

高黎贡山自然保护区大型土壤动物群落特征

肖能文^{1,2,3}, 刘向辉², 戈 峰^{2,*}, 欧阳志云¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理国家重点实验室, 北京 100080; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 系统调查了高黎贡山自然保护区土壤性质与土壤动物的种类与分布。海拔高度决定土壤的性质, 土壤温度、湿度、有机质含量和磷的含量与海拔有明显的相关。在不同海拔 11 个样地共采集到大型土壤动物标本 1 万余号, 分属于 2 个门, 5 纲, 18 目, 47 科, 13 亚科。等翅目 Isoptera、膜翅目 Hymenoptera 和弹尾目 Collembola 昆虫是主要类群, 随着海拔高度的增加, 土壤动物数量和种类, 以及 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和均匀度指数都是先增加然后减少。在海拔 1500 ~ 2500 m 左右数量最多, 然后递减, 土壤动物的分布以中山部最多而山顶部和底部较少的变化趋势。土壤动物的分布受海拔和土壤性质的影响。

关键词: 土壤动物; 群落组成; 水平分布; 垂直分布; 土壤性质

文章编号: 1000-0933(2009)07-3576-09 中图分类号: Q165, Q142 文献标识码: A

Research on soil faunal community composition and structure in the Gaoligong Mountains National Nature Reserve

XIAO Neng-Wen^{1,2,3}, LIU Xiang-Hui², GE Feng^{2,*}, OUYANG Zhi-Yun¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 10085, China

2 State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 10080, China

3 Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 10012, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3576 ~ 3584.

Abstract: The Gaoligong Mountain, as the subtropics climate, is located in the collision region between the Indian tectonic plate and the Eurasian tectonic plate. In this experiment, the soil property, fauna community type and distribution of 11 samples in Gaoligong Mountain were studied from altitude 960 m to 3188 m. The results showed that the soil property was determined by altitudinal gradient. Significant correlation was observed in soil temperature, water content, organic content and phosphorus content with altitudinal gradient ($P < 0.05$). Two phylums (Annelida and Arthropoda), three classes (Oligochaeta, Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Insect), eighteen Orders, forty-seven Families and thirteen Subfamilies were included in the soil fauna. Isoptera, Hymenoptera and Collembola were dominant in these groups, and Coleoptera, Deramptera and Diptera were common groups. A single-peak curve was appeared in the vertical distribution pattern of soil fauna. The number of the soil fauna individuals and groups, as well as the value of Simpson Index, Shannon-Wiener Index and Evenness Index gradually increased and then decreased with increase of elevation. The peak of soil fauna appeared in the areas from 1500 m to 2500 m above sea level. Soil fauna distribution and community composition were correlated with the soil property (including in soil organic content, phosphorus content and water content) ($P < 0.05$). The results above indicated that the pattern of soil fauna distribution along the altitudinal gradient may be affected by the multi-factors, such as altitude, rainfall, climate, habitat, soil property and so on.

基金项目: 国家科技基础条件平台建设项目资助(2005DKA21404); 国家博士后基金资助项目(20060390524)

收稿日期: 2008-08-28; **修订日期:** 2009-04-10

致谢: 感谢广西师范大学周善义教授帮助鉴定蚂蚁标本、中国科学院动物研究所凌斌和常亮博士协助采集标本。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gef@ioz.ac.cn

Key Words: soil fauna; community composition; horizontal distribution; vertical distribution; soil property

高黎贡山位于中缅交界地带,自北向南横亘在云南西部中缅边境地区,怒江(萨尔温江)和伊洛瓦底江的分水山脉和山脉两侧地域^[1]。这一地区是国际关注的地理学与生物学保护研究的关键地区之一,也是全球 25 个生物多样性保护的热点之一^[2]。高黎贡山地区总体上属于季风气候类型,南北差异明显^[3]。具有亚热带、温带和寒温带型气候带,相对应的土壤和植被带也十分发育。植被和土壤垂直分带明显,从山脚到山顶分布了相当于亚热带到寒温带的所有土壤类型^[4]。

土壤动物是土壤生态系统的重要组成部分之一,土壤生物在土壤形成发育、土壤结构和肥力保持以及促进和保护植物群落的次生演替和动植物物种多样性方面发挥着重要作用^[5,6]。森林土壤动物在森林系统中的生态功能性作用已引起学者们的广泛关注。我国土壤动物的研究还是起步阶段,尹文英等对天目山、南岳衡山和岳麓山等亚热带土壤动物群落结构和季节动态做过调查,并分析了土壤动物与土壤性质的关系^[7]。殷秀琴等系统研究了东北森林土壤动物群落结构^[8]。其后开展了一系列的关于土壤动物的研究,为我国土壤动物的研究奠定了基础。但土壤动物分布与海拔以及环境因子的关系研究较少,高黎贡山土壤动物也没有系统研究。

本文以云南高黎贡山国家级自然保护区为研究点,通过按不同海拔和不同植被以及土壤类型取样,旨在调查自然保护区土壤动物的多样性,并探索土壤动物分布与植被分布、海拔的关系。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究地区概况

