

长春市不同土地利用条件下大型土壤动物群落结构与组成^{*}

吴东辉^{1,2**} 张 柏¹ 陈 鹏³

1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012

2. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061

3. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024

摘 要 对长春市郊区天然次生林、市区公园绿地、郊区防护林和农田等典型土地利用生境进行大型土壤动物调查, 手拣法野外采集大型土壤动物, 应用个体密度和类群数量等指标, 研究土地利用变化对大型土壤动物群落特征的影响。研究区共捕获大型土壤动物3 773只, 分别隶属于3门6纲17目102科。研究表明: 不同土地利用生境大型土壤动物群落个体密度和类群数存在差异, 其中郊区农田和防护林土壤动物的类群数和个体密度明显减少; 植物群落类型对大型土壤动物群落特征有一定影响; 大型土壤动物群落个体密度和类群数主要集中在地表0–5 cm土壤层, 生境地表凋落物的移除对土壤动物群落的类群数和个体密度影响不明显; 此外, 不同土壤动物类群对土地利用变化的响应也不同 [动物学报 52(2): 279–287, 2006]。

关键词 大型土壤动物 群落结构 生态分布 土地利用 长春市 凋落物

Community structure and composition of soil macrofauna under different land use in Changchun City^{*}

WU Dong-Hui^{1,2}, ZHANG Bai¹, CHEN Peng³

1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China

2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

3. School of Urban and Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

Abstract Soil macrofauna in Changchun city were investigated with emphasis on species richness and abundance in relation to land-use i. e. natural secondary forest, park greenbelt, Three-North Forest Shelterbelt and farmland in July and September in 2003. Soil macrofauna were sorted by hand. A total of 3 773 soil macrofauna individuals was captured and classified into 3 phylums, 6 classes, 17 orders and 102 families. The results suggested that the types of land use affected the individual density and group number of soil macrofauna community, and individual density and group number of soil macrofauna decreased significantly in the Three-North Forest Shelterbelt and farmland in suburb. The individual density and group number mainly lived in the layer of 0–5 cm in the soil profile, and litter removal did not considerably change the composition of the soil macrofauna community. The findings also suggested that soil animals had different responses to the land use change, and aboveground vegetation structure perhaps influenced the ecological structure of soil macrofauna community [*Acta Zoologica Sinica* 52(2): 279–287, 2006].

Key words Soil macrofauna, Community structure, Ecological distribution, Land use, Changchun city, Litter

2005-09-26 收稿, 2005-12-18 接受

^{*} 中国科学院知识创新工程重大项目 (No. KZCX1-SW-19)、吉林大学创新基金 (No. 4CX105) 资助资助 [This research was founded by the grants form Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (No. KZCX1-SW-19) and Innovation Project of Jilin University (No. 4CX105)]

^{**} 通讯作者 (Corresponding author). E-mail: wudhyang@yahoo.com.cn

© 2006 动物学报 *Acta Zoologica Sinica*

土壤动物作为土壤生态系统的组成部分之一,是土壤生态系统中重要的消费者和特殊的分解者,在生态系统中具有不可替代的特殊意义(张荣祖等, 1980; 尹文英, 1992), 它们的生存、取食和活动对土壤有机质的形成、土壤结构及土壤理化性质变化有一定影响(梁文举、闻大中, 2001)。同时, 由于土壤动物在各类土壤中普遍存在, 类群和个体数量丰富, 群落生物多样性高, 土壤动物可能成为土壤质量的指示生物(Paoletti et al., 1998; Lobry, 1999; Didden and Römcke, 2001; Döring et al., 2003)。作为我国百万人口的大城市, 长春市近年来由于人口的迅速增长, 土地利用变化显著, 城市生态系统的保护与管理受到相关学者的关注(王祁春等, 2001; 曹勇宏, 2001)。我们对长春市大型土壤动物群落特征进行研究, 目的在于了解该区大型土壤动物群落种类组成、密度分布及土地利用差异对大型土壤动物群落特征的影响, 为保护大型土壤动物物种多样性和合理利用土壤动物资源, 促进城市土壤生态系统健康发展, 以及深入探讨大型土壤动物对土壤质量变化的指示作用提供科学基础资料。

1 材料与方法

1.1 样地选择

研究样地设在长春市郊区城西乡、净月潭国家森林公园和市内南湖公园, 选择典型土地利用类型: 农田、“三北”防护林、天然次生林和人工林调查取样。因为长春市郊区农田主要农作物为玉米, “三北”防护林以杨树纯林为主, 因此城西乡农田样地设在玉米田, 防护林样地设在农田周围的杨树林。净月潭国家森林公园样地设在蒙古栎(*Quercus mongolica*) + 紫椴(*Tilia amurensis*)混交林和杂木林等天然次生林群落, 同时因为净月潭人工长白落叶松林(*Larx olgensis*)群落面积较大, 保育时间在30年以上, 1个调查样地设在长白落叶松林。南湖公园样地设在长白落叶松 + 黄檗(*Phellodendron amurense*)混交林、长白落叶松林、杨树林、白桦林(*Betula Platyphylla*)和油松林(*Pinus tabulaeformis*)群落, 南湖公园样地均为人工林, 为公园风景林, 其中油松林旅游活动影响最为强烈, 白桦林次之。

