

巨桉人工林土壤动物群落结构特征

黄玉梅¹, 张 健^{2,*}, 杨万勤²

(1. 四川农业大学都江堰分校, 都江堰 611830; 2. 四川农业大学林学院园艺学院, 雅安 625014)

摘要:为深入了解巨桉人工林生物养分循环及土壤肥力变迁,客观全面地评价巨桉人工林的生态效益,对比研究了四川省洪雅县巨桉人工林和青冈次生林土壤动物群落结构特征。研究方法,大型土壤动物采用野外分层手捡计数,中小型土壤动物用取土器分层取土,带回室内分别用干湿漏斗分离并镜检。结果表明:(1)洪雅巨桉人工林共获 1312 头土壤动物,分属 6 门 10 纲 21 目,其优势类群分别为蝉蟊目、弹尾目、线虫纲、膜翅目;(2)巨桉人工林土壤动物群落的类群数和个体数均低于青冈次生林,其 Shannon-Wiener 指数和密度-类群指数分别为 1.818 和 4.002,低于青冈次生林的 1.963 和 8.091;(3)巨桉人工林土壤动物群落中腐食性同功能种团比例为 81.78% 高于青冈次生林的 64.18%;(4)巨桉人工林与青冈次生林土壤动物密度剖面分布具明显表聚性,二者经 F-检验无显著差异;(5)巨桉人工林与青冈次生林土壤动物群落有比较高的 Jaccard 相似性系数和 Gower 系数,表明两类林分在土壤动物类群和个体数量分布上有比较大的相似度。

关键词:巨桉人工林; 土壤动物; 群落结构

文章编号:1000-0933(2006)08-2502-08 **中图分类号:**Q958.15,S154.5 **文献标识码:**A

The characteristics of soil animal community structure in *Eucalyptus grandis* plantation

HUANG Yu-Mei¹, ZHANG Jian^{2,*}, YANG Wan-Qin²(1. College of Dujiangyan, Sichuan Agricultural University, Dujiangyan 611830, China; 2. Faculty of Forestry and Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2502 ~ 2509.

Abstract: Recently, much attention has been given to soil animal because they play an important role in nutrient cycling as well as a potential bioindicator of soil fertility in the forest ecosystem. However, there is lack of the information on soil animal under the eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantation in Hongya County, Sichuan, which is difficult to meet needs of man-made forest management. The groups and the densities of soil animal communities in the eucalypt plantation and oak (*Quercus acutissima*) secondary forest were investigated here to understand the nutrient cycling, provide the information on changes in soil fertility, and evaluate the ecological effects of conversion of secondary forest to eucalypt plantation. Soil macrofauna were picked up by hand in the fields. Nematodes and mesofauna were separated and collected from the soil samples by Baermann and Tullgren methods, respectively.

By preliminary identification, there were 1311 specimens of soil animals, which belonged to 6 phyla, 10 classes and 20 orders in the eucalypt plantation. Acarina, Collembola, Nematoda and Hymenoptera were the dominant groups in the eucalypt plantation. Although Acarina, Nematoda and Hymenoptera were the dominant groups in the oak forest, there was lack of Collembola. The results here indicated that soil animal community structure has changed with plant species composition when oak

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30471378);国家“十五”科技攻关重点资助项目(2001BA606A-06);四川农业大学都江堰分校科技基金资助项目

收稿日期:2005-12-12;**修订日期:**2006-06-10

作者简介:黄玉梅(1974~),女,四川都江堰人,硕士,主要从事土壤动物生态学研究. E-mail: hyumeihx@hotmail.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: auldkjk@sicau.edu.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China(No. 30471378); Supported by the national "Tenth Five-year Plan" Key Technologies R&D Program(No. 2001BA606A-06); Supported by Science&Technology Foundation of Dujiangyan college, SICAU

Received date: 2005-12-12; **Accepted date:** 2006-06-10

Biography: HUANG Yu-Mei, Master, mainly engaged in soil animal ecology. E-mail: hyumeihx@hotmail.com

secondary forest was converted to eucalypt plantation.

The groups and individual number were lower in eucalypt plantation than in oak secondary forest. Moreover, the Shannon-Wiener index and DG (Density-groups) index of soil animals in the eucalypt plantation were 1.818 and 4.002, which were also lower than those of oak secondary forest. It implies that soil biodiversity might decline when oak secondary forest was converted to eucalypt plantation.

The percentage of saprozoic animal, which was used as a potential bioindicator of soil fertility, was 81.78% in the eucalypt plantation, and was higher than that in oak secondary forest (65.00%), resulting from higher organic material returns via litterfall in the former in comparison with the latter.

