

长春市不同土地利用生境的土壤线虫群落结构特征*

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】 2003年7月和9月对长春市郊区天然次生林、农田、防护林和市区公园绿地等典型土地利用生境进行了土壤线虫调查, 共捕获土壤线虫2纲7目20科27属7273只, 优势属为 *Aphelenchus*、*Tylenchus* 和 *Pratylenchus*, 占总捕获个体数量的61.58%。用Baermann法提取土壤线虫个体, 应用个体密度、属数量、群落多样性、丰富度、均匀度和功能类群结构等指数, 研究了土壤线虫的群落结构特征及人类活动对土壤线虫群落结构的影响。结果表明, 长春市土地利用差异对线虫群落结构特征影响明显, 地表凋落物的移除和耕作活动是影响线虫群落结构特征的主要因素。地表凋落物的移除将显著减少线虫群落的个体密度和群落多样性; 耕作活动影响线虫个体密度在土壤剖面的垂直分布特征。生境间地表植物群落类型对土壤线虫群落生态结构特征的影响差异不显著。

关键词 土壤线虫 群落结构 土地利用 长春市 凋落物

文章编号 1001-9332(2006)03-0450-07 **中图分类号** Q958.15 **文献标识码** A

Structural characteristics of soil nematodes community under different land uses in Changchun City. WU Donghui^{1,2}, ZHANG Bai¹, CHEN Peng³ (¹Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; ²College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; ³School of Urban and Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(3):450~456.

In this paper, an investigation on the species richness and abundance of soil nematodes in farmland, natural secondary forest, shelter forest and green space was made in Changchun City in July and September, 2003. Soil nematodes were extracted with Baermann extractor, and identified to the genus level with the aid of microscope. A total of 7273 soil nematode individuals were captured, and fell into 2 classes, 7 orders, 20 families, and 27 genera. *Aphelenchus*, *Tylenchus* and *Pratylenchus* were the dominant genera, which accounted for 61.58% of total individuals. Land use type had a significant effect on the community structure of soil nematodes, and aboveground litter removal and cultivation activity were the main factors affecting soil nematodes community structure. Aboveground litter removal considerably decreased soil nematodes individual density and community diversity, while cultivation activity changed the vertical distribution of soil nematodes individual density in the soil profile. Aboveground vegetation structure and landscape pattern appeared to have little effect on the ecological structure of soil nematodes community.

Key words Soil nematodes, Community structure, Land use, Changchun City, Litter.

1 引言

由于线虫在各类土壤中普遍存在, 属和个体数量丰富, 群落生物多样性高, 所以被看作是评价土壤质量变化的最重要指示生物之一^[8,20,25,26]。近年来, 国外土壤生态学者加强了土地利用方式尤其是农业生产活动对土壤线虫群落动态的影响研究^[1,9~11,18,19,27,28]。我国从20世纪80年代初开始进行土壤线虫生态学方面的研究^[31], 有关土地利用方式与土壤线虫群落动态变化关系方面的研究报道近年来也有所增加^[7,16,17,21,22]。

本文对长春市土壤线虫群落特征进行了研究,

目的在于了解该区土壤线虫的群落组成、生态结构及土地利用方式对土壤线虫群落动态的影响, 旨在为保护土壤线虫群落多样性和合理利用土壤动物资源, 提高景观管理水平, 促进土壤生态系统健康发展, 提供科学依据。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区概况

研究样地设在长春市市郊城西乡、净月潭国家森林公园

* 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX1-SW-19)。

** 通讯联系人。

2004-12-07收稿, 2005-04-27接受。

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。该区地处长白山余脉石砬岭山麓,地势较平坦,为缓和波状丘陵平原;气候属中温带半湿润大陆性季风气候,年均气温 4.6℃,年均降水量 567 mm;原生植被为森林草原,地带性土壤为黑土。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,所以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*)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。

2.2 样品采集与处理

2003 年 7—9 月,分 2 次对研究区样地进行土壤线虫取样。每个样地随机设 4 个样点,每个样点土壤动物采样面积 5 cm × 5 cm,沿土壤剖面分凋落物层、0~5、5~10 和 10~15 cm 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。用 Baermann 法实验室分离提取线虫^[6],显微镜下分析鉴定,土壤动物标本依据尹文英^[30]《中国土壤动物检索图鉴》鉴定,一般鉴定到属,同时统计个体数量。

2.3 数据处理

国内外学者普遍运用 Shannon-Wiener 指数与 Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数,说明土壤线虫群落的多样性^[13,14,17,28]。本文采用上述 3 个指数计算研究区土壤线虫群落的多样性。公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (1)$$

$$SR = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

$$J = H' / \ln S \quad (3)$$

式中, H' 为 Shannon-Wiener 指数, P_i 为土壤线虫群落第 i 属个体数占总个体数的比例, S 为土壤线虫群落中所有线虫属数, SR 为 Margalef 丰富度, J 为 Pielou 均匀度, N 为土壤线虫群落全部属的个体总数。

