

亚热带天然次生常绿阔叶林与杉木人工林土壤动物群落特征比较^{*}

颜绍堦^{1,2} 汪思龙^{1,*} 胡亚林^{1,2} 高 洪¹ 张秀永¹

(¹ 中国科学院沈阳应用生态研究所会同森林生态实验站, 沈阳 110016; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

【摘要】 调查了中亚热带会同林区毗邻的天然次生常绿阔叶林、一代杉木纯林和二代杉木纯林土壤动物群落特征。结果表明, 采伐天然林, 接着栽植杉木人工林后, 土壤动物的多度和多样性均出现明显下降, 而土壤动物的生物量和生产力却没有明显差别。杉木连栽对土壤动物的多度、多样性、生物量影响甚少, 特别是杉木一、二代土壤动物的生产力接近相等。此项研究结果支持植被是影响土壤动物演替的一个主要原因, 也暗示杉木长期连作对土壤动物群落的影响是一个非常缓慢的过程。

关键词 杉木 天然次生常绿阔叶林 土壤动物

文章编号 1001 - 9332(2004)10 - 1792 - 05 **中图分类号** Q958.1 **文献标识码** A

A comparative study on soil fauna in native secondary evergreen broad-leaved forest and Chinese fir plantation forests in subtropics. YAN Shaokui^{1,2}, WANG Silong¹, HU Yalin^{1,2}, GAO Hong¹, ZHANG Xiuyong¹ (¹ Huitong Experimental Station of Forest Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ² Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(10): 1792 ~ 1796.

In this study, we investigated the response of soil animal communities to the replacement of native secondary forest by Chinese fir plantation forest and successive rotation of Chinese fir in subtropics. Three adjacent forest stands, i. e., native secondary evergreen broad-leaved forest stand (control) and Chinese fir plantation stands of first (20 yr) and second (20 yr) rotations were selected for the comparison of soil fauna. All animals were extracted from the floor litter and 0 ~ 15 cm soil layer of the stands in Summer, 2003 by using Tullgren method, wet funnel method and hand-sorting method. Compared to two Chinese fir plantation forests, the native secondary evergreen broad-leaved forest had a higher abundance and a higher taxonomic diversity of animals in soil and litter, but there were no significant differences in the biomass and productivity of soil fauna between all study stands. The abundance or diversity did not differ significantly between the first rotation and second rotation stands, too. The results supported that vegetation cover might be one of the main forces driving the development of soil animal communities, and the effect of successive rotation of Chinese fir on the development of soil fauna was a slow-running process.

Key words Chinese fir, Native secondary evergreen broad-leaved forest, Soil fauna.

1 引言

土壤动物在森林生态系统中数量巨大, 种类繁多, 并且对植物生长、土壤形成、凋落物分解、微生物活动以及土壤的水文特征均有非常强烈的影响^[1,17,18], 研究土壤动物对于土壤质量的监测及其退化土壤的治理均具有重要的现实意义。然而, 鉴于土壤动物的收集与分类异常繁杂, 目前在杉木人工林的研究中尚未涉及此一领域。自 20 世纪 80 年代以来, 不同森林类型, 特别是人工林的比较几乎是土壤动物群落生态研究中的热点, 例如各种混交模式下动物类群的变化^[8,12], 人工林与天然林的土壤动物群落结构的差别^[10,19]等, 而对于相同植被类型纯林连作模式下的土壤动物特征却少有问津。此项研

究的目的在于继续阐明人工林取代天然林后土壤动物群落的变化规律, 并评估纯林连作对土壤动物群落的影响。本文以中亚热带会同地区地带性植被为参照, 着重于土壤动物多度、多样性、生物量等群落基本参数的测度, 主要为杉木人工林林地的可持续经营及天然林多样性保护提供基本依据。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地概况

所有试验在中国科学院会同森林生态实验站(110°08' E, 27°09' N)进行。该实验站海拔介于 200 ~ 500 m 之间, 属于

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-418)和国家自然科学基金资助项目(30270268)。

* * 通讯联系人。

2003 - 12 - 21 收稿, 2004 - 03 - 29 接受。

亚热带湿润气候,年平均温度约 16.5, 年均降雨量约 1 200 mm,土壤为红壤,土壤 pH 4~6.

