

浙江清凉峰弹尾虫多样性及森林土壤环境评价的初步研究

程樟峰¹, 郭 瑞¹, 王义平², 翁东明¹, 姜朝阳³, 刘 伟¹, 翁华军¹

(1. 浙江清凉峰国家级自然保护区 管理局, 浙江 临安 311321; 2. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省临安市昌化林场, 浙江 临安 311321)

摘要: 为了解浙江清凉峰森林土壤生态系统健康状况, 探讨多因素影响下土壤弹尾虫群落结构和数量特征变化, 于 2012 年 5–8 月, 对浙江清凉峰 3 个样地(龙塘山、千顷塘和干坑林区)中不同土壤层中的弹尾虫群落进行了调查研究。共获得标本 1 552 头, 隶属于 8 科 17 属, 其中龙塘山样地中的类群数量和个体数量最多, 占整个类群总数的 39.5%, 千顷塘样地次之, 干坑林区样地最少, 仅占总数的 28.7%。3 个样地中, 弹尾虫个体密度在土壤的垂直分布中均具明显表聚性。分析弹尾虫群落的多样性指数与森林土壤环境的关系表明, 3 个样地中弹尾虫群落随植物种类和干扰强度的变化而变化, 个体总数和 Shannon-Wiener 多样性指数均在植物种类丰富、干扰强度小的龙塘山样地较高, 此处森林土壤健康程度也较高。随着植物种类减少和干扰强度的增加, 干坑林区样地的多样性指数减小, 森林土壤健康程度也较低。图 1 表 3 参 24

关键词: 森林生态学; 弹尾虫群落; 森林土壤健康; 生物多样性; 清凉峰

中图分类号: S718.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)01-0104-06

Evaluation of a forest soil environment based on collembolan diversity in Qingliangfeng of Zhejiang

CHENG Zhangfeng¹, GUO Rui¹, WANG Yiping², WENG Dongming¹,
JIANG Chaoyang³, LIU Wei¹, WENG Huajun¹

(1. Management Office, Qingliangfeng National Nature Reserve of Zhejiang, Lin'an 311321, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Changhua Forest Farm of Lin'an City, Lin'an 311321, Zhejiang, China)

Abstract: To understand the degree of forest soil ecosystem health in different habitats of the Qingliangfeng Forest in Zhejiang, the collembolan community in varying soil layers of three sample sites (the Longtangshan, Qianqingtang, and Gankeng plots) were tested from May to August in 2012. Analysis of the forest soil environmental and the diversity index of the collembolan community was conducted based on vegetation types and degrees of interference. Results revealed a total of 1 552 individuals collembolan present belonging to 8 families and 17 genera with groups and individuals from Longtangshan accounting for 39.5%, then Qianqingtang, and Gankeng having 28.7%. Individual density and the group number of soil fauna decreased with increasing soil depth. Analysis of the forest soil environment and the diversity index of the collembolan community was significantly greater (or less than) for vegetation types and degrees of interference. The total number and diversity index of the collembolan community were greatest with many plant species and a small disturbance and least with a single plant species and a serious disturbance.[Ch, 1 fig. 3 tab. 24 ref.]

Key words: forest ecology; collembolan community; forest soil health; biodiversity; Qingliangfeng

收稿日期: 2014-02-19; 修回日期: 2014-05-20

基金项目: 浙江省科技计划(钱江人才计划)项目(2013R10073); 杭州市科技发展计划项目(20120433B64)

作者简介: 程樟峰, 工程师, 从事自然保护和野生动植物研究。E-mail: lachlc@163.com。通信作者: 王义平, 教授, 博士, 从事昆虫分类与害虫生物防治。E-mail: wyp@zafu.edu.cn