根据线虫的头部形态学特征和取食生境,将土壤线虫分为以下 4 个功能(营养)属:食细菌属(bacterivores)、食真菌属(fungivores)、植物寄生属(plant parasites)、捕食属/杂食属(Predators/Omnivores)^[9,17,28]。

本文采用 MI(maturity index)指数、PPI(plant parasite index)指数和 ΣMI 指数表达各生境土壤线虫群落的功能、结构及特征^[2-5,9,27]。其中 MI 指数计算公式如下:

$$MI = \sum_{i=1}^n c p_i \times p_i \quad (4)$$

式中, $c p_i$ 为非植物寄生性土壤线虫第 i 属 colonizer-persister 值, n 为非植物寄生性土壤线虫属数, P_i 为线虫群落非植物寄生性土壤线虫第 i 属的个体数占群落总个体数的比例。

PPI 指数、 ΣMI 指数和 MI 指数计算公式形式相同。用 Bray-Curtis 距离指数计算两个生境间土壤线虫群落相似性^[23]。生境间距离公式如下:

$$B_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^m (x_{ij} + x_{ik})} \quad (5)$$

式中, m 为研究区土壤线虫所有属数, x_{ij} 为第 j 个生境第 i 个属线虫的个体数, x_{ik} 为第 k 个生境第 i 个属线虫的个体数。用 SPSS 软件进行数据统计处理。

3 结果与分析

3.1 土壤线虫群落种类和数量组成

本项研究共捕获土壤线虫 7 273 只,分别隶属于线虫动物门 2 纲 7 目 20 科 27 属(表 1)。其中,优势属包括 *Aphelenchus*、*Tylenchus* 和 *Pratylenchus*, 占总捕获个体数量的 61.58%; 常见属为 *Boleodorus* 等 9 属, 占总捕获个体数量的 33.47%; 稀有属为 *Criconema* 等 15 属, 占总捕获个体数量的 4.95%。优势属和常见属个体数量多,分布广泛,构成了长春市土壤线虫群落的主体。

表 1 长春市土壤线虫群落构成

Table 1 Compositions of soil nematode communities in Changchun City

土壤线虫名称 Name of soil nematode	个体数 Individuals	优势度 Dominance	土壤线虫名称 Name of soil nematode	个体数 Individuals	优势度 Dominance
<i>Aphelenchus</i>	2564	+++	<i>Helicotylenchus</i>	45	+
<i>Tylenchus</i>	1046	+++	<i>Acrobeloides</i>	45	+
<i>Pratylenchus</i>	869	+++	<i>Aphelenchoides</i>	41	+
<i>Boleodorus</i>	579	++	<i>Aporcelaimus</i>	39	+
<i>Psilenchus</i>	519	++	<i>Diphtherophora</i>	32	+
<i>Plectus</i>	432	++	<i>Chromadorita</i>	19	+
<i>Rhabditis</i>	331	++	<i>Nothotylenchus</i>	16	+
<i>Tylenchorhynchus</i>	159	++	<i>Paratylenchus</i>	15	+
<i>Rotylenchus</i>	147	++	<i>Achromadora</i>	8	+
<i>Iotonchus</i>	94	++	<i>Diplogaster</i>	2	+
<i>Chiloplacus</i>	92	++	<i>Mylonchulus</i>	2	+
<i>Cervidellus</i>	81	++	<i>Teratocephalus</i>	1	+
<i>Criconema</i>	47	+	<i>Paracryatholaimus</i>	1	+
<i>Ironus</i>	47	+			

+++ 优势属, 个体数占总捕获量的 10% 以上 Dominant genera, individual number is more than 10% of total individual number; ++ 常见属, 个体数占总捕获量的 1%~10% Frequent genera, individual number is between 10% and 1%; + 稀有属, 个体数占总捕获量的 1% 以下 Rare genera, individual number is less than 1%^[17,29]。

3.2 土壤线虫群落结构

3.2.1 垂直结构 线虫属数量在各生境随土层深度的增加, 呈现递减趋势。各生境土壤线虫群落垂直结构差异主要表现在个体密度方面(表 2)。有凋落物层生境线虫个体密度表聚性非常明显。该类生境随土层深度增加线虫个体密度递减幅度大, 凋落物层土壤线虫的个体密度占绝对优势, 比其它 3 层的总和还要多几倍, 其中相差最大是净月潭长白落叶松林, 达到 12.84 倍。