The groups and individual numbers decreased with the increase of soil depth in two forest ecosystems. However, there was no significant difference in soil animal density between eucalypt plantation and oak secondary forest.

There were higher Jaccard and Gower coefficients between the two studied forests, implying that the group composition of soil animal community was similar to a certain extent in the two forest ecosystems. The results indicated that soil animal community structure had not changed significantly although the soil biodiversity declined slightly when oak secondary forest was converted to eucalypt plantation. To deeply understand the ecological processes in the eucalypt plantation, soil ecological processes related to soil animal need to be performed in the future.

Key words: eucalypt plantation; soil animals; community structure

土壤动物是森林生态系统的重要组成部分,参与了自然界的物质循环和能量流动,其群落特征常作为土壤肥力的重要生物学指标^[1]。研究土壤动物群落的区系组成、群落结构以及生物多样性,对于科学经营与管理森林生态系统具有十分重要的作用。目前,众多学者已对各类典型地带森林生态系统的土壤动物群落特征进行了大量报道^[2-11],并对土壤动物群落在生物营养元素循环过程中的地位和作用进行了深入研究^[12-17],但主要集中在天然林生态系统,对于人工林生态系统土壤动物群落的研究还相对较少。

巨桉(*Eucalyptus grandis*),桃金娘科,桉树属植物。由于其生长快、干形好、用途广泛,被世界各国广为栽培,现共有人工林面积 $2.0 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。我国于 20 世纪 60 年代中期引入,经过 40 多年来的发展,目前已成为全国各地退耕还林的重要栽培树种,产生了巨大的经济效益。但迄今为止,未见有关于巨桉人工林土壤动物群落的研究报道,为了能够深入了解巨桉人工林生态系统的生物元素循环和土壤肥力变迁,正确评价巨桉人工林的生态效益,构建巨桉人工林经营技术体系,指导生产实践,于 2005 年 4 月对巨桉引种栽培区的四川洪雅县巨桉人工林土壤动物群落结构特征进行了初步研究,希望通过对巨桉人工林和青冈次生林两类林分土壤动物群落特征的对比分析,探讨巨桉对土壤动物多样性的影响。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

试验地位于四川省洪雅县“桉树短周期纤维原料林经营技术体系”定位研究试验林(102°29' ~ 103°21'E, 29°24' ~ 29°54'N),属湿润季风气候,年平均气温为 16.7℃,月平均最高温为 25.7℃,月平均最低温为 6.6℃,极端最高温为 36.2℃,极端最低温为 -4.2℃,年降雨量为 1494.3mm,地带性土壤类型为山地黄壤,地带性植被类型为亚热带常绿阔叶林。由于试验地巨桉人工林分布较为分散,微域环境有一定差异,因此,在巨桉人工林不同地块共选设 3 个样地(分别用 A、B、C 表示),在毗邻青冈(*Quercus acutissima*)次生林选设 1 个样地作为对照(用 D 表示)。各样地自然概况见表 1,土壤理化指标见表 2。

1.2 研究方法

2005 年 4 月在上述各样地设置 50cm × 50cm(0.25m²)的小样方,分枯落物层、0 ~ 5cm 层、5 ~ 10cm 层、10 ~ 15cm 层进行手捡,将所得大型土壤动物分大类登记后放入盛有酒精的容器中;同时按“品”字型布点,在每个样地上取 3 份 10cm × 10cm(0.01 m²)面积的枯落物带回室内进行分离,并挖土壤剖面,分 0 ~ 5cm、5 ~ 10cm、10 ~ 15cm 3 层每层用 100ml 取样器各取 2 份土样用于分离干生和湿生土壤动物,其中用于分离湿生土壤动物的

每1份土样用四分法分取25 ml用于分离。野外记录当时气温、地温,并取适量土壤带回室内测定理化性质。土壤含水量用105℃烘干法测定;土壤pH值用电位法测定;土壤有机质含量用重铬酸钾氧化-外加热法测定。土壤动物的分离均在烘虫箱中进行,在枯落物的烘虫箱中放置直径为20cm的漏斗,筛孔直径为3mm,箱内有100W白炽灯1盏,60W白炽灯2盏;在中小型干生土壤动物的烘虫箱中放置直径为10cm的漏斗,筛孔直径为1mm,箱内有100W和60W白炽灯各1盏;在中小型湿生土壤动物的烘虫箱中放置直径为9cm的漏斗,筛孔直径为0.25mm,箱内有100W白炽灯2盏,3种烘虫箱的温度均控制在35~40℃,烘虫时间湿生为48h,枯落物和干生为24h。分离出的土壤动物除湿生外均用盛装75%酒精的培养皿收集,在解剖镜下观测计数,收集湿生土壤动物的容器不加酒精,直接在清水中用解剖镜观察活体。枯落物和干生每12h观测1次,湿生开始每4h观测1次,以后时间间隔逐渐加长,主要是防止线蚓自溶。

