

## 浙江天童太白山不同海拔土壤动物的群落结构\*

陈小乌 由文辉 易 兰\*\*

(华东师范大学环境科学系, 上海 200062)

**摘要** 2007年夏季,沿海拔梯度对天童太白山土壤动物进行了调查,共获土壤动物12635只,隶属于6门15纲33目。结果表明:土壤动物密度随海拔升高而下降,类群数受海拔影响较小,各海拔群落的共有度较高,优势类群基本均为线虫、蛴螬目和弹尾目;Shannon-Wiener指数、Pielou均匀度指数及Margalef丰富度指数仅在海拔370 m以下随海拔升高而增加,而在海拔370 m以上,Shannon-Wiener指数与Pielou均匀度指数下降,丰富度指数在略有下降后再次上升。

**关键词** 土壤动物;海拔;多样性

中图分类号 Q958.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)02-0270-07

**Community structure of soil fauna along an altitudinal gradient in Taibai Mountain of Tiantong Region, Zhejiang Province.** CHEN Xiao-niao, YOU Wen-hui, YI Lan (*Department of Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(2): 270-276.

**Abstract:** An investigation was made on the soil fauna along an altitudinal gradient in the Taibai Mountain of Tiantong region, Zhejiang Province in summer 2007. Across the altitudinal gradient, a total of 12635 individuals belonging to 6 phyla, 15 classes and 33 orders were collected. With increasing altitude, the density of soil fauna decreased, but the group number was less affected. There was a higher co-occurrence of soil faunal communities along the altitudinal gradient, and Nematoda, Acarina, and Collembola were the dominant groups. Below the altitude 370 m, the Shannon-Wiener index, Pielou index, and Margalef abundance index increased with increasing altitude; while above the altitude 370 m, the Shannon-Wiener index and Pielou index decreased but the abundance index increased after an initial slight decrease.

**Key words:** soil fauna; altitude; diversity.

土壤动物是土壤生态系统中不可分割的组成部分,它们在分解残体,改变土壤理化性质,土壤形成与发育、土壤物质迁移与能量转化方面有重要作用(朱永恒等,2005)。土壤动物群落结构受气候(Frak & Ponge, 2002; Stebaeva, 2003)、坡度和坡向(邵华木等,1995)、植被(陈颖彪和殷秀琴,2000)、土壤(佟富春等,2003)等生态因子的影响。由于各生态因子均随海拔的变化而变化,因此海拔是影响土壤动物组成、结构与功能(Hou & Fan, 2002; 张飞萍等,2005)的重要因子。然而人们较多关注植被与海拔的关系(姜萍等,2003; 于德永等,2003; 胡玉

昆等,2007),土壤动物与海拔的关系尚未引起足够重视,且研究结果各异,有学者认为海拔对土壤动物群落结构的影响规律不明显(Kathman & Cross, 1991),也有研究指出土壤动物数量随海拔上升而增加(王振中等,1998; Sadaka & Ponge, 2003; 刘莹和李晓晨,2006),或随海拔上升而减少(陈康贵,2005; 张飞萍等,2005; 赵世魁和刘贤谦,2007)。对位于浙江宁波天童的常绿阔叶林,吴化前(1996)和易兰(2005)就不同演替阶段对土壤动物群落的影响进行了研究,但土壤动物与海拔关系的研究未见报道。因此,为深刻理解常绿阔叶林中土壤动物与海拔的相互关系,本文选取天童太白山常绿阔叶林为对象,探讨了天童太白山土壤动物在数量、类群及多样性指数等方面与海拔的关系,为土壤动物在不

\* 浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站开放课题资助项目(51X1412E)。

\*\* 通讯作者 E-mail: lyi@des.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2008-07-20 接受日期: 2008-11-06

同海拔梯度上的分布研究提供参考。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 样地概况

本研究样地位于天童国家森林公园中的太白山,其主峰海拔 650 m。天童国家森林公园(28°48' N,121°47'E)位于浙江宁波鄞州区,距宁波市区 28 km。在中国植被区划中属中亚热带常绿阔叶林北部亚地带,气候属典型的亚热带季风气候,全年温暖湿润,年均温度 16.2 ℃。年均降雨量 1374.7 mm,集中在夏季(6—8月)。土壤主要为山地黄红壤,成土母质主要是中生代的沉积岩和部分酸性火成岩以及石英砂岩和部分花岗岩残积风化物。土层厚薄不一,一般在 1 m 左右,质地以中壤至重壤为主,pH 值为 4.5~5.0(宋永昌和陈小勇,2007)。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 样地设置** 样地设置采用梯度格局法(佟富春等,2003),即在海拔 70~650 m,按 100 m 为距离划分为 6 个梯度带,据此设立 6 块样地。1—6 号样地的海拔分别为 70、170、270、370、470 和 570 m。样地内优势植物见表 1。其中 70 m 海拔处有 2 个点为灌草丛,受人为干扰较大,地表无凋落物。5 号和 6 号样地与 1—4 号样地的水平距离较远,间隔约 300 m。

