

长白山春季不同植被类型中土壤线虫的群落结构

佟富春^{1,2}, 肖以华³, 王庆礼²

1. 华南农业大学林学院, 广东 广州 510642; 2. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016;

3. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520

摘要: 2001 年和 2002 年春季, 对长白山白北坡不同海拔的阔叶红松林、红松云冷杉混交林、暗针叶林、岳桦林和高山苔原中土壤线虫进行了研究。结果表明, 5 个样地中共鉴定到线虫 7 684 条, 分别隶属于 2 纲 8 目 27 科 60 属。其中绕线属 *Plectus*, 滑刃属 *Aphelenchoides*, 垫刃属 *Tylenchus*, 小杆属 *Rhabditis*, 盘旋属 *Rotylenchus* 和鹿角唇属 *Cervidellus* 为优势属, 优势属线虫主要分布在枯枝落叶层中。土壤线虫数量与土壤含水量显著相关($r=0.357$; $P<0.01$)。在不同深度和植被群落中丰富度最大的是食细菌类群线虫。土壤线虫总数和营养类群在不同土壤深度中差异显著($P<0.05$); 食真菌类群数量与食细菌类群数量之和与植食类群数量之比(WI)和线虫成熟指数(MI)在不同深度也存在明显差异($P<0.01$)。

关键词: 线虫群落; 植被类型; 春季; 长白山

中图分类号: S154.38⁺6

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 02-0653-05

不同物种沿海拔高度的连续或间断分布, 不仅反映了环境随海拔的变化规律, 同时也反映了物种的生物学、生态学特性、分布状况及对环境的适应性。长白山北坡各海拔植物群落间的物种组成均不尽相同^[1], 牟长城等^[2]曾对长白山溪流河岸带森林木本植物多样性沿海拔梯度分布规律进行过研究, 对动物类群垂直分布特征的调查研究有鸟类^[3-4]、鼠类^[5]、昆虫类^[6]、土壤动物等^[7]。但关于长白山土壤线虫的研究尚无报道, 自然资源的空间分配, 不仅包括具有重要意义的地上动植物部分, 还应包括地下土壤及各土壤生物类群, 很多生物地球化学循环(如C、N转换)过程是在土壤中发生, 受到土壤生物所调控。土壤生物中线虫数量丰富, 营养类群多样, 与土壤生态系统主要生态过程紧密相关^[8], 大多数生物群落的研究都集中在地上植物部分, 对于地下土壤生物方面的报道十分有限^[9]。因此, 对不同海拔森林类型中土壤线虫的研究是有意义的, 本文是在长白山北坡沿着海拔高度进行的调查, 研究土壤线虫的群落结构组成, 为进一步深入研究提供基础数据。

1 研究区域和方法

1.1 研究区域

研究工作集中于长白山北坡海拔550~2 650 m、水平距离约为45 km的坡面上。海拔700 m处年均气温约2.8℃, 表现出典型的暖温带气候, 而山顶年均温只有-7.3℃左右, 表现出复杂多变的近极地气候。降水随海拔的上升表现出明显的增加趋势, 海拔700 m和2600 m年均降水量分别为680

mm和1340 mm, 山顶最多年份曾达1809 mm。野外观测表明, 山下部的阔叶红松林(海拔1100 m以下), 是世界上为数不多的大面积原生针阔混交林, 与同纬度的欧美地区相比, 以其结构复杂、组成独特、生物多样性丰富而著称; 以云杉和冷杉为主要建群种的暗针叶林(海拔1100~1800 m), 具有典型的北方山地森林的特点, 构成了长白山北坡森林植被的主体; 亚高山岳桦林(海拔1800~2000 m), 是一种以单一乔木树种为主的林线植被, 构成独特的亚高山地带森林景观; 长白山高山冻原(海拔200~2600 m), 是我国唯一具有典型北极冻原特征的植被^[10](见表1)。

2.2 研究方法

土样的采集工作于 2001—2002 年完成。每一取样地点分枯枝落叶层、0~5 cm、5~10 cm 和 10~20 cm 四层取样。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。