调查工作主要在高黎贡山怒江南段东坡(腾冲县和保山市)境内区域(约东经 98° 44' ~ 49', 北纬 25° 17' ~ 26')。当地植被由于高差大,水湿和气候条件形成了明显的植物垂直景观:

(1)河谷江边雨林带,海拔 800 ~ 1500 m。以过渡性的南亚热带沟谷雨林为主,多数为陡坡耕作区。该区人畜居住活动带、土壤侵蚀比较严重,耕作层浅、覆盖度达 15% 左右。

(2)半湿润常绿阔叶林,海拔 1500 ~ 2000 m。植被比较茂密,以高山栲、元江栲和麻栎林、硬斗石栎林为主,混生有楠栎、青岗栎、木荷等。

(3)中山湿性常绿阔叶林,海拔 2000 ~ 2500 m,植被茂密,树干上有 5 ~ 10 cm 厚的苔藓,树枝上有兰科、百合科杜鹃花科等寄生。部分林木具有明显的板根,地面有很多枯倒木,枯枝落叶层很厚,达十多厘米。建群种类十分复杂。乔木层有:青冈、石栎、大树杜鹃、垂直香柏等;林下有箭竹、杜鹃、厚皮香、胡颓子、荚迷等,乔木层平均数高 26 m 左右^[9]。

(4)温良性针阔混交林带,海拔 2500 ~ 3000 m。植被为常绿阔叶林,小山脊以针叶林为主,沟谷为壳斗科、木兰科、樟科、茶科和杜鹃花科等,林木长势良好。林下以箭竹、杜鹃、马缨花、南竹为主、箭竹高 5 ~ 12 m。

(5)寒温灌丛带,海拔 3000 m 以上。风大、干冷、气候多变。植株矮小、建群种是高山栒子和箭竹,另有杜鹃、蔷薇、禾本科等,覆盖度可达 85% 左右。

1.2 样地的设定

根据不同海拔和不同植被以及土壤类型,在高黎贡山东坡设定了 11 个 20 m × 20 m 的样方,样方的设置如表 1。

1.3 调查采样方法

2006 年 5 月和 10 月到高黎贡山国家级自然保护区进行土壤动物标本的调查和收集,在每个样地设置 4 个取样点,面积为 0.5 m × 0.5 m,每个采样点分 0 ~ 10 cm, 10 ~ 20 cm, 20 ~ 30 cm 3 层采样,挖取土壤放于聚乙烯薄膜上,小心地破碎土块,手拣其中的土壤动物。标本分离后保存带回实验室进行鉴定。蚯蚓类鉴定到种,昆虫成虫一般分到科,昆虫幼虫和其他节肢动物分到目。其他类群样本分类鉴定到纲、目或科^[7,10~12],螨类和线虫另有研究。然后在 4 个采样点挖出的剖面上按 0 ~ 10 cm, 10 ~ 20 cm, 20 ~ 30 cm 3 层,用 100 cm³ 环刀

各取土样 2 个带回,用于土壤性质的测定。

表 1 云南高黎贡山东坡土壤动物调查采样地点

Table 1 Sampling sites for investigating soil fauna in the Gaoligong Mountain of Yunnan Province

样地号 Sampling code	经纬度 GPS site	植被亚型 Vegetation sub tape	群落 Community	坡度 Gradient	坡向 Direction of slope	海拔 Altitude	土壤 Soil
10	98°49'42 25°26'08	干热河谷稀疏灌丛 Dry heat valley sparse shrub	柯子,余甘子,灌丛(半为 农地) <i>Terminalia chebula</i> , <i>Phyllanthus emblica</i>	37°	东南 Southeast	960	褐红壤 Brown red earth
9	98°49'17 25°16'32	干热河谷稀疏灌丛 Dry heat valley sparse shrub	麻栎,余甘子灌丛 <i>Quercus acutissima</i> , <i>Phyllanthus emblica</i>	43°	东南 Southeast	1182	褐红壤 Brown red earth
8	98°48'05 25°17'18	咖啡林 Coffee forest	咖啡林(经济林) Coffee forest	25°	西南 Southwest	1381	褐红壤 Brown red earth
4	98°47'54 25°17'45	季风常绿阔叶林 Monsoon evergreen broadleaf forest	短刺栲、高山栲林 <i>Castan- opsis echidnocarpa</i> , <i>Cas- tanopsis delavayi</i>	37°	东南 Southeast	1636	黄褐壤 Yellow brown earth
2	98°47'18 25°17'43	半湿润常绿阔叶林 Subhumid evergreen broadleaf forest	元江栲林 <i>Castanopsis or- thacantha</i>	22°	东南 Southeast	1928	黄棕壤 Yellow brown earth
3	98°47'39 25°17'57	半湿润常绿阔叶林 Sub- humid evergreen broadleaf forest	高山栲,麻栎林 <i>Castanop- sis delavayi</i> , <i>Quercus acuti- ssima</i>	22°	东南 Southeast	1987	褐棕壤 brown earth
7	98°47'14 25°17'49	中山湿性常绿阔叶林 Mid-montane wet evergreen broadleaf forest	元江栲,硬斗石栎林 <i>Castanopsis orthacantha</i> , <i>Lithocarpus hancei</i>	45°	西北 Northwest	2021	黄褐壤 Yellow brown earth
6	98°46'40 25°17'48	中山湿性常绿阔叶林 Mid-montane wet evergreen broadleaf forest	元江栲,西南桦林 <i>Castanopsis orthacantha</i> , <i>Betula forest</i>	27°	西北 Northwest	2273	黄褐壤 Yellow brown earth
12	98°45'52 25°18'14	暖性针叶林 Warm needle- leaf forest	云南松针阔混交林 <i>Pinus yunnanensis</i> needleleaf and broadleaf forest	35°	东南 Southeast	2653	黄褐壤 Yellow brown earth
15	98°44'35 25°17'26	温凉性针阔混交林 Warm needleleaf and broadleaf forest	云南铁杉针阔混交林 <i>Tsuga dumosa</i> needleleaf and broadleaf forest	42°	东南 Southeast	2878	灰棕壤 Grey brown earth
14	98°44'10 25°17'29	寒温性阔叶灌丛 Cold temperate broadleaf shrub	高山栲,矩鞘箭竹灌丛 <i>Cotoneaster subadpressus</i> , <i>Fargesia contracta</i> shrub	10°	东南 Southeast	3188	草甸土 Meadow soil