表2 长春市土壤线虫垂直分布

Table 2 Nematode distributions in the soil profile in Changchun City

	7月 Jul.				9月 Sep.			
	L	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm	L	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm
	A CJN	0	7	3	8	0	8	10
CJF	0	8	9	11	0	9	14	13
JLS	9	6	5	0	10	16	10	10
JZM	12	8	8	7	14	11	12	4
JHJ	12	10	7	5	11	11	7	7
NHJ	11	6	9	5	14	14	9	8
NYL	11	10	7	2	9	7	10	7
NBH	0	3	4	3	0	9	4	5
NYS	0	3	2	1	0	7	1	2
NLS	9	5	9	6	12	16	6	3
B CJN	0	32	4	26	0	23	38	81
CJF	0	229	111	53	0	113	69	50
JLS	411	22	10	0	236	140	43	27
JZM	891	42	53	12	388	289	67	17
JHJ	845	107	100	10	384	74	48	16
NHJ	406	21	42	15	345	100	33	25
NYL	265	106	19	7	92	22	35	16
NBH	0	12	10	10	0	48	10	9
NYS	0	30	6	4	0	17	6	5
NLS	134	62	64	18	94	101	20	3

A: 属数(属) Groups number (genera); B: 个体密度 Density (100 ind·m⁻²); L: 凋落物层 Litter; CJN: 城市郊区农田 Farmland in suburb; CJF: 城市郊区“三北”防护林 Three-North Forest Shelterbelt in suburb; JLS: 净月潭落叶松 Larch in Jingyuetan; JZM: 净月潭杂木林 Mixed forest in Jingyuetan; JHJ: 净月潭混交林 Mixed forest in Jingyuetan; NHJ: 南湖混交林 Mixed forest in Nanhu; NYL: 南湖杨树林 Poplar in Nanhu; NBH: 南湖白桦林 Birch in Nanhu; NYS: 南湖油松林 Chinese pine in Nanhu; NLS: 南湖落叶松林 Larch in Nanhu. 下同 The same below.

缺少凋落物层生境的线虫个体密度在土壤剖面上的垂直分布存在一定的差异. 其中郊区农田土壤线虫个体密度主要分布在下层土壤, 而南湖公园白桦林、油松林和防护林生境线虫个体密度分布具有表聚性, 但表聚性不如有凋落物层生境显著. 南湖公园白桦林、油松林和防护林生境与郊区农田线虫个体密度垂直分布差别与农业生产活动有关. 农田耕作活动由于翻动土壤, 使土壤上下层间理化性质更趋一致, 促进了土壤线虫向下层土壤空间移动, 改变了土壤线虫个体密度在土壤剖面上的分布规律, 而白桦林、油松林和防护林生境没有耕作活动的影响, 土壤保持自然状态.

月份间土壤线虫在各生境土壤剖面上的垂直分

表3 不同生境和月份土壤线虫群落结构的差异

Table 3 Differences of community structure of soil nematodes in different habitats and months

项目 Item	属数 Group number		密度 Density		丰富度 Richness		多样性 Diversity		均匀度 Evenness	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
	生境 Habitats	10.986	***	10.091	***	4.963	***	6.874	***	1.125
月份 Months	12.937	***	6.761	*	38.424	***	8.203	**	0.616	ns
交互作用 Interaction	1.599	ns	1.226	ns	1.794	ns	2.713	*	1.302	ns

*** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.05; ns)P>0.05.

布也存在一定的差异. 9月有凋落物生境的凋落物层线虫个体密度大幅下降, 其他3个土壤层次都有不同程度的升高, 属数变化不大. 缺少凋落物的生境, 除郊区农田5~10和10~15 cm土壤层9月线虫个体密度和属数有显著增长外, 其他生境线虫个体密度和属数7月和9月相比变化不大.

3.2.2 水平结构 二因素方差分析表明, 生境差异对土壤线虫群落个体密度和属数均具有非常显著的影响, 但月份变化对土壤线虫群落个体密度和属数的影响有一定差别, 月份变化对线虫属数的影响显著于对个体密度的影响(表3). 具体各生境个体密度和属数变化见图1、图2.

3.2.3 群落多样性 二因素方差分析结果表明, 生境差异和月份变化分别对长春市土壤线虫群落多样性和丰富度具有显著影响, 但对均匀度影响很小, 差异不明显. 生境差异和月份变化的交互作用, 仅对土壤线虫群落多样性影响显著(表3). 各生境的土壤线虫群落多样性指数见表4.