利用 Olympus 显微镜按科、属和种对线虫进行分类群, 根据食性或消化道类型将线虫分为如下五大营养类群: 食真菌类群、食细菌类群、植食类群、捕食类群、杂食类群^[11-12]。

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(+)^[13]。

土壤线虫群落结构分析利用如下指标: (1)每 100 g 干质量土壤中线虫的绝对丰富度; (2)每一营

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30170744 & 70373044); 国家攻关项目(2002BA516A20)

作者简介: 佟富春 (1973 年生), 女, 博士, 主要从事土壤动物学等方面的研究。E-mail: fuchuntong@scau.edu.cn; fuchuntong@126.com

收稿日期: 2008-12-10

表 1 不同海拔高度的五块样地地理及气候数据
Table 1 Geographic and climatic data of the five sites along the altitude gradient

研究地点	海拔高度/m	经度和纬度	年平均降雨量/mm	年平均温度/℃
1.针阔混交林	762	42°24'05N, 128°05'43E	691.40	2.58
2.红松云冷杉林	1219	42°08'02N, 128°07'44E	810.53	0.27
3.暗针叶林	1659	42°04'14N, 128°03'41E	967.28	-2.29
4.岳桦林	1900	42°03'38N, 128°04'04E	1038.16	-3.31
5.苔原带	2200	42°02'27N, 128°04'08E	1154.34	-4.84

养类群的绝对数量; (3)生态学因子: (a)食真菌类群/食细菌类群 (F/B); (b)食真菌类群与食细菌类群之和与植食类群之比(WI), 即 $WI = (FF+BF)/PP$; (c)营养类群的多样性(TD), $TD = 1/\sum P_i^2$; (d) Simpson 指数(SI), $SI = 1/\sum P_i^2$; (e)Shannon 指数(H'), where $H' = -\sum p_i (\ln p_i)$ 。

全部数据以线虫属的相对丰富度为基础, 运用 Excel 软件进行分析。当 $P < 0.05$ 时, ANOVA 分析认为差异显著。

2 结果与分析

均土壤含水率最高的为高山苔原土壤 0~5 cm 层的 0.625, 最低为暗针叶林的枯枝落叶层的 0.150。土壤含水率在深度上存在显著差异($P < 0.01$): 高山苔原>岳桦林>暗针叶林>红松云冷杉林>针阔混交林; 在地点($P < 0.01$): 0~5 cm>枯枝落叶层>5~10 cm>10~20 cm(图 1)。

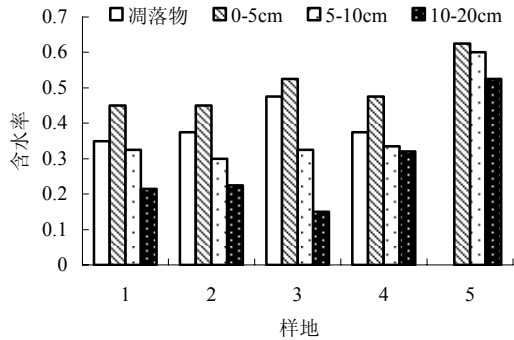


图 1 各样地不同土层土壤的含水率
Fig. 1 Soil moisture across the four depths at the five locations

每 100 g 干质量土壤中线虫数量范围为 144~4637 头, 不同土层深度中土壤线虫数量明显不同 ($P < 0.01$), 由大到小顺序为: 枯枝落叶层>0~5 cm>5~10 cm>10~20 cm(图 2)。土壤线虫数量与土壤含水量显著相关($r = 0.357$; $P < 0.01$)。

研究期间在 5 个样地中共鉴定到线虫 7684 条, 分别隶属于 2 纲 8 目 27 科 60 属。其中, 针阔混交林中土壤线虫属数最多, 为 49 属, 其次为红松云冷杉林样地(37 属)。针阔混交林线虫优势属为绕线