1.4 土壤性质的测定

土壤温度采用曲管地温计测量 5、10、15 cm 3 个土层温度,文章中采用 11 月份 3 层平均温度。土壤性质测定以 3 层土壤混匀后的测定值,土壤含水量用烘干法测定,pH 值用酸度计测定,土壤 N 用凯氏定氮法测定,全磷用硫酸—高氯酸消煮法测定,有机质用重铬酸钾容量法测定。

1.5 土壤动物密度和群落多样性分析

土壤动物密度用(个/m²)进行统计表示。

(1) Shannon-Wiener 多样性指数^[13]:

$$H' = - \sum Pi \ln Pi$$

式中, $Pi = ni/N$, ni 为第 i 类群的个体数, N 为所有类群的个体总数。

(2) Pielou 均匀性指数^[14]:

$$j = H'/\ln s;$$

式中, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, S 为类群数。

(3) Simpson 优势度指数^[15]:

$$C = \sum (n_i/N)^2; C = \sum P_i^2$$

P_i 为 Shannon-Wiener 多样性指数

(4) Brillouin 多样性指数(H):

$$H = 1/N \lg(N! / n_1! n_2! \dots n_i!)$$

式中, n_1 为抽样中第 1 个物种的个体数量, n_2 为抽样中第 2 个物种的个体数量, n_i 为抽样中第 i 个物种的个体数量, N 为抽样中所有物种的个体总和。

1.6 数据分析

数据分析用 SPSS 程序(10.0 版, SPSS Inc.)。土壤动物与土壤性质关系用 Correlate 相关分析 Bivariate 分析, 各海拔与植被之间土壤动物的差异用 ANOVA 分析。不同样地之间用 Hierarchical 进行聚类分析。统计分析概率为 $P < 0.05$ 。所有数据值表示方法为 $\text{mean} \pm \text{SD}$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤理化特性沿海拔高度的变化

土壤温度和湿度是最主要的两个因子, 低海拔样地如 9 和 10, 温度最高, 10 月底平均温度达到 20℃ 以上, 而高海拔的样地 14 和 15, 土壤温度才 10℃ 左右, 明显受海拔的影响。土壤湿度变化与温度变化相反, 低海拔样地 10, 土壤含水量才 14% 左右, 而到高海拔样地 6, 土壤含水量达到 46%, 随海拔升高, 土壤含水量增大。

不同样地土壤性质如表 2, 氮含量以 2 号样地最高, 海拔 1928 m, 植被主要为麻栎、余甘子灌丛、元江栲和西南桦林。而样地 9 和 10 土壤含 N 量最低, 为海拔最低的两个样地。土壤有机质含量 2、7、12、13 样地较高, 含量都超过 150 g/kg, 海拔都在 1900 ~ 2600m 以上, 为中山高山区域, 为中山湿性常绿阔叶林, 土壤气温为 12 ~ 16℃ 左右。该区植被丰富。土壤表面枯枝落叶层非常厚, 可达十多厘米, 土壤中有机质含量高, 沉积的氮也较多。而有机质含量也以样地 9 和 10 最低, 说明低海拔土壤 C 和 N 流失严重。土壤 P 含量以样地 7、12、14 和 15 较高, 均为较高海拔, 而样地 3 和 8 含量最低, 海拔在 1300 ~ 1900 m 之间。

表 2 不同海拔土壤有机质、N、P、含水量、温度及 pH 的值

Table 2 The soil property of Gaoligong Mountain include Organic content, N, P, water content, temperature and pH

