

土壤线虫群落在贡嘎山东坡不同垂直气候带间的分布格局*

张荣芝¹ 刘兴良² 钟红梅¹ 武 崎¹ 吴鹏飞^{1**}

¹西南民族大学生命科学与技术学院 成都 610041

²四川省林业科学研究院森林生态与资源环境研究所 成都 610066

摘 要 贡嘎山东坡自下而上分布着从亚热带到寒带的连续气候带及从常绿阔叶林到针叶林的连续植被类型,其地下土壤线虫群落的分布格局尚不清楚,为研究其不同气候带间的土壤线虫群落特征及其在垂直气候带间的变化趋势,2014年9月和12月对贡嘎山东坡5个气候带土壤线虫进行了2次调查. 研究结果为:共捕获土壤线虫193 921条,隶属于2纲9目68科172属,平均密度2 155条/100 g干土,食细菌线虫为优势营养类群. 不同气候带间土壤线虫群落结构差异性各异,并受季节变化影响;影响群落结构的主要类群是色矛目(*Chromadorida*)、窄咽目(*Araeolaimida*)、小杆目(*Rhabditida*)和单齿目(*Mononchida*). 线虫群落密度及多样性指数在不同气候带间均无显著差异,但12月的密度显著高于9月,而多样性指数则显著低于9月. 除食细菌线虫外,食真菌、捕食-杂食和植物寄生线虫的密度在不同气候带间(随海拔升高)呈先增加后下降趋势($P < 0.05$),且有显著季节差异($P < 0.05$). 从亚热带到寒温带,土壤线虫的基础指数(BI)逐渐下降($P < 0.05$),成熟度指数(MI)逐渐增加($P < 0.05$),表明生态系统的抵抗力逐渐降低而成熟度逐渐增加;通道指数(CI)呈波动性下降($P < 0.05$),且均小于50,表明碎屑食物网以细菌分解途径为主;植物寄生成熟度指数(PPI)无明显变化趋势($P > 0.05$),但9月份显著高于12月份,表明9月份土壤生态系统比12月份更成熟. 线虫群落密度、生态指数(BI、MI)、营养类群(PO、PI)分别与土壤有效氮、全钾和土壤温度呈显著相关($P < 0.05$). 综上所述表明气候带类型变化对土壤线虫群落密度和多样性影响较弱,对土壤线虫群落结构及生态指数影响较大,土壤有效氮、全钾及温度是主要影响因子.(图4表5参62附表1)

关键词 贡嘎山东坡;垂直气候带;土壤线虫;多样性;营养类群;生态指数

CLC S154.386 (27)

Distribution pattern of soil nematode communities along the vertical climate zones on the eastern slope of Gongga Mountain*

ZHANG Rongzhi¹, LIU Xingliang², ZHONG Hongmei¹, WU Qi¹ & WU Pengfei^{1**}

¹College of Science and Technology, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China

²Institute of Forest Ecology and Environmental Resources, Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610066, China

Abstract The characteristic of stereoscopic climate is fairly clear on the eastern slope of Gongga Mountain, distributing from subtropical to frigid zones along the altitude. Accordingly, vegetation types changed from evergreen broad leaved forest to coniferous forest. The aim of this study was to elucidate the characteristics of soil nematode communities under different climate zones on the eastern slope of Gongga Mountain. In September and December 2014, soil samples from 0–5 cm, 5–10 cm and 10–15 cm layers were collected from five types of forest, including subtropical evergreen broad-leaved forest (SEB, 1 600 m), subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest (SEDB, 2 000 m), warm temperate deciduous broadleaved forest (WTDB, 2 400 m), mid-temperate coniferous-broadleaved mixed forest (MTC, 2 800 m) and cold temperate coniferous forest (CTC, 3 200 m) along the vertical climate zones on the eastern slope of Gongga Mountain. A total of 193 921 soil nematodes were collected, belonging to 2 classes, 9 orders, 68 families and 172 genera. The mean density was 2 155 ind. 100 g⁻¹ dry soil. All nematode individuals were classified into the four trophic groups of bacterivores, fungivores, plant-parasites and predators-omnivores, among which the bacterivores were the dominant. The structure of soil nematode community varied among different climate zones as well as seasons. The community structure was mainly affected by the changes in abundances

收稿日期 Received: 2016-07-04 接受日期 Accepted: 2016-07-28

*国家自然科学基金项目(41371270)、四川省青年基金项目(2012JQ0030)、西南民族大学研究生创新项目(CX2015SZ104)、中央高校优秀团队及重大孵化项目(2014NZYT01)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (41371270), the Sichuan Youth Science and Technology Foundation (2012JQ0030), the Graduate Students Innovative Research Projects of Southwest University for Nationalities (CX2015SZ104) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2014NZYT01)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: wupf@swun.cn)

of Chromadorida, Araeolaimida, Rhabditida and Mononchida. Individual density, taxonomic richness, Shannon-Weiner index and Pielou index varied with no significant difference among the vertical climate zones. However, the individual density in December was significantly higher than that in September, while an opposite pattern was observed for Shannon-Weiner index. The densities of fungivores, predators-omnivores and plant-parasitic fluctuated from SEB to CTC ($P < 0.05$), and differed significantly between the two sampling months ($P < 0.05$). As a whole, the densities of the four trophic groups were higher in September than in December. The basic index and channel index decreased significantly ($P < 0.05$), while the maturity index increased significantly ($P < 0.05$) from SEB to CTC. The channel index of the nematodes for all climatic zones was smaller than 50, indicating that the detrital food webs on the eastern slope of the Gongga Mountain were dominated by bacterial decomposition channels. The plant-parasite index changed with no obvious tendency among the climatic zones ($P > 0.05$), while it was significantly higher in September than in December ($P < 0.05$), suggesting a more mature ecosystem in September than in December. The regression analysis showed that the densities of community, predators-omnivores and plant parasitic, basic index and maturity index significantly correlated with soil available nitrogen, total potassium and soil temperature. The results of this research indicated that climatic type change exerts greater effects on soil nematode community structure and ecological index than on the individual density and diversity index. Soil available nitrogen, total potassium and soil temperature are the main influencing factors.

Keywords eastern slope of Gongga Mountain; vertical climate zones; soil nematodes; diversity; trophic group; ecological index

土壤线虫是土壤中数量最多、种类多样性最高的一类后生生物,在土壤生态系统中参与有机质分解、养分矿化,调节土壤微生物群落结构等重要生态过程^[1-2]。由于线虫分布广、数量多、世代周期短、迁移能力差,对环境变化极为敏感,且结构相对简单易鉴定等特点,在许多研究中被用来指示土壤健康状况^[3-5]和气候变化^[6]等。

贡嘎山位于青藏高原东缘,由冰川演替发育而来,是一个有着过渡性气候、物种丰富的典型高山森林生态系统。贡嘎山东坡自下而上分布有亚热带、暖温带、中温带、寒温带、寒带和冰雪带等6个气候带,每个气候带都有自己独特的植被类型和土壤类型,自下而上依次分布有常绿阔叶林、落叶阔叶林、针阔混交林、暗针叶林、亚高山灌丛、高山草甸等植被类型,土壤类型依次为黄棕壤、棕壤、暗棕壤、暗棕色针叶林土、黑毡土、草毡土等^[7]。复杂的自然地理条件使该区域成为全球生物多样性分布的热点之一,也是我国国家级自然保护区所在地。近年来,关于植被与土壤生物关系的研究受到生态学家们的普遍关注^[8-11]。已有研究表明地上植物群落的变化会导致地下生物群落发生相应变化^[12],这是由于不同植物的营养成分、凋落物分解速率和根系分泌物等存在差异,提供给土壤的资源质量也会不同^[13-15],还可以通过影响土壤化学性质^[16]对土壤动物群落产生间接影响,进而影响土壤动物群落组成和分布。我国关于不同海拔高度上土壤线虫群落动态变化的研究主要集中在中、东部地区及东北地区^[17-19],这些研究虽然是关于土壤线虫在不同海拔高度的分布,但海拔相对高度变化较小,各海拔梯度的气候类型很少有变化。而目前关于贡嘎山的研究又主要集中在植被^[20-21]、土壤^[22-23]、森林水文^[24-25]等方面,关于土壤动物研究非常少^[26],尤其是对不同气候带下土壤线虫群落结构和多样性的垂直分布格局并不清楚,这影响到对高山森林生态系统地下生物多样性及物质循环等重要结构与功能在海拔梯度上变化动态的认识。

本文旨在通过对贡嘎山东坡不同气候带上土壤线虫群落的调查,研究土壤线虫的群落组成、多样性、营养结构等主要群落特征及其在不同气候带间的变化格局,为横断山区

的生物多样性保护和森林管理提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 区域概况

贡嘎山坐落于青藏高原东南部,主峰海拔7 556 m,是横断山地区的最高峰。本研究区域位于贡嘎山主峰东坡的海螺沟(101°30'-102°15' E, 29°20'-30°20' N)。受亚热带季风气候和高山气候的影响,气候温暖潮湿。年均气温4.3℃,区内年最高气温为23.2℃,年最低气温为-14.0℃;年均降水量约1 900 mm,主要集中在6-12月;区域内降水充沛,年蒸发量小于300 mm。随着海拔上升水热因子等条件的改变,贡嘎山的植被分布形成其独特的垂直地带性,从低海拔到高海拔依次分布常绿阔叶林到高山草甸完整的植被类型。各植被带乔木层优势属不尽相同:常绿阔叶林带为栎属(*Quercus*);落叶阔叶林带为槭树属(*Acer*)、木姜子属(*Litsea*)、杨属(*Populus*);针阔混交林带为云杉属(*Picea*)、槭树属、花楸属(*Sorbus*)以及暗针叶林带为冷杉属(*Abies*)。林下灌层、草本层均以蔷薇科(*Rosaceae*)、百合科(*Liliaceae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、虎耳草科(*Saxifragaceae*)、菊科(*Compositae*)为优势科。

1.2 研究方法

根据贡嘎山东坡地形、气候、植被特点,选择位于海拔亚热带常绿阔叶林(Subtropical evergreen broad-leaved forest, SEB)(1 600 m)和亚热带常绿落叶阔叶混交林(Subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, SEDB)(2 000 m)、暖温带落叶阔叶林(Warm temperate deciduous broadleaved forest, WTDB)(2 400 m)、中温带针阔混交林(Mid-temperate coniferous-broadleaved mixed forest, MTC)(2 800 m)及寒温带针叶林(Cold temperate coniferous forest, CTC)(3 200 m)类型作为样地。2014年9月和12月对实验样地的土壤线虫进行调查。在每个样地内,随机选取6个样方,样方面积为50 cm × 50 cm,去除表层的凋落物,用环刀按0-5 cm、5-10 cm、10-15 cm取土样,放入有编号的塑封袋内,带