表1 各样地自然环境条件

Table 1 Natural conditions of the four study plots

样地 Plots	坡向 Orientation	坡度 Slope(°)	受干扰情况 Disturbance	植被状况 Vegetations	
A (<i>E. grandis</i>)	南偏西 17°	Southwest 17°	13.5	干扰较少 Less disturbance	冬青 <i>Ilex purpurea</i> ; 黄牛奶 <i>Symplocos laurina</i> ; 油茶 <i>Camellia</i> spp.; 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> ; 枇杷 <i>Eriobotry</i> spp.; 桑树 <i>Morus</i> spp.; 铁芒萁
B (<i>E. grandis</i>)	南偏西 66°	Southwest 66°	18.0	干扰较大 More disturbance	<i>Dicranopteris dichotoma</i> ; 碗蕨 <i>Dennstaedtia</i> spp.; 悬钩子 <i>Rubus</i> spp.; 菝葜 <i>Smilax</i> spp. 等
C (<i>E. grandis</i>)	北偏东 6°	Northeast 6°	21.0	干扰较大 More disturbance	
D (<i>Q. acutissima</i>)	南偏东 8°	Southeast 8°	24.5	干扰较大 More disturbance	

表2 各样地土壤理化指标

Table 2 Soil characteristics of four plots

指标 Items	A	B	C	D
土壤含水量 Soil water content (%)	27.13	25.73	27.57	31.63
土壤 pH 值 Soil pH value	3.75	3.85	3.99	4.26
土壤有机质含量 Soil organic matter content (%)	2.95	2.36	2.66	2.02

* 表中数据均为0~5cm、5~10cm、10~15cm土层的算术平均 The data were means of three soil layers(0~5cm、5~10cm、10~15cm)

1.3 指标选取及数据处理

各类群数量等级的划分 个体数占总数10.0%以上者为优势类群,占总数1.0%~10.0%者为常见类群,占总数1.0%以下者为稀有类群。

多样性指数 选用了Shannon-Wiener多样性指数 H' 、Pielou均匀性指数 J 、Simpson优势度指数 C 和密度-类群指数 DG 来描述土壤动物群落的特征。各指数计算公式如下:

Shannon-Wiener多样性指数 $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$, Pielou均匀性指数 $J = H' / \ln s$, Simpson优势度指数 $C = \sum_{i=1}^s (n_i/N)^2$, 式中, n_i 为该区第 i 个类群的个体数量, N 为该样区内所有类群的个体数量, $P_i = n_i/N$, s 为样区内类群个数。密度-类群指数 $DG = (g/G) \sum_{i=1}^g (D_i C_i / D_{i\max} C)$, 其中, D_i 为第 i 类群个体数, $D_{i\max}$ 为各群落中第 i 类群的最大个体数, g 为群落中的类群数, G 为各群落所包含的总类群数, C_i/C 为相对次数,即在 C 个群落中第 i 个类群出现的比率。

群落相似性 选用了Jaccard相似性系数 q 和Gower系数 S_g 用于度量群落之间的相似程度。各指数的计算公式如下:

Jaccard相似性系数 $q = \frac{c}{a+b-c} \times 100\%$, 式中, q 为共同系数, a 为A样地全部类群数, b 为B样地全部类群数, c 为A、B两样地共有的类群数。Gower系数 $S_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[1 - (|x_{ij} - x_{ik}|) \frac{1}{R_i} \right]$, 式中 n 为两个群落

相比较的类群数; x_i 为第 i 类群的个体数; j 和 k 代表两个不同的群落; R_i 是第 i 类群在 j 和 k 群落的个体总数。系数最大值为 1, 最小值为 0。

F -检验 由 SPSS 统计分析软件完成。

2 结果与讨论

2.1 土壤动物群落的类群及数量组成

4 个样地共获大中小型土壤动物 1934 头, 分属 6 门 11 纲 22 目, 结果见表 3。

表 3 洪雅巨桉人工林与青冈次生林土壤动物群落类群与数量组成

Table 3 Groups and individuals of soil animals of *Eucalyptus grandis* plantation (A, B, C) and *Quercus acutissima* secondary forest (D) in Hongya