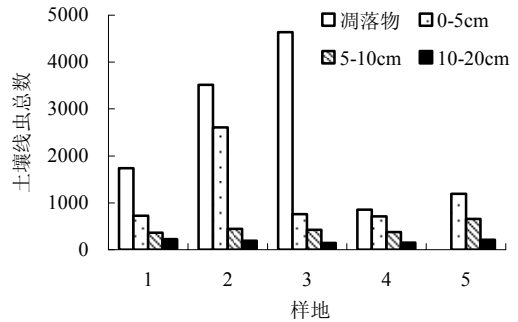


图 2 各样地不同土层土壤线虫总数
Fig. 2 Total number of nematodes across the four depths at the five locations

属; 红松云冷杉林线虫优势属为绕线属、滑刃属和垫刃属; 暗针叶林红松云冷杉林线虫优势属为绕线属和垫刃属; 岳桦林线虫优势属为绕线属、小杆属和盘旋属; 苔原带线虫优势属为鹿角唇属和垫刃属。似绕线属和棱咽属在所有样地均为常见类群, 在各个样地中优势属、常见属和稀有属情况见表 2, 在不同深度和植被群落中的丰富度最大的是食细菌类群线虫。不同土层土壤线虫总数和营养类群间差异是显著的($P < 0.05$)(表 3)。

F/B 在土壤深度和地点之间存在明显差异 ($P < 0.05$)。而食细菌类群+食真菌类群/植食类群值, 即 WI 在不同地点和土层深度也存在显著差异 ($P < 0.05$)。营养多样性指数 TD 地点和土层深度间的差异并不显著。辛普森指数(SI)平均值在 5 个地点间波动较大($P < 0.05$), 但不同土壤层间变化不明显; 香农威纳指数(H')在 5 块地点的 4 个土壤层间波动不大, 在 5 个地点及 4 个土壤层的差异不明显 (表 3)。

五块样地土壤含水率随海拔梯度升高而增加, 土壤含水率在高山苔原最高, 原因是随海拔高度的增加, 降水率也明显增加^[10]。

所发现的线虫隶属于 60 个属, 多于以往对长白山针阔混交林的报道^[13], 同样 5 块样地 100 g 干质量土壤中线虫的平均数量(1027 头)亦多于殷秀琴等对中国东北小兴安岭的凉水自然保护区的报道^[14]。

表 2 不同林龄样地的土壤线虫群落组成¹⁾
Table 2 Composition of soil nematode community in the forests with different ages