表 1 不同海拔下的植物优势种  
Tab.1 Main dominant plant species in different altitudes

样地编号	海拔(m)	植物优势种
1	70	石栎,山矾,枫香,草珊瑚,五节芒,里白,花榈木,山莓
2	170	石栎,栲树,木荷,马尾松,老鼠矢,苦槠,五节芒,里白,窄基红褐桤
3	270	石栎,栲树,木荷,光叶石楠,山矾,交让木,窄基红褐桤,赤楠
4	370	栲树,木荷,光叶石楠,里白,窄基红褐桤,米槠
5	470	木荷,交让木,老鼠矢,里白,枫香,马银花,铁芒萁
6	570	木荷,米槠,山莓,赤楠,红楠

草珊瑚(*Sarcandra glabra*),赤楠(*Syzygium buxifolium*),枫香(*Liquidambar formosana*),光叶石楠(*Photinia glabra*),花榈木(*Ormosia henryi*),红楠(*Machilus thunbergii*),交让木(*Daphniphyllum macropodum*),栲树(*Castanopsis fargesii*),苦槠(*C. sclerophylla*),老鼠矢(*Symplocos stellaris*),里白(*Hicriopteris glauca*),马尾松(*Pinus massoniana*),马银花(*Rhododendron ovatum*),米槠(*C. carlesii*),木荷(*Schima superba*),山矾(*Symplocos sumuntia*),山莓(*Rubus corchorifolius*),石栎(*Lithocarpus glaber*),铁芒萁(*Dicranopteris linearis*),五节芒(*Miscanthus floridulus*),窄基红褐桤(*Eurya rubiginosa* var. *atenuata*)。

**1.2.2 采样及分离** 2007 年 7 月,分别在 6 块样地上同时进行大型、中小型干生和湿生土壤动物的采样。每一样地内选 5 个点,样点间相距 5 m 以上。根据土壤的断面结构(忻介六,1986;尹文英,2000a),按凋落物层和以下的真土层分别进行采样。凋落物层:用直径为 30 cm 的圆形采集框进行采样,所采样品用布袋带回实验室立即用塔式干法电热分离装置在 60 W 的白炽灯下进行 24 h 分离,未进行湿生类型的分离;大型土壤动物:在采集完凋落物的样点下,挖取直径为 30 cm,深 15 cm 的土样,就地手拣放入 70% 酒精中带回;湿生土壤动物:在采集完大型土壤动物的样点附近,用直径为 3.6 cm 的不锈钢采样器按 0~5、5~10、10~15 cm 分层采集土样,每点每层 50 ml,带回生态站每层取 25 ml 土样,立即用湿漏斗法(Baermann 法)进行 24 h 分离,每 4 h 放 1 次样,当时进行活体镜检计数;干生土壤动物,用直径为 5 cm 的不锈钢采样器按 0~5、5~10、10~15 cm 分层采集土样,每点每层采集 100 ml 土样,带回生态站立即用干漏斗法(Tullgren 法)进行 24 h 分离,标本用 75% 酒精保存。

以上所有样品均在解剖镜下镜检计数,所用鉴定工具书主要有《昆虫分类图谱》(钟觉民,1985)、《幼虫分类学》(钟觉民,1990)、《中国亚热带土壤动物》(尹文英,1992)、《土壤动物检索图鉴》(尹文英,2000b)等。

**1.2.3 数据处理** 在各类群数量优势度的划分上,将个体数占总捕获量的 10% 以上者为优势类群,个体数占总捕获量 1%~10% 为常见类群,个体数占总捕获量的 1% 以下为稀有类群(傅必谦等,2002;殷秀琴等,2003;易兰和由文辉,2006)。

土壤动物群落多样性采用以下几个指标进行计算(宋永昌和陈小勇,2007):