1.2 样品采集与处理

2003年7月份和9月份, 分2次对研究区典型样地进行大型土壤动物取样。每个样地取4个重

复样, 每个样点采样面积50 cm × 50 cm, 沿土壤剖面分凋落物层(包括半腐殖质层)、0–5 cm、5–10 cm、10–15 cm 四层采样, 其中白桦林、油松林、郊区防护林和农田缺失凋落物层, 10个样地2次共取样288份。野外手拣法采集大型土壤动物(陈鹏, 1983; 尹文英, 1998; Smeaton et al., 2003), 动物标本依据《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英, 1998)鉴定, 一般鉴定到科, 部分鉴定到属, 同时统计个体数量。其中土壤昆虫成虫与幼虫的生态功能不同, 类群数与个体数分开统计。

1.3 数据分析与处理

1.3.1 群落相似性分析 各生境群落组成差异, 不仅反映在群落类群组成差异方面, 也反映在相同类群个体密度差异方面。采用 Bray-Curtis 距离指数计算不同农业土地利用生境间土壤昆虫幼虫群落相似性(Pflug and Woltess, 2002)。公式如下:

$$\text{生境间距离}(B_{jk}): B_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^m (x_{ij} + x_{ik})}$$

m 为研究区大型土壤动物所有类群数; x_{ij} 为第 j 个生境第 i 个类群大型土壤动物的个体数; x_{ik} 为第 k 个生境第 i 个类群大型土壤动物的个体数。

1.3.2 数据统计分析 方差分析运用统计分析软件 Statistica 第6版完成。

2 结果

2.1 大型土壤动物群落组成

两次共捕获大型土壤动物3773只, 分别隶属于3门6纲17目102科(附表1), 优势类群为草蚁属(*Lasius*)和蚁属(*Formica*), 占总捕获个体数量的46.97%; 常见类群包括路舍蚁属(*Tetramorium*)、线蚓科(Enchytraeidae)和步甲科(Carabidae)等14类, 占总捕获个体数量的40.18%; 稀有类群包括剑虻科(Therevidae)幼虫、金龟甲科(Scarabaeidae)和逍遥蛛科(Philodromidae)等102类, 占总捕获个体数量的12.8%。

2.2 不同生境大型土壤动物群落个体密度和类群数垂直变化

各生境土壤剖面大型动物个体密度和类群数量随土壤深度的增加而递减, 总体上大型土壤动物个体密度和类群数集中在0–5 cm 土层, 有凋落物生境凋落物层大型土壤动物个体密度和类群数不高(表1)。

表 1 长春市大型土壤动物群落垂直结构

Table 1 Soil macrofauna distribution in the soil profile in Changchun city

I	7 月份 July				9 月份 September			
	Litter	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	Litter	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm
CJN		6	6	3		9	4	5
CJF		16	6	4		10	8	5
JLS	5	5	5	2	7	20	9	6
JZM	19	21	8	10	16	17	10	9
JHJ	16	18	12	5	11	18	17	11
NHJ	18	25	17	8	8	14	10	4
NYL	15	17	15	12	6	15	12	10
NBH		27	15	12		11	10	9
NYS		18	11	5		9	6	7
NLS	9	15	6	4	7	14	6	5

II	7 月份 July				9 月份 September			
	Litter	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	Litter	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm
CJN		11	8	5		45	10	6
CJF		30	23	10		42	13	12
JLS	36	64	24	4	16	142	42	39
JZM	74	143	41	10	39	54	31	14
JHJ	51	52	27	6	47	82	51	30
NHJ	83	124	35	20	31	27	24	6
NYL	164	244	186	66	14	96	49	25
NBH		164	75	27		65	39	12
NYS		126	73	11		80	42	28
NLS	50	147	98	72	11	105	13	7

I: 类群数, II: 个体密度 (只/m²)。CJN: 城市郊区农田; CJF: 城市郊区“三北”防护林; JLS: 净月潭落叶松; JZM: 净月潭杂木林; JHJ: 净月潭混交林; NHJ: 南湖混交林; NY: 南湖杨树林; NBH: 南湖白桦林; NYS: 南湖油松林; NLS: 南湖落叶松林。

I: Groups numbers, II: Individual density (ind./m²). CJN: Farmland in suburb; CJF: Three-North Forest Shelterbelt in suburb; JLS: Larch in Jingyuetan; JZM: Shaw in Jingyuetan; JHJ: Mixed forest in Jingyuetan; NHJ: Mixed forest in Nanhu; NYL: Poplar in Nanhu; NBH: Birch in Nanhu; NYS: Chinese pine in Nanhu; NLS: Larch in Nanhu.