森林是陆地生态系统重要组成部分，对维系整个地球的生态平衡起着至关重要的作用，其健康状况对人类社会可持续发展具有重要意义^[1-2]。森林土壤环境状况与森林健康具有直接而密切联系，土壤环境健康程度可直接反应森林环境质量的优劣^[3]。土壤动物是土壤生态系统的重要组成部分，是主要消费者和分解者，对土壤的形成、发育、演替以及土壤生物元素的循环起着重要作用，在生态系统中具有特殊意义^[4]。弹尾虫是土壤动物中最重要的类群，与土壤环境极为密切，是环境变化的直接承受者和反映者^[5]。随着对弹尾虫多样性及群落结构研究的日益深入，诸多学者发现弹尾虫不仅能够评价土壤环境的优劣，而且还与森林生态系统密切相关，如大气污染、重金属污染、生境片段化、人为干扰、森林结构的改变等都能影响其种群数量和结构的改变^[6-8]。弹尾虫地理分布广，生境类型多样，对改善土壤结构，促进养分循环以及植物的演替具有重要作用^[9]。弹尾虫体型小，生活周期短，对土壤表面凋落物层和土壤的环境具有很强的依赖性，群落结构及物种多样性因植物种类、群落结构的不同而变化，对生境的改变能够做出快速的反应，能够在一定程度指示环境的变化^[10-12]。本研究选取浙江清凉峰不同区域，调查弹尾虫群落结构及其数量，探讨多因素影响下弹尾虫的多样性与森林土壤环境的关系，提出森林土壤环境评价指标体系的新思路，同时为浙江清凉峰保护区的生态保护提供一定科学依据。

1 研究区概况

浙江清凉峰国家级自然保护区位于浙江省西北部临安市境内，主峰海拔为 1 787.4 m，具有明显的亚热带中山山地季风特征。全年降水量为 1 500~1 900 mm，随着海拔高度的变化而变化，900~1 100 m 降水量达到最大；同时降水量随季节分配不均匀，夏、秋两季雨量较大，冬、春季节相对较小。相对湿度为 78%~82%，夏季较冬季湿度大，基本保持在 80%左右。气温随海拔高度和季节差异的变化较大，高低海拔间年平均气温为 7.8~15.3 ℃，≥10 ℃年积温为 2 200~4 800℃。海拔 800~1 100 m，夏季年平均气温为 22.5~24.1 ℃。≥10 ℃年活动积温为 3 400~3 800 ℃^[13]。本研究在 2012 年 5-8 月，2 次分别在千顷塘、龙塘山和干坑林区样地中，选取生境相似、土壤组成相近的生境进行土壤弹尾虫种群调查。

千顷塘样地的乔木以黄山松 *Pinus taiwanensis* 和锐齿槲栎 *Quercus aliena* var. *acuteserrata* 为主，灌木主要为华山矾 *Symplocos chinensis*；龙塘山样地以褐叶青冈 *Cyclobalanopsis stewardiana*，缺萼枫香 *Lipuidambar acalycina*，木荷 *Schima superba*，牛鼻栓 *Fortunearia sinensis*，还有少量豹皮樟 *Litsea coreana* var. *sinensis* 和映山红 *Rhododendron simsii*；干坑林区由短柄枹 *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* 和锐齿槲栎等组成。各样地的平均林龄主要通过查询当地造林资料及走访获得。干扰强度分为无人干扰、轻度干扰和重度干扰^[14]。无人干扰：完全封育，全年几乎无人活动；轻度干扰：收集凋落物 1~2 次·a⁻¹，无清理灌木、放牧等人为活动；重度干扰：每年砍伐林下灌木、放牧等人为活动较为频繁。3 个样地土壤类型均为黄壤土。研究区地点的各环境因数和和植被类型见表 1。