#### 1) 密度-类群指数(DG)

$$DG = (g/G) \times \sum_{i=1}^g (D_i C_i / D_{i \max} C)$$

式中, $g$  为所测定的某群落的实有类群数, $G$  为总类群数, $D_i$  为第  $i$  群落的实有个体数, $D_{i \max}$  为第  $i$  类群的最多个体数, $C_i/C$  为第  $i$  个类群在  $C$  个群落中出现的比率。

#### 2) Shannon-Wiener 指数( $H'$ )

$$H' = - \sum_{i=1}^s n_i/N \times \ln(n_i/N)$$

式中,  $n_i$  为第  $i$  个类群的个体数,  $S$  为类群数,  $N$  为群落中所有类群的个体数。

3) Pielou 均匀度指数 ( $J_s$ )

$$J_s = H' / \ln S$$

4) Simpson 优势度指数 ( $D$ )

$$D = \sum_{i=1}^s P_i^2$$

式中,  $P_i = n_i / N$ 。

5) Margalef 丰富度指数 ( $R$ )

$$R = (S - 1) / \ln N$$

6) Jaccard 群落共有度指数 ( $CP$ )

$$CP = [c / (a + b - c)] \times 100\%$$

式中,  $a$  为群落  $A$  的类群数,  $b$  为群落  $B$  的类群数,  $c$  为  $A$ 、 $B$  共有类群数。

7) 群落复杂性指数 (傅必谦等, 2002)

$$C_j = H'_j \times r_j = H'_{j\max} \times e_j \times r_j$$

式中,  $H'_j$ 、 $H'_{j\max}$  和  $e_j$  分别为群落  $j$  的 Shannon-Wiener 多样性指数、最大多样性及均匀度,  $H'_{j\max} = \ln S$ ,  $r_j$  为校正指数, 代表群落间相对丰度对群落  $j$  复杂性的影响, 由下式求得:  $r_j = A_j / \bar{A}$ ,  $A_j = (1/S) \sum_{i=1}^s N_{ij} / N_i$ , 式中,  $N_{ij}$  为群落  $j$  中类群  $i$  的个体数,  $N_i$  为所有群落中类群  $i$  的总个体数 ( $N_i = \sum_{j=1}^s N_{ij}$ ),  $S_j$  为群落  $j$  的类群数,  $S$  为各群落的总类群数,  $A_j$  为群落  $j$  中各类群落间相对丰度 ( $N_{ij} / N_i$ ) 的平均值,  $\bar{A}$  为各群落的平均个体丰度 ( $\bar{A} = (1/n) \sum_{j=1}^n A_j$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤动物群落组成和数量

6 个样地中共捕获大、中小型和湿生土壤动物 12635 只, 隶属 6 门 15 纲 33 目 (表 2)。优势类群为线虫、蜱螨目和弹尾目, 其中线虫类最多 (占总密度 64.09%), 其次是蜱螨目 (占 12.34%) 和弹尾目 (占 10.08%); 常见类群包括涡虫、原尾虫、双翅目幼虫和轮虫, 共占总密度的 10.01%。优势类群和常见类群共占全捕获量的 96.52%, 其他为稀有类群。

凋落物层中获土壤动物 7978 只, 隶属于 2 门 11 纲 22 目。优势类群为蜱螨目与弹尾目, 分别占总密度的 64.12% 与 22.78%。常见类群为膜翅目、鳞翅目幼虫、双翅目幼虫与缨翅目, 共占 9.62%。其余为稀有类群, 占 3.48%。

土层中获土壤动物 4657 只。其中大型土壤动物 570 只, 隶属于 3 门 10 纲 22 类, 其中膜翅目、等翅目、等足目为优势类群, 共占 73.86%。常见类群有蜘蛛目、鞘翅目幼虫、倍足纲、蜈蚣目、双翅目幼虫与双尾目。其余为稀有类群。中小型干生土壤动物 1545 只, 隶属于 2 门 9 纲 20 类, 其中弹尾目与蜱螨目为优势类群, 分别占 39.94% 与 39.42%。原尾目、膜翅目、综合纲与双翅目幼虫为常见类群, 共占 15.73%。湿生土壤动物 2542 只, 分为 4 类, 87.84% 为线虫, 7.2% 为涡虫, 其余为轮虫、线蚓。

### 2.2 不同海拔土壤动物类群组成与数量变化

由表 2 可知, 线虫在 6 样地中均为优势类群, 其他动物在各样地中组成各异。蜱螨目在第 1、2 号样地中为常见类群, 在 3—6 号样地中均为优势类群; 弹尾目在第 1、4、6 号样地中为常见类群, 在第 2、3、5 号样地中为优势类群; 而涡虫在 4 号样地中为优势类群, 但在 6 号样地中未见涡虫存在。

