

长白山次生林演替过程中土壤线虫群落结构特点

佟富春¹, 肖以华², 王庆礼³

(1 华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642; 2 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520;

3 中国科学院 沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:对长白山白河局不同演替阶段次生林土壤线虫的组成进行了比较. 结果表明:捕获的9 885头线虫分别隶属于线虫动物门2纲8目30科68属,各演替阶段次生林土壤线虫属数及Shannon-Wiener指数(H')由多到少依次为220年林龄(V) > 130年林龄(IV) > 85年林龄(III) > 12年林龄(I) > 25年林龄(II). 其中绕线属 *Plectus*、小杆属 *Rhabditis*、似绕线属 *Anaplectus*、滑刃属 *Aphelenchoides* 和伪垫刃属 *Nothotylenchus* 为优势属,优势属线虫主要分布在枯枝落叶层. 土壤线虫总数和营养类群在不同土壤深度中差异显著($P < 0.01$):枯枝落叶层 > 0~5 cm 土层 > 5~10 cm 土层 > 10~20 cm 土层;食真菌类群数量与食细菌类群数量之和与植物寄生类群数量之比(I_w)以及线虫成熟指数(I_m)在不同土壤深度也存在明显差异($P < 0.01$). 在不同土壤深度和不同植被群落中,丰富度最大的是食细菌类群线虫.

关键词:土壤线虫; 群落结构; 次生演替; 长白山

中图分类号:Q958.1

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2009)03-0063-06

Effects of Succession Process of Secondary Forestry on Characteristics of Soil Nematode Communities in Changbai Mountain

TONG Fu-chun¹, XIAO Yi-hua², WANG Qing-li³

(1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Research Institute of Tropical Forest, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China;

3 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract: The soil nematodes in Baihe, Changbai Mountain, were surveyed to research the response of soil nematode communities to serial stages of secondary-vegetation. The results indicated that a total of 9 885 nematode individuals were collected, belonging to 2 classes, 8 orders, 30 families and 68 genera. The nematode numbers and Shannon-Wiener index in response to different serial stages of the vegetation were ranked as follows: 220-aged forest (V) > 130-aged forest (IV) > 85-aged forest (III) > 12-aged forest (I) > 25-aged forest (II). The dominant genera were *Plectus*, *Rhabditis*, *Anaplectus*, *Aphelenchoides* and *Nothotylenchus*, and they were mostly distributed in litterfall. It was resulted that the number of soil nematode and trophic groups were varied significantly ($P < 0.01$) in response to different soil depth and were ranked as follows: litterfall > 0–5 cm soil layer > 5–10 cm soil layer > 10–20 cm soil layer, while the ratio of amount between plant parasites and the sum of bacterivores and fungivores was varied significantly ($P < 0.01$) to different soil depth, and the maturity index of soil nematodes as well. The species richness of fungivorous nematodes was higher than others in different vegetation communities and soil.

Key words: soil nematode; community structure; seral stage of secondary-vegetation; Changbai Mountain

收稿日期:2008-10-10

作者简介:佟富春(1973—),女,满族,讲师,博士;通讯作者:王庆礼(1954—),男,研究员,博士,E-mail: wql2@mail.syb.ac.cn

基金项目:国家自然科学基金(30170744,70373044);国家科技计划项目(2002BA516A20)

在森林凋落物和土壤中,生活有丰富的土壤动物,它们是构成森林生态系统的重要组成部分^[1],它们对森林土壤质量、生物小循环过程乃至植被的演替和恢复具有重要的功能性作用^[2-3],而这些功能性作用又与土壤动物的组成及变化密切相关^[4-5].关于森林植被与土壤动物群落关系方面的研究国内外已有一些报道^[6-8],如土壤动物在不同类型森林植被下的分布及群落的组成^[3,9-10]、土壤线虫群落在受到各种人为干扰后的变化^[7,11-15]、以及随人工林发育而产生的次生演替等^[16-17],但上述工作多在热带、亚热带开展,温带、中温带仅见黑龙江省凉水、帽儿山和吉林省松嫩草原等作过研究^[18-19],本文对长白山白河局5种不同林龄次生林中土壤线虫群落的组成、分布特征及多样性状况进行取样调查和初步分析,为管理、保护和恢复温带森林生物多样性积累相关数据.