样地号 Sampling code	海拔(m) Altitude	有机质 (g/kg) Organic content	氮 Nitrogen (g/kg)	磷 Phosphorus (g/kg)	含水量 (%) Water content	土壤温度(℃) Temperature	pH
10	960	21.93 ± 7.31	0.19 ± 0.12	0.59 ± 0.11	14.91 ± 0.31	22.45 ± 1.06	6.53 ± 0.05
9	1182	32.36 ± 1.43	0.11 ± 0.02	0.77 ± 0.45	18.95 ± 1.38	20.70 ± 0.29	6.75 ± 0.06
8	1381	55.28 ± 5.21	0.22 ± 0.03	0.38 ± 0.05	18.44 ± 0.84	18.72 ± 0.17	4.07 ± 0.09
4	1636	47.94 ± 4.92	0.23 ± 0.03	0.40 ± 0.1	12.97 ± 0.18	17.87 ± 0.09	4.53 ± 0.05
2	1928	186.00 ± 5.96	1.05 ± 0.05	0.9 ± 0.05	35.71 ± 0.96	15.875 ± 0.25	4.55 ± 0.10
3	1987	94.03 ± 9.85	0.29 ± 0.02	0.39 ± 0.01	24.24 ± 0.13	16.55 ± 0.12	4.55 ± 0.05
7	2021	156.04 ± 16.72	0.98 ± 0.02	1.05 ± 0.21	31.22 ± 0.55	15.95 ± 0.1	4.12 ± 0.15
6	2273	140.71 ± 12.80	0.45 ± 0.02	0.73 ± 0.03	46.53 ± 3.05	13.93 ± 0.17	4.42 ± 0.09
12	2653	192.03 ± 0.79	0.51 ± 0.05	1.01 ± 0.28	38.41 ± 0.42	11.97 ± 0.20	4.97 ± 0.05
15	2878	55.57 ± 9.20	0.46 ± 0.05	1.45 ± 0.39	69.71 ± 0.87	10.47 ± 0.20	4.97 ± 0.05
14	3188	112.85 ± 6.04	0.45 ± 0.22	1.28 ± 0.47	48.15 ± 1.94	10.22 ± 0.38	4.42 ± 0.09

海拔高度决定土壤的性质, 土壤温度、湿度、有机质含量和 P 的含量与海拔有明显的相关性。其中土壤温度和含水量与海拔存在极显著关系($P < 0.001$), 随海拔升高, 土壤温度降低, 而含水量增加。土壤的有机质含量和 P 的含量也与海拔高度有显著相关, 随海拔升高, 土壤 P 的含量增加, 有机质含量也增加。由此看出, 在所有的限制因子中, 海拔高度起着决定性作用, 为最主要的限制因子。

2.2 土壤动物的主要类群

采集到大型土壤动物标本 1 万余号,经鉴定,大型土壤动物分属于:Annelida 和 Arthropoda 2 个门,寡毛纲 Oligochaeta、蛛形纲 Arachnida、倍足纲 Diplopoda、唇足纲 Chilopoda、昆虫纲 Insecta 等 5 纲,18 目,47 科,13 亚科;其中 25 个鉴定到属,57 种鉴定到种。优势类群为等翅目、膜翅目、弹尾目,分别占个体总数的 33.69%、32.31% 和 14.37%,而鞘翅目、革翅目和双翅目昆虫为常见类群,分别占个体总数的 4.07%、2.41% 和 1.43%,两类群共占总个体数的 88% 以上。这些类群分布广,对环境变化适应能力较强,为高黎贡山土壤动物主要组成成分,其他类群土壤动物成体占个体总数的 1.00% 以下,属稀有类群,它们对环境条件的变化极为敏感。

2.3 土壤动物的群落结构

土壤动物群落个体数变化因样地海拔不同而不同(图 1)。土壤动物总个体数量最多的为样 4 和样 9,海拔均在 1100 ~ 1900 m 的中山地带,该区域为农业林业混合区,为保护区的过渡地带,人为干扰较大,该区域土壤动物个体数量较多,说明受人为干扰较强的过渡地带土壤动物丰富。样地 12、14、15 土壤动物总数较少,这几个样地都是在海拔 2500 m 以上,属高山地带,为温良性针阔混交林和寒温阔叶灌丛,常年气温较低,在 10 ~ 12℃ 之间,土壤动物个体数相对较少。

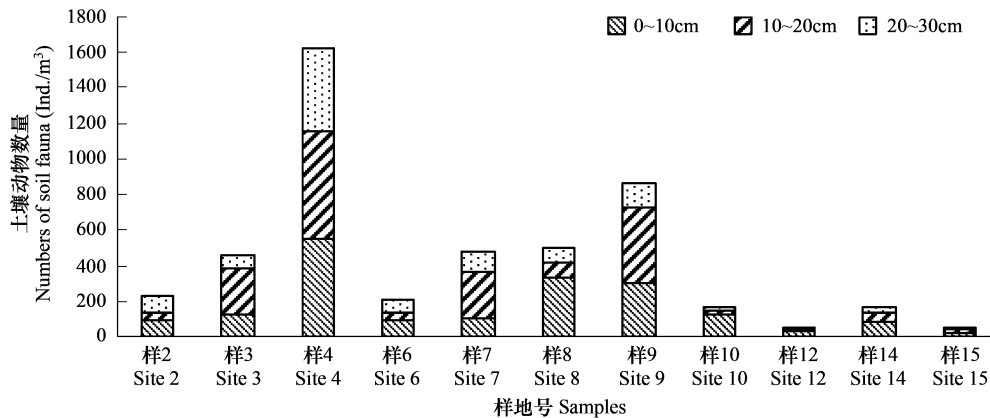


图 1 不同样地不同层次土壤动物数量(个/m³)