回实验室;共采集土壤样品180份。另外,12月份在各个样地内,采集混合土样1份,室内自然风干后,经研磨等处理,用于测定土壤有机质等化学性质。在各气候带样地土层10 cm处安装一个土壤温度记录仪(U22-001, HOBO Water Temp Pro v2),设定记录间隔为4 h。测定时间为2014年9月和2014年12月。各气候带土壤温度取采样所在每5天的平均值为该样地的土壤温度,每月按30 d算,每个气候带的土壤温度取6次重复。

实验室内,每份土样各称取50 g鲜土,用湿漏斗法(Baermann法)分离土壤线虫,分离时间为48 h,之后用5%的甲醛溶液固定保存线虫。根据《中国土壤动物检索图鉴》^[27]、《荷兰线虫》^[28]和《植物线虫分类学》^[29],在光学显微镜(Leica DM4000 B)下放大400×倍条件下鉴定到属,并统计个体数量。如果采集到的土壤线虫低于100条,则全部鉴定;如果多于100条,则随机取其中的100条进行鉴定。把所有的土壤线虫划分成食细菌(Ba)、食真菌(Fu)、植物寄生(Pl)和捕食-杂食(PO)4个营养类群^[30-31]。另外,每份样品称取20 g鲜土,放入105℃烘箱至恒重,称其干重,用于计算其含水量。

土壤理化分析:土壤pH值采用电位法测定;土壤有机质采用水合热重铬酸钾氧化-容量法;土壤全氮采用硫酸钾-硫酸铜-硒粉消煮,定氮仪自动分析法;土壤水解性氮采用碱解扩散法;土壤全磷采用硫酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法;土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;土壤全钾采用氢氟酸-高氯酸消煮火焰光度计法;土壤速效钾采用中性乙酸铵提取-火焰光度计法。具体分析方法见《土壤农业化学分析方法》^[32]。

1.3 数据分析

首先将同一采样点的0-5 cm、5-10 cm、10-15 cm三个土样的线虫数据合并,然后将土壤线虫个体数换算成条/100 g干土。个体数占总数10%以上者为优势类群,1%-10%为常见类群,1%以下为稀有类群^[33]。

以Shannon-Weiner多样性指数 $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ 、Pielou均匀度指数 $J' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i / \ln S$ 及类群数表示群落多样性,式中 P_i 为第*i*类群的百分比, S 为类群数。

用基础指数(Basal index, BI) = $100 \times (b / (e + b + s))$ 、通道指数(Channel Index, CI) = $100 \times (0.8 \times Fu_2 / e)$ 、自由生活成熟度指数(Free-living nematode maturity index, MI) = $\sum_{i=1}^n f_i \times v_i$ 、植物寄生线虫成熟度指数(Plant parasite index, PPI) = $\sum_{i=1}^n f'_i \times v_i$ 来表达各生境土壤线虫群落功能结构特征^[34-35],其中, $b = \sum k_b \times n_b$, $e = \sum k_e \times n_e$, $s = \sum k_s \times n_s$;式中, v_i 为在生态演替中属于k-选择和r-选择科属分别赋予的*c-p*值; f_i 为自由生活的线虫在分类单元个体中所占的比例; f'_i 为植食性线虫在分类单元个体中所占的比例。 b (Basal)为食物网中的基础成分,主要指Ba₂和Fu₂这2个类群(即食细菌线虫和食真菌线虫中*c-p*为2的类群); e (Enrichment)代表食物网中的富集成分,主要指Ba₁和Fu₂这2个类群(即食细菌线虫中*c-p*为1和食真菌线虫中*c-p*为2的类群); s (Structure)为食物网中的结构成分,包括Ba₃-Ba₅、Fu₃-Fu₅、PO₃-PO₅类群(即食细菌线虫、

食真菌线虫和捕食-杂食线虫中*c-p*为3-5的线虫), k_b 、 k_e 和 k_s 为各类群所对应的加权数(其值在0.8-5.0), n_b 、 n_e 和 n_s 为各类群的丰度。BI可指示土壤食物网的抵抗稳定性,值越大,相对抵抗稳定性越高;CI可指示分解途径,值大于50表示以真菌分解途径为主,小于50以细菌分解途径为主;MI与PPI分别指示生态系统的稳定性及受干扰程度^[34-35]。

主成分分析(Principal Component analysis, PCA)对不同气候带土壤线虫群落在目阶元上进行排序。将数据转换成 $\log(x+1)$ 后采用重复测量方差方法(Repeated-measures ANOVA)分析季节、气候带及交互作用对线虫群落各多样性指数、功能类群及生态指数的影响;用Turkey HSD法进行气候带间的多重比较。为了分析环境因子对土壤线虫群落的响应,把9月和12月份的观测数据平均后,采用多元回归(Stepwise法)分析土壤线虫群落各指数与土壤环境因子的相关性。

以上分析及作图采用SPSS 18.0和CANOCO 4.5完成。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质变化特征

土壤pH、有机质、全氮、有效氮、有效钾随气候带变化呈先增加后下降趋势,均在暖温带达到最高,且差异性显著($P < 0.05$) (表1)。全磷在各气候带间呈波动变化,亚热带常绿阔叶阔叶混交林显著高于亚热带常绿阔叶林($P < 0.01$),全钾在气候带间呈显著下降趋势,亚热带常绿阔叶林显著高于亚热带常绿阔叶阔叶混交林、暖温带落叶阔叶林和中温带针阔混交林($P < 0.05$) (表1)。土壤温度从SEB到CTC呈显著下降趋势($P > 0.05$)。

2.2 土壤线虫群落组成及变化

两次采样共分离线虫193 921条,隶属于2纲9目68科172属(附表1),平均密度2 155条/100 g干土。其中垫刃属(*Tylenchus*)等27属为常见类群,占线虫总数的74.02%;针属(*Paratylenchus*)等149属为稀有类群,占线虫总数的25.98%;群落组成中无优势类群。从各营养类群的组成情况看,食细菌线虫69个属,数量占总数的46.15%;捕食-杂食线虫51个属,数量占总数的26.98%;植物寄生线虫39个属,数量占总数的20.27%;食真菌线虫13个属,数量占总数的6.59%(附表1)。

不同气候带的土壤线虫群落组成不同(附表1)。亚热带常绿阔叶林线虫群落的优势属为棱咽属(*Prismatolaimus*),占总数量的14.16%;常见属为拟丽突属(*Acrobeloides*)等21属,占总数量的59.18%;连胃属(*Chronogaster*)等101属为稀有属,占26.66%。亚热带常绿阔叶落叶混交林线虫的优势属为棱咽属,占总数量的11.9%;常见属为垫刃属等28属,占总数量的72.07%;中矛线属(*Mesodorylaimus*)等82属为稀有属,占16.03%。暖温带落叶阔叶林的土壤线虫群落常见属为垫刃属等28属,占总数量的78.49%;小杆属(*Rhabditis*)等91属为稀有属,占21.51%。中温带针阔混交林线虫群落优势属为垫刃属,占总数量的13.94%;常见属为真矛线属(*Eudorylaimus*)等21属,占总数量的61.21%;表矛线属(*Epidorylaimus*)等97属为稀有属,占24.85%。寒温带针叶林的线虫群落常见属为绕线属(*Plectus*)等27属,占总数量的

表1 贡嘎山东坡不同气候带土壤理化性质 (N = 6)
Table 1 Soil chemical properties of different climate zones (N = 6)

土壤性质 Soil property	SEB	SEDB	WTDB	MTC	CTC	F	P
pH	4.91 ± 0.14 ^b	6.02 ± 0.04 ^a	6.19 ± 0.26 ^a	4.26 ± 0.18 ^b	4.17 ± 0.20 ^b	28.00	< 0.001
OM (w/g kg ⁻¹)	49.61 ± 4.48 ^c	117.85 ± 25.74 ^{bc}	368.93 ± 88.78 ^a	254.73 ± 46.04 ^{ab}	72.43 ± 21.07 ^{bc}	3.97	0.012
TN (w/g kg ⁻¹)	2.67 ± 0.18 ^b	5.85 ± 0.86 ^b	14.99 ± 3.42 ^a	9.43 ± 1.48 ^{ab}	3.63 ± 0.78 ^b	6.49	0.001
TP (w/g kg ⁻¹)	0.76 ± 0.01 ^c	1.5 ± 0.12 ^a	1.18 ± 0.08 ^{ab}	0.92 ± 0.12 ^{bc}	1.26 ± 0.07 ^{ab}	12.67	< 0.001
TK (w/g kg ⁻¹)	21.83 ± 0.34 ^a	14.85 ± 0.80 ^{bc}	9.15 ± 0.68 ^d	11.45 ± 1.72 ^{cd}	18.13 ± 1.11 ^{ab}	26.09	< 0.001
AN (w/mg kg ⁻¹)	42.00 ± 6.40 ^c	89.88 ± 22.9 ^c	212.52 ± 11.58 ^a	161.49 ± 20.05 ^{ab}	101.43 ± 20.67 ^{bc}	18.44	< 0.001
AP (w/mg kg ⁻¹)	20.13 ± 4.02 ^b	69.94 ± 21.36 ^{ab}	37.65 ± 13.73 ^{ab}	72.89 ± 12.94 ^a	47.69 ± 14.77 ^{ab}	3.10	0.033
AK (w/mg kg ⁻¹)	140 ± 24.58 ^b	165 ± 44.58 ^b	437.5 ± 105.23 ^a	287.5 ± 67.85 ^{ab}	202.5 ± 47.64 ^{ab}	3.76	0.016
ST (θ/°C)	12.12 ± 1.788 ^a	9.94 ± 1.80 ^{ab}	8.14 ± 1.72 ^{ab}	6.52 ± 1.65 ^{ab}	4.55 ± 1.56 ^b	2.98	0.027

SEB: 亚热带常绿阔叶林; SEDB: 亚热带常绿落叶阔叶混交林; WTDB: 暖温带落叶阔叶林; MTC: 中温带针阔混交林; CTC: 寒温带针叶林. OM: 土壤有机质; TN: 全氮; AN: 碱解氮; TP: 全磷; AP: 有效磷; TK: 全钾; AK: 有效钾; ST: 土壤温度. 不同小写字母表示不同气候带间差异显著 ($P < 0.05$).

SEB: subtropical evergreen broad-leaved forest; SEDB: subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest; WTDB: warm temperate deciduous broadleaved forest; MTC: mid-temperate coniferous-broadleaved mixed forest; CTC: cold temperate coniferous forest. OM: Organic matter; TN: total nitrogen; AN: available nitrogen; TP: total phosphorus; AP: available phosphorus; TK: total potassium; AK: available potassium; ST: Soil temperature. Different lowercase letters indicate significant differences among the climate zones at $P < 0.05$ level.

74.29%; 单色矛属 (*Monochromadora*) 等109属为稀有属, 占25.71%.

