物量最大值出现在第二层; 土壤动物多样性分析表明, 中小型土壤动物的多样性指数从岛状冻土带到连续多年冻土带逐渐减小, 而大型土壤动物的多样性指数在不同冻土带间的变化规律不明显。

关键词 冻土; 土壤动物; 生态分布; 多样性

中图分类号 S154 **文献标识码** A

大兴安岭林区地处东北亚多年冻土带的南缘, 是中国纬度最高、最北部的多年冻土区。在这里多年冻土的形成、分布与发育状况, 受到了地理纬度的制约和区域自然条件的影响。随着纬度的变化, 按多年冻土(自北而南)分布的连续性程度, 可分为连续多年冻土带、岛状融区多年冻土带和岛状多年冻土带三种类型。据大量的水文和工程地质勘探、试验资料证实, 多年冻土的分布和厚度与植被分布规律紧密相关^[1], 这也必然影响到植被下面的土壤动物的生态分布规律。20 多年来, 我国在森林土壤动物研究方面做了大量的工作, 如对亚热带和温带的鼎湖山、天目山、长白山、小兴安岭等地均进行了较系统的区系组成与结构, 以及土壤动物在物质分解过程中的作用研究, 但对处于寒温带的大兴安岭森林土壤动物的研究却

相当薄弱, 对不同冻土类型区土壤动物的研究尚属首次。土壤动物是生态系统重要的物质分解者, 在生态系统的能量流动与物质循环中起着重要的作用。本研究的主要目的是了解大兴安岭不同冻土类型区以及不同群落类型间土壤动物的组成、数量与分布规律, 揭示土壤动物与环境间的关系, 为大兴安岭森林、湿地及农田生态系统的管理提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于连续多年冻土带、岛状融区多年冻土带、岛状多年冻土带的塔河林场、松岭林场、白桦排乡。属寒温带大陆性季风气候, 冬季漫长寒冷,

* 国家自然科学基金项目(40671004)资助

作者简介: 张雪萍(1962~), 女, 哈尔滨人, 博士, 教授, 主要从事土壤动物与环境生态学研究。E-mail: hellozxp@163.com

收稿日期: 2006-01-17; 收到修改稿日期: 2006-05-08

夏季短暂温热,主要树种有樟子松(*Pinus sylvestris*)、落叶松(*Larix mill*)、白桦(*Betula platyphylla*)、杨树(*Populus davidiana*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)等 10 余种。

塔河林场位于 124°E, 52°30' N, 年平均气温 -5℃, 年降水量 428 mm, 年无霜期 80~100 d。森林覆盖率为 83%。该调查地点是三个调查区中植被覆盖最好、人为影响最小的区域。该区年平均地温 -1~ -4.5℃, 冻结期长 7~8 个月, 每年 5 月至 9 月有 5 个月的平均气温大于 0℃, 多年冻土表层开始融化。多年冻土上限埋深多为 0.5~1.5 m; 其厚度达 40~120 m。

松岭林场位于 123°29' E, 51°24' N。地势西北高, 东南低。海拔高度在 400~700 m 之间。年平均气温 -3℃ 左右。年降雨量 415~500 mm 之间, 植物生长期 90~120 d 左右。植被覆盖率 75%。岛状融区冻土带平均地温 -1~ -2.5℃, 该区每年从 4 月下旬至 10 月初, 约有 5 个半月的时间冻土表层融化。多年冻土上限埋深 0.5~2.5 m, 其厚度为 20~40 m。

白桦排乡位于 124°10' E, 50°10' N。海拔在 300~500 m 之间。该区人为活动影响程度在三个调查区中是最重的, 植被覆盖率 68%。岛状多年冻土带年平均地温 0.5~ -2℃, 该区每年从 4 月中旬至 10 月中旬, 约 6 个月的时间冻土表层融化。冻土厚度多小于 20 m, 上限埋深为 0.8~1 m。