研究样地为配对可比的一代杉木纯林和二代杉木纯林以及与两林分相邻(<100 m)的天然次生林,三个林分的海拔介于 420~500 m 之间.其中,一代杉木纯林造林前的植被类型是以青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、栲类为主的地带性常绿阔叶林.二代杉木纯林造林前是一代杉木纯林,于 1962 年营造,1982 年砍伐.所选一、二代杉木纯林均处于同一坡面上,坡度 26 左右,相邻不超过 3 m,均于 1983 年春季实生苗造林,株行距 1.67 × 1.67 m,且抚育管理措施相同,林内灌木、草本稀少,小气候条件基本一致,郁闭度相似,均达 93%.天然次生林为会同地区典型的地带性植被,乔木层以栲树(*Laetanopsis hystrix*),青冈为主,郁闭度达 90%,灌木层以箬竹(*Indocalamas tessellatas*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、桃木(*Loropetalum Chinense*)为主,盖度愈 80%,坡度 28 左右.所选天然次生林的立地条件与两杉木纯林基本一致.

2.2 研究方法

2.2.1 取样与分离 取样于 2003 年夏季(8 月)进行,根据 Shannon 多样性(这里是以目为主的多样性)-面积曲线确定最少样方数:杉木纯林为 5,次生常绿阔叶林为 8.每一植被类型选择 5 块具有代表性的样地,面积为 10 m × 10 m(每一样地设两个样方),分 4 个土壤层次(凋落层、0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm)3 种分离方法(干漏斗法、湿漏斗法、手拣法)取样.干漏斗法主要分离跳虫、蜱螨等陆生土壤动物,湿漏斗法主要分离线虫、线蚓等湿生性的土壤动物,手拣法主要分离不能用漏斗法分离的较大尺寸的土壤动物,如蚯蚓等.凋落层的取样使用环刀法—大环刀与普通环刀.不锈钢大环刀,直径 30 cm,高 20 cm,与干漏斗法配套使用,这种环刀高度较大,可以较好地防止土壤动物逃逸,并且取样面积固定,容易换算.取样时先用大环刀罩住凋落层,双手用力缓慢旋转,直到环刀的波状刀锋进入土壤层,然后把凋落物拣入到黑色厚质塑料袋中,取样过程中仍要防止蜘蛛等活性强的土壤动物逃逸,依法再取几个凋落层,并混合,记下标签,作为凋落层的一个混合样.使用该环刀,凋落层的取样面积是:

$$S = 3.14 \times R^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times \left(\frac{30}{100}\right)^2$$

普通环刀(直径 8 cm,高 12 cm)与湿漏斗法配套使用,取样过程如上所述,使用该环刀,凋落层的取样面积是:

$$S = 3.14 \times R^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times \left(\frac{8}{100}\right)^2$$

土壤层的取样使用廖崇惠发明的取土器,取土器分为三类,第一类与干漏斗配套使用,直径 5 cm,高 20 cm,这类取土器有较少的直径,管壁上开有双向窗口,能容易取出土壤,也能避开大的石块和粗的树根,使用该取土器,土壤层的厚度均为 5 cm,土壤层的取样面积是:

$$S = 3.14 \times R^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times \left(\frac{5}{100}\right)^2$$

第二类取土器与湿漏斗配套使用,直径 3 cm,高 20 cm,构造同第一类,只是直径更小,使用该取土器,土壤层的厚度均为 5 cm,土壤层的取样面积是:

$$S = 3.14 \times R^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times \left(\frac{3}{100}\right)^2$$