2.3 线虫群落结构变化

以目阶元的线虫统计数据为基础做群落主成分分析 (PCA), 结果表明不同气候带间土壤线虫群落组成结构存在一定差异性和相似性 (图1). 9月份暖温带落叶阔叶林和中温带针阔混交林间线虫群落结构较为相似, 并与寒温带针叶林和亚热带常绿阔叶林间的土壤线虫群落差异较明显; 此外, 亚热带常绿阔叶落叶混交林的线虫群落组成空间变化较大. 12月份, 仅亚热带常绿阔叶林的土壤线虫群落与其他各气候带间的差异较大, 而其他4个气候带间的土壤线虫群落结构相似性较高. 总体上, 线虫群落在第一排序轴上主要受色矛目 (*Chromadorida*) 和窄咽目 (*Araeolaimida*) 等类群数量变化影响, 在第二排序轴上主要受小杆目 (*Rhabditida*) 和单齿目 (*Mononchida*) 的数量变化影响 (图1).

2.4 线虫群落多样性变化

土壤线虫密度在不同气候带间呈先上升后下降的变化趋势 (图2A), 且在中温带针阔混交林达到最大值. 类群数、Shannon-Wiener指数 (H') 和Pielou均匀度指数 (E) 均无明显变化趋势 (图2B、C、D). 12月份的土壤线虫密度总体上高于9月份; 而类群数、Shannon-Wiener指数和均匀性指数的季节动态与密度相反. 重复测量方差分析结果 (表2) 表明, 各气候带间的土壤线虫密度和多样性指数无显著差异 ($P > 0.05$), 季节变化对土壤线虫密度和各多样性指数均有显著影响 ($P < 0.01$), 气候带类型与季节的交互作用仅对土壤线虫密度有显著影响 ($P < 0.01$).

2.5 线虫群落营养结构变化

土壤线虫各营养类群中, 食细菌线虫在各气候带下均为主要营养类群, 而各类群的密度在气候带间的变化存在差异 (图3). 从两个月份的整体情况来看, 食细菌和食真菌线虫的密度在各气候带间呈波动性变化 (图3A、B), 植物寄生和

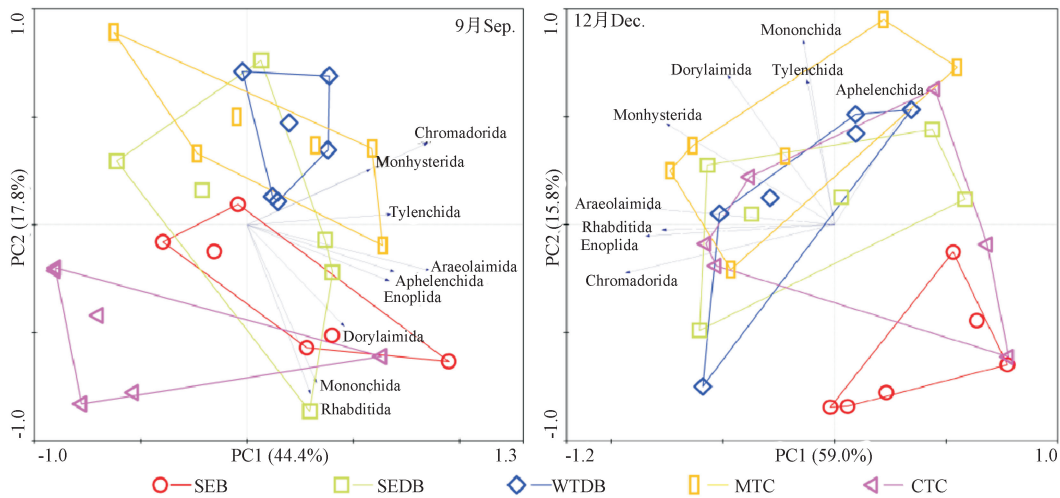


图1 不同气候带土壤线虫群落排序. SEB: 亚热带常绿阔叶林; SEDB: 亚热带常绿落叶阔叶混交林; WTDB: 暖温带落叶阔叶林; MTC: 中温带针阔混交林; CTC: 寒温带针叶林.

Fig. 1 Principal component analysis of the soil nematode communities among different climate zones. SEB: subtropical evergreen broad-leaved forest; SEDB: subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest; WTDB: warm temperate deciduous broadleaved forest; MTC: mid-temperate coniferous-broadleaved mixed forest; CTC: cold temperate coniferous forest.

表2 不同气候带土壤线虫群落多样性的重复测量方差分析 (N = 6)
Table 2 Repeated-measures ANOVA on the diversity of soil nematode communities of the five different climate zones (N = 6)

多样性 Diversity index	气候带 Climate zone		月份 Month		气候带 × 月份 Climate zone × Month	
	F	P	F	P	F	P
群落密度 Community density [n/ind. (100 g) ⁻¹]	2.70	0.054	20.28	< 0.001	5.26	0.003
类群数 Taxonomic richness	0.36	0.832	31.59	< 0.001	1.33	0.287
多样性指数 Shannon-Wiener index (H')	0.42	0.795	31.01	< 0.001	0.91	0.472
均匀度指数 Pielou index (J)	0.32	0.864	10.51	0.003	1.79	0.162

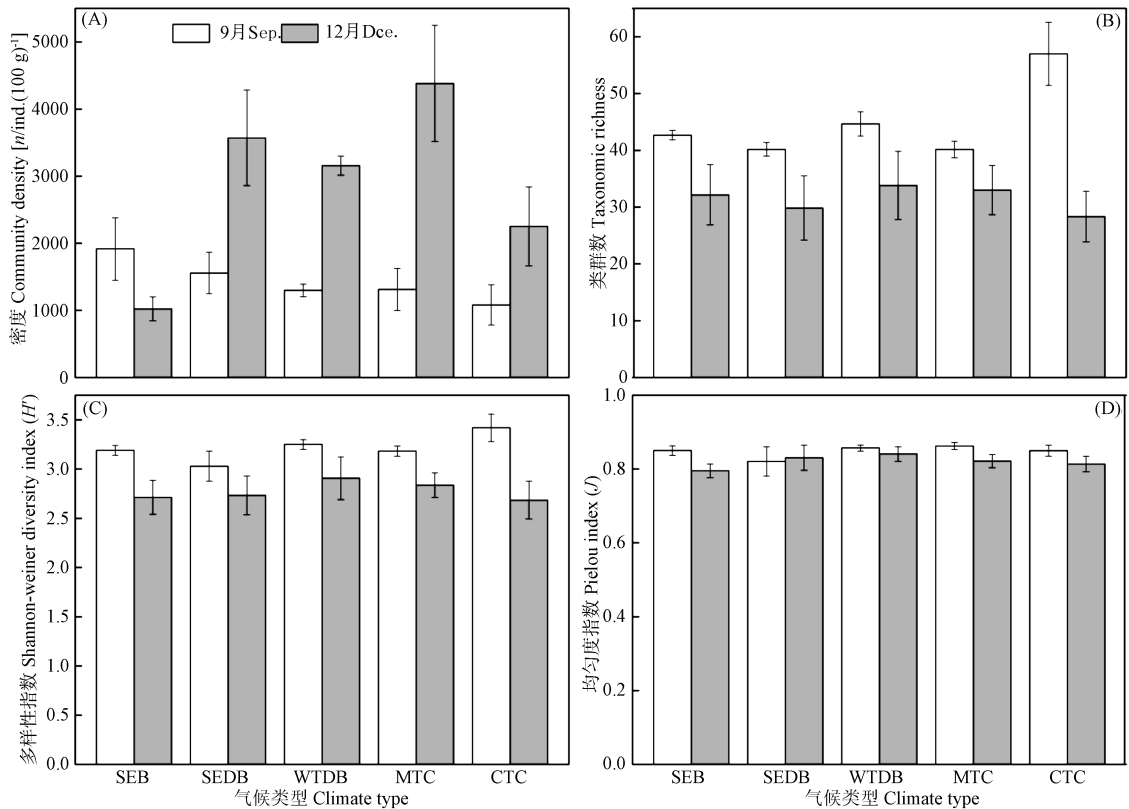


图2 不同气候带土壤线虫群落密度及多样性 (平均值 ± 标准误). SEB: 亚热带常绿阔叶林; SEDB: 亚热带常绿落叶阔叶混交林; WTDB: 暖温带落叶阔叶林; MTC: 中温带针阔混交林; CTC: 寒温带针叶林. 竖条表示平均值 (N = 6).
Fig. 2 Density and diversity of soil nematode communities of the five different climate zones (Mean ± SE). SEB: subtropical evergreen broad-leaved forest; SEDB: subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest; WTDB: warm temperate deciduous broadleaved forest; MTC: mid-temperate coniferous-broadleaved mixed forest; CTC: cold temperate coniferous forest. Bars indicate mean (N = 6).

捕食-杂食线虫密度呈先升高后下降趋势 (图3C、D). 在季节变化方面, 各营养类群密度均表现为12月份高于9月份 (图3). 重复测量方差分析结果显示食细菌线虫密度在各气候带间无显著差异 ($P > 0.05$) (图3A); 而亚热带常绿落叶阔叶混交林的食真菌线虫密度显著高于寒温带针叶林 ($P < 0.05$) (图3B); 亚热带常绿落叶阔叶混交林、暖温带落叶阔叶林和中温带针阔混交林的捕食-杂食性线虫密度显著高于亚热带常绿阔叶林 ($P < 0.05$) (图3C); 亚热带常绿落叶阔叶混交林和中温带针阔混交林的植物寄生线虫密度显著高于寒温带针叶林 ($P < 0.05$) (图3D). 季节对各营养类群 (食细菌线虫除外) 密度均有显著影响 (表3), 但在不同气候带中差异性不同. 气候带类型与季节的交互作用仅对食真菌和捕食-杂食线虫密度有显著影响 (表3).

2.6 线虫生态指数变化特征

土壤线虫群落的基础指数 (BI) 随气候带变化而逐渐降

低 (图4A), 其中亚热带常绿阔叶林基础指数 (BI) 显著高于中温带针阔混交林和寒温带针叶林 ($F = 8.48, P < 0.01$) (表4). 通道指数 (CI) 在气候带间呈波动变化, 在寒温带针叶林最小 ($F = 4.99, P < 0.01$) (图4B, 表4). 自由生活线虫成熟度指数 (MI) 随气候带变化呈逐渐增加趋势 (图4C), 暖温带、中温带和寒温带的MI指数显著高于亚热带 ($F = 6.89, P < 0.01$) (表4). 植物线虫成熟度指数 (PPI) 无明显变化趋势 ($F = 2.13, P > 0.05$), 但在各气候带的9月份PPI值均显著高于12月份 ($F = 41.63, P < 0.001$) (图4D, 表4).