1.2 研究方法

于 2003 年 6 月、8 月、10 月在三个冻土类型区分别选择沼泽、柳丛、耕地、次生林群落共 12 个取样地进行土壤动物调查。大型土壤动物取样面积为 50 cm × 50 cm, 中小型土壤动物取样面积为 10 cm × 10 cm, 湿生动物取样面积为 5 cm × 5 cm, 大型土壤动物分凋落物、0~5 cm、5~10 cm 三层取样(耕地无凋落物层, 取 0~5 cm、5~10 cm 二层); 中小型及湿生土壤动物分凋落物、0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 取样, 由于耕地无凋落物而取三层。共计取样 1 476 个。分别采用手拣法, Tullgren 法和 Baerman 法分离提取土壤动物, 并对土壤动物进行分类鉴定与数量统计, 并测取大型土壤动物的生物量(鲜重)^[21]。取

样同时对每个样地按 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 测量地温。

土壤分析所用样品的采集方法是, 在所调查的样地中随机选取 4 点, 每点在 0~10 cm 层纵向均匀取样, 4 点取样重约 1 kg, 带回实验室后自然风干, 风干过程中注意经常翻动, 并将其中根系、石块等杂物拣出, 土壤风干后用土壤粉碎机粉碎, 再经 0.25 mm 网筛过筛后, 装瓶备用。土壤样品主要分析测定了土壤 pH 值、有机质和全氮等 3 个主要的理化指标。其中, pH 值采用电位法(pH 值酸度计)测定, 有机质采用丘林法测定, 全氮采用开氏消煮法测定。

在所研究的三个冻土带从 4 月中旬~10 月上旬土壤环境温度多大于 0℃, 通常 4 月环境刚转暖土壤动物数量较少, 而 10 月虽然温度条件和 4 月相近, 但对于土壤动物区系而言, 在经历了整个生长季的发展后, 土壤动物种群数量通常出现一年中的最大值。因此, 对于该区土壤动物的调查, 相对均匀地选择了土壤动物活动能力较强的 6 月、8 月和 10 月。

2 结果与分析

2.1 大兴安岭冻土带土壤动物种类组成及数量

在 12 个取样地中共获得大型土壤动物 6 430 只, 中小型土壤动物 14 568 只, 湿生动物 18 227 只, 隶属于 4 门 8 纲 24 目。其中, 昆虫纲种类最多, 占 27.9%。湿生动物在数量上所占比例最大, 约占土壤动物总数的 83.1%。优势类群为 4 类(占总个体数的 10% 以上), 分别是弹尾目(占 23.23%)、中气门亚目螨类占 23.16%、隐气门亚目螨类(占 21.4%)、前气门亚目螨类(占 17.12%); 常见类群(占总个体数的 1%~10%) 为 3 类, 分别是双翅目(占 8.48%)、线蚓科(占 1.95%)、鞘翅目(占 1.64%)。螨类和弹尾类的比值(A/C)是 2.7, 这与以往研究结果^[21]不太一致, 说明大兴安岭寒温带地区土壤动物群落有其自身的特殊性。大型和中小型土壤动物在各生境中的分布状况见表 1。

表 1 三个冻土带土壤动物数量统计

Table 1 Statistics of soil fauna in three tundra zones (ind. m⁻²)