2.3 不同生境大型土壤动物群落个体密度及类群数

2.3.1 个体密度对比 群落个体密度比较, 生境间差异非常显著 ($F_{9,79} = 8.81$, $P < 0.001$), 7 月份南湖杨树林 > 南湖落叶松林 > 净月潭杂木林 > 南湖白桦林 > 南湖混交林 > 南湖油松林 > 净月潭混交林 > 净月潭落叶松林 > 郊区防护林 > 郊区农田, 9 月份净月潭落叶松林 > 净月潭混交林 > 南湖杨树林 > 南湖油松林 > 净月潭杂木林 > 南湖白桦林 > 南湖混交林 > 南湖落叶松林 > 郊区防护林 > 郊区农田, 净月潭森林和南湖公园生境群落个体密度整体高于郊区防护林和农田 (图 1 A)。同时月份间差异也比较显著 ($F_{1,79} = 8.10$, $P < 0.01$), 净月潭落叶

松林、净月潭混交林、郊区防护林和农田大型土壤动物个体密度 9 月份升高, 其中净月潭落叶松林、净月潭混交林两个生境升幅较大, 其余生境 9 月份个体密度都有不同程度的下降, 南湖杨树林降幅最大。

2.3.2 类群数对比 土壤动物类群数比较, 生境间变化明显 ($F_{9,79} = 2.71$, $P < 0.05$), 7 月份南湖混交林 > 南湖杨树林 > 南湖白桦林 = 净月潭杂木林 > 净月潭混交林 > 南湖油松林 > 南湖落叶松林 > 郊区防护林 > 净月潭落叶松林 > 郊区农田, 9 月份净月潭混交林 > 净月潭杂木林 > 净月潭落叶松林 > 南湖杨树林 > 南湖混交林 > 南湖白桦林 > 南湖落叶松林 > 郊区防护林 > 南湖油松林 > 郊区农田, 净月

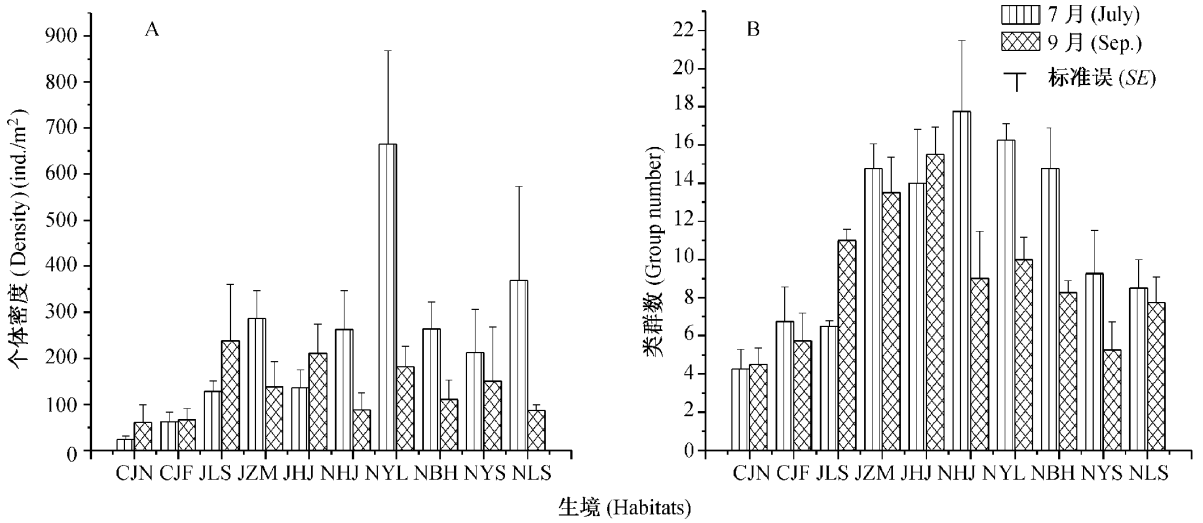


图 1 长春市大型土壤动物个体密度和类群数
图中字母缩写含义同表 1。

Fig.1 Individual density and group number of soil macrofauna in Changchun city

The abbreviated letters represent the same meaning as those in the table 1.

表 2 不同生境间大型土壤动物群落 Bray-Curtis 指数

Table 2 Bray-Curtis index of soil macrofauna between different habitats

7 月	CJN	CJF	JLS	JZM	JHJ	NHJ	NYL	NBH	NYS
CJF	0.77								
JLS	0.93	0.91							
JZM	0.92	0.88	0.66						
JHJ	0.85	0.82	0.68	0.67					
NHJ	0.93	0.93	0.85	0.77	0.76				
NYL	0.98	0.88	0.89	0.84	0.86	0.72			
NBH	0.94	0.73	0.79	0.72	0.8	0.55	0.55		
NYS	0.96	0.91	0.92	0.85	0.83	0.53	0.59	0.54	
NLS	0.95	0.94	0.93	0.82	0.89	0.63	0.43	0.65	0.43
9 月	CJN	CJF	JLS	JZM	JHJ	NHJ	NYL	NBH	NYS
CJF	0.53								
JLS	0.93	0.77							
JZM	0.62	0.51	0.45						
JHJ	0.76	0.59	0.47	0.35					
NHJ	0.83	0.82	0.82	0.67	0.75				
NYL	0.92	0.74	0.35	0.71	0.66	0.79			
NBH	0.88	0.65	0.69	0.43	0.52	0.78	0.53		
NYS	0.94	0.74	0.33	0.78	0.70	0.85	0.21	0.48	
NLS	0.92	0.70	0.44	0.66	0.58	0.71	0.29	0.61	0.32

图中字母缩写含义同表 1。

The abbreviated letters represent the same meaning as those in the table 1.