土壤线虫属名	营养类群	1.针阔混交林 优势度	2.红松云冷杉林 优势度	3.暗针叶林 优势度	4.岳桦林 优势度	5.苔原带 优势度
绕线属 <i>Plectus</i>	BF	+++	+++	+++	+++	++
盆咽属 <i>Panagrolaimus</i>	BF	+	—	—	—	+
拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>	BF	++	+	—	—	—
丽突属 <i>Acrobeles</i>	BF	+	—	—	—	—
头叶属 <i>Cephalobus</i>	BF	++	++	++	++	+
真头叶属 <i>Eucephalobus</i>	BF	++	—	—	—	—
张伯赛线虫属 <i>Chambersiella</i>	BF	+	—	—	—	+
扭钩属 <i>Plectonchus</i>	BF	+	—	—	—	—
鹿角唇属 <i>Cervidellus</i>	BF	++	++	++	++	+++
瓣唇属 <i>Panagrobelus</i>	BF	++	—	—	—	—
小杆属 <i>Rhabditis</i>	BF	+	++	+	+++	+
广杆属 <i>Caenorhabditis</i>	BF	—	++	++	+	+
无咽属 <i>Alaimus</i>	BF	+	+	+	+	+
齿咽属 <i>Odontopharynx</i>	BF	+	—	—	—	—
短腔属 <i>Brevibucca</i>	BF	+	—	—	—	—
似绕线属 <i>Anaplectus</i>	BF	++	++	++	++	++
威尔斯属 <i>Wilsonama</i>	BF	++	++	++	+	—
棱咽属 <i>Prismatolaimus</i>	BF	++	++	++	++	++
角绕线属 <i>Ceratoplectus</i>	BF	+	+	+	—	+
滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	FF	++	+++	++	++	++
真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	FF	+	+	+	—	—
茎属 <i>Ditulenchus</i>	FF	—	—	++	—	—
垫咽属 <i>Tylencholaimus</i>	FF	+	—	—	—	—
短矛属 <i>Oriverutus</i>	FF	+	—	—	—	—
垫刃属 <i>Tylenchus</i>	PP	++	+++	+++	++	+++
环属 <i>Criconema</i>	PP	+	—	—	—	—
针属 <i>Paratylenchus</i>	PP	++	+	++	+	++
矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	PP	—	+	++	++	+
短体属 <i>Pratylenchus</i>	PP	++	—	—	—	—
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	PP	++	—	—	—	—
盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	PP	+	+	++	+++	++
穿孔属 <i>Radopholus</i>	PP	++	—	+	++	+
轮属 <i>Criconrmoides</i>	PP	++	—	—	—	—
裸矛属 <i>Psilenchus</i>	PP	++	—	—	—	—
伪垫刃属 <i>Nothotylenchus</i>	PP	+	++	+	+	++
头垫刃属 <i>Cephalenchus</i>	PP	++	+	—	+	+
鞘属 <i>Hemicycliophora</i>	PP	—	+	—	—	+
长针属 <i>Longidorus</i>	PP	++	—	+	—	—
剑属 <i>Xiphinema</i>	PP	++	+	—	—	—
毛刺属 <i>Trichodorus</i>	PP	++	+	+	+	—
狭咽属 <i>Discolaimium</i>	OP	+	—	—	+	—
伊龙属 <i>Ironus</i>	OP	—	++	+	+	+
三孔属 <i>Tripyla</i>	OP	++	+	—	++	++
色矛属 <i>Chromadorita</i>	OP	++	—	—	—	—
矛线属 <i>Dorylaimus</i>	OP	++	++	++	++	+
基齿属 <i>Iotonchus</i>	OP	++	+	++	++	++
异色矛属 <i>Achromadora</i>	OP	—	++	+	+	+
真矛线属 <i>Eudorylaimus</i>	OP	—	+	++	++	+
螯属 <i>Pungentus</i>	OP	+	+	—	—	—
前矛线属 <i>Prodorylaimus</i>	OP	—	++	+	—	+
托布利属 <i>Tobrilus</i>	OP	++	+	—	+	—
中矛线属 <i>Mesodorylaimus</i>	OP	—	+	—	+	+
拟杯咽属 <i>Paracyatholaimus</i>	OP	++	++	++	+	++
单色矛属 <i>Monochromadora</i>	OP	+	—	—	—	—
孔咽属 <i>Aporcelaimus</i>	OP	+	—	—	—	—
单齿属 <i>Mononchus</i>	OP	+	+	+	+	+
锯齿属 <i>Prionchulus</i>	OP	—	+	—	+	—
高杯侧属 <i>Amphidelus</i>	OP	+	—	+	—	—
膜皮属 <i>Diphtherophoridae</i>	OP	—	+	+	+	+
真单宫属 <i>Eumonhystera</i>	OP	++	+	++	+	++
属数合计		49	37	32	32	32

1) - 未采集到

食真菌类群/食细菌类群(F/B)能明显指示物质分解的路径,本次调查中 F/B=0.05 低于对草原生态

系统的报道(F/B=0.45)^[15]; (食真菌类群+食细菌类群)/植食类群(WI)平均值为 1.65, 接近波兰东北部

表3 研究期间5个调查地点、4个土壤深度的土壤含水量、土壤线虫总数及生态因子间的差异分析(2001和2002年春季)¹⁾

Table 3 Univariate analysis of variance (ANOVA) for soil moisture, total soil free-living nematodes and ecological indexes across the four depths at the five locations during the study period (Spring 2001 and spring 2002).