动物名称 Name of animals	岛状冻土带 Island tundra				岛状融区冻土带 Island thawing tundra				连续冻土带 Continuous tundra				占总个体数的 百分数
	沼泽	柳草	耕地	次生林	沼泽	柳草	耕地	次生林	沼泽	柳草	耕地	次生林	
弹尾目 Collembola	2 100	11 075	825	21 800	2 350	10 175	1 375	11 525	7 075	1 800	1 300	14 650	23.23
中气门亚目 Mesostigmata	3 150	9 300	925	13 750	4 075	5 800	1 275	23 800	9 100	2 300	825	11 475	23.16
隐气门亚目 Oribatida	1 400	5 500	400	16 275	1 950	4 925	25	26 950	14 000	1 700	50	6 100	21.4
前气门亚目 Prostigmata	1 550	7 775	1 200	12 150	1 800	3 100	2 425	16 075	4 300	1 825	3 350	7 850	17.12
双翅目 Diptera	5 291	10 098	979	4 217	1 373	2 334	352	1 659	549	1 117	177	3 273	8.48
线蚓科 Enchytraeidae	630	334	103	2 803	135	320	25	472	692	62	63	1 587	1.95
鞘翅目 Coleoptera	131	616	305	782	466	470	377	985	631	281	317	697	1.64
地蜈蚣目 Geophilomorpha		27		521				265	323	2		618	0.47
膜翅目 Hymenoptera		75	51	233	55	428	80	520	213	326	25	295	0.62
同翅目 Homoptera	226	175	25	75	100	51	2		235	52	50	153	0.31
蜘蛛目 Araneae	54	95	1	294	83	38	3	210	103	56	2	46	0.27
马陆目 Juliformia				201					62			712	0.26
石蜈蚣目 Lithobiomorpha		4	1	250		4	1	289	223	34	1	153	0.26
纓翅目 Thysanoptera		75		175		125	25	350	25			25	0.22
原尾目 Protura		25		25				250				250	0.15
正蚓科 Lumbricidae	95	44	2	21	38	8	4	23	14	32	12	11	0.08
腹足纲 Gastropoda	24	20		121	1	4		18	7	3		69	0.07
鳞翅目 Lepidoptera	1	3		2	52	3		32	6	7		82	0.05
拟蝎目 Pseudoscorpiones								125					0.03
结合纲 Symphyla						50	25		25				0.03
脉翅目 Neuroptera				25					26			1	0.02
啮虫目 Corrodentia						25			25				0.01
双尾目 Diplura									25			1	0.007
盲蛛目 Phalangida	1	1				1		2	1				0.002
蛹 prepupa		27		55	11	2	1	65	1	9		6	0.05
直翅目 Orthoptera									1				0.0003
线虫纲 Nematoda	2	251		2	25			50				25	0.1
半翅目 Hemiptera		2			1		1	77	5	1		5	0.02
总计 Total	14 655	45 522	4817	73 777	12 515	27 863	5 996	83 818	37 591	9 607	6 172	48 084	
类群数	14	21	12	21	16	19	16	24	22	17	12	23	
Numbers of species													

Swamp; Willow shrub meadow; Cultivated land; Secondary forest; Percentage of the total number

2.2 大兴安岭冻土带土壤动物的生态分布特征

2.2.1 水平分布特征 在三个冻土带,无论是大型土壤动物,还是中小型土壤动物,其数量和种类的分布情况基本都是次生林 > 草甸柳丛 > 沼泽 > 耕地。而且个体数与类群数的分布状况基本一致。但是连续冻土带的沼泽群落土壤动物数明显大于草甸柳丛,原因是这里的沼泽群落是落叶松沼泽,兼备有森林与沼泽二类群落的区系组成,其自然条件要比其他二个沼泽群落环境条件好得多,而这里的草甸柳丛则刚被洪水冲过不久,因此,出现了沼泽群落土壤动物明显多于草甸柳丛群落的特殊情况。土壤动物的分布主要是和植被条件、土壤类型及人为影响程度有关。调查表明,土壤动物的密度与自然群落中植物密度呈显著正相关^[3]。三个冻土带的次生林植物种类丰富多样,乔、灌、草三层植被均具有较大的盖度,且多为较易分解的阔叶凋落物,故其土壤动物的种类多、数量大;而沼泽和草甸柳丛的环境条件较差,土壤动物的个体数量较少;耕地没有植被覆盖,人为影响改变了土壤结构,使一些只能生活在特定土壤环境中的动物失去了生存的场所,导致农田生态系统土壤动物种类、数量的减少^[4~6];而农药、化肥的使用也是导致农田生态系统土壤动物减少的重要原因^[7]。