第三类与手拣取样配套使用,直径 8 cm,高 20 cm,管壁没有开口,上部套有厚实的钢冒,能忍受叩打,下部的刀锋能迅速进入土壤,整个构造类似于空心不锈钢管,管壁有 0~18 cm 的刻度,从刀锋向上 15 cm 处开有了望口,使用该取土器,土壤层厚度均为 15 cm,土壤层的取样面积是:

$$S = 3.14 \times R^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times \left(\frac{15}{100}\right)^2$$

每一土壤层按同样方法取数个,并混合,记下标签,作为某一土壤层的一个混合样.每一样地取 2 个独立的平行混合样,5 块样地共取 10 个混合样,相当于样本量为 10.所有取样均在一周内完成.分离时间不低于 48 h,所收集的动物样品均用 70% 的酒精固定,于光学显微镜下鉴定、分类.

2.2.2 数据处理 物种多样性以类群(目)丰富度作为指标.每一取样位置类群丰富度的计算使用 Monte Carlo 方法,每次随机抽取 1405 个个体计数类群数,这种随机过程重复 1000 次以后取平均值,参阅 Declan^[5]和 Gotelli^[9]方法.生物量的测量使用两种方法,较大的土壤动物进行直接称重,较小的土壤动物用长度回归法^[7].

三个林分中土壤动物群落各种参数的比较使用方差分析,杉木纯林栽植代数看作是一个处理,天然次生林的栽植代数为 0 代,一代杉木纯林的栽植代数为 1 代,二代杉木纯林的栽植代数为 2 代.同一林分中的每一取样均看成是一次重复;如果正态假设不能通过,改用非参数方差分析(Kruskal-Wallis),获得显著性以后,两两多重比较均使用 Turkey 检验($\alpha = 0.05$).

3 结果与分析

3.1 多度

多度是土壤动物群落最基本的参数之一,通常以每平方米的个体数作为其测量指标.根据干、湿漏斗法分离的结果,土壤动物在 3 个森林类型中的多度介于 1405.7~44250.9 ind·m⁻²之间,天然次生林平均为 23324.3 ind·m⁻²,第一代杉木纯林平均为 10235.9 ind·m⁻²,第二代为 5109.4 ind·m⁻²(图 1).方差分析表明,天然次生林要显著高于两个杉木纯林($P < 0.05$),而杉木纯林第一代与第二代比较则不存在明显差异($P = 0.483$).在天然次生林中,大型土壤动物以膜翅目昆虫蚂蚁最多,其次是双翅目幼虫、鞘翅目幼虫和白蚁(按多到少的顺序,,下同);中型土壤动物以线蚓最多,其次是蜱满和跳虫;微型土壤动物中线虫为 7425.3 ind·m⁻².在第一代杉木纯林中主要大型土壤动物类群的多度排列顺序是双翅目 > 半翅目 > 蛞蝓 > 蚯蚓 > 蚂蚁,中型土壤动物是线蚓 > 蜱螨 > 跳虫,微型土壤动物中线虫为

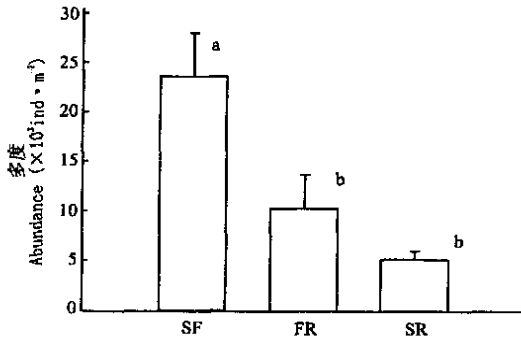


图1 第一、二代杉木纯林及天然次生常绿阔叶林土壤动物的平均多度

Fig. 1 Mean abundance of soil fauna in three forest stands. Means with different letters show significant differences (Turkey test, $P = 0.05$).

SF:天然次生林 Native secondary evergreen broad-leaved forest stand, FR:第一代杉木纯林 Chinese fir plantation stand of first rotation; SR: 第二代杉木纯林 Chinese fir plantation stand of second rotation. 下同 The same below.