潭和南湖公园森林生境群落类群数整体高于郊区防护林和农田(图 1B)。月份间变化比较显著 ($F_{1,79} = 7.78, P < 0.01$), 除净月潭混交林、净月潭落叶松林和郊区农田 9 月份升高, 其余生境 9 月份类群数不同程度下降, 其中南湖混交林、南湖杨树林和南湖白桦林下降较多。

2.4 不同生境大型土壤动物群落相似性

各生境群落组成成分差异, 不仅反映在群落类群组成差异方面, 也反映在相同类群个体密度差异方面。生境间 Bray-Curtis 指数距离计算结果见表 2, 除南湖混交林与南湖其他生境间相似性距离 9 月份均有不同程度增大外, 各生境大型土壤动物群落间 9 月份普遍比 7 月份更相似; 净月潭森林和南湖公园绿地各生境间相似性比较, 7 月份净月潭森林和南湖公园各自内部生境间更相似, 但 9 月份不

同生境间相似性各有增减, 未表现出明显的规律; 此外, 无论 7 月份还是 9 月份, 郊区农田、防护林与净月潭和南湖公园各生境大型土壤动物群落相似性都很小, 其中农田与其他群落间的相似性更小。农业生产活动对大型土壤动物群落特征产生了明显影响, 月份变化也影响了大型土壤动物群落类群与个体数量组成。

2.5 土地利用变化对蚁科、鞘翅目、线蚓科和正蚓目个体数量的影响

蚁科、鞘翅目、线蚓科和正蚓目个体数量存在生境差异和月份变化, 结果见表 3。7 月份蚁科在南湖各生境数量明显高于净月潭森林、郊区农田和防护林, 其中南湖杨树林和南湖落叶松林个体数量最高, 9 月份蚁科个体数量生境间的差距显著缩小, 净月潭森林、郊区农田和防护林生境蚁科个体

表 3 不同生境蚁科、鞘翅目、线蚓科和蚯蚓个体数量(只)月份变化

Table 3 Seasonal changes of individual numbers (individual) of Formicidae, Coleoptera, Enchytraeidae and Lumbricida in different habitats

因子 Factors	蚁科 Formicidae		鞘翅目 Coleoptera		线蚓科 Enchytraeidae		正蚓目 Lumbricida	
	平均值 Mean	标准误 SE	平均值 Mean	标准误 SE	平均值 Mean	标准误 SE	平均值 Mean	标准误 SE
	CJN 7月 July	1.00 ^c	0.41	1.00 ^e	0.71	0.00 ^c	—	0.00 ^c
9月 Sep.	10.25 ^c	8.92	1.50 ^e	0.65	0.00 ^c	—	0.00 ^c	—
CJF 7月 July	8.75 ^c	5.81	4.50 ^{de}	1.32	0.00 ^c	—	0.50 ^c	0.29
9月 Sep.	11.25 ^c	5.62	2.50 ^e	1.19	0.00 ^c	—	0.25 ^c	0.25
JLS 7月 July	1.00 ^c	0.32	5.00 ^{ede}	0.58	20.00 ^b	5.77	3.25 ^{abc}	0.48
9月 Sep.	46.25 ^{bc}	29.46	7.25 ^{bcede}	1.25	2.75 ^c	0.63	2.25 ^{abc}	0.25
JZM 7月 July	3.75 ^c	1.79	12.50 ^{abc}	1.55	38.50 ^a	12.34	4.75 ^{ab}	0.75
9月 Sep.	10.25 ^c	6.99	8.00 ^{bcede}	2.38	5.75 ^c	2.95	2.50 ^{abc}	1.50
JHJ 7月 July	3.50 ^c	1.44	14.00 ^{ab}	4.34	10.75 ^{bc}	3.50	4.00 ^{abc}	3.67
9月 Sep.	16.00 ^{bc}	9.43	5.00 ^{ede}	1.22	9.00 ^{bc}	4.95	4.00 ^{abc}	2.42
NHJ 7月 July	19.50 ^{bc}	8.19	16.75 ^a	3.79	1.50 ^c	1.50	0.75 ^{bc}	0.75
9月 Sep.	0.75 ^c	0.75	3.75 ^{de}	0.48	0.00 ^c	—	0.50 ^c	0.29
NYL 7月 July	139.5 ^a	45.18	14.00 ^{ab}	3.65	1.00 ^c	1.00	3.50 ^{abc}	0.87
9月 Sep.	30.25 ^{bc}	15.04	10.75 ^{abcd}	4.82	0.25 ^c	0.25	0.25 ^c	0.25
NBH 7月 July	36.25 ^{bc}	9.15	16.25 ^a	3.57	0.50 ^c	0.29	6.00 ^a	2.35
9月 Sep.	16.00 ^{bc}	9.35	5.50 ^{ede}	1.76	0.25 ^c	0.25	1.75 ^{bc}	0.25
NYS 7月 July	39.50 ^{bc}	19.43	7.75 ^{bcede}	2.59	0.00 ^c	—	0.25 ^c	0.25
9月 Sep.	30.75 ^{bc}	28.09	3.00 ^{de}	1.78	0.00 ^c	—	0.75 ^{bc}	0.75
NLS 7月 July	79.50 ^b	51.46	4.25 ^{de}	2.02	0.50 ^c	0.50	0.50 ^c	0.29
9月 Sep.	22.00 ^{bc}	14.80	4.00 ^{de}	0.41	0.00 ^c	—	1.25 ^{bc}	0.75

不同上标表示差异显著 ($P < 0.05$, 邓肯法)。

Different superscripts means significant differences ($P < 0.05$ by Duncan method).