类群 Groups	A		B		C		D	
	个体数 Individuals	百分比(%) Percentage	个体数 Individuals	百分比(%) Percentage	个体数 Individuals	百分比(%) Percentage	个体数 Individuals	百分比(%) Percentage
轮虫纲 Rotatoria	2	0.58	0	0	0	0	0	0
线虫纲 Nematoda	55	15.94	37	7.51	80	16.91	131	21.03
线蚓科 Enchytraeidae	14	4.06	8	1.62	21	4.44	19	3.05
后孔寡毛目 Oligochaetaopisthopora	0	0	0	0	1	0.21	8	1.28
腹足纲 Gastropoda	0	0	1	0.20	1	0.21	0	0
缓步动物门 Tardigrada	1	0.29	0	0	0	0	0	0
蜘蛛目 Araneae	12	3.48	11	2.23	6	1.27	12	1.93
蜱螨目 Acarina	158	45.80	244	49.49	166	35.10	177	28.41
等足目 Isopoda	0	0	0	0	0	0	1	0.16
地蜈蚣目 Geophilomorpha	1	0.29	1	0.20	0	0	5	0.80
综合目 Symphyla	1	0.29	0	0	0	0	1	0.16
少足目 Pauropoda	0	0	1	0.20	0	0	0	0
原尾目 Protura	0	0	0	0	0	0	2	0.32
弹尾目 Collembola	36	10.43	167	33.87	47	9.94	49	7.87
双尾目 Diplura	12	3.48	1	0.20	3	0.63	0	0
蜚蠊目 Blattoptera	2	0.58	0	0	1	0.21	0	0
等翅目 Isoptera	7	2.03	0	0	0	0	0	0
缨翅目 Thysanoptera	0	0	2	0.41	0	0	0	0
鞘翅目 Coleoptera	8	2.32	3	0.61	4	0.85	18	2.89
鞘翅目(幼虫) Coleoptera	0	0	0	0	2	0.42	14	2.25
鳞翅目(蛹) Lepidoptera	0	0	0	0	0	0	2	0.32
鳞翅目(幼虫) Lepidoptera	1	0.29	1	0.20	0	0	5	0.80
双翅目 Diptera	5	1.45	5	1.01	5	1.06	8	1.28
双翅目(幼虫) Diptera	0	0	3	0.61	7	1.48	9	1.44
膜翅目 Hymenoptera	30	8.70	8	1.62	129	27.27	162	26.00
总个体数 Total individual number	345		493		473		623	
总类群数 Total group number	16		15		14		17	

在样地 A 的 16 个土壤动物类群中, 以蜱螨目、线虫纲、弹尾目为优势类群, 其个体数占总个体数 72.17%; 以膜翅目、线蚓科、蜘蛛目等 7 个类群为常见类群, 其个体数占总个体数 25.52%; 剩余的 2.31% 由地蜈蚣目等 6 个稀有类群所组成; 在样地 B 的 15 个土壤动物类群中, 以蜱螨目、弹尾目为优势类群, 其个体数占总个体数 83.36%; 以线虫纲、蜘蛛目、膜翅目等 5 个类群为常见类群, 其个体数占总个体数 13.99%; 剩余的 2.65% 由鞘翅目等 8 个稀有类群所组成; 在样地 C 的 14 个土壤动物类群中, 以蜱螨目、膜翅目、线虫纲为优势类群, 其个体数占总个体数 79.28%; 以弹尾目、线蚓科、双翅目幼虫等 5 个类群为常见类群, 其个体数占总个体数 18.19%; 以鞘翅目等 6 个类群为稀有类群, 其个体数占总个体数 2.53%; 在青冈次生林(D) 的 17 个土壤动物类群中, 以蜱螨目、膜翅目、线虫纲为优势类群, 其个体数占总个体数 75.44%; 以弹尾目、线蚓科、鞘翅目等 8 个类群为常见类群, 其个体数占总个体数 21.99%, 以鳞翅目幼虫等 6 个类群为稀有类群, 其个体数占总个体数 2.57%。从 4 个样地土壤动物的组成状况可以看出, 巨桉人工林 3 样地土壤动物类群数和个体数均低于青

冈次生林,除样地 A 外,巨桉人工林其他 2 个样地优势类群所占的比例均高于青冈次生林,而常见类群所占的比例又远远低于青冈次生林,表明巨桉人工林不论是土壤动物类群和个体的丰富度,还是土壤动物分布的均匀性都不及天然植被。