2814.8 ind $\cdot m^{-2}$. 在第二代杉木纯林中主要大型土壤动物类群的多度排列顺序则是蚯蚓 > 双翅目 > 蚂蚁 > 蛭目 > 蜘蛛, 中型土壤动物是蜚蠊 > 跳虫 > 线蚓, 微型土壤动物中线虫为 937.2 ind $\cdot m^{-2}$.

3.2 多样性

鉴定结果表明,土壤动物(不包含原生动物)隶属于5门24目89科,天然次生林为23目,第一代杉木纯林18目,第二代16目,天然林包含除半翅目以外两个杉木纯林中出现的所有类群. 以丰富度作为多样性指标,根据 Declan 方法^[5],30个样方的土壤动物多度分别稀释到 1405 ind $\cdot m^{-2}$ 以后,天然林的类群丰富度平均为 10.6 目,第一代杉木纯林为 9.5 目,第二代为 8.1 目, Turkey 的多重比较显示天然林要高于第一代 ($P = 0.011$) 和第二代杉木纯林 ($P < 0.001$),而第一代与第二代杉木纯林之间则没有明显差异 ($P = 0.135$). 以类群密度(单位面积内的类群数)作为多样性指标,使用 Mortal Carol 方法对所有样本重新取样以后,结果如图2所示. 天然林的稀释曲线落在第一代杉木纯林 95%置信区间的上限以外,而第二代杉木纯林跟第一代比较则没有明显差异. 在固定取样个体数与固定取样面积的情况下,多样性显示同样的规律:杉木人工林取代天然林后,多样性要下降,而杉木纯林从第一代连作到第二代对土壤动物的多样性没有明显影响.

3.3 生物量与生产力

生物量是能量研究中一个最基本的参数,根据统计的结果,天然林、第一代杉木纯林和第二代杉木纯林,土壤动物的平均生物量分别为 8.89、5.89、5.95 gDW $\cdot m^{-2}$,由于巨大的空间异质性(变异系数

(%)分别为 71.38、166.78、148.08),生物量的平均值没有明显的差异 (Kruskal-Wallis ANOVA, $P = 0.595$),土壤动物各主要类群的生物量参见表1. 就目前的数据而言,具较大差别的土壤动物类群主要是半翅目、马陆、鳞翅目、膜翅目、跳虫、线虫和线蚓 (ANOVA, $P < 0.05$). 在生物量最大的土壤动物类群中,天然林以鞘翅目幼虫最高,其次是蚯蚓和蚂蚁,在杉木一代纯林中则依次是半翅目、蛭目和蚯蚓,二代纯林中依次为蚯蚓、蜘蛛和鞘翅目成虫.

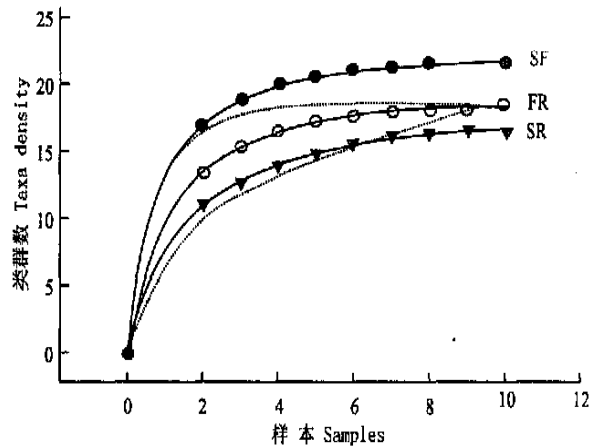


图2 3种森林类型土壤动物的类群密度稀释
Fig. 2 Sample-based rarefaction taxa density curves for soil fauna from three forest stands.

虚线包围的区域为第一代杉木纯林的 95%置信区间 The curves represent the means of repeated re-sampling of all pooled samples. Dotted lines represent the 95% confidence limits of the curve of Chinese fir plantation of the first rotation.