表 1 研究区地点概况

Table 1 Outline of the study sites

样地编号	经纬度	干扰程度	林龄/a	植被类型	海拔/m	坡度/(°)	郁闭度
千顷塘样地	30°18'05.1"N 119°08'41.9"E	轻度干扰	35~37	针阔混交林	900	25.2	0.65
龙塘山样地	30°06'42.4"N 118°53'39.5"E	无干扰	42~45	常绿-落叶阔 叶林	960	26.0	0.75
干坑林区样地	30°15'15.9"N 119°07'09.6"E	重度干扰	28~31	落叶阔叶林	980	25.0	0.50

2 研究方法

2.1 样地设置与调查方法

在上述 3 个样地中，各随机设置 15 个采样点，采样点面积为 10 cm × 10 cm，沿土壤剖面分 3 层（≥0 cm，0~5 cm，5~10 cm）采样。所采样品用布袋带回实验室，立即用 Tullgren 法分离提取弹尾虫。分离标本在解剖镜下分析鉴定并计数。标本主要依据《中国土壤动物检索图鉴》和《中国土壤动物》进行鉴

定^[15-16]，对于不能鉴定的属种则送中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所鉴定。

2.2 数据分析

分别利用群落相似性指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度、Pielou 均匀度、Simpson 优势度等对土壤动物弹尾虫群落进行分析。

3 研究结果与分析

3.1 群落组成与数量特征

千顷塘、龙塘山和干坑林区等 3 个样地中，共捕获弹尾虫 1 552 头，隶属于 8 科 17 属(表 2)。其中，龙塘山样地共捕获弹尾虫 8 科 16 属 613 头，优势类群为奇刺蛭属 *Friesea*，泡角蛭属 *Ceratophysella* 和符蛭属 *Folsomia*，其个体数量占该样地总捕获量的 35.4%；剩余其他类群为常见类群，占该样地总捕获量的 64.6%。

千顷塘样地共捕获弹尾虫 6 科 14 属 502 头，优势类群为伪亚蛭属 *Pseudachorutes*，*Mesaphorura* 和类符蛭属 *Folsomina*，其个体数量占此样地总捕获量的 43.9%；常见类群为奇刺蛭属 *Friesea* 等 9 属，占该样地总捕获量的 54.2%；稀有类群为维特疣蛭属 *Vitronura* 和原等蛭属 *Proisotoma*，占该样地总捕获量的 1.9%。

干坑林区样地共捕获弹尾虫 7 科 13 属 445 头，优势类群为泡角蛭属 *Ceratophysella*，球角蛭属

表 2 浙江清凉峰土壤弹尾虫群落组成
Table 2 Composition of soil collembolan community in Qingliangfeng, Zhejiang

弹尾虫类群	龙塘山样地		千顷塘样地		干坑林区样地	
	个体数	优势度	个体数	优势度	个体数	优势度
疣蛭科 Neanuridae						
伪亚蛭属 <i>Pseudachorutes</i>	58	++	83	+++	27	++
奇刺蛭属 <i>Friesea</i>	71	+++			21	++
颞毛蛭属 <i>Crossodonthina</i>	11	++	33	++	24	++
维特疣蛭属 <i>Vitronura</i>	6	++	5	+		
棘蛭科 Onychiuridae						
<i>Orthonychiurus</i>	8	++			4	+
土蛭科 Tullbergiidae						
<i>Mesaphorura</i>	45	++	79	+++	39	++
球角蛭科 Hypogastruridae						
泡角蛭属 <i>Ceratophysella</i>	78	+++	45	++	46	+++
球角蛭属 <i>Hypogastrura</i>	29	++	34	++	76	+++
等节蛭科 Isotomidae						
类符蛭属 <i>Folsomina</i>	55	++	71	+++	26	++
符蛭属 <i>Folsomia</i>	68	+++	34	++		
小等蛭属 <i>Isotomiella</i>	26	++	33	++	61	+++
拟等蛭属 <i>Isotomodes</i>	43	++			20	++
裔符蛭属 <i>Folsomides</i>			21	++		
原等蛭属 <i>Proisotoma</i>	32	++	5	+	69	+++
握角圆蛭科 Sminthuridae						
吉圆蛭属 <i>Yosiides</i>	32	++	28	++	4	+
圆蛭科 Sminthuridae						
针圆蛭属 <i>Sphyrotheca</i>	23	++	37	++	28	++
短角蛭科 Neelidae						
短角蛭属 <i>Neelides</i>	28	++	23	++		