数量都有不同程度的增高,南湖各生境都有不同程度的下降,南湖杨树林和南湖落叶松林个体数量降幅最大。鞘翅目昆虫个体数量7月份混交林、阔叶林生境高于落叶松林、防护林和农田,9月份生境间个体数量差距缩小;线蚓科个体数量7月份净月潭森林各生境明显偏高,郊区农田、防护林和南湖油松林未捕获,9月份生境间个体数量分布趋势没有改变,只是净月潭各生境线蚓科个体数量明显少于7月份;正蚓目个体数量变化,7月份南湖混交林、南湖油松林、南湖落叶松林和郊区防护林正蚓目很少,郊区农田甚至没有捕获正蚓目个体,9月份除净月潭生境还保持较高的数量外,其余生境捕获个体数量很少,其中南湖白桦林和杨树林个体数量下降幅度最大。

3 讨 论

不同土地利用生境大型土壤动物群落类群数和个体密度存在差异,南湖公园绿地和净月潭森林生境大型土壤动物群落类群数和个体密度整体上高于郊区防护林和农田。农田生产活动对大型土壤动物群落个体密度的影响是负面的(Döring et al., 2003; Asteraki et al., 2004; Dlamini and Haynes, 2004),其中农田耕作活动改变了土壤表层结构(李勇等, 2001),而施肥和喷洒农药等生产活动又进一步改变了大型土壤动物的生存环境,上述生产活动必然干扰大型土壤动物的生长发育(Holland and Reynolds, 2003),因而可能造成研究区内农田生境大型土壤动物类群数和个体密度低。防护林尽管没有耕作、施肥和喷洒农药等生产活动,但存在林间放牧活动,牲畜的践踏也会一定程度改变林下土壤表层环境物理特性,最终限制大型土壤动物群落个体密度和类群数的增长。

南湖公园绿地和净月潭森林等拥有凋落物层的生境,无论大型土壤动物群落类群数还是个体密度并没有表现出一致高于缺失凋落物层生境的趋势;其中旅游等人为干扰强烈的南湖白桦林和油松林保持了很高的类群数和个体密度,显示凋落物移除对大型土壤动物群落类群数和个体密度影响不大,植物群落类型可能一定程度上影响了大型土壤动物群落特征。此外,本项研究结果表明各生境大型土壤动物群落个体密度和类群数主要分布在0-5 cm土壤层次,凋落层土壤动物群落个体密度和类群数不高,对土壤0-5 cm土壤层次的干扰可能是影响生境间大型土壤动物类群数和个体密度差异的主要因

素。

不同类群大型土壤动物对土地利用变化响应不同,同时植物群落类型不同可能也会对大型土壤动物产生影响。蚁科动物在研究区是最重要的一科大型土壤节肢动物,捕获量占研究区总捕获个体数量的56.06%,农田人为耕种可以破坏蚁巢,导致农田中蚂蚁分布较少(侯继华等, 2002),研究区蚁科动物对农业生产活动干扰响应明显,7月份蚁科个体数量很少,9月份农田蚁科个体数量有一定幅度上升,这可能与9月份农田人为干扰减小有关。此外,净月潭森林与南湖公园各生境蚁科数量7月份存在很大的差异,净月潭森林蚁科个体数量显著少于南湖公园,原因需要进一步研究。

Asteraki et al. (2004)报道了农业生产活动会减少捕食性鞘翅目昆虫的类群数和个体数量,Kromp (1999)也认为耕作活动会减少步甲科个体数量,并认为步甲科可以指示土壤环境变化,研究区农田整体上鞘翅目昆虫个体数量很小。研究区森林生境间鞘翅目昆虫个体数量差别也很大,尤其7月份阔叶林和混交林鞘翅目昆虫个体数量整体高于针叶林,这与王宗英等在九华山的研究结果相似,九华山土壤鞘翅目昆虫夏(8月份)秋(10月份)季节阔叶林个体数量高于针叶林(黄山松和马尾松)(王宗英等, 1994);研究区9月份生境间土壤鞘翅目昆虫个体数量差别缩小,九华山也有同样的趋势,王宗英等认为这和环境温度下降,一些地表生存的鞘翅目昆虫进入土壤越冬有关。