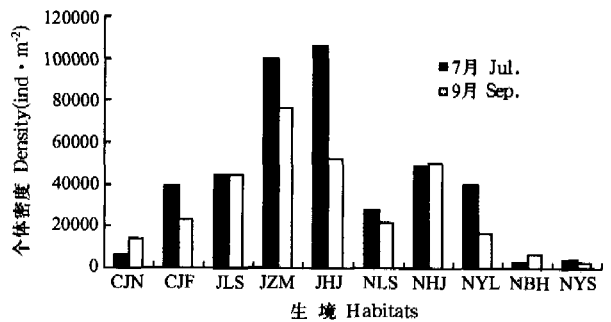


图1 长春市土壤线虫个体密度
Fig.1 Individual density of soil nematodes in Changchun City.

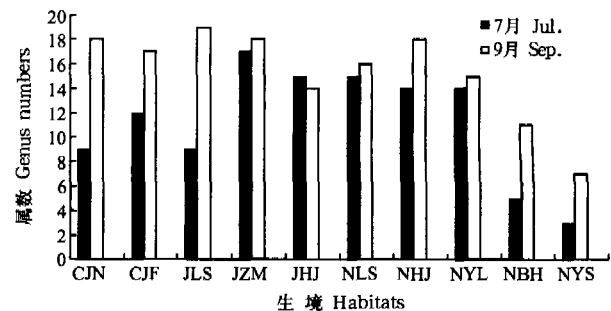


图2 长春市土壤线虫属数
Fig.2 Genus numbers of soil nematodes in Changchun City.

表4 长春市土壤线虫群落的多样性

Table 4 Diversity of soil nematode community in Changchun City

项目 Item	月份 Month	CJN		CJF		JLS		JZM		JHJ	
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
H' 指数	Jul.	0.47	0.11	0.60	0.07	0.76	0.03	0.71	0.06	0.77	0.02
H' index	Sep.	0.77	0.07	0.89	0.04	0.79	0.04	0.73	0.04	0.64	0.06
SR 指数	Jul.	3.13	0.60	3.38	0.31	4.21	0.21	3.75	0.41	3.80	0.14
SR index	Sep.	5.99	0.49	6.40	0.62	5.04	0.76	4.59	0.42	3.78	0.56
J 指数	Jul.	0.85	0.04	0.68	0.06	0.78	0.01	0.72	0.05	0.78	0.01
J index	Sep.	0.77	0.04	0.83	0.03	0.77	0.07	0.70	0.01	0.68	0.04
项目 Item	月份 Month	NHJ		NYL		NBH		NYS		NLS	
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
H' 指数	Jul.	0.80	0.06	0.73	0.06	0.40	0.08	0.32	0.03	0.69	0.10
H' index	Sep.	0.79	0.03	0.60	0.12	0.61	0.10	0.50	0.01	0.79	0.05
SR 指数	Jul.	4.24	0.08	3.89	0.68	2.02	0.48	1.72	0.49	4.17	0.62
SR index	Sep.	5.30	0.36	4.68	0.60	4.04	0.69	3.29	0.15	5.34	0.71
J 指数	Jul.	0.76	0.04	0.82	0.02	0.82	0.03	0.83	0.02	0.76	0.07
J index	Sep.	0.76	0.04	0.70	0.14	0.86	0.07	0.77	0.04	0.79	0.04

各生境 H' 指数:7月,南湖混交林>净月潭混交林>净月潭长白落叶松林>南湖杨树林>净月潭杂木林>南湖长白落叶松林>郊区防护林>郊区农田>南湖白桦林>南湖油松林;9月,郊区防护林>南湖混交林>南湖长白落叶松林>净月潭长白落叶松林>郊区农田>净月潭杂木林>净月潭混交林>南湖白桦林>南湖杨树林>南湖油松林.各生境 H' 指数除南湖混交林、南湖杨树林和净月潭混交林9月有一定下降,其余生境土壤线虫群落多样性普遍升高,升幅最大的是郊区农田、防护林和南湖白桦林.

各生境 SR 指数:7月,南湖混交林>净月潭长白落叶松林>南湖长白落叶松林>南湖杨树林>净月潭混交林>净月潭杂木林>郊区防护林>郊区农田>南湖白桦林>南湖油松林;9月,郊区防护林>郊区农田>南湖长白落叶松林>南湖混交林>净月潭长白落叶松林>南湖杨树林>净月潭杂木林>南湖白桦林>净月潭混交林>南湖油松林.各生境 SR 指数除净月潭混交林9月有一定的下降,其余生境土壤线虫群落多样性普遍升高,升幅最大的是郊区防护林生境.

各生境 J 指数:7月,郊区农田>南湖油松林>南湖白桦林>南湖杨树林>净月潭长白落叶松林>净月潭混交林>南湖长白落叶松林>南湖混交林>净月潭杂木林>郊区防护林;9月,南湖白桦林>郊区防护林>南湖长白落叶松林>南湖油松林>郊区农田>净月潭长白落叶松林>南湖混交林>净月潭杂木林>南湖杨树林>净月潭混交林.不同月份各生境 J 指数变化差异较大.郊区防护林、南湖白桦林和南湖长白落叶松林生境9月 J 指数增加,南湖混交林不变,其余生境下降.