2.7 环境因子与土壤线虫的关系

多元回归分析结果 (表5) 表明, 在海拔及土壤等环境因子中, 仅有有效氮、全钾和土壤温度对土壤线虫群落有显著影响. 其中, 捕食-杂食性、植物寄生线虫以及线虫群落的密度与全钾含量有显著负相关. 土壤线虫群落的基础指数与土壤温度呈显著正相关, 而成熟度指数则分别与有效氮和土

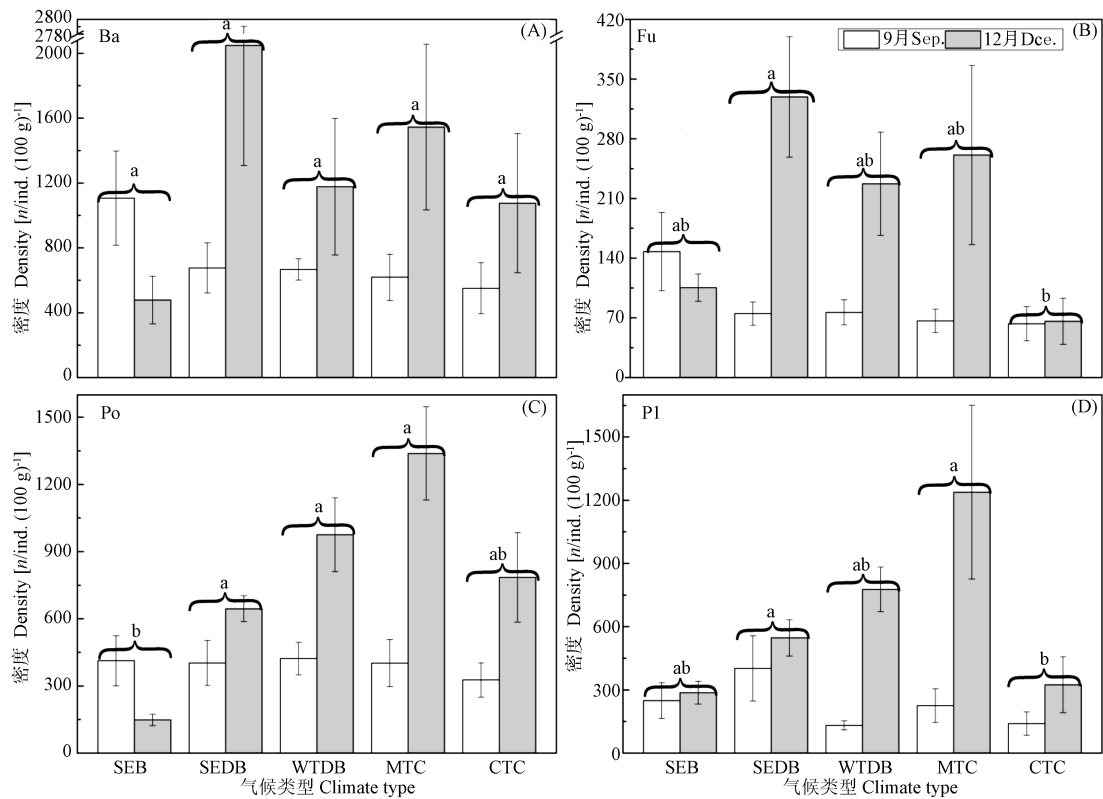


图3 不同气候带土壤线虫各营养类群的密度 (平均值±标准误)。Ba: 食细菌类群; Fu: 食真菌类群; PO: 捕食-杂食类群; Pl: 植物寄生类群。SEB: 亚热带常绿阔叶林; SEDB: 亚热带常绿落叶阔叶混交林; WTDB: 暖温带落叶阔叶林; MTC: 中温带针阔混交林; CTC: 寒温带针叶林。不同小写字母表示不同气候带间差异显著 ($P < 0.05$); 竖条表示平均值 ($N = 6$)。

Fig. 3 Density of nematode trophic groups of the five different climate zones (Mean $\pm$ SE). Ba: Bacterivores; Fu: Fungivores; PO: Predators-Omnivores; Pl: Plant-parasites. SEB: subtropical evergreen broad-leaved forest; SEDB: subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest; WTDB: warm temperate deciduous broadleaved forest; MTC: mid-temperate coniferous-broadleaved mixed forest; CTC: cold temperate coniferous forest. Lowercase letters indicated significant differences among the climate zones at $P < 0.05$ level. Bars indicate mean ($N = 6$).

表3 不同气候带土壤线虫营养类群密度的重复测量方差分析 [$n/\text{ind.} (100 \text{ g})^{-1}$, $N = 6$]

Table 3 Repeated-measures ANOVA on the density of nematode trophic groups of the five different climate zones [$n/\text{ind.} (100 \text{ g})^{-1}$, $N = 6$]

密度 Density	气候带 Climate zone		月份 Month		气候带×月份 Climate zone × Month	
	F	P	F	P	F	P
食细菌线虫密度 Bacterivores density	0.76	0.561	0.30	0.586	1.49	0.236
食真菌线虫密度 Fungivores density	3.23	0.029	9.45	0.005	2.81	0.047
捕食-杂食线虫密度 Predators-Omnivores density	6.69	0.001	14.23	0.001	7.30	< 0.001
植物寄生线虫密度 Plant-parasites density	3.80	0.015	25.44	< 0.001	1.87	0.147

表4 不同气候带土壤线虫群落生态指数的重复测量方差分析 ($N = 6$)

Table 4 Repeated-measures ANOVA on the ecological indices of soil nematode communities of the five different climate zones ($N = 6$)

生态指数 Ecological index	气候带 Climate zone		月份 Month		气候带×月份 Climate zone × Month	
	F	P	F	P	F	P
基础指数 Basal index	8.48	< 0.001	2.59	0.120	1.13	0.366
通道指数 Channel index	4.99	0.004	0.17	0.682	1.23	0.324
成熟度指数 Maturity index	6.89	0.001	5.28	0.030	0.92	0.469
植物线虫成熟度指数 Plant parasite index	2.13	0.106	41.63	< 0.001	0.71	0.590

壤温度呈显著正、负相关。

3 讨论

3.1 线虫群落组成及垂直变化

本研究在贡嘎山东坡5个连续气候带上共鉴定土壤线虫

172属, 显著高于哀牢山 (51属)^[36]和长白山 (60属)^[37]两地。贡嘎山东坡土壤线虫群落具有较高的丰富度, 其原因可能是因该区内气候复杂、植被和土壤等类型多样, 可为各类土壤线虫提供适宜的生存环境。贡嘎山东坡土壤线虫群落平均密度为2 155条/100 g干土, 介于长白山和哀牢山两地线虫群落密度之间^[36-37], 可能是与各研究区域的温度和降水量等气

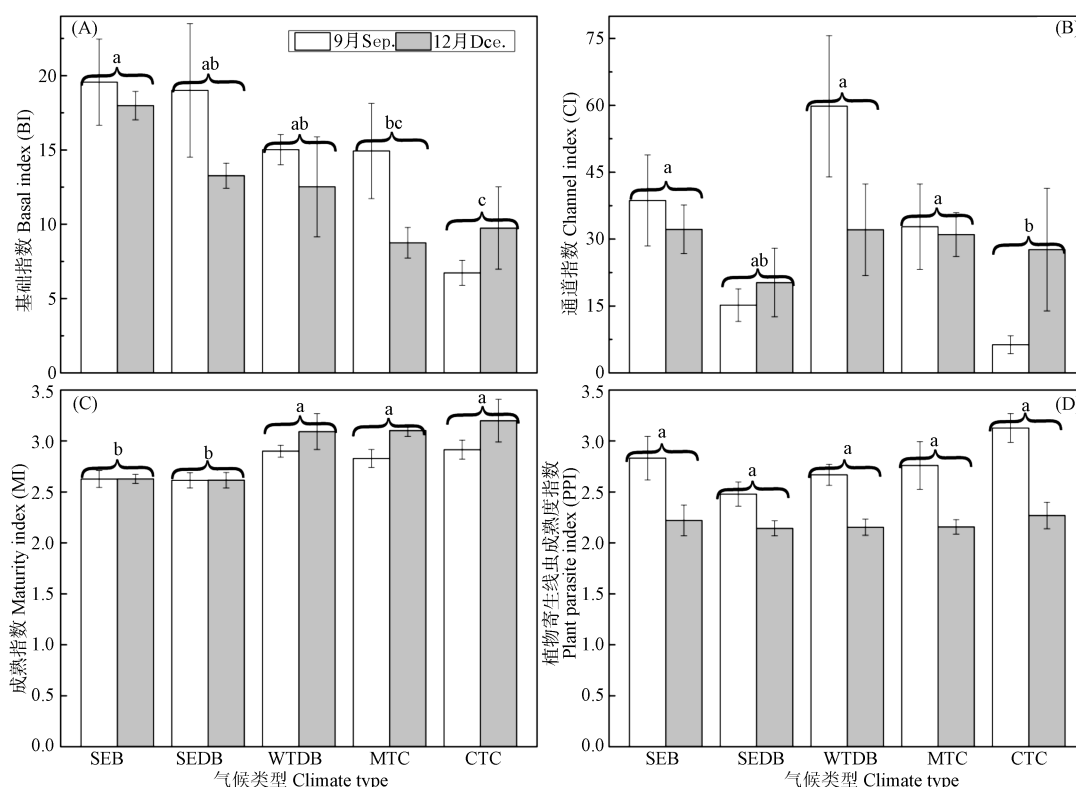


图4 不同气候带土壤线虫群落生态指数 (平均值 $\pm$ 标准误)。SEB: 亚热带常绿阔叶林; SEDB: 亚热带常绿阔叶阔混交林; WTDB: 暖温带落叶阔叶林; MTC: 中温带针阔混交林; CTC: 寒温带针叶林。不同小写字母表示不同气候带间差异显著 ($P < 0.05$); 竖条表示平均值 ($N=6$)。

Fig. 4 Ecological indices of soil nematode communities of the five different climate zones (Mean $\pm$ SE). SEB: subtropical evergreen broad-leaved forest; SEDB: subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest; WTDB: warm temperate deciduous broadleaved forest; MTC: mid-temperate coniferous-broadleaved mixed forest; CTC: cold temperate coniferous forest. Lowercase letters indicated significant differences among the climate zones at $P < 0.05$ level. Bars indicate mean ($N=6$).