土壤动物数量分布沿海拔呈递减趋势 (图 1)。凋落物层中的土壤动物数量在 370 m 处略有上升后再次随海拔升高而递减, 由于凋落物层未进行湿生分离, 因此, 其土壤动物的密度要远低于土层中土壤动物密度。不同海拔各土层中的土壤动物 (不包括大型土壤动物) 分布总体上呈相同规律 (图 2), 即每一层次土壤动物的数量, 均沿海拔升高呈下降趋势。但在 370 m 有所上升, 之后沿海拔上升而下降。

运用 Pearson 相关性指数分析土壤动物与海拔间的关系表明, 不同海拔对土壤动物分布根据类群不同而异。结果表明, 线虫 ( $P < 0.01$ )、涡虫 ( $P < 0.05$ )、弹尾目 ( $P < 0.05$ )、膜翅目 ( $P < 0.05$ )、鞘翅目成虫 ( $P < 0.05$ ) 的个体数与海拔呈显著负相关, 而倍足纲 ( $P < 0.05$ )、鳞翅目幼虫 ( $P < 0.01$ )、鳞翅目成虫 ( $P < 0.05$ ) 与海拔呈显著的正相关。其他动物类群与海拔的相关性不显著。

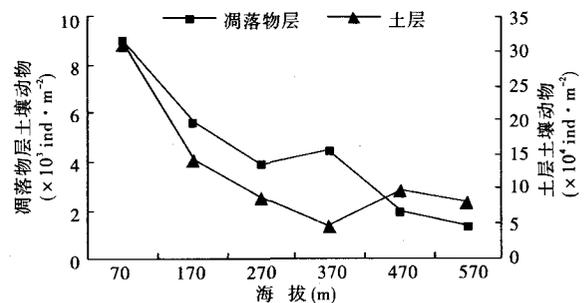


图1 不同海拔高度土壤动物数量

Fig.1 Soil fauna number in different altitudes

表2 浙江天童太白山土壤动物群落组成及数量(只·m<sup>-2</sup>)

Tab.2 Soil fauna density and community composition in Taibai mountain in Tiantong, Zhejiang Province

动物类群	海拔(m)						占总密度百分比(%)	优势度
	70	170	270	370	470	570		
线虫 Nematoda	157980	105517	59734	19649	42443	53446	64.09	+++
蜱螨目 Acarina	11831	11667	10614	12211	5592	12601	12.34	+++
弹尾目 Collembola	13406	15922	9255	4768	19060	6606	10.08	+++
涡虫 Turbellaria	14737	6484	2751	10414	1572	0	5.25	++
原尾目 Protura	1639	2968	837.5	1038	4373	2142	1.90	++
双翅目幼虫 Diptera larvae	1862	2112	1453	745.1	4822	1716	1.86	++
轮虫 Rotatoria	589.5	1375	2358	196.5	786.0	1572	1.00	++
膜翅目 Hymenoptera	2201	554.6	2346	577.2	229.2	919.6	0.97	+
综合目 Symphyla	1277	116.0	410.3	631.0	919.6	718.7	0.59	+
线蚓科 Enchytraeidae	1581	887.8	298.4	311.2	104.7	305.6	0.51	+
等翅目 Isopter	28.30	348.2	217.9	548.2	206.6	212.2	0.23	+
伪蝎目 Pseudoscorpiones	21.69	110.4	65.1	161.3	430.1	430.1	0.18	+
鞘翅目幼虫 Coleptera larvae	324.4	59.42	31.2	212.2	325.4	243.3	0.17	+
同翅目 Homoptera	12.26	232.0	420.0	116.0	206.6	203.7	0.17	+
等足目 Isopoda	196.2	19.81	121.7	67.9	127.3	356.5	0.17	+
啮目 Psocoptera	305.6	215.0	118.3	8.49	8.49	116.0	0.13	+
蜘蛛目 Araneae	239.6	11.32	48.1	155.6	158.5	31.12	0.11	+
缨翅目 Thysanoptera	47.16	121.67	76.4	246.2	16.98	121.7	0.09	+
鳞翅目幼虫 Lepidoptera larvae	56.59	8.49	42.4	121.7	161.3	104.7	0.08	+
鞘翅目 Coleptera	142.4	8.49	8.5	104.7	5.66	0	0.07	+
双尾目 Diplura	0	2.83	206.6	118.8	0	0	0.05	+
直翅目 Orthoptera	5.66	0	0	101.9	2.83	101.7	0.05	+
蝎目 Pauropoda	0	0	2.83	0	0	8.49	0.02	+
倍足纲 Diplopoda	0	2.83	2.83	2.83	28.3	5.66	0.02	+
鳞翅目 Lepidoptera	0	2.83	0	2.83	14.15	8.49	0.01	+
蜈蚣目 Scolopendromorpha	5.60	0	2.83	8.49	0	11.31	0	+
地蜈蚣目 Geophilomorpha	0	0	2.83	2.83	0	8.49	0	+
蜚蠊目 Blattoptera	0	5.66	0	2.83	0	8.49	0	+
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	2.83	0	2.83	0	0	5.66	0	+
盲蛛目 Opiliones	0	0	0	0	0	8.49	0	+
腹足纲 Gastropoda	2.83	2.83	0	0	0	0	0	+
后孔寡毛目 Oligochaeta opisthopora	2.83	0	0	2.83	0	0	0	+
半翅目 Hemiptera	0	2.83	0	0	0	0	0	+
总密度	208301	148758	91428	52527	101592	101592		