1 研究地区与研究方法

1.1 样地概况

长白山地区靠近太平洋的东亚沿海,属于典型的大陆性季风气候,冬季漫长,春、秋季短,夏季气温较高,降水充沛,70%~80%集中于生长期,水热同期.降水量和湿润程度由低海拔向高海拔的变化有逐渐增加趋势.所调查的I、II、III、IV、V5块样地面积和海拔分别为600 m²和750 m,5块样地的坡度和坡向一致,土壤类型均为暗棕色森林土,林龄依次为12、25、85、130和220年.其中II、III、IV3块样地,在1982年经中度抚育(采伐强度15%~25%),因而是得到良好保护和经过一定抚育干扰的次生林类型,样地I与样地III紧邻,是样地III采伐形成的大林窗,样地V是自然保护区内的原始林.

1.2 研究方法

土样的采集工作于2001—2002年完成.每一林龄样地各选取4个10 m×10 m的样地,每个样地随机设置5个样方,每样方面积20 cm×20 cm,各样方分枯枝落叶层及0~5、5~10和10~20 cm共4层取样.土样在分离前装在塑料袋里,4℃冰箱中保存.

从每个土样取土20 g左右,用于测定土壤含水率,取100 g土用漂浮-离心法分离土壤线虫.通过Olympus显微镜下观察,对线虫进行科、属和种的分类,并统计数量,根据土壤含水率计算出100 g干土中的线虫数量,再根据食性或消化道类型将线虫分为4大营养类群:食细菌类群(BF)、食真菌类群(FF)、植物寄生类群(PP)、捕食-杂食类群(OP)^[20].

各类群数量优势度的划分:个体数占总捕获量10%以上者为优势类群,个体数占总捕获量1%~10%为常见类群,个体数占总捕获量1%以下为稀有类群^[21].

对土壤线虫群落结构用如下指标进行分析:(1)每100 g干土中线虫的绝对丰富度;(2)每一营养类群的绝对数量;(3)6种生态学因子:(a)食真菌类群数量/食细菌类群数量(FF/BF);(b)食真菌类群数量与食细菌类群数量之和与植物寄生类群数量之比(I_w),即 $I_w = (FF + BF)/PP$;(c)营养类群的多样性(D_i), $D_i = 1/\sum P_i^2$, P_i 为土壤线虫群落非植物寄生性及植物寄生性土壤线虫第*i*类群的个体数占群落总个体数的比例;(d)Simpson指数(I_s), $I_s = 1 - \sum P_i^2$;(e)Shannon-Wiener指数(H'), $H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$, s 为土壤线虫群落所有线虫类群数;(f)线虫成熟指数(I_m), $I_m = \sum_{i=1}^n C_{P_i} \cdot P_i$, C_{P_i} 为非植物寄生性及植物寄生性土壤线虫第*i*类群 Colonizer-persister 值; n 为非植物寄生性及植物寄生性土壤线虫类群数^[19].

全部数据用SPSS 12.0软件进行分析.

2 结果与分析

2.1 土壤线虫群落组成

研究期间在5种不同林龄的样地中共鉴定到线虫9885头,分别隶属于2纲8目30科68属.其中林龄为220年的原始林线虫属的数量最多,为51属,其次为130年林龄样地.各样地线虫属数由多到少的次序为V>IV>II>I>III.在各个林龄样地中优势属、常见属和稀有属情况见表1.由表1可知,调查的5块样地中食细菌类群为优势类群.

2.2 土壤线虫优势属

比较线虫优势属在5块样地土层中分布的结果见表2,绕线属为25、85和220年林龄样地的优势属,枯枝落叶层中个体数占总数的比例分别为84.6%、90.3%和83.1%;小杆属为12和25年林龄样地的优势属,枯枝落叶层中个体数占总数的比例分别为89.1%和97.0%;似绕线属为85和130年林龄样地的优势属,枯枝落叶层中个体数占总数的比例分别为85.0%和91.7%;滑刃属为12、25、85和130年林龄样地的优势属,枯枝落叶层中个体数占总数的比例分别为91.6%、90.0%、83.0%和83.1%;伪垫刃属为85年林龄样地的优势属,枯枝落叶层中个体数占总数的比例为94.9%.可见,各样地的优势属均出现在枯枝落叶层中.