2.2 土壤动物群落结构特征

为便于两类林分的比较,将巨桉人工林 3 样地数据进行合并,结果显示巨桉人工林和青冈次生林均以蜉蝣目为第一优势类群,数量最多,巨桉人工林蜉蝣目个体数占总个体数 43.27%,青冈次生林蜉蝣目占总个体数 28.41%,巨桉人工林中蜉蝣目的优势度比青冈次生林更高。蜉蝣目(A)与弹尾目(C)之比,在一定程度上能反映不同地带土壤动物的分布特征。在日本从南到北,即从亚热带到温带,随着纬度的变化,蜉蝣类渐趋减少而弹尾目的数目逐渐增加^[18],陈鹏^[19]计算出长白山高山苔原带的 A/C < 1,而且随海拔升高 A/C 值越来越小,但也有研究表明,不论是温带、亚热带还是热带,蜉蝣目的数量百分比都大于弹尾目,其中温带地区蜉蝣目数量百分比竟高达 60% 以上^[10]。本研究中,巨桉人工林 A/C = 2.27,青冈次生林 A/C = 3.61,与长白山 A/C 值相接近,而高于同纬度带天目山的 A/C 值。巨桉人工林优势类群依次是:蜉蝣目、弹尾目、线虫纲、膜翅目,青冈次生林优势类群依次是:蜉蝣目、膜翅目、线虫纲,弹尾目不成为优势类群,退而成为常见类群,并且膜翅目的位置也比巨桉人工林更靠前,仅次于蜉蝣目,显而易见两种类型的林分在土壤动物的类群分布上有一定差异,青冈次生林土壤动物的分布似乎具有更多的热带特征^[10]。

傅荣恕^[4]认为在人为干扰较少的生境中,蜉蝣目的数量明显多于弹尾目,A/C 值较大,而在人为干扰较大的生境中,弹尾目数量大大增加,A/C 值较小。巨桉人工林 3 样地虽然树种相同但各自所处的小环境有所区别,B 比较靠近小路,来往行人较多,人为扰动较大,而 A 和 C 所处环境相对僻静,因此 3 样地 A/C 值存在较大差异,A 为 4.39,B 为 1.46,C 为 3.53,A 和 C 远远高于 B。

对于中小型湿生土壤动物而言,不论是巨桉人工林还是青冈次生林,线虫都远远多于线蚓,巨桉人工林线虫数量是线蚓的 4 倍,青冈次生林线虫数量是线蚓的 6.9 倍。巨桉人工林每 25ml 土壤中线虫的数量为 6.4 条,青冈次生林每 25ml 土壤中线虫的数量为 14.5 条,相对于浙江天目山每 25ml 土壤中线虫的数量 28 ~ 135 条为低^[18]。

2.3 土壤动物群落剖面分布特征

由表 4 可见,不论是巨桉人工林还是青冈次生林,土壤动物的分布都具明显的表聚性。巨桉人工林除 B 样地枯落物层和 A 样地 10 ~ 15cm 土层土壤动物密度略高于青冈次生林以外,其他层次均低于青冈次生林。对表 4 数据进行方差分析,样地间虽有差异但不显著,而不同土层间差异极显著 ($F_{3,9} = 12.4, p < 0.01$)。进一步作 LSD 多重比较,结果为:枯落物层与其余各层间均有极显著差异 ($p < 0.01$),0 ~ 5cm 层分别与 5 ~ 10cm、10 ~ 15cm 层有显著差异 ($p < 0.05$)。

2.4 土壤动物群落的多样性指数

物种多样性可反映群落组成的复杂程度,用来评价群落生态的组织水平。高的多样性指数和均匀度意味着在生态系统中,有更长的食物链和更多的共生现象。可能对负反馈有更大的控制能力,从而增加群落结构的稳定性。

表 4 巨桉人工林与青冈次生林土壤动物剖面分布(个体数/m²)

土层 Soil layer	A	B	C	D
枯落物层 Litter layer	839	1550	1007	1050
0 ~ 5cm	245	120	606	1072
5 ~ 10cm	89	82	93	148
10 ~ 15cm	97	27	43	89

表 5 巨桉人工林及青冈次生林土壤动物群落多样性指数

指数 Index	A	B	C	D
H'	1.818	1.333	1.690	1.963
J	0.656	0.481	0.641	0.667
C	0.259	0.365	0.239	0.197
DG	4.002	3.591	3.185	8.091

根据 Shannon-Wiener 指数的大小,将各样地排序: $D > A > C > B$,青冈次生林的土壤动物多样性高于巨桉人工林,而巨桉人工林 3 样地之间以 A 多样性最高,以 B 多样性最低,这可能与 B 临近小路,过往行人较多,干扰较大有关(表 5)。