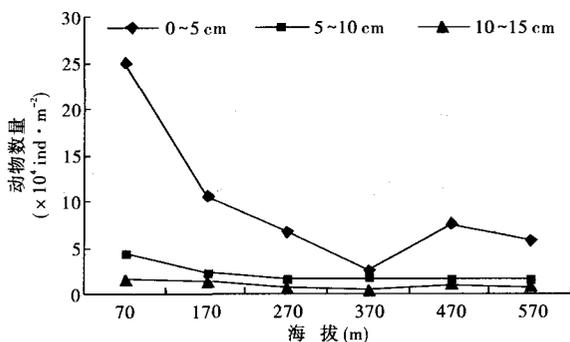


图2 不同海拔下不同土层中土壤动物的数量  
Fig.2 Soil fauna number in vertical distribution at different altitudes

### 2.3 不同海拔土壤动物群落的相似性

以不同海拔土壤动物的二元数据为基础,得到各海拔土壤动物群落间共有度半矩阵表(表3)。由表3可知,各海拔土壤动物群落间的共有度较高。优势类群与常见类群在6样地中均有出现,而蜘蛛目、伪蝎目、鞘翅目幼虫、综合纲、同翅目、轮虫、啮目、线蚓、鞘翅目成虫等稀有类群在各群落中也均有出现,群落中不同的仅是少数几类稀有类群。6样地中土壤动物的共有度相差不大,相似性极高。

### 2.4 不同海拔土壤动物群落多样性的变化

由于大型土壤动物与中小型土壤动物的采样方

表3 天童不同海拔土壤动物群落相似性  
Tab.3 Co-occurrence of all soil fauna communities at different altitudes in Tiantong

海拔 (m)	70	170	270	370	470
170	70.00				
270	75.86	75.86			
370	76.67	74.19	82.75		
470	77.78	81.48	77.78	92.00	
570	67.74	73.33	85.71	85.71	66.74

法与强度不同,因此将大型土壤动物和中小型土壤动物的多样性指数分别计算(图3)。结果表明,大型土壤动物与中小型土壤动物的DG指数均随海拔升高而下降,在370 m处达到最低,之后随海拔升高而增加;中小型土壤动物中的Shannon-Wiener指数与Pielou均匀度指数在470 m以下沿海拔上升而减小,470 m以上沿海拔上升而增加,而优势度指数则正好相关,在470 m以下沿海拔上升而增加,470 m以上沿海拔上升而减小。而大型土壤动物中的Shannon-Wiener指数与Pielou均匀度指数则呈波浪形在370 m处达到最大值。丰富度指数在中小型土壤动物中沿海拔升高呈上升趋势,在470 m处略有下降后再呈上升趋势。

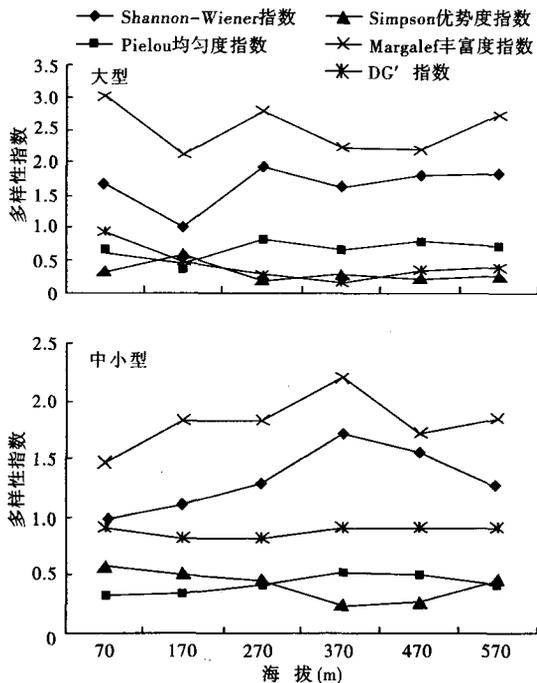


图3 不同海拔土壤动物群落多样性指数  
Fig.3 Diversity indices of soil fauna communities in different altitudes