表5 土壤线虫群落结构与环境因子的相关分析结果

Table 5 Partial correlation coefficients between the variables of soil nematodes and environmental factors

群落指数 Community indices	AN	TK	ST
群落密度 Community density	-	-0.41*	-
基础指数 Basal index	-	-	0.68*
成熟度指数 Maturity index	0.44*	-	-0.63*
捕食-杂食性线虫密度 Predators-Omnivores density	-	-0.47**	-
植物寄生线虫密度 Plant-parasites density	-	-0.43*	-

AN: 碱解氮; TK: 全钾; ST: 土壤温度。*显著相关 ($P < 0.05$); **极显著相关 ($P < 0.01$)。

AN: available nitrogen;; TK: total potassium; ST: Soil temperature. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

候因子有关。贡嘎山的年均气温为4.3℃, 年降水量为1 900 mm, 介于哀牢山(11℃, 1 931 mm)^[36]和长白山(3℃, 600-900 mm)之间。土壤线虫为典型的湿生性土壤动物, 土壤湿度是影响其生存的重要因素。此外, 其他研究表明生态系统的能量输入是影响生物多样性的一个重要因素^[39]。因此, 水热条件的差异可能是导致贡嘎山土壤线虫密度与其他地区线虫密度差异的主要因素。

在贡嘎山东坡各垂直气候带间, 土壤线虫群落的优势类群表现出一定差异, 可能与各气候带间的气候条件、植物群落及凋落物种类等环境条件不同有关。但是在各群落中食细菌线虫均为主要营养类群, 而食真菌线虫在群落中所占比例

最小(附表1)。这一结果与湿地^[40]、农田^[41-42]等生态系统结果具有一致性。已有研究表明土壤线虫群落结构与食物资源存在密切关系^[43-44], 因此食物资源通过自下而上的调控土壤线虫群落。相关研究表明贡嘎山东坡土壤细菌在微生物群落中占主要优势, 而真菌所占的比例很小^[7], 丰富的土壤细菌能够促进食细菌线虫的生长繁殖, 食真菌线虫则因真菌数量较少而受到抑制。

3.2 线虫群落多样性垂直变化

从亚热带常绿阔叶林向寒温带针叶林过渡中线虫密度呈先增加后降低的变化趋势, 但变化不显著。回归分析结果表明, 线虫密度与全钾含量呈显著负相关, 而全钾从亚热带常绿阔叶林向寒温带针叶林过渡中呈先降后升的变化趋势, 与线虫密度变化趋势相反。因此, 土壤全钾含量可能是影响线虫密度的一个因素。线虫群落丰富度和Shannon-Wiener指数(H')在各气候带间无明显变化趋势, 与长白山土壤线虫群落空间分布特征具有一致性^[37]。其原因可能是各气候带土壤线虫通过长期适应, 其生态位均已完全分化, 因此各气候带间的土壤线虫多样性无显著差异。

环境中的温度、湿度、食物供应、种群内竞争以及捕食等综合作用决定线虫群落密度及多样性的季节变化动态^[45]。本研究中, 不同气候带间土壤线虫群落密度和多样性的季节动态不同, 尤其是线虫群落密度在亚热带常绿阔叶林和寒温

带针叶林的线虫群落密度无显著季节差异,而在落叶阔叶林及其混交林有显著季节差异,其原因可能是土壤线虫的生存环境、食物资源等在亚热带常绿阔叶林和寒温带针叶林中比较稳定,而在落叶阔叶林及其混交林中季节变化较大,因此对土壤线虫群落影响存在差异。类似季节动态现象也存在于大型土壤动物群落中^[46]。

3.3 营养结构垂直变化

土壤线虫群落的营养类群结构在不同气候带间存在差异,应与温度、湿度、植物群落、食物资源等生态因子随海拔变化有关。食真菌线虫密度在亚热带常绿阔叶混交林最高,可能是由于常绿落叶阔叶混交林发育良好,大量的枯落物归还土壤,为食真菌线虫提供丰富的营养来源和良好的生存环境。捕食-杂食和植物寄生线虫的密度在各气候带间有显著差异,说明不同气候带类型会影响线虫群落营养结构;而在其他类型的生态系统中发现这两类线虫密度易受植物群落的影响^[47],说明气候带类型变化可以通过改变植物群落来影响线虫群落营养结构。植物寄生线虫主要以植物落叶和根系等为食,对植物群落的变化做出的响应最迅速也最直接^[48-49],而各气候带间植物种类明显不同,因此植物寄生线虫密度在不同气候带间存在显著差异。捕食-杂食性线虫取食范围广,比如原生动物、藻类等^[50],且捕食-杂食性线虫属于K策略生物,对环境变化较敏感,在受干扰的环境中其密度和多样性比较低^[34,51]。在本文中,捕食-杂食性线虫密度在亚热带常绿阔叶林中最低,说明该气候带的生态系统受到干扰较多。此外,相关性分析表明捕食-杂食线虫和植物寄生线虫密度还与土壤全钾含量呈显著负相关(表5),表明土壤钾含量对这两类线虫有重要影响。

此外,季节变化对不同营养类群的线虫影响不同,食真菌、捕食-杂食和植物寄生3个营养类群的线虫12月份密度均显著高于9月份。可能是因为贡嘎山东坡,9月份降雨量高于12月份,导致土壤湿度比较高,不利于线虫的生长发育。此外,各气候带12月份凋落物累积量高于9月份,可为线虫提供了更为丰富的食物资源和良好的栖息环境,也能够促进土壤线虫数量增加。已有研究表明可获得食物资源的数量、质量和土壤温、湿度可以影响线虫各营养类群的密度^[52],土壤湿度过高使土壤会降低线虫密度^[53-55]。

3.4 生态指数垂直变化

线虫群落生态指数可以揭示土壤线虫食物网稳定性和分解途径等信息^[34, 56-58]。本研究中除PPI指数外,其他各生态指数在不同气候带间均有显著差异。BI指数由亚热带常绿阔叶林到寒温带暗针叶林呈下降趋势,说明土壤食物网的抵抗力呈下降趋势。而BI指数与土壤温度间的正相关关系表明在一定范围内增加土壤温度可以提高土壤线虫食物网的抵抗力。各气候带土壤线虫的CI值均小于50,说明贡嘎山东坡各气候带碎屑食物网以细菌分解途径为主。而Neher等对North Carolina森林的调查结果却是以真菌为分解途径^[59]。这种差异可能是与不同地方土壤湿度差异有关,因为真菌是好气性微生物,贡嘎山东坡土壤湿度较高不利于其生长繁殖,食真菌线虫受到抑制,导致以细菌分解途径为主。Bakonyi等研究也表明土壤水分近饱和状态对食真菌线虫抑制作用更明显^[60]。成熟度指数(MI、PPI)值在1-4之间,用来反映线虫群

落演替状态和土壤环境的稳定性及受干扰的程度,值越小表明生态系统处于演替早期,土壤环境受到的干扰越大,系统越不稳定^[61]。贡嘎山东坡亚热带土壤线虫成熟度指数(MI)显著低于暖温带、中温带和寒温带,表明亚热带土壤环境稳定性较弱,受到自然或人为因素干扰较大。各气候带土壤线虫的成熟度指数均在2.5-3之间说明各气候带土壤生态系统处于中度干扰状态,土壤生态系统较稳定。相关分析结果显示成熟度指数(MI)与有效氮呈显著正相关,与土壤温度呈显著负相关(表5),表明适当提高土壤氮含量可以增加土壤生态系统的抗干扰能力,温度增加不利于抗干扰。

PPI指数则指示植物寄生线虫r-选择和k-选择的比例,反映植物寄生线虫的抗干扰能力和繁殖能力^[61-62]。季节变化对PPI指数有显著影响,且9月份显著高于12月份,说明9月份c-p 3-5的植物寄生线虫数量多于12月份,9月份土壤受到的胁迫较小,土壤线虫群落处于成熟阶段。这可能因为9月份地上植物处于生长期,代谢旺盛,为植物寄生线虫提供了更丰富的食物资源和适宜的生存环境,从而使植物寄生线虫向更成熟K-选择的阶段发展。

4 结论

贡嘎山东坡5个典型气候带中的土壤线虫群落密度及多样性在不同气候带间无显著差异,但季节波动较大。食细菌线虫为各气候带的优势营养类群,表明碎屑食物网以细菌分解途径为主。各气候带间土壤线虫生态指数动态表明贡嘎山东坡亚热带常绿阔叶林及常绿落叶阔叶混交林稳定性较高,受到的干扰也较大;土壤线虫PPI值的季节动态表明9月份地上植被生长状况好于12月份,受到的干扰较弱。土壤有效氮、全钾含量及土壤温度是影响土壤线虫群落的主要环境因子。

参考文献 [References]

- Yeates GW, Bongers T. Nematode diversity in agroecosystems [J]. *Agric Ecosyst Environ*, 1999, **74** (Suppl 1-3): 113-135
- 邵元虎, 傅声雷. 试论土壤线虫多样性在生态系统中的作用[J]. 生物多样性. 2007, **15** (2): 116-123 [Shao YH, Fu SL. The diversity and functions of soil nematodes [J]. *Biodiv Sci*, 2007, **15** (2): 116-123]
- Ugarte CM, Zaborski ER, Wander MM. Nematode indicators as integrative measures of soil condition in organic cropping systems [J]. *Soil Biol Biochem*, 2013, **64** (9): 103-113
- Park BY, Lee JK, RoHM, Kim YH. Effects of heavy metal contamination from an abandoned mine on nematode community structure as an indicator of soil ecosystem health [J]. *Appl Soil Ecol*, 2011, **51** (6): 17-24
- Ekschmitt K, Bakonyi G, Bongers M, Bongers T, Boström S, Dogan H, Harrison A, Nagy P, Donnell AGO, Papatheodorou EM, Sohlenius B, Stamou GP, Wolters V. Nematode community structure as indicator of soil functioning in European grassland soils [J]. *Eur J Soil Biol*, 2001, **37** (4): 263-268
- Hoschitz M, Kaufmann R. Soil nematode communities of Alpine summits-site differentiation and microclimatic influences [J]. *Pedobiologia*, 2004, **48** (4): 313-320
- 贺鸣. 贡嘎山东坡林地土壤微生物学特性的研究[D]. 雅安: 四川农