项目	深度检验	P 值	地点检验	P 值
1 土壤含水量	4.84	0.004	6.94	0.000
2 土壤线虫	22.05	0.000	2.46	NS
3 营养结构 ²⁾				
BF	16.04	0.000	2.33	NS
FF	3.65	0.016	3.00	0.024
PP	13.20	0.000	5.12	0.001
OP	9.95	0.000	2.33	NS
OM	12.43	0.000	1.09	NS
4 生态学指数 ³⁾				
F/B	2.96	0.038	2.71	0.037
WI	2.91	0.040	3.47	0.012
TD	1.19	NS	2.40	NS
SI	1.72	NS	2.52	0.049
H'	1.89	NS	1.60	NS

注: 1) 表中 NS 表示差异不显著($P>0.05$); 2) 营养结构: BF, 食细菌类群, FF, 食真菌类群, PP, 植食类群, OP, 捕食类群, OM, 杂食类群; 3) 生态学指数: F/B, 食真菌类群/食细菌类群, WI, (食细菌类群+食真菌类群)/植食类群, TD, 营养多样性指数, SI, 辛普森多样性指数, H' , 香农威那指数。

WI=1.60~8.70 的报道^[15]; 调查期间营养多样性指数(TD)为 2.72, 低于对耕地 TD=2.94~3.14 的报道, 该值清晰地反映出生态系统间的差异^[16]。

辛普森指数(SI)为 7.51, 高于 Freckman 和 Ettema 的 SI=6.73 的报道^[16]。香农威纳指数(H')包含两个因素: 种类群数目, 即丰富度; 种类群中个体分配上的平均性或均匀性。本次研究中的 $H'=2.22$, 高于 Wasileska 对农业生态系统的报道^[15]而低于 Yosef et al.^[17]对雨季沙漠的报道。

4 结论

在各个不同海拔高度样地, 土壤线虫总数和营养类群在不同土壤深度中差异显著($P<0.05$): 凋落物层 > 0~5 cm 土层 > 5~10 cm 土层 > 10~20 cm 土层; 并且各样地的优势属均绝大部分出现在枯枝落叶中, 其“表聚”特点与前人的研究结果相一致^[13]。

优势属绕线属、小杆属、垫刃属等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, 而苔原带几乎没有枯枝落叶, 其土壤线虫优势属为鹿角唇属和垫刃属, 不再包括绕线属, 这种现象可能与土壤食物网结构有关。

通过对长白山森林生态系统土壤线虫研究发现, 造成调查地点间差异的最重要因素之一是土壤含水率, 它能明显影响线虫密度及营养结构, 而随着海拔梯度升高土壤线虫的其他生态因子(TD, H')间并不存在显著差异。

参考文献:

- [1] 于德永, 郝占庆, 姬兰柱, 等. 长白山北坡植物群落相异性及其海拔梯度变化[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5): 1-5.
YU Deyong, HAO Zhanqing, JI Lanzhu, et al. Dissimilarity of plant communities with changes in altitudes on the northern slope of Changbai Mountain[J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(5): 1-5.
- [2] 牟长城, 倪志英, 李东, 等. 长白山溪流河岸带森林木本植物多样性沿海拔梯度分布规律[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 943-950.
MU Changcheng, NI Zhiying, LI Dong, et al. Distribution patterns of woody plant diversity in stream riparian forests along an altitudinal gradient in Changbai Mountains[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(5): 943-950.
- [3] KYUTCHUKOV D. Vertical distribution of the ornithofauna in the region of the Northern Rila Mountains-Bulgaria[J]. Journal of Environmental Protection and Ecology, 2003, 4(2): 377-385.
- [4] 姜云垒, 高玮, 王海涛, 等. 长白山北坡鸟类多样性研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2006, 38(2): 105-108.
JIANG Yunlei, GAO Wei, WANG Haitao, et al. Study of the bird's diversity on north slope of Changbai Mountain[J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 2006, 38(2): 105-108.
- [5] 李俊生, 宋延龄, 徐存宝, 等. 小兴安岭林区不同生境梯度中小型哺乳动物生物多样性[J]. 生态学报, 2003, 23(6): 1036-1047.
LI Junsheng, SONG Yanling, XU Cunbao, et al. Studies on bio-diversity of small mammals along different habitat gradients in the Xiao Xing'an Ling Forest Region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(6): 1036-1047.
- [6] 孟庆繁, 高文韬, 刘生冬. 长白山北坡针叶林带蛾类多样性[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(3): 60-62.
MENG Qingfan, GAO Wentao, LIU Shengdong, et al. Moth diversity in Coniferous Forest Zone on the northern slope of Changbai Mountain[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(3): 60-62.
- [7] 佟富春, 金哲东, 王庆礼, 等. 长白山北坡土壤动物群落物种共有度的海拔梯度变化[J]. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1723-1728.
TONG Fuchun, JIN Zhedong, WANG Qingli, et al. Co-occurrence of soil fauna communities with changes in altitude on the northern slope of Changbai Mountain[J]. Journal of Environmental Protection and Ecology, 2003, 14(10): 1723-1728.
- [8] De DEYN G B, RAAIJAMAKERS C E, van RUIJVEN J, et al. Plant species identity and diversity effects on different trophic levels of nematodes in the soil food web[J]. Oikos, 2004, 106: 576-586.
- [9] WARDLE D A, BARDGETT R D, KLIRONOMOS J N, et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota[J]. Science, 2004, 304: 1629-1633.
- [10] 吴钢, 肖寒, 赵景柱, 等. 长白山森林生态系统服务功能[J]. 中国科学, C 辑, 2001, 31(5): 471-480.
WU Gang, XIAO Han, ZHAO Jingzhu, et al. Changbai Mountain's forest ecosystem services[J]. Science in China: Ser. C, 2001, 31(5): 471-480.
- [11] STEINBERGER Y, SARIG S. Response by soil nematode populations in the soil microbial biomass to a rain episode in the hot, dry Negev Desert[J]. Biology and Fertility of Soils, 1993, 16: 188-192.
- [12] 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.
- [13] 尹文英, 等. 中国土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- YIN Wenying, et al. Soil Animals of China[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [14] 殷秀琴, 等. 东北森林土壤动物研究[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.
- YIN Xiuqin, et al. Study on forest soil animals in the northeast of China[M]. Changchun: Northeast Normal University Press, 2001.
- [15] WASILEWSKA L. The effect of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities[J]. Pedobiologia, 1994, 38:1-11.
- [16] FRECKMAN D W, ETTEMA C H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1993, 45: 239-261.
- [17] STEINBERGER Y, LIANG W J, SAVKINA E, et al. Nematode community composition and diversity associated with a top climatic transect in a rain shadow desert[J]. European Journal of Soil Biology, 2001, 37: 315-320.

Nematode community composition and diversity associated with different vegetations in Changbai Mountain in spring

Tong Fuchun^{1,2}, Xiao Yihua³, Wang Qingli²

1. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 3. Research Institute of Tropical Forest, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China

Abstract: The effect of an altitude gradient on soil nematode communities was investigated in the Changbai Mountain. Five locations from an elevation of 762m above sea level with 691.4mm rainfall to a 2200m relative to sea level with a rainfall 1154.34 mm, were studied: Broad-leaved Korean Pine forest, Korean Pine and spruce-fir mixed forest, Dark Coniferous forest, Erman's birch forest and Alpine tundra. Soil samples were collected in spring of 2001 and 2002. A total of 7684 nematode individuals were collected, belonging to two classes, eight orders, 30 families and 68 genera. *Plectus*, *Aphelenchoides*, *Tylenchus*, *Rhabditis*, *Rotylenchus* and *Cervidellus* were the dominant genera in the experimental field and most of them live in fall-litter. The total of soil nematode and soil moisture were significantly correlated. Species richness of Fungivorous nematode is higher than others in different vegetation communities and soil depth. The total of soil nematode and trophic groups varied significantly ($P<0.05$) in response to different soil depths. The number of Fungal and Fungivorous nematode and the value of WI and MI changed significantly ($P<0.01$) as well as this.

Key words: nematode community; type of vegetation; spring; Changbai Mountain