表 1 不同林龄样地的土壤线虫群落组成

Tab. 1 Composition of soil nematode community in the forests with different ages

土壤线虫属名	营养类群 ¹⁾	C _p 值 ²⁾	I		II		III		IV		V	
			个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾	个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾	个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾	个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾	个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾
绕线属 <i>Plectus</i>	BF	2	60	++	195	+++	270	+++	150	++	200	+++
盆咽属 <i>Panagrolaimus</i>	BF	1	15	+	15	+	0		15	+	15	+
哈利头叶属 <i>Halicephalobus</i>	BF	2	0		15	+	15	+	0		0	
拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>	BF	2	0		0		0		15	+	30	++
丽突属 <i>Acrobeles</i>	BF	2	15	+	0		0		0		15	+
头叶属 <i>Cephalobus</i>	BF	2	15	+	15	+	15	+	30	++	45	++
真头叶属 <i>Eucephalobus</i>	BF	2	0		15	+	0		15	+	75	++
张伯赛线虫属 <i>Chambersiella</i>	BF	1	0		0		0		0		15	+
扭钩属 <i>Plectonchus</i>	BF	1	0		0		0		0		15	+
鹿角唇属 <i>Cervidellus</i>	BF	2	30	++	30	++	30	++	30	++	106	++
瓣唇属 <i>Panagrobelus</i>	BF	1	0		0		15	+	15	+	45	++
小杆属 <i>Rhabditis</i>	BF	1	510	+++	240	+++	195	++	30	++	15	+
广杆属 <i>Caenorhabditis</i>	BF	1	60	++	15	+	45	++	15	+	0	
明杆属 <i>Rhabditophanes</i>	BF	1	0		15	+	0		0		0	
无咽属 <i>Alaimus</i>	BF	4	15	+	15	+	15	+	15	+	15	+
齿咽属 <i>Odontopharynx</i>	BF	1	0		0		0		0		15	+
短腔属 <i>Brevibucca</i>	BF	2	0		0		0		0		15	+
伪双胃属 <i>Pseudodiplogasteroides</i>	BF	1	0		0		15	+	0		15	+
似绕线属 <i>Anaplectus</i>	BF	2	105	++	165	++	225	+++	180	+++	102	++
威尔斯属 <i>Wilsonama</i>	BF	2	15	+	15	+	15	+	15	+	30	++
棱咽属 <i>Prismatolaimus</i>	BF	2	75	++	60	++	135	++	105	++	75	++
角绕线属 <i>Ceratoplectus</i>	BF	2	15	+	15	+	15	+	15	+	15	+
无齿属 <i>Anonchus</i>	BF	2	0		0		30	++	15	+	0	
滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	FF	2	300	+++	270	+++	300	+++	465	+++	162	++
真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	FF	2	15	+	0		15	+	15	+	15	+
茎属 <i>Ditulenchus</i>	FF	2	0		0		30	++	0		0	
垫咽属 <i>Tylencholaimus</i>	FF	4	0		0		0		15	+	15	+
短矛属 <i>Oriverutus</i>	FF	4	0		0		0		0		15	+
垫刃属 <i>Tylenchus</i>	PP	2	135	++	60	++	105	++	60	++	15	+
环属 <i>Criconema</i>	PP	3	0		0		0		15	+	15	+
针属 <i>Paratylenchus</i>	PP	2	60	++	75	++	60	++	60	++	30	++
矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	PP	3	15	+	30	++	0		0		0	
半轮属 <i>Hemicriconemoides</i>	PP	3	0		0		0		0		15	+
短体属 <i>Pratylenchus</i>	PP	3	0		0		0		15	+	90	++
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	PP	3	0		15	+	30	++	30	++	60	++
盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	PP	3	30	++	60	++	30	++	15	+	15	+
穿孔属 <i>Radopholus</i>	PP	3	0		0		0		0		90	++
轮属 <i>Criconrmoides</i>	PP	3	0		15	+	0		15	+	45	++
裸矛属 <i>Psilenchus</i>	PP	2	15	+	0		0		15	+	75	++
伪垫刃属 <i>Nothotylenchus</i>	PP	2	15	+	15	+	225	+++	15	+	15	+
头垫刃属 <i>Cephalenchus</i>	PP	3	0		150	++	15	+	15	+	30	++
鞘属 <i>Hemicycliophora</i>	PP	3	15	+	15	+	15	+	15	+	0	
长针属 <i>Longidorus</i>	PP	5	0		0		0		15	+	30	++
剑属 <i>Xiphinema</i>	PP	5	0		15	+	0		0		15	+
毛刺属 <i>Trichodorus</i>	PP	4	15	+	15	+	15	+	15	+	30	++
狭咽属 <i>Discolaimium</i>	OP	5	0		0		0		15	+	15	+
伊龙属 <i>Ironus</i>	OP	5	15	+	15	+	0		15	+	0	
三孔属 <i>Tripyla</i>	OP	3	75	++	15	+	45	++	30	++	30	++