蚯蚓被认为是大型土壤动物中最有价值的评价土壤质量变化的指示生物(Paoletti et al., 1998),多年来一直受到学者的关注。耕作活动会减少蚯蚓的个体数量(Curry et al. 2002),化肥和农药的施用也会杀死蚯蚓(Paoletti et al., 1998)。本研究结果与上述报道相似,郊区农田生境7月份和9月份都没有捕获到蚯蚓,表明长春市郊区的农业生产活动影响了蚯蚓的生存。各森林生境间蚯蚓捕获数量也存在较大差异,7月份郊区防护林、南湖落叶松林和南湖油松林蚯蚓捕获数量很小,9月份净月潭森林生境捕获量相对高些,Sinha et al. (2003)报道了森林群落类型对蚯蚓的个体密度和类群数有影响,其中针叶林个体密度高,而阔叶林类群数高,但本研究中蚯蚓的个体密度总体上7月份是阔叶林高,9月份是受人类扰动小的生境高,显示森林群落类型和人类干扰都对蚯蚓的生存产生了影响。Campana et al. (2002)认为植被覆盖率对蚯

蚓的个体密度会产生影响, 南湖公园林下草本和凋落物的管理可能影响了蚯蚓类群和个体密度变化。

线蚓科几乎在各类土壤中都存在, 土壤孔隙的大小和数量影响线蚓科在土壤中数量分布, 紧实的土壤不利于线蚓科生存 (Röhrig et al., 1998)。郊区防护林由于存在林下放牧活动, 牛羊的践踏使剖面土壤更为紧实, 导致防护林线蚓科个体数量稀少, 土壤孔隙的多少成为制约线蚓科个体数量的重要因素。南湖公园存在旅游和林下管理等人为干扰活动, 生境线蚓科个体数量捕获也很少。此外尽管农田土壤疏松, 但生境线蚓数量也很小, 说明除了土壤空隙外, 农田生产活动和旅游干扰对线蚓科个体数量都产生了较大的影响。净月潭森林受人类干扰相对较小, 生境线蚓科个体数量高, 表明线蚓科个体数量变化对土地利用变化比较敏感。

参考文献 (References)

- Asteraki EJ, Hart BJ, Ings TC, Manley WJ, 2004. Factors influencing the plant and invertebrate diversity of arable field margins. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 102: 219–231.
- Campana C, Gauvin S, Ponge JF, 2002. Influence of ground cover on earthworm communities in an unmanaged beech forest: linear gradient studies. *European Journal of Soil Biology* 38: 213–224.
- Cao YH, 2001. Construction measures about green land ecosystem of Changchun. *Environment and Development* 16 (2): 10–12 (In Chinese).
- Chen P, 1983. Sampling methods of soil animals. *Chinese Journal of Ecology* 2 (2): 46–51 (In Chinese).
- Curry JP, Byrne D, Schmidt O, 2002. Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *European Journal of Soil Biology* 38: 127–130.
- Didden W, Römbke J, 2001. Enchytraeids as indicator organisms for chemical stress in terrestrial ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 50: 25–43.
- Dlamini TC, Haynes RJ, 2004. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Applied Soil Ecology* 27: 77–88.
- Döring TF, Hiller A, Wehke S, Schulte G, Broll G, 2003. Biotic indicators of carabid species richness on organically and conventionally managed arable fields. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 98: 133–139.
- Holland JM, Reynolds CJM, 2003. The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. *Pedobiologia* 47: 181–191.
- Hou JH, Zhou DW, Jiang SC, 2002. Species composition and spatial distribution of ants in the grassland region in the west of Jilin Province. *Acta Ecologica Sinica* 22 (10): 1 781–1 787 (In Chinese).
- Kromp B, 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 74: 187–228.
- Li Y, Zhang JH, Luo DA, Zhang JG, 2001. Tillage translocation and tillage erosion process and their implications for agro-ecosystems. *Journal of Mountain Science* 18 (6): 514–519 (In Chinese).
- Liang WJ, Wen DZ, 2001. Soil biota and its role in soil ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology* 12 (1): 137–140 (In Chinese).
- Lobry de Bruyn LA, 1999. Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 74: 425–441.
- Paoletti MG, Sommagio D, Favretto MR, Petruzzelli G, Pezzarossa B, Barbaferi M, 1998. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology* 10: 137–150.
- Pflug A, Wolters V, 2002. Collembola communities along a European transect. *European Journal of Soil Biology* 38: 301–304.
- Röhrig R, Langmaack M, Schrader S, 1998. Tillage systems and soil compaction: their impact on abundance and vertical distribution of Enchytraeidae. *Soil and Tillage Research* 46: 117–127.
- Sinha B, Bhaduria T, Ramakrishnan PS, Saxena KG, Maikhuri RK, 2003. Impact of landscape modification on earthworm diversity and abundance in the Hariyali sacred landscape, Garhwal Himalaya. *Pedobiologia* 47: 357–370.
- Smeaton TC, Daly AN, Cranwell JM, 2003. Earthworm population responses to cultivation and irrigation in a South Australian soil. *Pedobiologia* 47: 379–385.
- Wang QC, Li CG, Ding WJ, 2001. Study on Urban Area Structure of Changchun City. *Scientia Geographica Sinica* 21 (1): 81–88 (In Chinese).
- Wang ZY, Lu YC, Li JK, 1994. The ecological distribution of soil beetle in Jiuhua Mountains. *Zoological Research* 15 (2): 23–31 (In Chinese).
- Yin WY, 1992. Subtropical soil animals of China. Beijing: Science Press (In Chinese).
- Yin WY, 1998. Pictorial keys to soil animals of China. Beijing: Science Press (In Chinese).
- Yin XQ, Wu DH, Han XM, 2003. Diversity of soil animals community in Xiao Xing-an Mountains. *Scientia Geographica Sinica* 23 (3): 316–322 (In Chinese).
- Zhang YZ, Yang MX, Chen P, Zhang TW, 1980. Soil animals primary investigation of forest eco-system in northern slope of Changbai Mountain. *Research of Forest Ecosystem* (I): 133–152 (In Chinese).
- 曹勇宏, 2001. 论长春市绿地生态系统的建设措施. *环境与开发* 16 (2): 10–12.
- 陈鹏, 1983. 土壤动物的采集和调查方法. *生态学杂志* 2 (2): 46–51.
- 侯继华, 周道玮, 姜世成, 2002. 吉林西部草原地区蚂蚁种类及分布. *生态学报* 22 (10): 1 781–1 787.
- 李勇, 张建辉, 罗大卫, 张建国, 2001. 耕作侵蚀及其农业生态环境意义. *山地学报* 18 (6): 514–519.
- 梁文举, 闻大中, 2001. 土壤生物及其对土壤生态学发展的影响. *应用生态学报* 12 (1): 137–140.
- 王祁春, 李诚固, 丁万军, 2001. 长春市城市地域结构体系研究. *地理科学* 21 (1): 81–88.
- 王宗英, 路有成, 李景科, 1994. 九华山土壤甲虫的生态分布. *动物学研究* 15 (2): 23–31.
- 殷秀琴, 吴东辉, 韩晓梅, 2003. 小兴安岭森林土壤动物群落多样性研究. *地理科学* 23 (3): 316–322.
- 尹文英, 1992. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社.
- 尹文英, 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.
- 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* (I): 133–152.