Fig. 1 Fluctuation of soil fauna individuals at different samples and different soil depth

土壤动物类群数变化如图 2,以样地 2、3、6、7、8 和样地 4 类群数较多,这几个样地均在海拔 1300 ~ 2200 m 之间,为中山地带,植被茂密、土壤有机质和 N 含量高,秋季土壤温度在 15 ~ 16℃ 左右,土壤含水量比较高,适合土壤动物的生存,土壤动物数量丰富。

土壤动物个体数和类群数变化与海拔的关系如图 3,基本趋势是呈单峰曲线,在中山腰地带海拔 1300 ~ 2500m 土壤动物较丰富,该区域为农田到保护区的群落交错带,土壤动物分布较多。

在不同样地不同层次土壤动物变化趋势基本是随土壤深度增加,土壤动物个体数和类群数减少(图 1,图 2)。但个别样地表现为第二层土壤动物个体数比第一层多,如样 4、7 和样 9,原因是该样地采集的白蚁和蚂蚁较多,而白蚁和蚂蚁分布在 10 ~ 20 cm 深的土壤中,故采集的土壤动物数量较多。

土壤动物群落多样性变化如图 4, Simpson 指数以样 2、12、15 较高,均匀度变化趋势与 Simpson 指数变化相似,以样地 2、12、15 较高,该区域为 1900 ~ 2800 m 之间,为保护区中心地带,物种保护良好,存在较多的原始森林,林冠层较高,林下有较多的枯倒木,地面有较厚的枯枝落叶,土壤有机质含量高,为土壤动物的栖息提供了良好的环境,因此土壤动物的 Simpson 指数和均匀度都高,该指数也能很好的反映自然保护区的保护状况。再往高海拔,植被以低矮的高山栎子,矩鞘箭竹灌丛为主,温度也较低,土壤动物的多度和均匀度也有所降低。Shannon-Wiener 指数以样 2、6、10、12 和样 15 较高,变化趋势与 Simpson 指数和均匀度基本一致。Brillouin 指数也以样 2、6、12 最高。

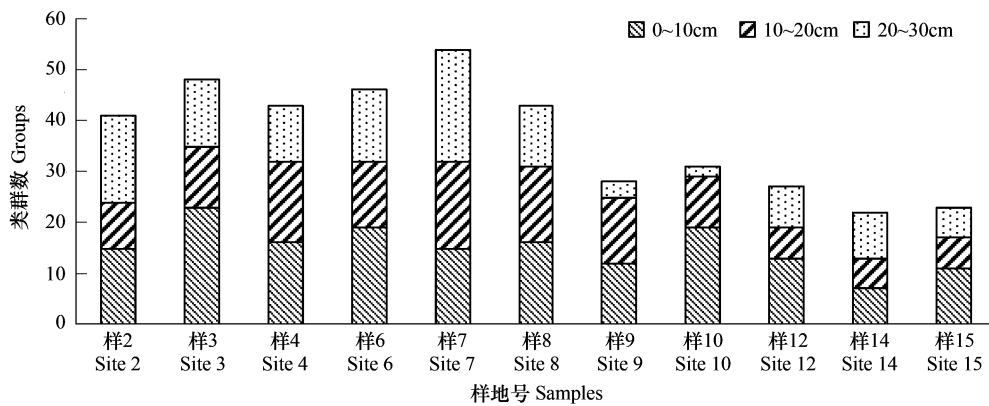


图2 不同样地不同层次土壤动物类群数

Fig.2 Fluctuation of soil fauna groups at different samples and different soil depth