续表 1 Continuation of tab. 1

土壤线虫属名	营养类群 ¹⁾	C _p 值 ²⁾	I		II		III		IV		V	
			个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾	个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾	个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾	个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾	个体数 ³⁾	优势度 ⁴⁾
色矛属 <i>Chromadorita</i>	OP	3	0		0		0		15	+	45	++
矛线属 <i>Dorylaimus</i>	OP	4	30	++	30	++	60	++	15	+	60	++
基齿属 <i>Iotonchus</i>	OP	4	60	++	30	++	15	+	45	++	45	++
异色矛属 <i>Achromadora</i>	OP	3	15	+	0		15	+	15	+	0	
真矛线属 <i>Eudorylaimus</i>	OP	4	30	++	15	+	30	++	30	++	0	
螯属 <i>Pungentus</i>	OP	4	15	+	0		0		15	+	15	+
前矛线属 <i>Prodorylaimus</i>	OP	4	30	++	15	+	15	+	15	+	0	
托布利属 <i>Tobrilus</i>	OP	3	15	+	15	+	0		0		30	++
中矛线属 <i>Mesodorylaimus</i>	OP	5	15	+	0		15	+	15	+	0	
拟杯咽属 <i>Paracyatholaimus</i>	OP	3	30	++	30	++	75	++	15	+	15	+
单色矛属 <i>Monochromadora</i>	OP	3	0		0		0		0		15	+
孔咽属 <i>Aporcelaimus</i>	OP	5	0		0		0		0		15	+
单齿属 <i>Mononchus</i>	OP	4	15	+	15	+	15	+	15	+	15	+
锯齿属 <i>Prionchulus</i>	OP	4	0		15	+	0		15	+	0	
高杯侧属 <i>Amphidelus</i>	OP	4	15	+	15	+	15	+	15	+	15	+
膜皮属 <i>Diphtherophoridae</i>	OP	3	15	+	0		0		0		0	
原色矛属 <i>Prochromadora</i>	OP	3	0		0		0		15	+	0	
等齿属 <i>Miconchus</i>	OP	4	15	+	15	+	0		15	+	0	
真单宫属 <i>Eumonhystera</i>	OP	2	45	++	60	++	60	++	75	++	15	+
原细齿属 <i>Proleptonchus</i>	OP	4	0		0		15	+	0		0	
合计			1 980		1 845		2 250		1 845		1 965	

1)BF 为食细菌类群,FF 为食真菌类群,PP 为植物寄生类群,OP 为捕食-杂食类群;2)C_p 为非植物寄生性及植物寄生性土壤线虫所属类群的 Colonizer-persister 值;3)为每 100 g 干土中的线虫数量/头;4)+++、++ 和 + 分别代表优势类群、常见类群和稀有类群