由表 2 可见,中小型土壤动物的个体数量和类群数量从岛状冻土带到连续多年冻土带逐渐减少,即从低纬度向高纬度减少。该分布与土壤动物的一般分布规律(土壤动物分布通常符合纬度地带性分布规律,即由低纬度向高纬度逐渐减少)一致。而大型土壤动物的个体数量、类群数和生物量基本上从岛状冻土带到连续多年冻土带逐渐增加,即从低纬度向高纬度增加;湿生动物的数量也如此分布。这种与土壤动物的一般分布规律不一致甚至相悖的特点,表现出生态系统局部-区域相互关系的复杂性^[8];分析其原因,在三个冻土类型区中土壤动物作为环境的综合指示因子,在纬度变化尺度不太大的情况下(本研究区从 50°10'N ~ 52°30'N),对温度变化的反应小于群落植被覆盖状况的影响,特别是大型土壤动物及其生物量对群落植被状况依赖程度更大,大型土壤动物对环境特征的变化反应相对易受局域变化的影响;湿生动物对土壤质量及环境含水量反应更敏感;而中小型土壤动物对整体环境变化的反应则更稳定,这一结果在相关的研究中^[2,9,10]也得到了相似的结论,该结果也有待进一步验证与讨论。在本研究所调查的三个冻土带的样地中位于最北部的塔河样地人为影响小,环境稳定,植物群落发育良好,故大型土壤动物较多。

表 2 三个冻土带大型、中小型和湿生土壤动物数量比较

Table 2 Comparison between different types of tundra in population of macro-, meso/ micro-fauna and hygrocole

冻土带 Tundra	大型土壤动物 Macro-fauna			中小型土壤动物 Meso/ micro-fauna		湿生动物 Hygrocole
	个体数量 Individual numbers	类群数 Numbers of species	生物量 Biomass (g, F. W.)	个体数量 Individual numbers	类群数 Numbers of species	个体数量 Individual numbers
	岛状冻土带 Island tundra	2 492	38	14.77	5 453	51
岛状融区冻土带 Island thawing tundra	1 023	42	18.70	5 168	52	6 215
连续冻土带 Continuous tundra	2 915	52	36.63	3 947	45	6 620

大型土壤动物与环境的关系同样表现在与土壤理化性质的关系上(表 2 和表 3),大型土壤动物的生物量与土壤有机质含量表现出明显的正相关 $r_{0.05} = 0.642$,与全氮的相关性不明显。土壤动物

的个体数量与有机质的相关系数 $r_{0.01} = 0.724$ 、与全氮的相关系数 $r_{0.05} = 0.616$,类群数与有机质的相关系数 $r_{0.05} = 0.684$ 、与全氮的相关系数 $r_{0.05} = 0.615$ 。

表 3 各样地土壤基本理化性质

Table 3 Soil properties of each sample site

冻土带 Tundra	样地 Sample site	含水量	pH	全氮	有机质
		Water content (gkg ⁻¹)		Total N (gkg ⁻¹)	O. M. (gkg ⁻¹)
岛状冻土带 Island tundra	沼泽	598	5.28	14.4	64.3
	柳草	467	5.46	4.2	42.5
	耕地	326	6.18	3.9	47.3
岛状融区冻土带 Island thawing tundra	次生林	453	6.06	5.3	66.9
	沼泽	442	5.87	3.6	45.9
	柳草	442	5.66	3.6	61.9
连续冻土带 Continuous tundra	耕地	343	5.71	4.3	51.4
	次生林	161	5.83	14.4	97.5
	沼泽	698	5.03	10.8	71.2
Swamp ; Willow shrub meadow ; Cultivated land ; Secondary forest	柳草	363	6.06	2.1	37.5
	耕地	265	6.27	1.5	40.7
	次生林	612	5.38	11.4	96.3