根据 Pielou 均匀性指数的大小,将各样地排序: $D > A > C > B$ 。与 Shannon-Wiener 指数的排序完全一致,表明林分中土壤动物类群分布越均匀,其多样性就越高,Shannon-Wiener 指数也就越大。

根据 Simpson 优势度指数的大小,将各样地排序: $B > A > C > D$ 。与 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数的排序几乎完全相反,表明样地 B 土壤动物类群分布最不均匀,部分类群数量很大,优势度明显,导致其 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数都最低。

根据密度-类群指数的大小,将各样地排序: $D > A > B > C$ 。以青冈次生林密度-类群指数最大,其排序与 Shannon-Wiener 指数基本相同。

为了比较巨桉人工林与青冈次生林两两之间土壤动物群落组成的相似性,计算了 Jaccard 相似性系数 q 和 Gower 系数 S_g ,结果列于表 6。

Jaccard 相似性系数主要用于反映林分之间土壤动物类群上的相似程度,计算值在 0.75 ~ 1.00 为极相似,在 0.50 ~ 0.74 为中等相似,在 0.25 ~ 0.49 为中等不相似,在 0.00 ~ 0.24 为极不相似。由表 6 可知, B 和 C 的 q 值最大,属中等相似,其次是 A 和 B、A 和 C、D 和 C,各对均属中等相似,D 和 A、B 的 q 值相等,均属中等不相似。分析数据得出以下几点:第一,巨桉人工林 3 样地中以 B 和 C 在土壤动物的种类上最相似;第二,巨桉人工林 3 样地植被类型基本相同,但土壤动物类群仍有较大差异,最大 q 值仅为 0.579,属中等相似,表明除植被类型以外,其他微生态环境因子对土壤动物的分布同样重要;第三,青冈和巨桉人工林 3 样地的 q 值在 0.45 ~ 0.50 之间,属中等不相似到中等相似,表明巨桉与乡土树种的土壤动物类群有较大的相似性,其人工林能比较好地嵌入到当地的自然植被中。

Gower 系数 S_g 主要用于反映林分之间土壤动物种群个体数上的相似程度。由表 6 可知,以 A 和 C 的 S_g 值最大,其次是 A 和 B、D 和 C、D 和 A、B 和 C、D 和 B。青冈次生林与巨桉人工林部分样地之间的相似程度甚至比巨桉人工林 3 样地之间的部分组合还高,表明巨桉虽然在土壤动物类群和个体数上低于乡土树种,但二者仍具有较高的相似度,就目前而言,洪雅的自然地理条件比较适合于巨桉的生长。

2.5 土壤动物群落的同功能种团

一般土壤动物同功能种团主要包括三大类:腐食性、捕食性以及植食性同功能种团。腐食性同功能种团在土壤生态系统中的作用是:碎裂枯落物,为下一步的分解作准备;吞食有机质和泥土,并充分混合以形成结构良好的土壤团粒;取食真菌,通过控制微生物的数量来控制整个生态系统物质循环和能量流动的速率^[18,20],因此,腐食性同功能种团常作为衡量生态系统功能强弱与土壤肥力高低的生物指标之一。

将巨桉人工林和青冈次生林所获土壤动物按同功能种团进行分类,腐食性同功能种团主要包括:线虫纲、线蚓科、后孔寡毛目、腹足纲、蛴螬目、等足目、综合目、少足目、原尾目、弹尾目、蜚蠊目、等翅目、双翅目(幼虫);捕食性同功能种团主要包括:轮虫纲、缓步动物门、蜘蛛目、地蜈蚣目、双尾目、缨翅目、鞘翅目、膜翅目(主要是蚂蚁);植食性同功能种团主要包括:鳞翅目幼虫、鞘翅目幼虫。另外还有鳞翅目蛹未划入。

根据以上分类,计算出巨桉人工林(3 样地合计)腐食性、捕食性、植食性同功能种团比例依次为 81.78%、17.84%、0.38%,青冈次生林腐食性、捕食性、植食性同功能种团比例依次为 65.00%、31.62%、3.05%(鳞翅目蛹没有统计入内)。

通常认为,腐食性同功能种团和多样性指数均与土壤肥力呈正相关。本研究中,一方面巨桉人工林腐食

表 6 巨桉人工林及青冈次生林 Jaccard 相似性系数和 Gower 系数
Table 6 Jaccard (q) and Gower (S_g) indices of soil animals of
Eucalyptus grandis plantation and *Quercus acutissima* secondary forest

样地 Plots	A		B		C	
	q	S_g	q	S_g	q	S_g
D	0.458	0.690	0.458	0.509	0.500	0.699
C	0.500	0.724	0.579	0.656	—	—
B	0.524	0.705	—	—	—	—