3.2.4 群落功能结构 采用 $\sum MI$ 指数、MI 指数、PPI 指数和 PPI/MI 值研究土地利用差异对长春市土壤线虫群落功能和结构的影响.功能(营养)属的划分和 cp 值的确定见表5. $\sum MI$ 指数、MI 指数、PPI 指数和 PPI/MI 值计算结果见表6.

$\sum MI$ 指数:7月,南湖混交林 > 南湖杨树林 > 南湖长白落叶松林 > 南湖白桦林 > 郊区防护林 = 净月潭长白落叶松林 > 净月潭混交林 = 净月潭杂木林 > 郊区农田 > 南湖油松林;9月,南湖白桦林 > 郊区防护林 > 南湖混交林 > 净月潭杂木林 > 净月潭长白落叶松林 = 南湖长白落叶松林 > 郊区农田 > 净月潭混交林 > 南湖油松林 > 南湖杨树林.各生境 $\sum MI$ 指数除净月潭混交林、南湖混交林、南湖长白落叶松林和南湖杨树林9月有一定的下降外,其余生境普遍升高.

表5 长春市土壤线虫功能属划分与 cp 值确定

Table 5 Functional groups and cp values of soil nematodes in Changchun city

属名 Genus	Guild	属名 Genus	Guild
<i>Pelodera</i>	Ba ₁	<i>Iotonchus</i>	PO ₄
<i>Rhabditis</i>	Ba ₁	<i>Mononchus</i>	PO ₄
<i>Cephalobus</i>	Ba ₂	<i>Mesodorylaimus</i>	PO ₅
<i>Plectus</i>	Ba ₂	<i>Aporcelaimus</i>	PO ₅
<i>Chiloplacus</i>	Ba ₂	<i>Ironus</i>	PO ₅
<i>Ceroidellus</i>	Ba ₂	<i>Boleodorus</i>	H ₂
<i>Acrobeloides</i>	Ba ₂	<i>Nothotylenchus</i>	H ₂
<i>Anaplectus</i>	Ba ₂	<i>Psilenchus</i>	H ₂
<i>Teratocephalus</i>	Ba ₃	<i>Tylenchus</i>	H ₂
<i>Aphelenchoides</i>	Fu ₂	<i>Paratylenchus</i>	H ₂
<i>Aphelenchus</i>	Fu ₂	<i>Helicotylenchus</i>	H ₃
<i>Paracatytholaimus</i>	PO ₃	<i>Criconema</i>	H ₃
<i>Achromadora</i>	PO ₃	<i>Rotylenchus</i>	H ₃
<i>Chromadorita</i>	PO ₃	<i>Tylenchorhynchus</i>	H ₃
<i>Diphtherophora</i>	PO ₃	<i>Pratylenchus</i>	H ₃
<i>Mylonchulus</i>	PO ₄	<i>Xiphinema</i>	H ₅

Ba: 食细菌属 Bacterivores; Fu: 食真菌属 Fungivores; PO: 捕食属/杂食属 Predators/Omnivores; H: 植物寄生属 Plant parasites. 功能属所附数字为 cp 值 Suffixed numbers of functional groups are cp values^[1,5,9].

表6 长春市土壤线虫群落功能结构特征

Table 6 Functional structure of soil nematodes communities in Changchun City

项目 Item		CJN	CJF	JLS	JZM	JHJ	NHJ	NYL	NBH	NYS	NLS
ΣMI 指数	Jul.	2.05	2.18	2.18	2.14	2.14	2.33	2.30	2.19	2.00	2.27
ΣMI index	Sep.	2.20	2.38	2.24	2.26	2.12	2.27	2.02	2.40	2.11	2.24
MI 指数	Jul.	1.94	1.94	1.80	1.98	1.98	2.13	1.95	2.14	2.00	2.19
MI index	Sep.	2.15	2.06	2.12	2.09	1.92	2.19	1.99	2.29	2.12	2.20
PPI 指数	Jul.	2.18	2.71	2.32	2.30	2.26	2.49	2.74	2.67	2.00	2.39
PPI index	Sep.	2.38	2.79	2.37	2.41	2.24	2.54	2.24	2.58	2.00	2.37
PPI/MI 值	Jul.	1.12	1.40	1.29	1.16	1.14	1.17	1.41	1.25	1.00	1.09
PPI/MI-ratio	Sep.	1.11	1.35	1.12	1.15	1.17	1.16	1.13	1.13	0.94	1.08

MI 指数:7月,南湖长白落叶松林>南湖白桦林>南湖混交林>南湖油松林>净月潭混交林=净月潭杂木林>南湖杨树林>郊区防护林=郊区农田>净月潭长白落叶松林;9月南湖白桦林>南湖长白落叶松林>南湖混交林>郊区农田>净月潭长白落叶松林=南湖油松林>净月潭杂木林>郊区防护林>南湖杨树林>净月潭混交林.各生境 MI 指数只有南湖油松林9月有一定程度的下降.