表1 3个森林类型中夏季土壤动物的平均生物量和日平均生产力

Table 1 Mean productivity and biomass of soil fauna in the three forest stands in Summer

类群 Taxon	天然次生林(SF)		第一代杉木纯林(FR)		第二代杉木纯林(SR)	
	P	B	P	B	P	B
蜚蠊目 Acari	0.47	353.54	0.14	57.18	0.31	165.11
蜘蛛目 Araneae	0.28	175.85	0.30	279.95	0.48	505.56
唇足纲 Chilopoda	0.02	2.62	0.00	0.00	0.07	25.70
鞘翅目成虫 Coleoptera adult	0.21	87.54	0.10	32.57	0.34	358.54
鞘翅目幼虫 Coleoptera larvae	1.45	3841.53	0.00	0.00	0.00	0.00
跳虫 Collembola	0.02	3.84	0.09	23.57	0.13	49.34
倍足纲 Diplopoda	0.65	490.14	0.18	111.64	0.00	0.00
双尾目 Diplura	0.00	0.39	0.00	0.00	0.05	22.13
双翅目幼虫 Diptera larvae	0.10	97.60	0.08	40.83	0.03	9.17
半翅目 Hemiptera	0.00	0.00	1.99	3492.37	0.00	0.00
膜翅目 Hymenoptera	1.23	1019.27	0.08	12.62	0.29	130.48
等足目 Isopoda	0.13	34.06	0.42	395.29	0.05	12.12
白蚁 Isoptera	0.11	64.91	0.01	0.84	0.00	0.00
鳞翅目幼虫 Lepidoptera larvae	0.02	3.03	0.00	0.64	0.21	142.36
蚯蚓 Lumbricida	1.17	2582.47	0.50	494.64	1.73	4445.45
伪蝎目 Pseudoscorpiones	0.02	2.04	0.05	17.11	0.01	1.36
蛭目 Psocoptera	0.27	109.11	0.61	926.73	0.13	85.90
其他 Other	0.11	22.33	0.05	7.33	0.018	2.21

*P:生产力 Productivity(mg DW $\cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$);B:生物量 Biomass(mg DW $\cdot m^{-2}$).

土壤动物的生产力完全根据 Banse^[2]提出的公式算出,由于本次调查的结果为夏季取样,推算全年

的平均生产力尚不可能.这里仅给出夏季的结果,从表 1 可看出天然次生林夏季日平均生产土壤动物 $6.26 \text{ mg DW} \cdot \text{m}^{-2}$,而第一代与第二代杉木纯林则分别为 4.60 、 $3.86 \text{ mg DW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

4 讨 论

4.1 多度

本研究结果表明,杉木人工林取代天然林后,土壤动物的多度明显下降,而持续的杉木栽植对多度的影响甚小,尽管一、二代之间多度的平均值相差较大,实可归因于较大的空间异质性和取样误差,结果支持植被因素是影响土壤动物多度的一个重要原因.目前许多研究认为土壤动物多度主要受有机质对系统的输入影响,例如 Paoletti^[15],但是根据三个林地从 2002 年 9 月到 2003 年 8 月取样前,逐月观测到的总凋落量看来,次生林凋落量 ($30.82 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) 要稍低于杉木人工林 (FR: $45.50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, SR: $45.67 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$),就取样之前的前 3 个月而言,次生林要稍高于两个杉木纯林,但没有显著差异 ($P > 0.05$).多度可能更取决于凋落物的质量,以及由植被因素带来的土壤因子的改变,例如跳虫群落的多度和物种组成随植被和土壤条件的变化而变化^[3,6,16].

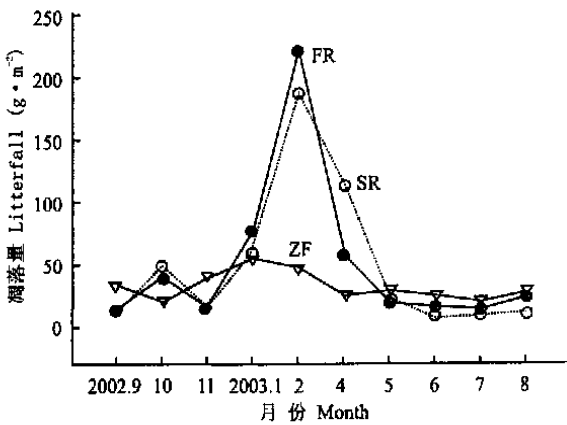


图 3 第一、第二代杉木纯林及天然次生常绿阔叶林月凋落量
Fig. 3 Monthly mean litterfall of the secondary forest and Chinese fir plantations of first and second rotations.