附表 1 长春市大型土壤动物群落组成

Table 1 Composition of soil macrofauna community in Changchun city

土壤动物 Soil animals	个体数 (只) Individuals	优势度 Dominance	土壤动物 Soil animals	个体数 (只) Individuals	优势度 Dominance
环节动物门 Annelida			花蝽科 Anthocoridae	1	+
寡毛纲 Oligochaeta			网蝽科 Tingidae	1	+
颤蚓目 Tubificida			鞘翅目 Coleoptera		
线蚓科 Enchytraeidae	333	++	金龟甲科幼虫 Scarabaeidae (larvae)	128	++
正蚓目 Lumbricida			步甲科 Carabidae	77	++
链胃蚓科 Moniligastridae	96	++	拟球甲科幼虫 Corylophidae (larvae)	75	++
正蚓科 Lumbricidae			隐翅虫科 Staphylinidae	70	++
爱胜蚓属 <i>Eisenia</i>	32	+	瓢甲科 Goccinellidae	55	++
正蚓属 <i>Lumbricus</i>	2	+	步甲科幼虫 Carabidae (larvae)	46	++
软体动物门 Mollusca			叩甲科幼虫 Elateridae (larvae)	26	+
腹足纲 Gastropoda			金龟甲科 Scarabaeidae	21	+
中腹足目 Mesogastropoda			蚁甲科 Pselaphidae	14	+
环口螺科 Cyclophoridae			隐翅甲科幼虫 Staphylinidae (larvae)	11	+
双边凹螺属 <i>Chamalycaeus</i>	5	+	薪甲科 Lathridiidae	9	+
拇指螺属 <i>Pollicaria</i>	1	+	苔甲科幼虫 Scydmaenidae (larvae)	6	+
柄眼目 Stylommatophora			蚁甲科幼虫 Pselaphidae (larvae)	6	+
巴蜗牛科 Bradybaenidae	26	+	水龟甲科幼虫 Hydrophilidae (larvae)	6	+
榭果螺科 Cochlicopidae	4	+	阎甲科幼虫 Histeridae (larvae)	5	+
瓦娄蜗牛科 Valloniidae	2	+	象甲科 Curculionidae	5	+
基眼目 Basommatophora			葬甲科 Silphidae	4	+
果瓣螺科 Carychiidae	3	+	出尾蕈甲科 Scaphidiidae	3	+
节肢动物门 Arthropoda			盘甲科 Discodromidae	3	+
蛛形纲 Arachnida			郭公虫科幼虫 Cleridae	3	+
蜘蛛目 Araneae			虎甲科 Cicindelidae	3	+
平腹蛛科 Gnaphosidae	38	++	拟花蚤科 Scaptidae	2	+
逍遥蛛科 Philodromidae	18	+	长朽木甲科 Melandryidae	2	+
拟平腹蛛科 Zodariidae	12	+	拟叩甲科 Languriidae	2	+
跳蛛科 Salticidae	12	+	萤科幼虫 Lampyridae (larvae)	2	+
蟹蛛科 Thomisidae	10	+	叶甲科幼虫 Chrysomelidae (larvae)	2	+
巨蟹蛛科 Heteropodidae	7	+	象甲科幼虫 Curculionidae (larvae)	2	+
球体蛛科 Theridiosomatidae	3	+	皮金龟科 Trogidae	1	+
花皮蛛科 Scytodidae	3	+	拟步甲科 Tenebrionidae	1	+
粗螯蛛科 Prodidomidae	3	+	苔甲科 Scydmaenidae	1	+
类石蛛科 Segestriidae	2	+	露尾甲科 Nitidulidae	1	+
节板蛛科 Liphistiidae	2	+	小蕈甲科 Mycetoptophagidae	1	+
栅蛛科 Hahniidae	2	+	锹甲科 Lucanidae	1	+
地蛛科 Atypidae	2	+	球蕈甲科 Leiodidae	1	+
近管蛛科 Anyphaenidae	2	+	粪金龟科 Geotrupidae	1	+
逸蛛科 Zoropsidae	1	+	虎甲科幼虫 Cicindelidae (larvae)	1	+