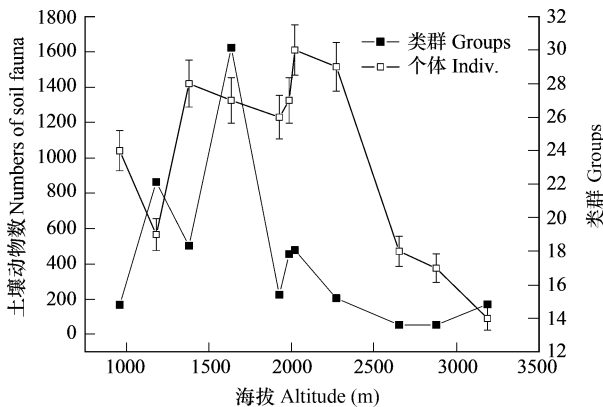


图3 土壤动物个体和类群随海拔高度变化

Fig.3 Variable of soil fauna individual and groups with altitude

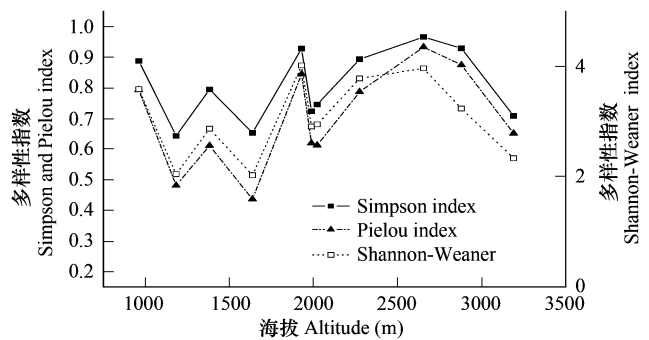


图4 多样性指数随海拔高度变化

Fig.4 Variable of soil fauna of Diversity index, Evenness and Simpson index with altitude

为了比较不同采样点土壤动物群落结构的差异,对不一样地土壤动物进行聚类分析,在科级单元进行计算,用“0,1”代表不一样地物种的有无,按欧氏距离平方,用最大距离法聚类,结果如图5,样地3、6、2、7和样4聚为一类,海拔都在1600~2200m之间,为中山湿性常绿阔叶林,是农田到保护区的过渡地带,植被受到很好的保护,林木茂密、地面枯枝落叶层厚。样8和样10聚为一类,靠近怒江河谷,该样地为低海拔带,多为沙质土壤,有机质含量低,土壤动物类群比较少。一类是样9、12、14、15,为紧靠第一类分别向上和向下的样地,其中样地12、14、15海拔2500m以上,常年气温比较低,土壤动物分布较少,而样地9为海拔1200m左右,为干热河谷稀疏灌丛,植被分布较少,土壤动物个体数比较多,但类群数比较少,此类样地土壤动物没有第一类丰富,被聚为一类。

2.4 土壤动物分布与土壤性质的关系

高黎贡山土壤动物的分布与土壤性质关系如表3所示,土壤动物分布与土壤性质存在一定的相关性,影响土壤动物分布的土壤因子有有机质含量、P含量和土壤含水量。土壤动物类群数与土壤P含量负显著相关($R = -0.675, df = 10, P = 0.016$);土壤动物个体数量与土壤P含量和土壤含水量都显著相关($P < 0.05$);Shannon-Wiener指数与土壤有机质含量显著相关($R = 0.593, df = 10, P < 0.05$)。土壤动物均匀度与土壤含水量显著相关($R = 0.581, df = 10, P < 0.05$)。

土壤动物群落垂直分布与自然环境要素的变化不完全一致,这与地形变化、温度、人为干扰以及植被的变动有关。高黎贡山中山植被主要为典型的亚热带常湿性常绿阔叶林,整个群落处于演替顶极群落类型演变的

最后阶段,结构层次复杂,植被群落稳定,水热条件较好,形成较适宜的小气候,林内凋落物层较厚,参与养分循环的土壤动物主要集中在凋落物层,土壤温度和湿度都适合土壤动物的生长和活动,因而土壤动物最丰富,群落种类多,分布比较均匀,多样性与均匀性指数较高。而海拔 2500m 以上,土壤温度低,含水量高,影响土壤动物的分布。

表 3 高黎贡山土壤动物与土壤性质关系分析
Table 3 The correlate analysis between soil property and soil fauna of Gaoligong Mountain

项目 Item	类群数 Groups	个体数 Indiv.	Simpson Index	Shannon-Wiener Index	均匀度 Evenness
海拔 Altitude	-0.542	-0.508	0.363	0.281	0.489
氮 Nitrogen	0.240	-0.368	0.314	0.446	0.380
磷 Phosphorus	-0.675 *	-0.578 *	0.348	0.251	0.494
含水量 Water content	-0.535	-0.650 *	0.432	0.372	0.581 *
土壤温度 Temperature	0.503	0.498	-0.370	-0.298	-0.496
有机质 Organic content	0.201	-0.453	0.444	0.593 *	0.525

** 差异极显著($P < 0.01$) Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); * 差异显著($P < 0.05$) Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

3 讨论

高黎贡山以高山地貌为主要地理特征,地形陡峭,受山谷地形的影响,小气候、植被和土壤等自然要素的垂直分化明显,土壤性质与海拔存在较明显的相关,土壤温度和含水量明显受海拔高度的影响,随海拔升高,土壤温度降低、含水量增加、土壤 P 的含量增加、有机质含量也增加。同时由于土壤温度和湿度决定了植被的分布,因此与土壤其他性质也存在相关。土壤动物个体数和类群数变化与海拔的关系为单峰曲线,在中山腰地带海拔 1300 ~ 2500m 土壤动物较丰富。土壤动物在高黎贡山的分布明显受海拔的影响,海拔 2500m 以下基本随海拔增高,土壤动物个体和类群数增加。但高海拔 2500m 以上,由于土壤温湿度的影响,而影响土壤动物的分布,土壤动物个体和类群数减少。