2.2.2 三个冻土带土壤动物的垂直分布 三个冻土带的中小型土壤动物的种类和数量与大型土壤动物的种类、数量、生物量的垂直分布均具有其特殊性。其中,中小型土壤动物的个体数和类群数的垂直分布具有明显的表聚性,即随土层加深而迅速递减。大型土壤动物类群数、个体数的表聚性均不明显,个体数和生物量的最大值主要集中在第二层,类群数表聚性也不明显,随土层加深均匀递减,而且各层之间的类群数量相差不多。

土壤动物的垂直分布具有一般规律,但在具体群落中也具有其特殊性。自然状态下的次生林、沼泽、草甸柳丛群落的土壤动物个体密度具有明显的表聚性(表 4),而在耕作土壤中,没有明显的凋落物层,土壤动物表聚现象大为减弱,而且在连续多年冻土带的耕地出现了第 3 层数量高于第 1 层和第 2 层的现象,原因是耕作土壤在 10~15 cm 深的范围内,土壤的通透性良好,并且土壤湿度下层高于上层。就土壤动物的类群数量而言,耕作土壤表现出自表层向下逐渐减少的趋势,而自然土壤由于所处环境不同而表现出各自的特点。

表 4 不同冻土带中小型土壤动物种类和数量的垂直分布

Table 4 Vertical distributions of species and population of meso/micro fauna in the tundras

土层 Soil layer (cm)	岛状冻土带 Island tundra				岛状融区冻土带 Island thawing tundra				连续冻土带 Continuous tundra			
	沼泽		柳草		沼泽		柳草		沼泽		柳草	
	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾
凋落物层 Litter	6 057	25	20 853	36	7 906	29	12 103	30	23 151	47	2 943	33
0~5	3 876	25	15 755	38	2 542	23	11 747	33	8 065	33	2 290	29
5~10	3 193	13	6 039	20	745	12	2 024	26	4 751	26	2 281	28
10~15	1 575	10	2 875	15	1 275	9	1 925	18	1 650	14	2 125	11

土层 Soil layer (cm)	岛状冻土带 Island tundra				岛状融区冻土带 Island thawing tundra				连续冻土带 Continuous tundra			
	耕地		次生林		耕地		次生林		耕地		次生林	
	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾	D ¹⁾	N ²⁾
凋落物层 Litter			45 302	41			44 417	40			17 962	48
0~5	1837	21	19 921	36	3 143	24	22 463	42	2 223	19	15 385	37
5~10	1 680	17	5 781	32	1 404	19	12 689	31	1 674	16	9 245	30
10~15	1 300	11	2 775	13	1 450	8	4 275	19	2 275	8	5 525	15

Swamp ; Willow shrub meadow ; Cultivated land ; Secondary forest ; 1)D: 个体密度 Density (ind · m⁻²) ; 2)N: 类群数 Numbers of species

2.2.3 土壤动物与地温变化的关系 在黑龙江省多年冻土区,冻土表层融化的时间由南向北推迟。各样地地温受坡向与采样时间等因素的影响,使地

温变化具有一定的复杂性。在沼泽群落中,沼泽地下冻土发育,而且 6 月份表层刚刚融化,地温较低,8 月份降水又增多,所以沼泽地的中小型土壤动物 6

月、8 月份都很少,10 月份数量有所恢复。计算表明,整个地区及三个冻土带的土壤动物的个体数量与地温值的相关性不明显,但连续多年冻土带次生林的大、中小型土壤动物的个体数量、类群数与 6 月、8 月份的地温值呈明显的正相关(表 5),大型土

壤动物与地温值的相关系数为 $r_{0.05} = 0.857$ 、 $r_{0.01} = 0.999$;中小型土壤动物与地温值的相关系数为 $r_{0.05} = 0.812$ 、 $r_{0.01} = 0.994$,说明地温是影响连续多年冻土带次生林的大、中小型土壤动物的个体数量、分布的主要因子之一。

表 5 不同样地不同月份的地温值()

Table 5 Soil temperatures of different sample plots in different months()