说明：+++ 优势类群，个体数占总数的 10%以上；++ 常见类群，个体数占总数的 1%~10%；+ 稀有类群，个体数占总数的 1% 以下。

Hypogastrura, 小等蜉属 *Isotomiella* 和原等蜉属 *Proisotoma*, 占龙塘山样地捕获总数的 56.6%; 常见类群为伪亚蜉属 *Pseudachorutes* 等 7 属, 占该样地总捕获量的 41.6%; 稀有类群为 *Orthonychiurus* 和吉圆蜉属 *Yosiides*, 占该样地总捕获量的 1.8%。

3.2 不同区域弹尾虫群落在土壤层的垂直分布

对比各样地中不同土壤层捕获的弹尾虫种群密度(图 1)发现, 3 个样地土壤弹尾虫的垂直分布总体上呈现出随土壤层次增加而递减的规律。3 个样地中的凋落物层中土壤弹尾虫的个体数量最多, 占整个群落个体数的 52.6%; 土壤最下层个体数量最小, 仅占 19.0%。另外, 对比不同样地中的优势类群个体数量发现, 随着土壤深度的增加各类群的个体数量减少。表明弹尾虫群落主要集中在凋落物层中, 这可能与弹尾虫的生存环境有关。凋落物层中有机质含量高, 可为弹尾虫提供丰富的食物资源; 同时, 在此时间段内的凋落物层的水热条件适宜, 更适合其生长、发育和繁殖。因此, 凋落物层的种群数量最大。

3.3 不同区域弹尾虫群落相似性和多样性比较

相似性分析表明: 龙塘山样地与干坑林区样地群落相似系数最大为 0.9, 其次为龙塘山样地与千顷塘样地; 千顷塘样地与干坑林区样地的群落相似系数最小, 仅为 0.74。

多样性分析表明(表 3): 龙塘山样地中土壤动物弹尾虫群落 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 最高, 其次为千顷塘样地的弹尾虫群落, 干坑林区样地的弹尾虫群落其 H' 最低, 仅为 2.347。龙塘山样地中土壤动物弹尾虫群落类群种数最多, 该群落的 Simpson 优势度指数(C)最低, Margalef 丰富度指数(D)相对较高。干坑林区样地的弹尾虫群落, 虽然其 Margalef 丰富度指数与千顷塘样地相近, 但各类群的个体数量小且分配很不均匀, 因此, 导致 Pielou 均匀性指数(J_{sw})较小而 Simpson 优势度指数(C)较高。千顷塘样地的弹尾虫各多样性指标均处于龙塘山与干坑林区样地之间。

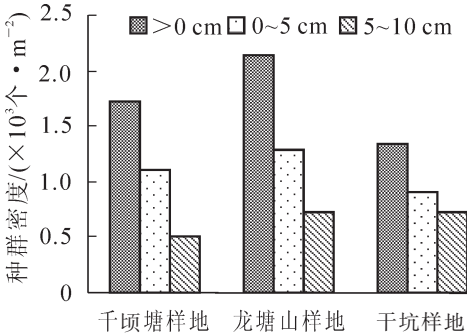


图 1 弹尾虫在土壤层中的垂直分布

Figure 1 Variation of vertical distribution of collembolan

表 3 浙江清凉峰不同样地土壤弹尾虫群落多样性指数

Table 3 Diversity indices of collembolan communities in three example spots of Qingliangfeng, Zhejiang