续附表 1

土壤动物 Soil animals	个体数 (只) Individuals	优势度 Dominance	土壤动物 Soil animals	个体数 (只) Individuals	优势度 Dominance
捕鸟蛛科 Theraphosidae	1	+	丽金龟科 Butelidae	1	+
刺客蛛科 Sicariidae	1	+	三锥象甲科 Brentidae	1	+
卵形蛛科 Oonopidae	1	+	长角象甲科 Anthribidae	1	+
拟态蛛科 Mimetidae	1	+	双翅目 Diptera		
弱蛛科 Leptonetidae	1	+	夜蛾科幼虫 Noctuidae (larvae)	18	+
室当科 Ctenizidae	1	+	食虫虻科幼虫 Asilidae (larvae)	15	+
水蛛科 Argyronetidae	1	+	剑虻科幼虫 Therevidae (larvae)	10	+
安蛛科 Anapidae	1	+	大蚊科幼虫 Tipulidae (larvae)	9	+
盲蛛目 Opiliones			蚤蝇科幼虫 Phoridae (larvae)	7	+
长奇盲蛛科 Phalangidae	1	+	舞虻科幼虫 Empididae (larvae)	7	+
倍足纲 Diplopoda			伪大蚊科幼虫 Anisopodidae (larvae)	6	+
姬马陆目 Julida			粗股粪蚊科幼虫 Hyperoscelididae (larvae)	4	+
蒙古马陆科 Mongoliulidae	13	+	舟蛾科幼虫 Notodontidae (larvae)	3	+
姬马陆科 Julidae	1	+	螟蛾科幼虫 Pyralidae (larvae)	2	+
唇足纲 Chilopoda			食木虻科幼虫 Xylophagidae (larvae)	1	+
地蜈蚣目 Geophilomorpha			蛱蝶科幼虫 Vanessa (larvae)	1	+
地蜈蚣科 Geophilidae	148	++	虻科幼虫 Tabanidae (larvae)	1	+
石蜈蚣目 Lithomorpha	88	++	毛蠓科幼虫 Psychodidae (larvae)	1	+
昆虫纲 Insecta			长角毛蚊科幼虫 Hesperinidae (larvae)	1	+
直翅目 Orthoptera			长足虻科幼虫 Dolichopodidae (larvae)	1	+
蝼蛄科 Gryllotalpidae	3	+	尺蛾科幼虫 Geometridae (larvae)	1	+
革翅目 Deramptera			卷叶蛾科幼虫 Tortricidae (larvae)	1	+
螯螋科 Chelisochidae			粉蝶科幼虫 Pieridae (larvae)	1	+
长足螋属 <i>Exyphnus</i>	60	++	摇蚊科幼虫 Chironomidae (larvae)	1	+
拟螯螋属 <i>Chelisochella</i>	1	+	大蚕蛾科幼虫 Saturniidae (larvae)	1	+
球螋科 Forficulidae			膜翅目 Hymenoptera		
异螋属 <i>Allodahlia</i>	5	+	蚁科 Formicidae		
半翅目 Hemiptera			草蚁属 <i>Lasius</i>	1373	+++
长蝽科 Lygaeidae	6	+	蚁属 <i>Formica</i>	399	+++
红蝽科 Pyrrhocoridae	3	+	路舍蚁属 <i>Tetramorium</i>	171	++
奇蝽科 Enicocephalidae	2	+	狂蚁属 <i>Zelotes</i>	138	++
驼蝽科 Microphysidae	1	+	弓背蚁属 <i>Camponotus</i>	34	+
土蝽科 Cydnidae	1	+	行军蚁属 <i>Dorylus</i>	1	+
膜蝽科 Hebridae	1	+			

+++ 为优势类群，个体数占总捕获量的 10% 以上；++ 为常见类群，个体数占总捕获量的 1% - 10%；+ 为稀有类群，个体数占总捕获量的 1% 以下（殷秀琴等，2003）。

+++ represents dominant group, individuals number is more than 10% of total individuals number; ++ represents frequent group, individuals number is between 10% and 1%; + Rare group, individuals number is less than 1% (Yin, 2003).