4.2 多样性

多样性的研究在土壤动物群落中,一直是一个非常活跃的领域,就我国目前的现状而言,多样性比较主要依据仍然是以目为主要分类单位的类群多样性.本文仍以类群多样性作为比较指标,结果表明,天然林的多样性要远高于杉木人工纯林,而杉木连作一代对多样性几乎没有影响.土壤动物的多样性明显受林下植被的影响,Crisp^[4]认为,增加地表植

被覆盖导致更多生态位,从而导致更多地下栖居者的多样性.多样性的差别可能归因于 3 个林分林下植被的差异.会同地区的天然次生林常具备明显的林分结构,乔木层、灌木层、草本层清晰可辨.而杉木人工林随着郁闭度的不断提高,灌木层退化,甚至消失,草本层则限于零星分布的阴生种类.另外,在本次调查结果中,天然林和二代杉木纯林不存在半翅目,然而根据以往的调查半翅目是可以存在于天然林和二代杉木纯林的,最可能的原因是该林分本来存在半翅目但因为本身的个体数较少却没能被捕获到,本文使用的稀释分析法已较好地消除了这种影响,多样性具备了较强的可比性.在土壤生态系统的比较中,多样性常常作为土壤健康的一个敏感性指标^[13],预示天然林可能具有较好的土壤质量.

4.3 生物量

土壤动物在整个生态系统中,只占有很少一部分生物量比例,但对于生态系统的其他成分却有非常强烈的影响^[14].一般说来,土壤动物的生物量主要体现在体型较为庞大的土壤动物群体上,例如张雪萍^[20]测得不同落叶松人工林大型土壤动物占总生物量的 41.6 ~ 64 %,这些群体对于土壤的物理结构常具有迅速的改良或破坏作用.本文所研究的 3 个林分中生物量大小也主要被少数几个大型土壤动物类群所左右,在天然林中,鞘翅目、蚯蚓、蚂蚁分别占全部生物量的 44 %、29 %、11 %;一代杉木纯林中半翅目占总生物量的 59 %,二代杉木纯林中蚯蚓占全部生物量的 74 % (表 1).在天然林中,蚯蚓的生物量少于鞘翅目这种情况很少见,可能是坡度较大的缘故,但在杉木纯林中没有出现这种现象,3 个林分尽管整体坡度相差不大,但杉木人工林造林前以带垦方式整地,在局部是平坦的,但天然林的局部却相对陡峭,较大的坡度难以保持足够水分,对蚯蚓等影响明显,特别是旱季尤甚.各主要类群在各自土壤动物群落中的生物量比例并不相等,反映了 3 个土壤动物群落之间局部小环境存在着差异,但作为整体而言,总的生物量趋于一致.一些研究者认为土壤动物中某些类群的变化可作为系统功能改变的敏感性指标. Matthew^[11]曾观察到蚯蚓生物量对于有机质管理水平的敏感性变化.蚯蚓通过取食和钻孔可以改变土壤的结构和水文特征,从而影响土壤养分的循环,蚯蚓还可直接或间接影响土壤微生物,从而影响其他土壤动物的食物来源.如果单从蚯蚓的绝对生物量而言,3 个林分在土壤动物群落功能上没有明显差别,如果单从蚯蚓的相对生物量而言,似乎二

代林要优于天然林,天然林要优于一代林.然而笔者认为,根据此指标,就目前的数据而言,尚不可确定群落功能上的优劣,因为蚯蚓的分布极不均匀,少数局部地区的富集也可以明显增加蚯蚓的相对重量.另外,蚯蚓是否是该地区的关键种还未见相关的文献报道.