月份 Mnth	土层 Soil layer (cm)	岛状冻土带 Island tundra			岛状融区冻土带 Island thawing tundra			连续冻土带 Continuous tundra		
		沼泽	柳草	次生林	沼泽	柳草	次生林	沼泽	柳草	次生林
		6 月 Jun.	0~5	13	9.5	13	13	10	12.5	4
	5~10	6	14	10.5	9.5	8	10.2	3.5	14.5	9.6
	10~15	4	13.5	8.7	7.5	7.8	9	2.5	13.7	8.7
8 月 Aug.	0~5	20.1	16.6	16.2	16.5	19.8	19.4	13.6	16.8	13.6
	5~10	18.4	13.6	14.6	13.2	16.7	17.5	11.3	16.3	11.8
	10~15	17.2	11.9	14.1	12.2	16.4	17.2	10.2	15.7	11.2
10 月 Oct.	0~5	9.5	10.6	8.5	6.8	9.3	10.6	7.6	6.5	8.4
	5~10	7.2	8.4	7.6	5.7	7.9	9.4	8.2	9.3	7.6
	10~15	7.7	7.7	7.3	6.2	8.2	9.6	7.8	8.7	7.1

Swamp; Willow shrub meadow; Secondary forest

2.2.4 土壤动物群落的生物多样性分析 多样性参数计算采用如下公式^[11~13]:

Shannon-Weaner 多样性指数(H)公式:

$$H = - \sum P_i \ln P_i$$

H 为物种的多样性指数, $P_i = N_i/N$, N_i 为第 i 种个体数, N 为所有物种的个体数。

Pielou 均匀性指数(E)公式:

$$E = H / \ln S$$

式中:H 为 Shannon-Weaner 多样性指数;S 为物种数。

Simpson 优势度指数(C)公式:

$$C = \sum (n_i/N)^2$$

Menhinick 丰富度指数公式(D)

$$D = \ln S / \ln N$$

式中:S 为类群数;N 为全部种的个体总数。

由于物种的多样性是群落组织水平独特的、可测定的生物学特征。群落的物种多样性越高,群落的营养通道会更复杂,群落就会越稳定。通过对大兴安岭不同冻土带土壤动物的多样性的比较,表明利用信息的多样性来衡量群落物种多样性的香农-威纳指数虽然应用很广,但在下列二种情况下不能

很好指示群落的多样性^[14]:(1)类群数少,个体数也很少,但个体数分布很均匀,(2)类群数很多但个体数分布极不均匀,第一种情况 H 值偏大,第二种情况 H 值偏小,群落多样性指数不能正确的反映群落内种类和个体数的丰富度,也与群落结构和功能的好坏以及生境的优劣等实际情况不符。本研究中的连续多年冻土带和岛状冻土带的次生林的多样性指数 H 正好符合第二种情况,造成其 H 反而比类群数和个体数都很少的样地的土壤动物群落的 H 值小,其他群落则能够较好地表现物种多样性间的差异与联系。

从表 6 可以看出,中小型土壤动物的多样性指数表现出随纬度升高而逐渐减小的趋势,而大型土壤动物的多样性指数随纬度的变化规律不明显,因生境不同而表现出不同的特点。土壤动物的多样性指数与丰富度指数反映了一致变化规律,即某一群落的多样性指数越高,它的丰富度指数也越高,而优势度指数却很低,即优势度与多样性、丰富度指数呈负相关变化规律。松岭林场、白桦排乡和塔河林场的次生林的自然环境条件都比较优越,三者的土壤动物类群数与个体数都较多,但由于三者的优势度较高,所以其多样性指数较低。

表 6 不同冻土带大型、中小型土壤动物群落的多样性指数

Table 6 Diversity indices of communities of macro-, meso/ micro soil fauna in different tundras