- 业大学, 2006 [He M. Study on the Microbiological Characteristics of Forests Soil on the East Slopes of Gongga Mountain [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2006]
- 8 Wardle DA. The influence of biotic interactions on soil biodiversity [J]. *Ecol Lett*, 2006, **9** (7): 870-886
 - 9 Vanbergen AJ, Watt AD, Mitchell R, Truscott AM, Palmer SC, Ivits E, Eggleton P, Jones TH, Sousa JP. Scale-specific correlations between habitat heterogeneity and soil fauna diversity along a landscape structure gradient [J]. *Oecologia*, 2007, **153** (3): 713-725
 - 10 Viketoft M, Bengtsson J, Sohlenius B, Berg MP, Petchey O, Palmborg C, Danell KH. Long-term effects of plant diversity and composition on soil nematode communities in model grasslands [J]. *Ecology*, 2009, **90** (1): 90-99
 - 11 Bardgett RD, Wardle DA. Aboveground-Belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change [M]. Oxford: Oxford University Press, 2010
 - 12 Wardle DA, Bardgett RD, Klironomos JN, Setälä H, van der Putten WH, Wall DH. Ecological linkages between aboveground and belowground biota [J]. *Science*, 2004, **304** (5677): 1629-1633
 - 13 Hasegawa M. The relationship between the organic matter composition of a forest floor and the structure of a soil arthropod community [J]. *Eur J Soil Biol*, 2001, **37** (4): 281-284
 - 14 Franklin E, Magnusson WE, Luizão FJ. Relative effects of biotic and abiotic factors on the composition of soil invertebrate communities in an Amazonian savanna [J]. *Appl Soil Ecol*, 2005, **29** (3): 259-273
 - 15 Irmeler U. Climatic and litter fall effects on collembolan and oribatid mite species and communities in a beech wood based on a 7 years investigation [J]. *Eur J Soil Biol*, 2006, **42** (1): 51-62
 - 16 Davies KW, Pokorny ML, Sheley RL, James JJ. Influence of Plant functional group removal on inorganic soil nitrogen concentrations in native grasslands [J]. *Rangeland Ecol Manag*, 2007, **60** (3): 304-310
 - 17 杜小引, 刘奇志, 周海鹰, 谢艳兰, 谢娜, 张丽娟. 西天目山柳杉根际土壤线虫群落组成与多样性分析[J]. 中国农学通报, 2010, **26** (18): 259-264 [Du XY, Liu QZ, Zhou HY, Xie YL, Xie N, Zhang LJ. Analysis on community composition and diversity of nematodes in the rhizosphere soil of Japan cedar (*Cryptomeria fortunei*) in western Tianmu Mountain [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, **26** (18): 259-264]
 - 18 陈小鸟, 由文辉, 易兰. 浙江天童太白山不同海拔土壤动物的群落结构[J]. 生态学杂志, 2009, **28** (2): 270-276 [Chen XN, You WH, Y L. community structure of soil fauna along an altitudinal gradient in Taibai Mountain of Tiantong Region ZheJiang Province [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28** (2): 270-276]
 - 19 Tong FC, Xiao YH, Wang QL. Soil nematode community structure on the northern slope of Changbai Mountain, Northeast China [J]. *J For Res*, 2010, **21** (1): 93-98
 - 20 Luo TX, Luo J, Pan YD. Leaf traits and associated ecosystem characteristics across subtropical and timberline forests in the Gongga Mountains, Eastern Tibetan Plateau [J]. *Oecologia*, 2005, **142** (2): 261-73
 - 21 Sun SQ, Wu YH, Wang GX, Zhou J, Yu D, Bing HJ, Luo J. Bryophyte species richness and composition along an altitudinal gradient in Gongga Mountain, China [J]. *PLoS ONE*, 2013, **8** (3): e8131
 - 22 Wang L, Ou YH, Peng K, Tian YQ, Zhang F. Distribution characteristics of SOM and nitrogen on the eastern slope of Gongga Mountain [J]. *J Geogr Sci*, 2004, **14** (4): 481-487
 - 23 Chen YC, Luo J, Li W, Yu D, She J. Comparison of soil respiration among three different subalpine ecosystems on eastern Tibetan Plateau, China [J]. *Soil Sci Plant Nut*, 2014, **60** (2): 231-241
 - 24 Lin Y, Wang GX. Scale effect on runoff in alpine mountain catchments on China's Gongga Mountain [J]. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss*, 2010, **7**: 2157-2186
 - 25 Wu YH, Li W, Zhou J, Cao Y. Temperature and precipitation variations at two meteorological stations on eastern slope of Gongga Mountain, SW China in the past two decades [J]. *J Mt Sci*, 2013, **10** (3): 370-377
 - 26 李萌, 吴鹏飞, 王永. 贡嘎山东坡典型植被类型土壤动物群落特征[J]. 生态学报, 2015, **35** (7): 2295-2307 [Li M, Wu PF, Wang Y. Vertical distributions of soil fauna communities on the eastern slope of Gongga Mountain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35** (7): 2295-2307]
 - 27 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 51-89 [Yin WY. Pictorial Keys to Soil Animal of China [M]. Beijing: Science Press, 1998: 51-89]
 - 28 Bongers T. Nematodes of the Netherland [M]. Utrecht: Natuurhistorische Vereniging, 1994: 35-385
 - 29 谢辉. 植物线虫分类学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2005: 90-384
 - 30 Yeates GW, Bongers T, Goede RGMD, Freckman DW, Georgieva SS. Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists [J]. *J Nematol*, 1993, **25** (3): 315-331
 - 31 梁文举, 张万民, 李维光, 段玉玺. 施用化肥对黑土地区线虫群落组成及多样性产生的影响[J]. 生物多样性, 2001, **9** (3): 237-240 [Liang WJ, Zhang WM, Li WG, Duan YX. Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the Black Soil Region [J]. *Biodiv Sci*, 2001, **9** (3): 237-240]
 - 32 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学出版社, 1999 [Lu RK. Methods of Soil Agricultural Chemistry Analysis [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999]
 - 33 殷秀琴, 王海霞, 周道玮. 松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征[J]. 生态学报, 2003, **23** (6): 1071-1078 [Yin XQ, Wang HX, Zhou DW. Characteristics soil animal communities in different agricultural ecosystem in the Songnen Grassland of China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23** (6): 1071-1078]
 - 34 Ferris H, Bongers T, Goede RGMD. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept [J]. *Appl Soil Ecol*, 2001, **18** (1): 13-29
 - 35 Berkelmans R, Ferris H, Tenuta M, Bruggen ACV. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management [J]. *Appl Soil Ecol*, 2003, **23** (3): 223-235
 - 36 李玉娟. 云南哀牢山土壤线虫对植物群落改变及地上/地下资源输入的响应[D]. 上海: 复旦大学, 2008 [Li YJ. Responses of soil nematodes to plant community changes and above/belowground resource inputs in Ailao Mountains, Yunnan [D]. Shanghai: Fudan University, 2008]
 - 37 佟富春, 肖以华, 王庆礼. 长白山春季不同植被类型中土壤线虫的群落结构[J]. 生态环境学报, 2009, **18** (2): 653-657 [Tong FC, Xiao YH, Wang QL. Soil nematode community structure under different vegetation of Changbai Mountain in Spring [J]. *Ecol Environ*, 2009, **18**

- (2): 653-657]
- 38 李检舟. 云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林土壤氮矿化研究[D]. 中国科学院西双版纳热带植物园, 2006 [Li JZ. Soil nitrogen mineralization in a mountane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao mountains, Yunnan [D]. Xishuangbanna: Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, 2006]
- 39 Yeates GW. Abundance, diversity, and resilience of nematode assemblages in forest soils [J]. *Can J Forest Res*, 2007, **37** (2): 216-225
- 40 侯本栋, 马风云, 吴海燕, 荆尚军. 黄河三角洲不同演替阶段湿地土壤线虫的群落特征[J]. 应用与环境生物学报, 2008, **14** (2): 202-206 [Hou BD, Ma FY, Wu HY, Jing SJ. Characteristics of soil nematodes communities at different succession stages of wetland in the Yellow River Delta, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2008, **14** (2): 202-206]
- 41 梁文举, 姜勇, 李琪, 陈利军, 曲业兵. 施用化肥对下辽河平原稻田土壤线虫群落产生的影响[J]. 土壤通报, 2004, **35** (6): 773-775 [Liang WJ, Jiang Y, Li Q, Chen LJ, Qu YB. Effect of chemical fertilizers on nematodes community in the Liaohe plain paddy soil [J]. *Chin J Soil Sci*, 2004, **35** (6): 773-775]
- 42 欧伟, 李琪, 梁文举, 姜勇, 闻大中. 稻田不同水分管理方式对土壤线虫群落的影响[J]. 应用生态学报, 2004, **15** (10): 1921-1925 [Ou W, Li Q, Liang WJ, Jiang Y, Wen DZ. Effects of water managements on soil nematode communities in a paddy field [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15** (10): 1921-1925]
- 43 Beare MH, Parmelee RW, Hendrix PF, Cheng WX, Coleman DC, Crossley DA. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems [J]. *Ecol Monogr*, 1992, **62** (4): 569-591
- 44 Connell JH, Slatyer RO. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization [J]. *Am Nat*, 1977, **111** (982): 1119-1144
- 45 Freckman DW, Baldwin JG. Nematoda [M]//Dindal DL. Soil Biology Guide. New York: John Wiley & Sons, 1990: 155-200
- 46 Wu P, Liu S, Liu X. Composition and spatio-temporal changes of soil macroinvertebrates in the biodiversity hotspot of northern Hengduan Mountains, China [J]. *Plant Soil*, 2012, **357** (1-2): 321-338
- 47 吴建波, 阮维斌, 谢凤行, 李晶, 高玉葆. 毛乌素沙地三种植物根际土壤线虫群落和多样性分析[J]. 生物多样性, 2008, **16** (6): 547-554 [Wu JB, Ruan WB, Xie FX, Li J, Gao YB. Diversity and community analysis of soil nematodes associated with three plant species in Mu Us sandy land of Ordos Plateau [J]. *Biodiv Sci*, 2008, **16** (6): 547-554]
- 48 Mccorley R. Relationship of crop and rainfall to soil nematode community structure in perennial agroecosystems [J]. *Appl Soil Ecol*, 1997, **6** (2): 147-159
- 49 Goede RGMD, Bongers T. Nematode community structure in relation to soil and vegetation characteristics [J]. *Appl Soil Ecol*, 1994, **1** (1): 29-44
- 50 Neher DA. Ecology of plant and free-living nematodes in natural and agricultural soil [J]. *Annu Rev Phytopathol*, 2010, **48** (1): 371-94
- 51 Sohlenius B, Wasilewska L. Influence of irrigation and fertilization on the nematode community in a Swedish pine forest soil [J]. *J Appl Ecol*, 1984, **21** (1): 327-342
- 52 Norton DC, Niblack TL, Nickle WR. Biology and Ecology of Nematodes [M]. New York: Marcel Dekker Inc, 1991
- 53 Schmitt DP, Norton DC. Relationships of plant parasitic nematodes to sites in native iowa prairies [J]. *J Nematol*, 1972, **4** (3): 200-205
- 54 王振中, 张友梅, 伍惠生. 湘中山地土壤线虫(Nematoda)生态地理群的研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1992, **15** (1): 72-78 [Wang ZZ, Zhang YM, Wu HS. A study on Nematoda of ecogeographic population in Hunan mountain [J]. *J Nat Sci Hunan Normal Univ*, 1992, **15** (1): 72-78]
- 55 李萌, 何先进, 吴鹏飞. 土壤线虫对短期水分变化的响应[J]. 西南农业学报, 2014, **27** (2): 710-714 [Li M, He XJ, Wu PF. Responses of soil nematodes to short-term soil water content changes [J]. *Southwest Chin J Agric Sci*, 2014, **27** (2): 710-714]
- 56 Wu JH, Fu CZ, Chen SS, Chen JK. Soil faunal response to land use: effect of estuarine tideland reclamation on nematode communities [J]. *Appl Soil Ecol*, 2002, **21** (2): 131-147
- 57 Ferris H, Matute MM. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web [J]. *Appl Soil Ecol*, 2003, **23** (2): 93-110
- 58 Liang WJ, Zhang XK, Li Q, Jiang Y, Ou W, Neher DA. Vertical distribution of bacterivorous nematodes under different land uses [J]. *J Nematol*, 2005, **37** (3): 254-258
- 59 Neher DA, Wu J, Barbercheck ME, Anas O. Ecosystem type affects interpretation of soil nematode community measures [J]. *Appl Soil Ecol*, 2005, **30** (1): 47-64
- 60 Bakonyi G, Nagy P. Temperature- and moisture-induced changes in the structure of the nematode fauna of a semiarid grassland - patterns and mechanisms [J]. *Global Change Biol*, 2000, **6** (6): 697-707
- 61 Bongers T. The Maturity Index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition [J]. *Oecologia*, 1990, **83** (1): 14-19
- 62 张伟东, 尚艳芳, 王雪峰. 土壤线虫群落对大连石门山森林植被恢复的响应[J]. 生态学报, 2010, **30** (4): 878-886 [Zhang WD, Shang YF, Wang XF. There sponse of soil nematode community to vegetation restoration in Shimenshan in Dalian [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30** (4): 878-886]