由于DG值较大,为了便于比较各多样性指数的变化,对DG值进行转换,  $DG' = \lg(DG)$ 。下同。

表4 不同海拔土壤动物群落多样性指数  
Tab.4 Diversity indices of soil fauna communities in different altitudes

海拔 (m)	类群数	DC 指数	Shannon-Wiener 指数	Pielou 指数	Simpson 指数	Margalef 丰富度 指数	复杂性 指数
70	25	10.07	0.99	0.31	0.59	1.96	1.11
170	26	7.06	1.11	0.34	0.52	2.10	0.99
270	26	7.02	1.30	0.40	0.45	2.19	0.93
370	28	9.23	1.75	0.52	0.24	2.48	1.68
470	23	8.11	1.57	0.50	0.28	1.91	1.52
570	27	10.30	1.28	0.39	0.46	2.30	1.72

表5 天童土壤动物多样性与其他地区的比较  
Tab.5 Comparison of soil fauna diversity in forest at Tiantong with those in other forests

样地名	类群数	Shannon-Wiener 指数	Pielou 均匀度指数
鼎湖山	24	1.50	0.49
天目山	20	0.64	0.22
衡山	16	0.98	0.34
天童	30	1.44	0.41

表中资料均不包括湿生类型的数据,天童资料为各样地的汇总资料,其他数据来自廖崇惠等(1997)。

将大型土壤动物与中小型土壤动物进行综合分析(表4)可知,类群数变化并无规律,但是Shannon-Wiener指数与Pielou均匀度指数均呈相同的变化规律,即在370 m以下,沿海拔升高而增加,在370 m以上,沿海拔升高而降低;优势度指数在370 m以下,沿海拔升高而降低,在370 m以上,沿海拔升高而增加,与Shannon-Wiener指数与和Pielou均匀度指数呈相反规律;丰富度指数在海拔370 m以下随海拔升高而增加,370 m以上略有下降后再次上升;而DG指数与复杂性指数呈相同的变化规律,沿海拔升高总体上呈先降后升的趋势。

### 2.5 亚热带不同山地土壤动物多样性的比较

为了解天童土壤动物群落多样性的水平,特将其与南亚热带的鼎湖山、中亚热带的衡山、天目山自然保护区土壤动物群落多样性(廖崇惠等,1997)进行比较,为除去数量巨大的线虫纲的影响,资料统计均不包括湿漏斗收集部分,结果表明(表5),天童土壤动物群落Shannon-Wiener指数均高于同处于中亚热带的天目山与衡山,但低于南亚热带的鼎湖山。Pielou均匀度指数也高于天目山、衡山,高于鼎湖山,而类群数则最多,达到30类。

## 3 讨论

### 3.1 不同海拔土壤动物数量与类群组成的比较

不同海拔土壤动物个体数分布沿海拔升高数量

呈递减趋势,这与前人的研究结果一致(路有成和王宗英,1994;王振中等,1998;刘莹和李晓晨,2006)。海拔在70~370 m,土壤动物数量沿海拔升高而递减;370 m 动物数量略有上升,之后又呈递减趋势。但刘红和袁兴中(2000)认为,我国东部山地垂直带各类型森林中土壤动物的类群数、总个体数,尤其是总个体数,在一定范围内(即从山麓到地带性森林土壤带)随海拔高度增加而增加,再往上,则随海拔高度的增加而降低。