样地	H'	J_{sw}	D	C	类群总数	个体总数/%
龙塘山样地	2.598	0.937	2.337	0.083	16	38.578
千顷塘样地	2.441	0.925	2.072	0.099	14	33.417
干坑林区样地	2.347	0.915	1.968	0.109	13	28.005

弹尾虫群落多样性指数分析表明, Shannon-Wiener 多样性指数能够很好地反映 3 个不同样地弹尾虫的多样性状况。同时, 其 Shannon-Wiener 多样性指数还表现出与 Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数成正相关, 与 Simpson 优势度指数呈很好的负相关。

3.4 不同区域弹尾虫群落与森林土壤环境的关系

3 个不同样地中的弹尾虫群落结构与影响森林土壤环境状况的林龄、植被类型、干扰强度以及郁密度密切相关。研究结果表明: 随着林龄的增加, 弹尾虫群落的多样性指数和丰富度指数逐渐增高; 然而, 干扰强度的增加, 其群落多样性指数和丰富度指数反而减少, 且不同林龄和干扰强度影响下的群落组成和数量结构各不相同。如, 林龄最大的龙塘山样地中的弹尾虫群落种类最多, 数量最大。与林龄最小的干坑林区样地相比, 龙塘山样地弹尾虫的多样性指数和丰富度指数最大, 且优势类群奇刺蜉属 *Friesea* 和符蜉属 *Folsomia* 的数量较多, 而在干坑林区中多样性指数和丰富度指数均最小, 且该属数量急剧减小。另外, 在不同样地中, 不同干扰强度下的弹尾虫种类和数量各不相同。如, 人为干扰强度增加后, 吉圆蜉属 *Yosiides* 的部分种类及其数量有减少的趋势; 而符蜉属 *Folsomia* 和短角蜉属 *Neelides* 则在干扰强度大的干坑林区样地无分布。因此, 可以发现吉圆蜉属、符蜉属和短角蜉属 *Neelides* 对环境较为敏感, 具有一定的代表性。此外, 郁密度的大小可能与其林龄间接相关, 因此在其种群结构的变化中表现为与林龄正相关。值得注意的是, 已有的研究表明海拔高度和坡度也会对弹尾虫群落结构产生一定的影响^[11-12], 但本研究所选样地的坡度与海拔相近, 结果不明显。

生境异质性是生态系统生物多样性得以维持的重要因素之一,森林生态系统的稳定离不开生态系统的结构及其组成^[17-19]。一定程度上,森林生态系统结构越复杂其生态系统越稳定。研究结果显示:弹尾虫群落结构还与植被类型和植物种类有关,且随着植被类型的丰富,植物种类的增加,弹尾虫群落的多样性指数增加。龙塘山样地中,其样地林龄较大,植被结构丰富,植物种类多样,生态系统结构稳定。同时,依附于凋落物和土壤层的弹尾虫种类丰富、数量繁多,多样性指数较高,因此,其森林土壤生态系统健康程度较高。相对龙塘山样地,千顷塘样地弹尾虫群落多样性指数、种类数量均有所减小。因此,其健康程度略低于龙塘山样地。干坑林区样地由于森林抚育的需要,人为干扰严重,植物种类相对单一,抗干扰能力较差,弹尾虫群落多样性指数较低,森林土壤生态系统健康程度也相对最低。

4 讨论

生境条件优越的常绿-落叶阔叶林的弹尾虫数量和种类最丰富,多样性指数较高,群落结构稳定,针阔混交林次之,单一的阔叶落叶林多样性最低。这与黄旭等^[20],吴东辉等^[21]和王振中等^[22]的研究结果相近。诸多学者研究表明:植物种类和数量直接影响凋落物和土壤层有机物的含量,从而间接影响土壤动物的丰富度^[23]。凋落物是土壤中有有机物的主要来源,而弹尾虫主要生活在森林的凋落物层和土壤层中,以真菌、植物碎屑为食。因此,植物种类丰富,凋落物层有机质含量越高,弹尾虫数量越多。另外,人为干扰较为严重的区域弹尾虫种类、个体数量,以及多样性指数均较低,这与吴东辉等^[21]认为过度的人为干扰均会对弹尾虫种类和数量造成一定的影响结果一致。