林英华等研究了鼎湖山 6 种不同自然植被土壤动物群落结构时空变化^[16],研究分离到的土壤动物种类较为丰富,个体数量也多。而本研究结果较其他研究土壤动物数量偏少,是因为主要研究类群为大型土壤动物,螨类和线虫因为另有研究,结果不在统计之中,而原尾目昆虫因为分类困难,也没有进行研究,故数量较少。

很多研究者认为,海拔是影响物种丰富度格局的决定性因素之一^[17,18]。Whittaker & Niering 研究美国 Santa Catalina 山物种多样性时发现,中海拔地段物种多样性最高^[19]。而 Ohsawa 研究亚洲湿润季风区 7 个山地物种丰富度物种垂直分布格局时,发现热带山地物种丰富度随海拔升高而迅速降低,而温带山地物种丰富度随海拔升高的变化很小^[20,21]。王志恒等研究了高黎贡山种子植物物种丰富度沿海拔梯度的变化,发现乔、灌、草本 3 种生活型植物物种丰富度与海拔之间呈现偏峰曲线关系,最大值出现在海拔 1500 ~ 2000 m 之间^[3]。本研究结果与之基本相似,也以中海拔最高,但是物种最丰富区比种子植物分布海拔略高,可能原因是土壤温度等环境因子变化比地表变化小,土壤动物分布更加稳定。

高黎贡山东坡从海拔 1500 m 以上为保护区,植被受到良好的保护,1500 m 以下为农林业混合区,海拔

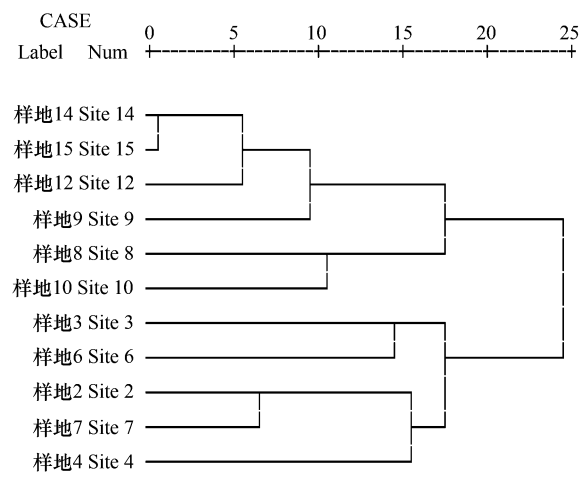


图 5 高黎贡山不同样地土壤动物聚类分析结果
Fig. 5 Classify analyses of soil fauna of Gaoligong Mountain

1600 ~ 2500 m 左右的原生林下土壤中分离到的个体数目最多,其次为海拔高 2560 ~ 3100 m 左右的原生林,海拔低的次生林分离到的土壤动物最少。高黎贡山土壤动物的生态分布与生态因子随海拔高度的变化有关。高黎贡山顶部海拔高气温低,海拔 3100 m 处年平均气温仅为 6.49℃,不利于土壤动物的生长,土壤动物种类和数量都较少。随海拔降低,气候变得温暖,在海拔 2000 m 左右,降雨量充沛^[22,23],原生常绿阔叶林发育良好,大量枯落物归还土壤,成为多种土壤动物丰富的营养来源土壤中分离到土壤动物最多,数量也很丰富,整个群落相对稳定,优势现象最低,多样性与均匀性指数最高。而 1500 m 以下有村庄分布,近 10a 来,由于人口激增,森林大量被砍伐、放牧和开垦成农田或人工纯林,在植被遭受破坏的同时,土壤 C、N 流失严重,也对土壤动物和土壤养分产生了很大程度的影响,使它们大量减少。山底部(1210 m 以下)植被为干热河谷稀树灌丛,次生林基本上已被砍光,导致水土流失严重,土壤干旱贫瘠,以致使气候发生很大变化,土壤中分离到土壤动物种类最少,数量也较少。土壤动物分布受海拔高度影响较大,海拔梯度实际上反映了水热状况的梯度变化^[24],因此海拔的影响实际反映了气候因子的综合影响^[25]。

References:

- [1] Li H, Guo H J, Dao Z L. Flora of Gaoligong Mountains. Beijing: Science Press, 2000. 1—1344.
- [2] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, Fonseca G AB and Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 2000, 403, 853—858.
- [3] Wang Z H, Chen A P, Piao S L, Fan J Y. Pattern of species richness along an altitudinal gradient on Gaoligong Mountains, Southwest China. *Biodiversity Science*, 2004, 12 (1): 82—88.
- [4] He R, Yang W, Li Y Y, Chai Y, Fang B. Study on soil character of two forest types in southern part of Gaoligong Mountains. *Journal of West China Forestry Science*, 2004, 33(3): 46—52.
- [5] Partsch S, Milcu A, Scheu S. Decomposers (Lumbricidae, Collembola) affect plant performance in model grasslands of different diversity. *Ecology*, 2006, 87(10): 2548—2558.
- [6] Xiao N W, Jing B B, Ge F, Liu X H. The fate of herbicide acetochlor and its toxicity to *Eisenia fetida* under laboratory conditions. *Chemosphere*, 2006, 62(8): 1366—1373.
- [7] Yin W Y et al. Subtropical soil animals of China. Beijing: Science Press, 1992. 1—617.
- [8] Qin X M. Study on soil animals of Northeast China. Changchun: Northeast Normal University Press, 2001. 235—237.
- [9] Song J X, Yang C Q, OU X H. A Report on rare insects and Protected Species from Gaoligong Mountain National Nature Reserve in Yunnan, China. *Journal of Southwest Forestry College*, 2003, 23(4): 51—53.
- [10] Huang F S, Zhu S M, Ping Z M, He X S, Li G Y, Gao D R. Fauna Sinaica, Insecta, Vol. 17 Isoptera. Beijing: Science Press, 2000.
- [11] Yin W Y. Group of soil animals and directions for use of the keys. Beijing: Science Press, 1998. 1—756.
- [12] Hu J, Wang C L. Chinese Ants. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995. 1—215.
- [13] Weaver W, Shannon C E. The Mathematical Theory of Communication. Urbana, Illinois: University of Illinois, 1949. 117.
- [14] Pielou E C. Mathematical Ecology. New York: John Wiley & Sons Inc, 1975.
- [15] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, 163: 688.
- [16] Lin Y H, Zhang F D, Zhang J Q, OU Yang X J, Mo D S, Zhou G Y. Preliminary investigation on temporal and spatial variation of structure of soil fauna community in different natural vegetations of Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2616—2622.
- [17] Lieberman D, Lieberman M, Peralta R and Hartshorn G S. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology*, 1996, 84: 137—152.
- [18] Brown J H. Mammals on mountain sides: elevational patterns of diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 2001, 10: 101—109.
- [19] Whittaker R H, Niering W A. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona: V. Biomass, production, and diversity along the elevation gradient. *Ecology*, 1975, 56: 771—790.
- [20] Ohsawa M. Structural comparison of tropical montane rain forests along latitudinal and altitudinal gradients in South and East Asia. *Vegetatio*, 1991, 97: 1—10.
- [21] Ohsawa M. Latitudinal comparison of altitudinal changes in forest structure, leaf-type, and species richness in humid monsoon Asia. *Vegetatio*, 1995, 121: 3—10.
- [22] Fu Z H, Huang D H. Analysis on the cause of formation and distribution of precipitation of Gaoligong Mountains. *Weather*, 11(3): 1985, 14—17.

- [23] Huang D H, Fu Z H. Distribution character of the weather of Gaoligong Mountains. *Weather*, 1985, 11(11): 18—21.
- [24] Marrs R H, Proctor J, Heaney A and Mountfied M D. Changes in soils nitrogen mineralization and nitrification along an altitudinal transect in tropical rain forest in Costa Rica. *Journal of Ecology*, 1988, 76: 466—482.
- [25] Whittaker R H. Vegetation of Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 1960, 30: 279—338.

参考文献:

- [1] 李恒, 郭辉军, 刀志灵主编. 高黎贡山植物. 北京: 科学出版社, 2000. 1~1344.
- [3] 王志恒, 陈安平, 朴世龙, 方精云. 高黎贡山种子植物物种丰富度沿海拔梯度的变化. *生物多样性*, 2004, 12(1): 82~88.
- [4] 何蓉, 杨卫, 李玉媛, 柴勇, 方波. 高黎贡山南段2种森林类型的土壤特性研究. *西部林业科学*, 2004, 33(3): 46~52.
- [7] 尹文英, 等著. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社, 1992. 1~617.
- [8] 殷秀琴, 等. 东北森林土壤动物研究. 长春: 东北师范大学出版社, 2001. 235~237.
- [9] 宋劲析, 杨春清, 欧晓红. 高黎贡山国家级自然保护区珍稀保护昆虫报道. *西南林学院学报*, 2003, 23(4): 51~53.
- [10] 黄复生, 朱世模, 平正明, 何秀松, 李桂祥, 高道蓉. 中国动物志, 昆虫纲, 第十七卷, 等翅目. 北京: 科学出版社, 2000.
- [11] 尹文英著. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998. 1~756.
- [12] 吴坚, 王常禄. 中国蚂蚁. 北京: 中国林业出版社, 1995. 1~215.
- [16] 林英华, 张夫道, 张俊清, 欧阳学军, 莫定生, 周国逸. 鼎湖山不同自然植被土壤动物群落结构时空变化. *生态学报*, 2005, 25(10): 2616~2622.
- [22] 傅绍铭, 黄大华. 高黎贡山降水分布及其成因分析. *气象*, 1985, 11(3): 14~17.
- [26] 黄大华, 傅绍铭. 高黎贡山地气温的分布特征. *气象*, 1985, 11(11): 18~21.