表 2 5 块样地线虫优势属在枯枝落叶及各土层中的数量分布 ¹⁾							头
Tab.2 Abundance of dominant genera under five locations, sampling date and soil depth							
优势属	土层	I	II	III	IV	V	
绕线属	枯枝落叶层	26 ± 8	168 ± 31	236 ± 53	136 ± 22	160 ± 53	
	0 ~ 5 cm	14 ± 3	15 ± 7	17 ± 6	7 ± 2	18 ± 7	
	5 ~ 10 cm	12 ± 7	8 ± 3	13 ± 4	4 ± 2	14 ± 3	
	10 ~ 20 cm	8 ± 2	4 ± 1	4 ± 1	3 ± 1	8 ± 3	
小杆属	枯枝落叶层	468 ± 55	229 ± 17	178 ± 42	22 ± 9	15 ± 6	
	0 ~ 5 cm	24 ± 11	0	0	0	0	
	5 ~ 10 cm	15 ± 4	9 ± 3	17 ± 13	8 ± 4	0	
	10 ~ 20 cm	3 ± 1	2 ± 1	0	0	0	
似绕线属	枯枝落叶层	90 ± 32	131 ± 15	197 ± 26	162 ± 15	93 ± 8	
	0 ~ 5 cm	7 ± 2	22 ± 7	12 ± 4	5 ± 2	5 ± 2	
	5 ~ 10 cm	6 ± 3	9 ± 4	12 ± 3	5 ± 2	2 ± 1	
	10 ~ 20 cm	2 ± 1	3 ± 1	4 ± 1	8 ± 4	2 ± 1	
滑刃属	枯枝落叶层	279 ± 36	244 ± 31	243 ± 28	371 ± 60	129 ± 18	
	0 ~ 5 cm	13 ± 11	15 ± 6	33 ± 12	64 ± 21	17 ± 6	
	5 ~ 10 cm	4 ± 2	6 ± 3	12 ± 6	13 ± 7	5 ± 2	
	10 ~ 20 cm	4 ± 2	5 ± 1	12 ± 7	17 ± 8	11 ± 4	
伪垫刃属	枯枝落叶层	0	7 ± 3	211 ± 49	0	10 ± 4	
	0 ~ 5 cm	5 ± 2	3 ± 1	0	15 ± 7	0	
	5 ~ 10 cm	5 ± 2	3 ± 1	9 ± 4	0	0	
	10 ~ 20 cm	5 ± 2	2 ± 1	5 ± 3	0	5 ± 3	

1)表中数据为每 100 g 干土中的线虫数量

2.3 土壤线虫总数及生态因子间的差异分析

食细菌类群、食真菌类群、植物寄生类群、捕食-杂食类群在每 100 g 干土中的平均最高个体数量分别为 510、465、225 及 75 头,不同的土层土壤线虫类群间差异是显著的 ($P < 0.01$); D_i 最大值和最小值分别出现在 85 年林龄的 10~20 cm 土层及 12 年林龄的枯枝落叶层,但土层深度间的差异不显著; I_s 平均值在不同土壤层间变化不明显; H' 在 4 个土壤层的差异不明显; I_m 在不同土层中差异显著 ($P < 0.01$) (表 3)。

表 3 5 块样地、4 个土层深度、土壤线虫总数及生态因子间的方差分析

Tab. 3 Univariate analysis of variance (ANOVA) for soil depth, total soil nematodes and ecological indexes across the four depths at the five locations

变量	土层深度		样地	
	F	P	F	P
土壤线虫总数	12.710	0.000	1.550	ns ¹⁾
食细菌类群线虫数量	80.136	0.000	0.317	ns
食真菌类群线虫数量	44.449	0.000	0.525	ns
植物寄生类群线虫数量	5.492	0.002	1.015	ns
捕食-杂食类群线虫数量	8.440	0.000	1.408	ns
FF/BF	1.107	ns	1.641	ns
I_w	5.526	0.002	1.258	ns
D_i	1.501	ns	0.488	ns
I_s	1.286	ns	0.637	ns
H'	0.836	ns	0.896	ns
I_m	71.704	0.000	0.298	ns

1) ns 表示差异不显著 ($P > 0.05$)

3 讨论

各功能类群的土壤动物在一定程度上反映了环境的质量,5 块样地土壤线虫群落大致变化趋势是从演替初期经过渡期到稳定期逐渐趋于稳定,原因可能与地上植被的演替有关,因为植被演替初期的 70 年,由于光照充足,迹地上主要更新树种为杨、桦等阳性林木,同时,杨、桦林林冠下也逐渐有一些中性和耐阴性阔叶树种及红松 *Pinus koraiensis*、云杉 *Picea asperata*、冷杉 *Abies fabri* 幼苗更新,并在 30~40 年时林分生物量达到鼎盛时期。12、25 年次生林正处于这一时期,在此期间,土壤线虫类群和数量均在迅速增加。70~100 年期间,迹地约 70 年时林分中杨、桦树种逐渐不占优势,一些中性和耐阴性树种逐渐进入林冠上层,此时,林分中没有一个树种占优势。这一阶段维持的时间较短,当林分发展到约 100 年时,