性同功能种团比例及土壤有机质含量均高于青冈次生林;另一方面其多样性指数和土壤动物密度又均低于青冈次生林。笔者尝试分析可能的原因:第一,巨桉人工林有机质含量比青冈次生林高,主要在于其枯落物层比青冈次生林厚,青冈次生林林内坡度较大(见表 1),受雨水冲刷导致其枯落物层变薄;第二,巨桉人工林腐食性同功能种团比例高于青冈次生林,主要是由于其优势类群蜚蠊目、弹尾目等所占比重高于青冈次生林,而这些优势类群又均是腐食性同功能种团,并且在枯落物层中分布最多,巨桉人工林枯落物层相对较厚,当然其中的腐食性同功能种团就更多,因此,导致巨桉人工林腐食性同功能种团比例高于青冈次生林;第三,巨桉人工林有机质含量高于青冈次生林,但其土壤动物的多样性却低于青冈次生林,与常理相悖,说明除有机质以外还有其他对土壤动物有重要影响的因素尚待研究,比如,巨桉是否产生对土壤动物分布有影响的化感物质,是否对土壤具有酸化作用,等等。

3 结论

(1)本研究中,洪雅 8 年生巨桉人工林春季调查共获 22 个土壤动物类群,廖崇惠等研究小良 23 年生窿缘桉人工林,四季共获 11 个土壤动物类群^[21]。显然,洪雅巨桉人工林土壤动物类群数远远高于小良窿缘桉人工林。

(2)本研究中,巨桉人工林的 Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数和密度-类群指数均低于青冈次生林,而 Simpson 指数则高于青冈次生林,表明青冈次生林比巨桉人工林具有更高的多样性,系统更稳定,对负反馈具有更大的控制能力;另一方面,通过计算 Jacard 相似性系数与 Gower 系数,发现巨桉人工林与青冈次生林仍具有较大的相似性,并且二者土壤动物密度经 F-检验无显著差异,表明就目前来看巨桉比较适应洪雅的自然地理条件,林木生长较好,林内植被比较丰富,土壤动物也比较活跃。

(3)本研究对巨桉人工林的土壤肥力问题进行了讨论。从理化指标来看,巨桉人工林土壤有机质含量高于青冈次生林,但青冈次生林土层较之疏松;从生物指标来看,巨桉人工林土壤动物中腐食性类群比例更大,但青冈次生林土壤动物类群数更多,分布更均匀,多样性指数更高。加之,洪雅巨桉人工林栽种时间不长,其土壤理化性状极有可能受以前土地利用状况的影响,使得树种本身对土壤动物的影响尚未完全体现,因此,目前要准确评价巨桉人工林的土壤肥力状况以及巨桉对土壤动物的影响还比较困难,还需作进一步的土壤养分分析和更长期的定位观测。

References:

- [1] Yang W Q, Wang K Y, Song G Y, *et al.* Preliminary study on biological characteristics of degraded soil ecosystems in Dry Hot valley of the Jinsha River. *Pedosphere*, 2002, 12(4): 365 ~ 372.
- [2] Fu B Q, Cheng W, Dong X H, *et al.* The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan Mountain in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 215 ~ 223.
- [3] Fu B Q, Chen W, Gao W, *et al.* The soil invertebrate community in *Populus davidiana* + *Betula platyphylla* forest in Baihua Mountain. *Chin J Zool*, 1997, 32(2): 10 ~ 15.
- [4] Fu R S, Yin W Y. The primitive study of soil animals in Funiu Mountain area, Henan Province. *Chin Zool Res*, 1999, 20(5): 396 ~ 398.
- [5] Liao C H, Li J X, Huang H T. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecol Sin*, 1997, 17(5): 549 ~ 555.
- [6] Liao C H, Li J X, Yang Y P, *et al.* The community of soil animals in tropical rain forest in Jiangfengling Mountain, Hainan Island, China: Composition and characteristics of community. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1866 ~ 1872.
- [7] Liao C H, Li J X, Yang Y P, *et al.* The community of soil animals in tropical rain forest in Jiangfengling Mountain, Hainan Island, China: relationship between seasonal change of community structure and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 139 ~ 147.
- [8] Liu H, Yuan X Z. A study on community structure of soil animals in Taishan Mountain. *Mountain Res*, 1998, 16(2): 114 ~ 119.
- [9] Tang B A, Tang G, Tang M, *et al.* Study on the ecological characteristics of soil animal resources in Yunshan National Forest Park. *J Nat Resour*, 2003, 18(4): 499 ~ 504.
- [10] Yin W Y, Zhang R Z, Yin S G, *et al.* *Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 2000. 13 ~ 100.
- [11] Yin X Q, Li J D. Diversity of soil animals community in *Leymus chinensis* grassland. *Chin J Appl Ecol*, 1998, 9(2): 186 ~ 188.