群落的多样性指数、丰富度和均匀度指数以及物种种类和数量是评价弹尾虫群落变化的量化指标,在一定程度上反映群落所处森林土壤环境质量状况,可以用来评价森林土壤生态系统的健康程度^[5]。本研究仅在属的水平上,利用多样性指数的差异来评价森林土壤生态系统的健康程度,但各指标差异性不大。如能鉴定到种的水平,可能会明确对环境敏感的指示种类,进而确定指示森林土壤生态系统健康的具体种类。另外,海拔高度和季节也是影响弹尾虫种类及数量的重要因素,不同海拔高度和季节其在土壤层的垂直分布的种类和数量各不相同^[24]。因此,综合植被类型、海拔高度、季节变化和土壤的理化性质,查找不同生境下弹尾虫群落多样性变化的规律,可为进一步筛选出理想的能全面反映整个森林土壤生态系统健康的量化指标奠定基础。

5 致谢

中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所卜云老师和高艳老师对标本的采集和鉴定给予一定帮助,在此表示感谢。

6 参考文献

- [1] 王懿祥,陆元昌,张守攻,等. 森林生态系统健康评价现状及展望[J]. 林业科学, 2010, **47**(2): 134 – 140.
WANG Yixiang, LU Yuanchang, ZHANG Shougong, *et al.* Present situation and prospect of forest ecosystem health assessment [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **47**(2): 134 – 140.
- [2] 邢韶华,姬文元,郭宁,等. 森林生态系统健康研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(10): 2102 – 2106.
XING Shaohua, JI Wen Yuan, GUO Ning, *et al.* Forest ecosystem health: its research progress [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28**(10): 210 – 2106.
- [3] 李静锐,张振明,罗凯. 森林生态系统健康评价指标体系的建立[J]. 水土保持研究, 2007, **14**(3): 173 – 175.
LI Jingrui, ZHANG Zhenming, LUO Kai. The establishment of forest ecosystem health assessment index [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2007, **14**(3): 173 – 175.
- [4] O'LAUGHLIN J, LIVINGSTON R L, THEIR R, *et al.* Defining and measuring forest health [J]. *J Sustain For*, 1994, **2**(1/2): 65 – 85.
- [5] LEE Yafu, KUO Yenmin, LU Shengshan, *et al.* Trampling, litter removal, and variations in the composition and relative abundance of soil arthropods in a subtropical hardwood forest [J]. *Zool Stud*, 2009, **48**(2): 162 – 173.
- [6] MIGLIORINI M, PIGINO G, BIANCHI N, *et al.* The effects of heavy metal contamination on the soil arthropod community of a shooting range [J]. *Environ Poll*, 2004, **129**(2): 331 – 340.