杨、桦树急剧衰退,林分逐渐由中性和耐阴性阔叶树种占优势。另外,在此阶段中红松、云杉和冷杉逐渐生长成幼树。85 年林地的土壤动物正处在这一期间,土壤线虫类群及数量开始下降。迹地在 100~200 年后,土壤线虫群落的组成和数量较为稳定,此时耐阴性阔叶树逐渐占优势,后期由于阔叶树逐渐衰老,林冠下更新的红松等针叶树逐渐进入林冠层(林冠下同时发生阔叶树)。迹地演替到 200 年后,林分开始进入一种长期稳定发展的状态,林分内红松占优势,并伴生部分阔叶树种和少量的云杉和冷杉。此时土壤线虫群落的组成和数量较为稳定^[22]。

所发现的线虫隶属于 68 个属,多于以往对长白山针阔混交林的报道^[21],其中 220 年原始林的线虫属的数量最高,为 51 属,各样地属数由多到少的次序为 V > IV > II > I > III。同样,5 块样地土壤线虫的平均数量亦多于王邵军等^[16]对闽北针阔混交林的报道。优势属绕线属、小杆属、似绕线属、滑刃属和伪垫刃属均大部分集中在枯枝落叶层,这可能与该层孔隙度、含水率、有机质等因素有关,但大部分研究很少涉及枯枝落叶层的讨论,枯枝落叶组成接近土壤,而又有别于土壤,因此,本研究认为枯枝落叶层的微域环境及对土壤动物的影响有待深入研究。此外,不同林龄阶段线虫优势属表现出一定的差异,如 220 年林龄样地只有一个优势属,85 年林龄样地优势属最多,这种现象可能与不同演替阶段凋落物种类以及土壤食物网结构有关。

FF/BF 能明显指示物质分解的路径^[23],FF/BF 在 5 块样地及 4 个土壤深度间的变化均不显著。本次调查中 FF/BF = 0.41 低于对草原生态系统的报道 (FF/BF = 0.45)^[24]; I_w 在 4 个土壤层中变化显著,但在 5 块样地间差异不显著, I_w 平均值为 3.33,接近波兰东北部 $I_w = 1.60 \sim 8.70$ 的报道^[18]; 调查期间 D_i 为 2.77,低于对耕地 $D_i = 2.94 \sim 3.14$ 的报道,该值清晰地反映出生态系统间的差异^[25],但本研究中 D_i 在 5 块样地及 4 个土壤深度间的变化均不显著。

H' 由大到小顺序为 V > IV > II > I > III, I_s 为 0.625,高于王邵军等^[16]的 $I_s = 0.137$ 的报道。 H' 包含 2 个因素:种群数目,即丰富度;种群中个体分配上的平均性或均匀性。本研究中的 $H' = 1.11$,低于闽北针阔混交林的报道^[16]。 I_m 用以反映土壤线虫群落功能结构特征,在不同土层中差异显著 ($P < 0.01$),本研究中 $I_m = 0.028$,低于闽北针阔混交林的研究结果^[16]。分析其差异原因,可能与研究地点所处的地理位置有关。

在各个不同演替阶段,土壤线虫总数和营养类群(尤其是优势类群)在不同土壤深度中差异显著($P < 0.01$):枯枝落叶层 $> 0 \sim 5$ cm 土层 $> 5 \sim 10$ cm 土层 $> 10 \sim 20$ cm 土层;并且各样地的优势属均出现在枯枝落叶层中,其“表聚”特点与前人的研究结果^[9]相一致。

总之,不同的演替阶段植被类型有所变化,植被的差异可能影响到线虫的食物来源,从而影响土壤线虫的群落结构。土壤含水率能明显影响到土壤线虫的密度,而随着演替的进行,土壤线虫属数和 H' 的变化均与植被演替进程相一致,其中,样地 I 的情况优于样地 III,可能与样地 I 是样地 III 采伐形成的大林窗有直接关系,因此,由不同演替阶段植被类型所引起的线虫群落和组成方面的变化不仅能体现生态系统恢复过程中能量流动、物质循环的变化,还可以作为衡量植被恢复的一个重要生物学指标。