- [12] Andren O, Brussaard I, Clarholm M. Soil organism influence on ecosystem process by passing the ecological hierarchy? *Appl Soil Ecol*, 1999, 11(2): 177 ~ 188.
- [13] Beare M H, Coleman D C, Crossley D A, Hendrix P F, *et al.* A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant Soil*, 1995, 170(1): 1 ~ 18.
- [14] Lavelle P, Blanchart E, Martin A, *et al.* A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 1993, 25: 130 ~ 150.
- [15] Niemelä J, Langor D, Spence J R. Effects of clear-cut harvesting on boreal ground-beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) in Western Canada, *Conservation Biology*, 1993, 7(3): 551 ~ 561.
- [16] Scheu S, Albers D, Alpeh J, *et al.* The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different age: trophic structure and structuring forces. *Oikos*, 2003, 101 (2): 225 ~ 238
- [17] Yin X Q, Zhong W Y, Wang H X, *et al.* Decomposition of forest defoliation and role of soil animals in Xiaoxing Mountains. *Geographical Research*, 2002, 21(6): 689 ~ 699.
- [18] Yin W Y, Yang F C, Wang Z Z, *et al.* *Subtropical Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1992. 16 ~ 23.
- [19] Cheng P, Yang B G, Zhang Y. Soil animals ecological distribution of alpine tundra in north of Changbai Mountain. *Res For Ecosys (III)*, 1983, 119 ~ 132.
- [20] Zhang X P, Hou W L, Cheng P. Soil animal guilds and their ecological distribution in the northeast of China. *Chin J Appl and Environ Biology*, 2001, 7 (4): 370 ~ 374.
- [21] Liao C H, Chen M Q, Xie Y S. The primary investigation of soil animals of tropic plantation in Xiaoliang. *Trop Subtrop For Ecosys*, 1984, 2: 214 ~ 226.

参考文献:

- [2] 傅必谦,陈卫,董晓晖,等.北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. *生态学报*, 2002, 22(2): 215 ~ 223.
- [3] 傅必谦,陈卫,高武,等.百花山山杨桦木林土壤动物群落及其季节动态. *动物学杂志*, 1997, 32(2): 10 ~ 15.
- [4] 傅荣恕,尹文英.伏牛山地区土壤动物群落的初步研究. *动物学研究*, 1999, 20(5): 396 ~ 398.
- [5] 廖崇惠,李健雄,黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. *生态学报*, 1997, 17(5): 549 ~ 555.
- [6] 廖崇惠,李健雄,杨悦屏,等.海南尖峰岭热带林土壤动物群落——群落的组成及其特征. *生态学报*, 2002, 22(11): 1866 ~ 1872.
- [7] 廖崇惠,李健雄,杨悦屏,等.海南尖峰岭热带林土壤动物群落——群落结构的季节变化及其气候因素. *生态学报*, 2003, 23(1): 139 ~ 147.
- [8] 刘红,袁兴中.泰山土壤动物群落结构特征. *山地研究*, 1998, 16(2): 114 ~ 119.
- [9] 唐本安,唐果,唐敏,等.云山国家森林公园土壤动物资源生态特征. *自然资源学报*, 2003, 18(4): 499 ~ 504.
- [10] 尹文英,张荣祖,殷绶公,等. *中国土壤动物*. 北京: 科学出版社, 2000. 13 ~ 100.
- [11] 殷秀琴,李建东.羊草草原土壤动物群落多样性的研究. *应用生态学报*, 1998, 9(2): 186 ~ 188.
- [17] 殷秀琴,仲伟彦,王海霞,等.小兴安岭森林落叶分解与土壤动物的作用. *地理研究*, 2002, 21(6): 689 ~ 699.
- [18] 尹文英,杨逢春,王振中,等. *中国亚热带土壤动物*. 北京: 科学出版社, 1992. 16 ~ 23.
- [19] 陈鹏,杨秉庚,张一. 长白山北坡高山苔原带土壤动物的生态分布. *森林生态系统研究(III)*, 1983, 119 ~ 132.
- [20] 张雪萍,候威岭,陈鹏.东北森林土壤动物同功能种团及其生态分布. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(4): 370 ~ 374.
- [21] 廖崇惠,陈茂乾,谢映书.小良热带人工林土壤动物初步调查. *热带亚热带森林生态系统研究, 第 2 集*, 1984, 214 ~ 226.