类群数在海拔上并未表现出一定的趋势,各群落间的共有度也与前人的研究结果不一致,佟富春等(2003)对长白山北坡土壤动物群落物种共有度沿海拔梯度的研究得出,群落间物种的共有度总体趋势是随群落间海拔差的增大而减小的,反映了同一海拔差群落间共有度的平均值与相应海拔差之间的紧密关系。但本研究得出不同海拔群落间的共有度并无大变化,仅少数几种稀有类群发生变化,这可能与两地海拔不同有关。佟富春等(2003)研究的海拔范围在550~2750 m,而本研究的海拔总高度仅650 m。此外,土壤动物的分布还与植被(陈颖彪和殷秀琴,2000)、气候(Frak & Ponge,2002;Stebaeva,2003)、坡度和坡向(邵华木等,1995)等因素密切相关,由于本研究的海拔范围较小,在此范围内植被、气候等因素相差较小,这也可能是造成各群落中类群变化不大的原因。此外,张荣祖等(2000)对长白山各自然垂直带的调查,也表明在较高分类等级(纲、目)上,各带中的分布不存在替代现象。

### 3.2 不同海拔多样性指数的比较

路有成和王宗英(1994)研究表明,Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数与密度类群指数随海拔的上升呈递增趋势。天童地区上述指数在海拔70~370 m 随海拔升高呈上升趋势。但在370 m 海拔处略有下降,之后各指数呈新的上升趋势;Simpson 优势度指数则呈单峰型,在海拔370 m 处达到峰值。而与Stebaeva(2003)在俄罗斯的Tuva对弹尾目研究不同,他得出在低海拔处,弹尾目多样性随海拔升高而降低,这主要是两样地生境差异较大,Tuva的平均气温为 $-2.8^{\circ}\text{C} \sim -5.2^{\circ}\text{C}$ ,最低气温接近 $-50^{\circ}\text{C}$ ,而本研究的样地是常绿阔叶林,年均温在 $16^{\circ}\text{C}$ 左右。此外,海拔370~470 m 有一段水平距离约300 m 海拔变化不大,是起伏的小山坡,造成这2个海拔高度之间的水平距离较远,这也可能是造成370 m 处为临界点的原因。

在表征群落多样性的指数中,Shannon-Wiener 多样性指数运用最广,一些学者也将其用于土壤动物群落多样性分析比较。然而由于土壤动物群落常常包括许多大的分类单位,不同类群生态功能各异,彼此之间的关系复杂多样,因此不同类群的个体数量往往存在巨大差异(傅必谦等,2002;葛宝明等,2005)。使群落多样性常与群落均匀度显著相关而与丰富度关系不密切,组成简单,各类群数量较低的群落反而常常有可能比组成丰富、各类群数量较高的群落具有更高的Shannon-Wiener 指数值。为此,廖崇惠等(1997)等提出了DG 指数代替,DG 指数避开了群落内各物种丰度的比较,而采用对同一物种在不同群落中的比较,把群落中各物种都视为同等的独立性,这种假设对于复杂的土壤动物群落来说更为合适。傅必谦等(2002)指出,对于整个群落相对重要性较低的类群,并非在特定群落中的重要性也一定较低,认为DG 指数未考虑群落的均匀度,他们在Shannon-Wiener 指数的基础上进行一定改进,利用 $r_j$  计算 $C_j$  值的方法可能是校正上述问题的较好的方法。本研究6个群落 $r_j$  值沿海拔升高分别为1.12、0.89、0.72、0.96、0.97、1.34,其相应的 $C_j$  值为1.11、0.99、0.93、1.68、1.52、1.72。复杂性指数与DG 指数呈相同的变化规律,说明这2个指数均能较好地反映土壤动物的群落多样性。

本研究表明,天童太白山土壤动物分布以海拔370 m 处为界分为2个动物群落,其中土壤动物在总数、类群数及不同多样性指数方面均呈现出重复规律,即群落中的土壤动物,在各自海拔范围内呈相同变化规律,动物数量沿海拔升高而降低,Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数与密度类群指数随海拔升高而升高。但太白山为何在370 m 海拔处形成临界点的原因还不清楚,有待于进一步研究。此外,本文对土壤动物的鉴定分类只到目,对分析结果产生一定影响,在今后的研究中,应对土壤动物群落进行进一步鉴定和分类。

### 参考文献

- 陈康贵. 2005. 壶瓶山自然保护区根圈土壤动物多样性的初步研究. 湘潭师范学院学报(自然科学版), 27(1): 84-87.
- 陈颖彪, 殷秀琴. 2000. 凉水地区不同林型土壤动物群落研究. 上海师范大学学报(自然科学版), 29(2): 79-84.
- 傅必谦, 陈卫, 董晓辉, 等. 2002. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. 生态学报, 22(2): 215-223.