PPI 指数:7月,南湖杨树林>郊区防护林>南湖白桦林>南湖混交林>南湖长白落叶松林>净月潭长白落叶松林>净月潭杂木林>净月潭混交林>郊区农田>南湖油松林;9月,郊区防护林>南湖白桦林>南湖混交林>郊区农田>南湖长白落叶松林=净月潭长白落叶松林>净月潭杂木林>净月潭混交林=南湖杨树林>南湖油松林.各生境 PPI 指数只有净月潭混交林、南湖杨树林、南湖白桦林和南湖落叶松林有所下降.

PPI/MI 值:7月,南湖杨树林>郊区防护林>净月潭长白落叶松林>南湖白桦林>南湖混交林>净月潭杂木林>净月潭混交林>郊区农田>南湖长白落叶松林>南湖油松林;9月,郊区防护林>净月潭混交林>南湖混交林>净月潭杂木林>南湖杨树林>南湖白桦林>净月潭长白落叶松林>郊区农田>南湖长白落叶松林>南湖油松林.各生境 PPI/MI 值只有净月潭混交林9月有一定的升高.

3.3 线虫群落的相似性

各生境群落组成成分的差异,不仅反映在群落属组成差异方面,也反映在相同属个体密度差异方面. Bray-Curtis 距离指数计算结果表明,有凋落物的生境与没有凋落物的生境差异明显;线虫群落的相似性存在月份变化,有凋落物层和缺凋落物生境的各内部生境间相似性7月普遍高于9月,而二者生境间两两相比,相似性7月低于9月(表7).

表7 长春市不同生境间土壤线虫群落 Bray-Curtis 指数

Table 7 Bray-Curtis index of soil nematodes between different habitats in Changchun City

时间 Item	月份 Month	CJN	CJF	JLS	JZM	JHJ	NHJ	NYL	NBH	NYS	NLS
7	CJF	0.76									
	JLS	0.80	0.47								
	JZM	0.90	0.46	0.55							
	JHJ	0.91	0.49	0.59	0.17						
	NHJ	0.81	0.34	0.46	0.41	0.43					
	NYL	0.75	0.34	0.39	0.52	0.49	0.27				
	NBH	0.60	0.86	0.87	0.94	0.95	0.88	0.85			
	NYS	0.41	0.83	0.84	0.92	0.93	0.85	0.82	0.50		
	NLS	0.68	0.40	0.51	0.61	0.62	0.35	0.32	0.79	0.75	
	9	CJF	0.39								
JLS		0.63	0.46								
JZM		0.73	0.63	0.34							
JHJ		0.69	0.53	0.36	0.33						
NHJ		0.63	0.51	0.43	0.52	0.60					
NYL		0.31	0.33	0.53	0.67	0.61	0.52				
NBH		0.54	0.59	0.77	0.87	0.85	0.77	0.59			
NYS		0.73	0.79	0.89	0.94	0.91	0.90	0.75	0.43		
NLS		0.33	0.31	0.53	0.66	0.65	0.42	0.23	0.56	0.79	

4 讨 论

生物多样性是群落生物组成结构的重要指标,反映群落内物种的多少和生态系统食物网的复杂程度,从而反映各生境间的相似性及差异性.各生境土壤线虫群落的多样性差异,反映了土地利用差异对土壤线虫群落结构的影响.在拥有凋落物层的生境中,线虫属数和个体密度最高,土壤线虫群落拥有较高的多样性和丰富度,环境条件最优越;在缺失凋落物层的生境中,土壤线虫的多样性和丰富度很低,其中受到公园游人活动影响的南湖白桦林和油松林多样性和丰富度都最低,二者甚至较郊区防护林和农田相比环境条件更差,更不适合线虫活动.凋落物层的移除显著减少了土壤线虫群落的多样性,降低土壤线虫群落结构的稳定性.