多样性指数 Diversity index	岛状冻土带 Island tundra				岛状冻土带 Island tundra				岛状冻土带 Island tundra			
	沼泽	柳草	耕地	次生林	沼泽	柳草	耕地	次生林	沼泽	柳草	耕地	次生林
大型土壤动物 Shannon-Weaver index (H)	1.619	2.422	0.282	1.204	1.032	0.847	2.236	2.402	2.127	1.999	2.049	1.409
Pielou evenness index (E)	0.524	0.727	0.553	0.502	0.339	0.254	0.657	0.802	0.578	0.577	0.586	0.567
Simpson dominance index (C)	0.319	0.162	0.114	0.566	0.135	0.315	0.198	0.154	0.267	0.315	0.173	0.482
Menhinick richness index (D)	0.534	0.670	0.846	0.448	0.596	0.596	0.701	0.559	0.582	0.575	0.645	0.481
中小型土壤动物 Shannon-Weaver index (H)	2.072	2.185	2.371	2.249	2.198	2.132	1.914	1.891	1.953	2.162	1.625	2.243
Pielou evenness index (E)	0.661	0.588	0.779	0.606	0.646	0.615	0.629	0.450	0.549	0.649	0.543	0.612
Simpson dominance index (C)	0.187	0.149	0.133	0.150	0.175	0.172	0.237	0.229	0.226	0.155	0.339	0.146
Menhinick richness index (D)	0.493	0.495	0.579	0.466	0.549	0.495	0.557	0.467	0.487	0.564	0.545	0.487

Swamp; Willow shrub meadow; Cultivated land; Secondary forest; Macro soil fauna; Meso/ micro soil fauna

3 结论与讨论

对大兴安岭不同冻土带土壤动物的生态地理研究,是对大兴安岭土壤动物广泛的系统研究的一部分。该研究在国内尚属首次,因此,缺少可借鉴的相关研究成果。本研究结果与项目的预期结果并不完全一致。如土壤动物水平分布调查表明,中小型土壤动物的个体数和类群数,从岛状冻土带到连续多年冻土带逐渐减少,该分布与土壤动物分布的一般规律一致,但大型土壤动物的个体数量、类群数和生物量,基本上从岛状冻土带到连续多年冻土带逐渐增加,湿生动物的数量也如此分布。这种与土壤动物分布的一般规律不一致甚至相悖的特点,不能不使调查者感到困惑,经过认真的分析和研究,并在对已有数据的认真核实及在查阅相关资料的基础上,确信这种现象是生态系统在局部-区域相互关系复杂性问题上的表现。生物与环境的关系是复杂的,人类对环境的影响广泛而深刻,但程度不一。大范围的土壤动物生态地理分布特征与小范围的生态系列调查、不同土壤类型的土壤动物调查的结果大不相同。生态系统局部-区域相互关系复杂性,是对大兴安岭土壤动物系统研究的多项研究结果中发现的一个突出问题,也是生态工作者应引起注意,并需要在研究中进一步验证和探讨的问题。

参考文献

[1] 鲁国威,翁炳林,郭冬信. 中国东北部多年冻土的地理南界. 冰川冻土,1993,15(2):214~218. Lu G W, Weng B L, Guo D

X. The geographical south boundary of permafrost in the northeast of China (In Chinese). *Glacial and Frozen Earth*, 1993, 15(2): 214~218

- [2] 张雪萍,崔国发,陈鹏. 人工落叶松林土壤动物生物量的研究. 应用生态学报,1996,7(2):150~154. Zhang X P, Cui G F, Chen P. Biomass of soil animals in larch plantation (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(2): 150~154
- [3] 郭继勋,祝廷成. 羊草草原土壤动物特征的研究. 应用生态学报,1995,6(4):359~362. Guo J X, Zhu T C. Characteristics of soil fauna in *Aneurolepidium chinense* grassland (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(4): 359~362
- [4] Anderson J M. The role of soil fauna in agricultural system. In: Steele K W, Vallis I. eds. *Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystem*. Wallingford, UK: C. A. B International, 1988. 89~92
- [5] Bardgett R D, Cook R. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10(3): 263~276
- [6] Fragoso C, Brown G G. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: The role of earthworms. *Applied Soil Ecology*, 1997, 6(1): 17~35
- [7] 王振中,张友梅,邢协加. 土壤环境变化对土壤动物群落影响的研究. 土壤学报,2002,39(6):892~897. Wang Z Z, Zhang Y M, Xing X J. Effect of change in soil environment on community structure of soil animal (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(6): 892~897
- [8] 郭勤峰. 现代生态学讲座. 北京:科学出版社,1995. 89~107. Guo Q F. *Symposium on Modern Ecology* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1995. 89~107
- [9] 张雪萍,李春艳,殷秀琴. 不同使用方式林地的土壤动物与土壤营养元素的关系. 应用与环境生物学报,1999,5(1):26~31. Zhang X P, Li C Y, Yin X Q. Relation between soil animals and nutrients in the differently used forest lands (In Chinese). *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 1999, 5(1):