- 葛宝明, 孔军苗, 程宏毅, 等. 2005. 不同利用方式土地秋季大型土壤动物群落结构. *动物学研究*, **26**(3): 273-278.
- 胡玉昆, 李凯辉, 阿德力·麦地, 等. 2007. 天山南坡高寒草地海拔梯度上的植物多样性变化格局. *生态学杂志*, **26**(2): 182-186.
- 姜萍, 赵光, 叶吉, 等. 2003. 长白山北坡森林群落结构组成及其海拔变化. *生态学杂志*, **22**(6): 28-32.
- 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 1997. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. *生态学报*, **17**(5): 549-555.
- 刘红, 袁兴中. 2000. 中国东部山地森林土壤动物多样性. *山地学报*, **18**(3): 221-225.
- 刘莹, 李晓晨. 2006. 不同海拔缓步动物群落结构的比较. *生态学杂志*, **25**(2): 166-169.
- 路有成, 王宗英. 1994. 九华山土壤动物的垂直分布. *地理研究*, **13**(2): 74-81.
- 邵华木, 王宗英, 张光生. 1995. 九华山东西坡不同垂直带谱土壤动物群落. *山地研究*, **13**(1): 14-21.
- 宋永昌, 陈小勇. 2007. 中国东部常绿阔叶林生态系统退化机制与生态恢复. 北京: 科学出版社.
- 佟富春, 金哲东, 王庆礼, 等. 2003. 长白山北坡土壤动物群落物种共有度的海拔梯度变化. *应用生态学报*, **14**(10): 1734-1728.
- 王振中, 李忠武, 张友梅. 1998. 庐山人工针叶林土壤动物群落调查. *湖南师范大学学报(自然科学版)*, **21**(4): 83-88.
- 吴化前. 1996. 天童常绿阔叶林不同演替阶段中土壤动物群落学研究(博士学位论文). 上海: 华东师范大学.
- 忻介六. 1986. 土壤动物知识. 北京: 科学出版社.
- 易兰, 由文辉. 2006. 浙江天童栲树林土壤动物群落结构及其季节变化. *华东师范大学学报(自然科学版)*, (2): 112-120.
- 易兰. 2005. 浙江天童受损常绿阔叶林的次生演替对土壤动物群落的影响(博士学位论文). 上海: 华东师范大学.
- 殷秀琴, 王海霞, 周道玮. 2003. 松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征. *生态学报*, **23**(6): 1071-1078.
- 尹文英. 1992. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社.
- 尹文英. 2000a. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社.
- 尹文英. 2000b. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.
- 于德永, 郝占庆, 姬兰柱, 等. 2003. 长白山北坡植物群落相异性及海拔梯度变化. *生态学杂志*, **22**(5): 1-5.
- 张飞萍, 施友文, 陈清林, 等. 2005. 不同海拔毛竹林节肢动物群落的组成与结构. *福建林学院学报*, **25**(1): 1-4.
- 张荣祖, 殷绥公, 王世彰, 等. 2000. 中温带长白山土壤动物的组成与生态分布// 尹文英. 中国土壤动物. 北京: 科学技术出版社: 27-57.
- 赵世魁, 刘贤谦. 2007. 关帝山华北落叶松天然林和人工林土壤动物的群落多样性. *林业科学*, **43**(6): 105-110.
- 钟觉民. 1985. 昆虫分类图谱. 江苏: 江苏科学技术出版社.
- 钟觉民. 1990. 幼虫分类学. 北京: 农业出版社.
- 朱永恒, 赵春雨, 王宗英, 等. 2005. 我国土壤动物群落生态学综述. *生态学杂志*, **24**(12): 1477-1481.
- Frak E, Ponge JF. 2002. The influence of altitude on the distribution of subterranean organs and humus components in *Vaccinium myrtillus* carpets. *Journal of Vegetation Science*, **13**: 17-26.
- Hou WL, Fan H. 2002. Ecological series of soil animal in Dardidai mountain. *Chinese Geographical Science*, **12**: 378-382.
- Kathman RD, Cross SF. 1991. Ecological distribution of moss-dwelling tardigrade on Vancouver Island. British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Zoology*, **69**: 122-129.
- Sadaka N, Ponge JF. 2003. Soil animal communities in holm oak forests: Influence of horizon, altitude and year. *European Journal of Soil Biology*, **39**: 197-207.
- Stebaeva S. 2003. Collembolan communities of the Ubsu-Nur basin and adjacent mountains (Russia, Tuva). *Pedobiologia*, **47**: 341-356.

作者简介 陈小鸟, 女, 1983年生, 硕士研究生. 主要从事土壤动物生态学研究. E-mail: chen--xn@163.com

责任编辑 刘丽娟