附表1 贡嘎山东坡不同海拔梯度林地土壤线虫组成及数量 ($n/\text{ind. (100 g)}^{-1}$)

Appendix Table 1 Composition and quantity of soil nematode under different elevation of forest soils on the eastern slope of Gongga Mountain

类群 Group	营养类群 Trophic group	海拔 Elevation					合计 Total	比例 (P/%) Percentage
		1600 m	2000 m	2400 m	2800 m	3200 m		
食细菌线虫 Bacterivores (Ba)								
棱咽属 <i>Prismatolaimus</i>	Ba3	208.11	305.13	162.09	204.07	82.87	962.26	8.93
绕线属 <i>Plectus</i>	Ba2	51.12	123.30	152.26	116.95	138.65	582.28	5.40
畸头属 <i>Teratocephalus</i>	Ba3	12.20	95.65	55.45	165.92	100.49	429.71	3.99
威尔斯属 <i>Wilsonema</i>	Ba2	65.47	109.97	79.37	38.50	5.94	299.25	2.78
小杆属 <i>Rhabditis</i>	Ba1	45.39	128.01	20.35	30.77	21.25	245.77	2.28
单宫属 <i>Monhystera</i>	Ba2	17.57	47.94	66.57	64.86	32.68	229.62	2.13
原杆属 <i>Protorhabditis</i>	Ba1	10.50	122.07	27.44	23.24	31.56	214.82	1.99
真畸头属 <i>Euteratocephalus</i>	Ba3	12.70	47.51	21.23	55.84	37.13	174.41	1.62
拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>	Ba2	100.01	54.16	5.91	8.48	5.00	173.55	1.61
无咽属 <i>Alaimus</i>	Ba4	6.29	29.77	40.08	34.33	34.52	145.00	1.35
地单宫属 <i>Geomonhystera</i>	Ba2	1.50	12.00	37.41	65.00	19.40	135.31	1.26
拟绕线属 <i>Anaplectus</i>	Ba2	17.43	40.39	25.57	22.71	27.29	133.41	1.24
头叶属 <i>Cephalobus</i>	Ba2	69.35	27.99	6.35	3.00	1.73	108.42	1.01
真头叶属 <i>Eucephalobus</i>	Ba2	32.82	37.15	23.04	5.23	2.21	100.46	0.93
活跃属 <i>Greenenema</i>	Ba3	1.80	3.91	34.18	27.8	12.16	79.86	0.74
真单宫属 <i>Eumonhystera</i>	Ba2	0.67	24.14	20.52	17.69	9.98	73.00	0.68
索咽属 <i>Desmolaimus</i>	Ba3	1.22	7.63	10.63	26.96	23.48	69.92	0.65
小单宫属 <i>Monhystrella</i>	Ba2	0.84	9.46	4.85	7.95	45.19	68.28	0.63
巴氏属 <i>Bastiania</i>	Ba3	7.92	16.54	15.20	21.60	4.08	65.35	0.61
艾瑞属 <i>Ereptonema</i>	Ba2	5.76	6.02	6.51	31.94	13.93	64.15	0.60
角绕线属 <i>Ceratoplectus</i>	Ba2	3.81	16.49	32.77	3.26	0.21	56.53	0.52
齿腔属 <i>Odontolaimus</i>	Ba3	14.31	32.30	1.95	1.11		49.67	0.46
盆咽属 <i>Panagrolaimus</i>	Ba1	6.37	7.62	11.55	11.19	10.38	47.11	0.44
双胃属 <i>Diplogaster</i>	Ba1	6.62		1.13	1.85	29.19	38.79	0.36
连胃属 <i>Chronogaster</i>	Ba2	13.86	4.43	3.87	10.40	3.90	36.46	0.34
圆顶属 <i>Domorganus</i>	Ba3	18.58		4.01	4.42	7.53	34.55	0.32
伪双胃属 <i>Pseudodiplogasteroides</i>	Ba1	5.03	4.39		3.31	18.05	30.77	0.29
鹿角唇属 <i>Cervidellus</i>	Ba2	1.59			15.59	6.16	23.34	0.22
刻点属 <i>Punctodora</i>	Ba3	1.11	1.28	16.75	3.60	0.21	22.95	0.21
隐咽属 <i>Aphanolaimus</i>	Ba3	1.10	2.83	5.41	3.53	7.07	19.95	0.19
微咽属 <i>Microlaimus</i>	Ba2		2.45	1.70	10.65	4.90	19.70	0.18
板唇属 <i>Chiloplacus</i>	Ba2	6.80	0.75		4.36	4.40	16.31	0.15
类隐咽属 <i>Paraphanolaimus</i>	Ba3	2.04	1.28	1.78	11.13		16.23	0.15
浅腔属 <i>Panagrellus</i>	Ba1	0.49	11.06			3.39	14.94	0.14
角头属 <i>Tylocephalus</i>	Ba2	2.52	6.96	1.62	3.84	0.51	15.44	0.14
扭钩属 <i>Plectonchus</i>	Ba1	2.15	0.66		4.25	6.99	14.05	0.13
杆咽属 <i>Rhabdolaimus</i>	Ba3		7.01	5.58	0.25	1.56	14.40	0.13
中杆属 <i>Mesorhabditis</i>	Ba1	10.32				1.05	11.37	0.11
涎线属 <i>Sinanema</i>	Ba2	1.50		3.17	1.98	4.93	11.58	0.11
短腔属 <i>Brevibucca</i>	Ba1			1.13	1.89	7.74	10.76	0.10
丽突属 <i>Acrobeles</i>	Ba2		2.47	1.10	2.56	4.87	11.00	0.10
齿咽属 <i>Odontopharynx</i>	Ba1					8.53	8.53	0.08
三等齿属 <i>Pelodera</i>	Ba1				0.92	7.52	8.45	0.08
异头叶属 <i>Heterocephalobus</i>	Ba2	0.44	7.78				8.22	0.08
哈利头叶属 <i>Halicephalobus</i>	Ba2	1.32		2.79	1.66	2.37	8.13	0.08
唇绕线属 <i>Chiloplectus</i>	Ba2		1.49	0.95	0	5.08	7.52	0.07
明杆属 <i>Rhabditophanes</i>	Ba1	0.35	2.11	1.52	1.30	0.99	6.27	0.06
齿杆属 <i>Odontorhabditis</i>	Ba1	1.95			1.66	2.62	6.22	0.06
筒咽属 <i>Deontolaimus</i>	Ba2	3.92	0.51		0.65	1.63	6.71	0.06
无齿属 <i>Anonchus</i>	Ba3	2.17		4.83			7.00	0.06
微线属 <i>Micronema</i>	Ba1	1.67			0.79	2.35	4.80	0.04
<i>Pellioiditis</i>	Ba1	4.30					4.30	0.04
板环属 <i>Placodira</i>	Ba2	4.77					4.77	0.04
异双胃属 <i>Diplogasteriana</i>	Ba1	1.40			1.11	0.16	2.67	0.02
嗜腐属 <i>Micoletzkyia</i>	Ba1	1.10				1.29	2.39	0.02
瓣唇属 <i>Panagrobelus</i>	Ba1			2.17		0.07	2.23	0.02
钩唇属 <i>Diploscapter</i>	Ba1	1.70				0.38	2.08	0.02
威尔疣线属 <i>Wilsotylus</i>	Ba2				1.25	1.41	2.66	0.02
高杯侧属 <i>Amphidelus</i>	Ba4				0.38	1.98	2.35	0.02
广杆属 <i>Caenorhabditis</i>	Ba1			0.95		0.34	1.30	0.01

(续附表1 Continued)