李辉信等^[16]研究了不同植被恢复方式下红壤线虫的数量特征.结果表明,不同植被下有机物残体归还土壤的数量和质量差异,及其对土壤线虫微生物的影响,是线虫数量分异的主要原因.邓晓保

等^[7]研究西双版纳热带雨林不同土地利用方式对土壤动物(包括线虫)个体数量的影响表明,刀耕火种地与自然林之间土壤动物(包括线虫)个体数量差别最为显著.刀耕火种使地表失去了植被覆盖,改变了土壤表层自然结构,进而不同程度地影响土壤动物的种群结构和个体数量.Yeates 等^[27]认为,森林凋落物层拥有大量的线虫个体,移除森林凋落物层,将导致土壤线虫群落特征的改变.我们有理由认为,提高生境线虫个体密度和多样性的关键之一是保持生境凋落物层.无论是天然林还是人工林,无论保育时间长短,只要适当保存生境凋落物层的数量和厚度,保护土壤线虫生存的微环境,就能一定程度上达到保护土壤线虫群落多样性的目的.地表植被类型等因素对土壤线虫群落多样性的变化影响不大^[20].

长春市土壤线虫群落植物寄生属共计 9 属,占总捕获线虫个体数的 46.72%;食真菌属 2 属,占总捕获个体数的 35.81%;食细菌属和捕食属/杂食属捕获个体较少,分别为 7 属和 9 属,分别占总捕获个体数的 14.14% 和 3.34%.上述结果表明,植物寄生属和食真菌属是长春市土壤线虫的主体,与欧洲的研究结果有一定的差异.在欧洲,食细菌属一般是森林生境土壤线虫群落的优势属^[28].Matlack^[20]在研究美国密西西比森林土壤线虫群落特征时发现,在森林中不同的采样地貌位置,土壤线虫功能属特征不同.在距离溪流等水源近的林地土壤中,植物寄生属个体密度高;在林下调落物多的生境中,食真菌属个体密度高.Goralczyk^[12]也发现,在林下调落物厚且凋落物层含水量高的生境中线虫食真菌属个体密度高.净月潭国家森林公园和南湖公园采样地距净月潭和南湖两个水源地较近,而且林下调落物层较厚,这可能是土壤线虫植物寄生属和食真菌属个体密度高的原因.

MI 指数和 PPI 指数最早由 Bongers 提出,反映土壤线虫群落功能结构特征,用以评价人类干扰活动对土壤线虫群落的影响,衡量土壤生态系统物质循环和能量流动状态^[2].后来等 Yeates 等^[28]又提出了 $\sum MI$ 指数.PPI/MI 值是 Bongers 等^[5]1997 年提出的.他认为,农耕和施肥会使土壤线虫群落 PPI/MI 值升高;未受扰动的自然环境的土壤线虫群落 PPI/MI 值将低于耕作土壤;在一定条件下 PPI/MI 值反映土壤生态系统对外界干扰恢复程度,可能更敏感.表 6 数据表明,MI 指数、PPI 指数、 $\sum MI$ 指数和 PPI/MI 值存在生境间变化和季节波动,与长春市不同土地利用方式间未表现出明

显相关性,尤其是郊区农田和南湖油松林并不是 PPI/MI 值高于其他未受扰动的环境,而是低于上述环境.植物寄生属和食真菌属个体数在长春市净月潭国家森林公园和南湖公园各生境的增加,使土壤线虫群落 MI 指数、PPI 指数、 $\sum MI$ 指数和 PPI/MI 值发生变化,也可能对土壤线虫功能属指数产生了影响.上述分析表明,在用土壤线虫功能属指数对比分析人类干扰活动对土壤线虫群落的影响时,对采样环境要进行充分的考虑.

属数、个体密度、群落多样性、丰富度和均匀度是评价土壤动物群落结构变化的量化指标.上述不同指数组成的指标,能够一定程度上反映群落环境的质量状况,可以用来评价土壤质量^[15].利用土壤线虫个体密度、群落多样性和丰富度,可以反映有凋落物与缺失凋落物生境的显著差异,并可以进一步反映郊区农田、防护林、南湖白桦林和油松林之间的差异,说明土壤线虫作为土壤质量评价指标能够反映长春市土地利用差异对土壤环境产生的影响.

参考文献

- 1 Berkelmans R, Ferris H, Tenuta M. 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Appl Soil Ecol*, **23**: 223~235
- 2 Bongers T. 1990. The maturity index: An ecological measure of environment disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, **83**: 14~19
- 3 Bongers T, Bongers M. 1998. Functional diversity of nematodes. *Appl Soil Ecol*, **10**: 239~251
- 4 Bongers T, de Goede RGM, Korthals G, et al. 1995. Proposed changes of c-p classification for nematodes. *Russ J Nematol*, **3**: 61~62
- 5 Bongers T, van der Meulen H, Korthals G. 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Appl Soil Ecol*, **6**: 195~199
- 6 Chen P(陈鹏). 1983. Sampling methods of soil animals. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **2**(2): 46~51 (in Chinese)
- 7 Deng X-B(邓晓保), Zou S-Q(邹寿青), Fu X-H(付先惠), et al. 2003. The impacts of land use practices on the communities of soil fauna in the Xishuangbanna rainforest, Yunnan, China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **23**(1): 130~138 (in Chinese)
- 8 Ekschmitt K, Bakony G, Bongers M. 2001. Nematode community structure as indicator of soil functioning in European grassland soils. *Eur J Soil Biol*, **37**: 263~268
- 9 Ferris H, Venette RC, Scow KM. 2004. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. *Appl Soil Ecol*, **25**: 19~35
- 10 Freckman DW, Eitema CH. 1993. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. *Agric Ecosyst Environ*, **45**: 239~261
- 11 Fu SL, Coleman DC, Hendrix PF. 2000. Responses of trophic groups of soil nematodes to residue application under conventional tillage and no-till regimes. *Soil Biol Biochem*, **32**: 1731~1741
- 12 Goralczyk K. 1998. Nematodes in a coastal dune succession: Indicators of soil properties? *Appl Soil Ecol*, **9**: 465~469
- 13 Imaz A, Hernández MA, Ariño AH, et al. 2002. Diversity of soil nematodes across a Mediterranean ecotone. *Appl Soil Ecol*, **20**: 191~198