- [7] PARISI V, MENTA C, GARDI C, *et al.* Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy [J]. *Agric Ecosys & Environ*, 2005, **105**(1/2): 323 – 333.
- [8] TAIZO N, AKIRA S. Spore-breaking capabilities of collembolans and their feeding habitat within sporocarps[J]. *Pedobiologia*, 2005, **49**(3): 261 – 267.
- [9] TAKEDA H. Changes in the collembolan community during the decomposition of needle litter in a coniferous forest [J]. *Pedobiologia*, 1995, **39**: 304 – 317.
- [10] 陈建秀, 麻智春, 严海娟, 等. 跳虫在土壤生态系统中的作用[J]. 生物多样性, 2007, **15**(2): 154 – 161.
CHEN Jianxiu, MA Zhichun, YAN Haijuan, *et al.* Roles of springtails in soil ecosystem[J]. *Biodiversity Sci*, 2007, **15**(2): 154 – 161.
- [11] 陈李林, 尤民生, 陈少波, 等. 不同生境茶园弹尾虫群落的结构与动态[J]. 茶叶科学, 2010, **30**(4): 277 – 286.
CHEN Lilin, YOU Minsheng, CHEN Shaobo, *et al.* Structure and dynamics of collembola population in tea plantations with different habitats [J]. *J Tea Sci*, 2010, **30**(4): 277 – 286.
- [12] 靳亚丽, 由文辉, 易兰, 等. 天童森林生态系统凋落物层跳虫群落的生态学研究[J]. 生态环境学报, 2011, **20**(2): 241 – 247.
JIN Yali, YOU Wenhui, YI Lan, *et al.* Ecological distribution of collembola in the litter of Tiantong forest ecosystems, Zhejiang [J]. *Ecol Environ Sci*, 2011, **20**(2): 241 – 247.
- [13] 李明华. 清凉峰自然保护区志[M]. 长春: 吉林人民出版社, 2006: 1 – 67.
- [14] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 2006, **26**(11): 3685 – 3695.
ZHANG Xi Biao, SHANGGUAN Zhouping. Effect of human-induced disturbance on physical properties of soil in artificial pinus tabulaeformis carr. forests of the loess plateau [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(11): 3685 – 3695.
- [15] 尹文英. 中国土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 339.
- [16] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 756.
- [17] 郭瑞, 王义平, 吴鸿. 森林凋落物层的节肢动物与森林健康的关系[J]. 林业科学, 2012, **48**(3): 122 – 127.
GUO Rui, WANG Yiping, WU Hong. Relationship between arthropods in forest litter and forest health [J]. *Sci Silv Sin*, 2012, **48**(3): 122 – 127.
- [18] EHRENFELD J G. Microtopography and vegetation in Atlantic white cedar swamps: the effects of natural disturbances [J]. *Can J Bot*, 1995, **73**(3): 474 – 484.
- [19] NAKAMURA F, YAJIMA T, KIKUCHI S. Structure and composition of riparian forests with special reference to geomorphic site conditions along the Tokachi River, norther Japan [J]. *Plant Ecol*, 1997, **133**(2): 209 – 219.
- [20] 黄旭, 文维全, 张健, 等. 川西高山典型自然植被土壤动物多样性[J]. 应用生态学报, 2010, **21**(1): 181 – 190.
HUANG Xu, WEN Weiquan, ZHANG Jian, *et al.* Soil faunal diversity under typical alpine vegetations in west Sichuan [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2010, **21**(1): 181 – 190.
- [21] 吴东辉, 张柏, 陈鹏. 长春市不同土地利用生境土壤弹尾虫群落结构特征[J]. 生态学杂志, 2006, **25**(2): 180 – 184.
WU Donghui, ZHANG Bai, CHEN Peng. Community structure of soil collembolan under different land uses in Changchun [J]. *Chin J Ecol*, 2006, **25**(2): 180 – 184.
- [22] 王振中, 张友梅, 李忠武. 黄山森林生态系统土壤动物群落结构特征及其多样性[J]. 林业科学, 2009, **45**(10): 168 – 173.
WANG Zhenzhong, ZHANG Youmei, LI Zhongwu. Structural characteristics and biodiversity of soil animal community in Huangshan Forest Systems [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45**(10): 168 – 173.
- [23] 易兰, 由文辉, 宋永昌. 天童常绿阔叶林五个演替阶段凋落物中的土壤动物群落[J]. 生态学报, 2005, **25**(3): 465 – 473.
YI Lan, YOU Wenhui, SONG Yongchang. Soil animal communities in the litter of the evergreen broad-leaved forest at five succession stages in Tiantong [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25**(3): 465 – 473.
- [24] 陈小乌, 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 Xiaoniao, YOU Wenhui, YI Lan. 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.