- 26 ~ 31
- [10] 陈鹏,富德义. 长白山土壤动物在物质循环中作用的初步探讨. 生态学报, 1984, 4(2): 1 ~ 9. Chen P, Fu D Y. Studies on the function of soil animals in cycle of material in Changbai mountain (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1984, 4(2): 1 ~ 9
- [11] 殷秀琴, 吴东辉, 韩晓梅. 小兴安岭森林土壤动物群落多样性研究. 地理科学, 2003, 23(3): 316 ~ 322. Yin X Q, Wu D H, Han X M. Diversity of soil animals community in Xiao Xingan Mountains (In Chinese). *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(3): 316 ~ 322
- [12] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法. 生物多样性, 1994, 2(4): 231 ~ 239. Ma K P, Liu Y M. Measure Method in Biodiversity (In Chinese). *Biodiversity*, 1994, 2(4): 231 ~ 239
- [13] Pielou E C. *Ecology Diversity*. New York: John Wiley & Sons, 1975. 1 ~ 8
- [14] 傅必谦, 陈卫, 董晓晖. 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. Fu B Q, Chen W, Dong X H. The Composition and structure of the four soil macro-faunas in songshan mountain in Beijing (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 215 ~ 223
- [15] 尹文英, 等著. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998. Yin W Y, *et al.* eds. *Pictorial Keys to Soil Animals of China* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1998

GEO- ECOLOGY OF SOIL FAUNA IN DIFFERENT TUNDRAS IN DA XINGANLING MOUNTAINS

Zhang Xueping¹ Zhang Wu² Cao Huicong³

(1 *Geography Department of Harbin Normal University, Harbin 150080, China*)

(2 *Geography Department of Jiamusi University, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China*)

(3 *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China*)

Abstract An investigation of soil fauna was carried out in swamps, willow-shrub meadows, cultivated lands and secondary forestlands in three different tundras in Da Xinganling Mountains in June, August and October, 2003. A total of 39 225 individuals of soil animals, belonging to 4 phyla, 8 classes and 24 orders were collected and sorted into macro, meso/ micro and hygric fauna. Analysis of the populations of the three groups of soil animals did not show any consistent positive relationship between them in community. The investigation of horizontal distribution of the animals indicated a decreasing trend of the numbers of individuals and groups of meso/ micro soil fauna from island tundra to the continuous tundra, which is similar to the general law of the distribution of soil fauna (that is, the number of soil animals gradually decreased from low latitudes to high latitudes), and a reverse trend in terms of the numbers of individuals and groups and biomass of macrofauna and the population of hygrocole as well. Their inconsistent and even reversed distribution rules revealed complexity of the relationship between locality and region of ecosystem. The numbers of individuals and groups of soil fauna were significantly and positively related to contents of organic matter and total nitrogen in the soil. The investigation of vertical distribution of soil fauna indicated that the individuals and groups of meso/ microfauna were mainly distributed in the surface soil layer, but those of macrofauna peaked in the sub-layer. The analysis of soil fauna diversity indicated that the diversity index of meso/ microfauna declined from the island tundra to the continuous tundra, whereas the diversity index of macrofauna did not show any obvious law of variation between tundras.

Key words Tundra; Soil animals; Ecology distribution; Diversity