致谢 承蒙广州昆虫研究所廖崇惠教授、李健雄副教授等支持与指导,特致谢.

参考文献

- Alpei J, Bonkowski M, Scheu S. 1996. Protozoa, nematoda and lumbricidae in the rhizosphere of *Hordelymus europaeus* (Poaceae): Faunal interactions, response of microorganisms and effects on plant growth. *Oecologia*, **106**:111~126
- Banse K, Mosher S. 1980. Adult body mass and annual production/biomass relationships of field populations. *Ecol Monogr*, **50**(3):355~379
- Chagnon M, Hbert C, Paré D. 2000. Community structures of Collembola in sugar maple forests: Relations to humus type and seasonal trends. *Pedobiologia*, **44**:148~174
- Crisp PN, Dickinson KJM, Gibbs GW. 1998. Does native invertebrate diversity reflect native plant diversity? A case study from New Zealand and implications for conservation. *Biol Conser*, **83**(2):209~220
- Declan JM, Nicholas JG. 2000. Effects of disturbance frequency, intensity, and area on assemblages of stream macroinvertebrates. *Oecologia*, **124**:270~279
- Hågvar S. 1982. Collembola in Norwegian coniferous forest soil. Relations to plant communities and soil fertility. *Pedobiologia*, **27**:255~296
- Irmeler U. 1995. Die stellung der bodenfauna im stoffhaushalt schleswig-holsteinischer wälder. *Faun Ökol Mitt Suppl*, **18**:1~199
- Kaneko N, Salamanca EF. 1999. Mixed leaf litter effects on decomposition rates and soil microarthropod communities in an oak-pine stand in Japan. *Ecol Res*, **14**:131~138
- Cotelli NJ, Colwell RK. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecol Let*, **4**:379~391
- Liao G-H(廖崇惠), Li J-X(李健雄), Huang H-T(黄海涛). 1997. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **17**(5):549~555(in Chinese)
- Matthew RW. 1997. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. *Appl Soil Ecol*, **5**:151~167
- Migge S, Maraun M, Scheu S, et al. 1998. The oribatid mite community (Acarina) of pure and mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) of different age. *Appl Soil Biol*, **9**:115~121
- Moore JC, Ruiter PCD. 1993. Assessment of disturbance on soil ecosystems. *Veterin Parasitol*, **48**:75~85
- Moore JC, Ruiter PCD, Hunt W. 1993. Soil invertebrate / microinvertebrate interactions: disproportionate effects of species on food web structure and function. *Veterin Parasitol*, **48**:247~260
- Paoletti MG, Bressan M. 1996. Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance. *Criti Rev Plant Sci*, **15**:21~62
- Salmon S, Ponge JF. 2001. Earthworm excreta attract soil springtails: laboratory experiments on *Heteromurus nitidus* (Collembola: Entomobryidae). *Soil Biol Biochem*, **33**:1959~1969
- Silke V, Oliver F, Klemens E, et al. 2004. Limitations of faunal effects on soil carbon flow: density dependence, biotic regulation and mutual inhibition. *Soil Biol Biochem*, **36**:387~397
- Van VPCJ, Beare MH, Coleman DC. 1995. Population dynamics and functional roles of Enchytraeidae (Oligochaeta) in hardwood forest and agricultural ecosystems. *Plant Soil*, **170**:199~207
- Yang X-D(杨效东), Zhang J-H(张建侯). 1997. Community structure of soil animals in marr-made plant communities in dry seasons in Xishuangbanna. *Zool Res* (动物学研究), **18**(4):403~409(in Chinese)
- Zhang X-P(张雪萍), CUI G-F(崔国发), Chen P(陈鹏). 1996. Biomass of soil animal in larch plantation. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **7**(2):150~154(in Chinese)

作者简介 颜绍馥,男,1974年生,硕士,主要从事群落生态研究,发表论文多篇. E-mail: yanshaokui@hotmail.com