类群 Group	营养类群 Trophic group	海拔 Elevation					合计 Total	比例 (P/%) Percentage
		1600 m	2000 m	2400 m	2800 m	3200 m		
丘陵属 <i>Bunonema</i>	Ba1	0.17		0.81			0.98	0.01
小双胃属 <i>Diplogastrellus</i>	Ba1					0.94	0.94	0.01
伪杆咽属 <i>Rhabdontolaimus</i>	Ba1					0.75	0.75	0.01
张伯塞线虫属 <i>Chambersiella</i>	Ba2					0.65	0.65	0.01
类管咽属 <i>Aulolaimoides</i>	Ba3					0.75	0.75	0.01
异咽属 <i>Poikilolaimus</i>	Ba1					0.07	0.07	0
管咽属 <i>Aulolaimus</i>	Ba2					0.35	0.35	0
<i>Dintheria</i>	Ba3	0.44					0.44	0
柱咽属 <i>Cylindrolaimus</i>	Ba3					0.34	0.34	0
食真菌线虫 Fungivores (Fu)								
滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	Fu2	60.35	92.69	97.08	98.05	33.07	381.24	3.54
真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	Fu2	35.45	70.50	23.46	31.35	20.61	181.37	1.68
茎属 <i>Ditylenchus</i>	Fu2	4.52	12.27	7.17	11.31	1.35	36.61	0.34
伪垫刃属 <i>Nothotylenchus</i>	Fu2	8.85	4.04	3.52	10.66	0.35	27.42	0.25
柄端球属 <i>Paurodontus</i>	Fu2	8.06	6.37	7.35	3.06		24.85	0.23
垫咽属 <i>Tylencholaimus</i>	Fu4	0.67	4.81	6.28	3.70	3.98	19.45	0.18
膜皮属 <i>Diphtherophora</i>	Fu3	3.21	7.47	1.13	2.70	0.18	14.69	0.14
细齿属 <i>Leptonchus</i>	Fu4	4.84			1.00	1.20	7.03	0.07
异球属 <i>Stictylus</i>	Fu2		0.60	1.76		2.73	5.09	0.05
瘤咽属 <i>Tylencholaimellus</i>	Fu4	0.87		2.66		0.38	3.92	0.04
原细齿属 <i>Proleptonchus</i>	Fu4	1.00	0.20	1.43	1.78	0.26	4.68	0.04
巨宫属 <i>Tylolaimophorus</i>	Fu3	0.20	3.04			0.26	3.50	0.03
短矛属 <i>Doryllium</i>	Fu4					0.16	0.16	0
植物寄生线虫 Plant-parasites (Pl)								
垫刃属 <i>Tylenchus</i>	Pl2	87.49	127.28	216.49	396.92	104.51	932.69	8.66
裸矛属 <i>Psilenchus</i>	Pl2	87.27	78.85	98.23	206.26	51.52	522.13	4.85
丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i>	Pl2	15.54	46.14	43.74	25.53		130.95	1.22
针属 <i>Paratylenchus</i>	Pl2	3.04	80.14	31.64	12.35	1.04	128.21	1.19
短针属 <i>Brachydorus</i>	Pl3	1.99	76.34			0.83	79.15	0.73
短体长针属 <i>Longidorella</i>	Pl4	3.36	9.70	11.57	6.10	3.72	34.46	0.32
颚针属 <i>Belondira</i>	Pl5	15.63		1.21	5.96	5.36	28.15	0.26
毛刺属 <i>Trichodorus</i>	Pl4	11.58	0.33	2.95	5.36	6.36	26.58	0.25
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	Pl3	1.57	8.04	6.37	8.93	1.44	26.35	0.24
肾状属 <i>Rotylenchulus</i>	Pl3	0.89	17.82	7.18			25.90	0.24
丝尾属 <i>Oxydirus</i>	Pl5	0.95	4.55	3.33	0.71	9.51	19.04	0.18
缢咽属 <i>Axonchium</i>	Pl5	8.65	2.27	1.84	6.83	0.26	19.84	0.18
剑尾垫刃属 <i>Malenchus</i>	Pl2	7.79	4.62	4.43	1.06		17.90	0.17
头垫刃属 <i>Cephalenchus</i>	Pl2	1.27	2.73	2.05		9.40	15.46	0.14
潜根属 <i>Hirschmanniella</i>	Pl3	0.51	0.63	3.91	6.34	3.26	14.66	0.14
剑属 <i>Xiphinema</i>	Pl5	0.21	0.60	4.15	5.57	4.79	15.31	0.14
穿孔属 <i>Radopholus</i>	Pl3	2.04	0.75	1.56	6.21	3.89	14.45	0.13
轮属 <i>Criconemoides</i>	Pl3	0.27	3.39	3.44	2.13	5.00	14.23	0.13
根结属 <i>Meloidogyne</i>	Pl3					13.54	13.54	0.13
突腔唇属 <i>Ecphyadophora</i>	Pl2		0.42	0.81	10.76	0.64	12.63	0.12
长针属 <i>Longidorus</i>	Pl5	1.57	2.99	3.13	4.10	0.77	12.56	0.12
矮化属 <i>Tylenchorynchus</i>	Pl3	1.36	0.83	3.13	3.89	2.67	11.89	0.11
大节片属 <i>Macroposthonia</i>	Pl3					9.17	9.17	0.09
类突腔唇属 <i>Tenunemellus</i>	Pl2			1.13	7.43		8.56	0.08
散香属 <i>Boleodorus</i>	Pl2	5.23	2.11	0.24			7.59	0.07
拟毛刺属 <i>Paratrichodorus</i>	Pl4	5.08		0.44	1.96		7.48	0.07
刺属 <i>Belonolaimus</i>	Pl3	0.36		0.95	1.77	3.73	6.81	0.06
环属 <i>Criconema</i>	Pl3	1.24	0.66	1.53	2.21		5.64	0.05
巴兹尔属 <i>Basiria</i>	Pl2				4.42		4.42	0.04
异皮属 <i>Heterodera</i>	Pl3		0.70			3.39	4.09	0.04
短体属 <i>Pratylenchus</i>	Pl3	1.51	0.15	0.68		0.84	3.17	0.03
细纹垫刃属 <i>Lelenchus</i>	Pl2		0.51		1.68		2.19	0.02
野外垫刃属 <i>Aglenchus</i>	Pl2		0.51		1.68		2.19	0.02
半轮属 <i>Hemicriconemoides</i>	Pl3				0.90		0.90	0.01
鞘属 <i>Hemicyclophora</i>	Pl3	1.20	0.33				1.53	0.01
盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	Pl3	0.67	0.92				1.59	0.01
那格尔属 <i>Nagelus</i>	Pl3		1.06				1.06	0.01
峡瓣属 <i>Swangeria</i>	Pl5				0.25	0.72	0.97	0.01
锥属 <i>Dolichodorus</i>	Pl3	0.17					0.17	0

(续附表1 Continued)

类群 Group	营养类群 Trophic group	海拔 Elevation					合计 Total	比例 (P%) Percentage
		1600 m	2000 m	2400 m	2800 m	3200 m		
捕食杂食线虫 Predators-Omnivores (Pr)								
真矛线属 <i>Eudorylaimus</i>	Pr4	13.31	71.82	131.97	216.85	59.69	493.64	4.58
单色矛属 <i>Monochromadora</i>	Pr3	42.67	39.09	45.74	117.65	12.96	258.12	2.40
前矛线属 <i>Prodorylaimus</i>	Pr5	16.32	39.90	73.29	41.51	47.44	218.46	2.03
单齿属 <i>Mononchus</i>	Pr4	21.41	16.87	25.25	55.88	89.86	209.27	1.94
三孔属 <i>Tripyla</i>	Pr3	13.19	57.09	32.00	53.25	52.02	207.54	1.93
锉齿属 <i>Mylonchulus</i>	Pr4	19.53	68.40	50.30	48.01	14.03	200.27	1.86
异色矛属 <i>Achromadora</i>	Pr3	27.58	38.78	50.58	31.64	10.23	158.82	1.47
中矛线属 <i>Mesodorylaimus</i>	Pr5	22.50	21.53	30.53	20.20	23.64	118.39	1.10
拟桑尼属 <i>Thorneella</i>	Pr4	11.60	21.42	33.42	20.56	16.02	103.02	0.96
基齿属 <i>Iotonchus</i>	Pr4	11.99	20.24	8.15	15.73	42.28	98.39	0.91
伊龙属 <i>Ironus</i>	Pr4	8.43	33.34	28.43	17.44	7.66	95.31	0.88
色矛属 <i>Chromadorita</i>	Pr3	11.76	4.41	12.47	27.21	18.33	74.18	0.69
三裂体属 <i>Trischistoma</i>	Pr3	9.03	30.60	5.97	24.82		70.41	0.65
孔咽属 <i>Aporcelaimus</i>	Pr5	5.79	2.47	2.16	34.05	21.26	65.74	0.61
表矛线属 <i>Epidorylaimus</i>	Pr4	0.21	5.55	16.95	24.82	7.77	55.30	0.51
锯齿属 <i>Prionchulus</i>	Pr4	6.36	8.12	18.66	13.22	6.70	53.06	0.49
角咽属 <i>Actinolaimus</i>	Pr5	0.36	3.48	11.72	0.81	31.96	48.34	0.45
倒齿属 <i>Anatonchus</i>	Pr4		2.47	21.14	18.83	4.72	47.16	0.44
异齿属 <i>Fudonchulus</i>	Pr4	4.73	5.51	10.37	17.07	6.41	44.08	0.41
下齿属 <i>Hypodontolaimus</i>	Pr3		2.08	10.80	9.09	5.39	27.35	0.25
单棘属 <i>Mononchulus</i>	Pr4	0.19	2.17	10.77	9.03	4.87	27.03	0.25
等齿属 <i>Miconchus</i>	Pr4				18.07	7.45	25.52	0.24
矛线属 <i>Dorylaimus</i>	Pr4	3.40	4.74	5.48	4.41	3.30	21.32	0.20
索努斯属 <i>Thonus</i>	Pr4	5.54	3.31	7.01	3.89		19.75	0.18
桑尼属 <i>Thornia</i>	Pr4	0.99	1.37	0.46		10.32	13.14	0.12
咽针属 <i>Laimydorus</i>	Pr5	7.97		2.64		2.56	13.17	0.12
拟矛线属 <i>Dorylaimoides</i>	Pr4	0.36	2.12	3.70	0.08	5.46	11.72	0.11
克拉克属 <i>Clarkus</i>	Pr4		2.24	2.86	3.64	2.59	11.33	0.11
小帕克属 <i>Parkellus</i>	Pr4		4.99	2.66		4.00	11.65	0.11
钵盘属 <i>Mylodiscus</i>	Pr4	5.99		3.84		0.34	10.18	0.09
图鲁玛那瓦属 <i>Torumanawa</i>	Pr5	0.84	1.60	3.67	3.35		9.46	0.09
托布利属 <i>Tobrilus</i>	Pr3	2.21	0.20	2.06		3.69	8.16	0.08
小矛线属 <i>Microdorylaimus</i>	Pr4	0.06		8.87			8.93	0.08
拟杯咽属 <i>Paracyatholaimus</i>	Pr3	2.42		2.48	2.70		7.60	0.07
无孔小咽属 <i>Aporcelaimellus</i>	Pr5			3.38	4.17		7.55	0.07
锐咽属 <i>Carcharolaimus</i>	Pr5	1.48	0.79	1.84	0.38	2.77	7.26	0.07
嘴刺属 <i>Enoploides</i>	Pr3			6.90			6.90	0.06
小穿咽属 <i>Nygolaimellus</i>	Pr5				2.31	2.54	4.85	0.05
盘腔属 <i>Discomyctus</i>	Pr4	0.73				3.22	3.94	0.04
小剑属 <i>Xiphinemella</i>	Pr4	1.20	0.91		0.38	2.31	4.80	0.04
穿咽属 <i>Nygolaimus</i>	Pr5		0.85	1.50	0.38	1.15	3.87	0.04
类缢咽属 <i>Paraxonchium</i>	Pr5		4.57				4.57	0.04
异矛线属 <i>Allodorylaimus</i>	Pr4			1.81	1.25		3.06	0.03
<i>Dorydorella</i>	Pr4	0.18		2.68			2.86	0.03
盘咽属 <i>Discolaimus</i>	Pr5					3.73	3.73	0.03
大矛属 <i>Enchodelus</i>	Pr4			2.25			2.25	0.02
螯属 <i>Pungentus</i>	Pr4				1.80		1.80	0.02
独壁齿属 <i>Campydora</i>	Pr4					1.24	1.24	0.01
类矛线属 <i>Amphidorylaimus</i>	Pr4			0.24		1.26	1.50	0.01
峡咽属 <i>Discolaimium</i>	Pr5					0.82	0.82	0.01
金线属 <i>Chrysonema</i>	Pr4					0.26	0.26	0
Ba		792.57	1362.61	922.55	1081.73	813.15	4972.60	46.15
PO		280.33	523.03	697.00	864.48	542.25	2907.09	26.98
Pl		268.44	475.37	456.13	737.31	246.36	2183.61	20.27
Fu		128.02	201.99	151.84	163.61	64.53	709.99	6.59
总个体数 Total individuals		1469.36	2563.00	2227.52	2847.13	1666.29	10773.30	100.00
总类群数 Total group number		123	111	119	119	136	172	