参考文献:

- [1] CHEMINI C, RIZOLLI A. Land use change and biodiversity conservation in the Alps[J]. *Journal of Mountain Ecology*, 2003, 7(Suppl.): 1-7.
- [2] COPLEY J. Ecology goes underground[J]. *Nature*, 2000, 406: 452-454.
- [3] 王振中, 张友梅. 衡山自然保护区森林土壤动物群落研究[J]. *地理学报*, 1989, 44(3): 205-213.
- [4] KREUZER K, BONKOWSKI M, LANGE R, et al. Decomposer animals (Lumbricidae, Collembola) and organic matter distribution affect the performance of *Lolium perenne* (Poaceae) and *Trifolium repens* (Fabaceae)[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36: 2005-2011.
- [5] YEATES G W. How plant affect nematodes[J]. *Advances in Ecological Research*, 1987, 17: 63-113.
- [6] FERRIS H, VENETTE R C, SCOW K M. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function[J]. *Applied Soil Ecology*, 2004, 25: 19-35.
- [7] 李辉信, 刘满强, 胡锋, 等. 不同植被恢复方式下红壤线虫数量特征[J]. *生态学报*, 2002, 22(11): 1882-1889.
- [8] WASILEWSKA L. Changes in the structure of the soil nematode community over long-term secondary grassland succession in drained fen peat[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 32: 165-179.
- [9] 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究[J]. *生态学报*, 1997, 17(5): 549-555.
- [10] 王广力, 王勇, 韩立亮, 等. 洞庭湖区不同土地利用方式下的土壤动物群落结构[J]. *生态学报*, 2005, 25(10): 2629-2636.
- [11] 华建峰, 姜勇, 梁文举. 植被覆盖对土壤线虫营养类群空间分布的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(2): 295-299.
- [12] 李琪, 梁文举, 欧伟. 潮棕壤线虫群落对土地利用方式的响应[J]. *生物多样性*, 2007, 15(2): 172-179.
- [13] OU Wei, LIANG Wen-ju, JIANG Yong, et al. Vertical distribution of soil nematodes under different land use types in an aquatic brown soil[J]. *Pedobiologia*, 2005, 49: 139-148.
- [14] PANESAR T S, MARSHALL V G, BARCLAY H J. Abundance and diversity of soil nematodes in chronosequences of coastal Douglas-fir forests on Vancouver Island, British Columbia[J]. *Pedobiologia*, 2001, 45: 193-212.
- [15] 吴东辉, 尹文英, 陈鹏. 刈割活动对松嫩草原碱化羊草草地土壤线虫群落的影响[J]. *生物多样性*, 2007, 15(2): 180-187.
- [16] 王邵军, 蔡秋锦, 阮宏华. 土壤线虫群落对闽北森林植被恢复的响应[J]. *生物多样性*, 2007, 15(4): 356-364.
- [17] 徐国良, 周国逸, 莫江明. 南亚热带退化植被重建中土壤动物群落变化[J]. *动物学研究*, 2006, 27(1): 23-28.
- [18] 吴东辉, 尹文英, 阎日青. 植被恢复方式对松嫩草原重度退化草地土壤线虫群落特征的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2783-2790.
- [19] YEATES G W, BONGERS T. Nematode diversify in agroecosystems[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, 74: 113-135.
- [20] YEATES G W, BONGERS T, DE GOEDE R G M, et al. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists[J]. *Journal of Nematology*, 1993, 25: 315-331.
- [21] 尹文英. 中国土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [22] 佟富春, 王庆礼, 刘兴双, 等. 长白山次生林演替过程中土壤动物群落的变化[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(9): 1531-1535.
- [23] SOHLENIUS B, SANDOR A. Vertical distribution of nematodes in arable soil under grass (*Festuca pratensis*) and barley (*Hordeum distichum*) [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1987, 3: 19-25.
- [24] WASILEWSKA L. The effect of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities[J]. *Pedobiologia*, 1994, 38: 1-11.
- [25] FRECKMAN D W, ETTEMA C H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1993, 45: 239-261.

【责任编辑 李晓卉】