- 14 Kandji ST, Ogol C, Albrecht A. 2001. Diversity of plant-parasitic nematodes and their relationships with some soil physico-chemical characteristics in improved fallows in western Kenya. *Appl Soil Ecol*, **18**:143~157
- 15 Ke X(柯欣), Liang W-Y(梁文举), Yu W-T(宇万太), et al. 2004. Community structure and seasonal change of soil microarthropods in the Lower Reaches of Liaohe River Plain under different land utilization. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **15**(4):600~604(in Chinese)
- 16 Li H-X(李辉信), Liu M-Q(刘满强), Hu F(胡锋), et al. 2002. Nematode abundance under different vegetations restored on degraded red soil. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **22**(11):1882~1889(in Chinese)
- 17 Liang W-J(梁文举), Zhang W-M(张万民), Li W-G(李维光), et al. 2001. Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the black soil region. *Biodiver Sci*(生物多样性), **9**(3):237~240(in Chinese)
- 18 Liang WJ, Lavian I, Steinberger Y. 1999. Dynamics of nematode community composition in a potato field. *Pedobiologia*, **43**:459~469
- 19 Liang WJ, Lavian I, Steinberger Y. 2001. Effect of agricultural management on nematode communities in a Mediterranean agroecosystem. *J Nematol*, **33**(4):208~213
- 20 Matlack GR. 2001. Factors determining the distribution of soil nematodes in a commercial forest landscape. *For Ecol Manage*, **146**:129~143
- 21 Meng FX, Liang WJ, Ou W, et al. 2005. Vertical distribution of plant nematodes in an aquic brown soil under different land uses. *J For Res*, **16**(1):39~42
- 22 Ou W, Liang WJ, Jiang Y, et al. 2005. Vertical distribution of soil nematodes under different land use types in an aquic brown soil. *Pedobiologia*, **49**(2):139~148
- 23 Pflug A, Wolters V. 2002. Collembola communities along a European transect. *Eur J Soil Biol*, **38**:301~304
- 24 Porazinska DL, Duncan LW, McSorley R, et al. 1999. Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Appl Soil Ecol*, **13**:69~86
- 25 Schloter M, Dilly O, Munch JC. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agric Ecosyst Environ*, **98**:255~262
- 26 Urzelai A, Hernandez AJ, Pastor J. 2000. Biotic indices based on soil nematode communities for assessing soil quality in terrestrial ecosystems. *Sci Total Environ*, **247**:253~261
- 27 Yeates GW, Bird AF. 1994. Some observations on the influence of agricultural practices on the nematode faunas of some South Australian soils. *Fund Appl Nematol*, **17**:133~145
- 28 Yeates GW, Bongers T. 1999. Nematode diversity in agroecosystems. *Agric Ecosyst Environ*, **74**:113~135
- 29 Yin X-Q(殷秀琴), Wu D-H(吴东辉), Han X-M(韩晓梅). 2003. Diversity of soil animals community in Xiao Hinggan Mountains. *Sci Geogr Sin*(地理科学), **23**(3):316~322(in Chinese)
- 30 Yin W-Y(尹文英). 1998. Pictorial Keys to Soil Animals of China. Beijing: Science Press. 51~89(in Chinese)
- 31 Zhang Y-Z(张荣祖), Chen P(陈鹏), Yang M-X(杨明宪), et al. 1980. Soil animals primary investigation of forest ecosystem in northern slope of Changbai Mountain. *Res For Ecosyst*(森林生态系统研究), **1**:133~152(in Chinese)

作者简介 吴东辉,男,1971生,博士.主要从事土壤动物生态学研究,发表论文10篇. Tel: 0431-7623736; E-mail: wudhyang@yahoo.com.cn

责任编辑 肖红
