

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

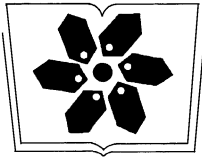
Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 13 期 Vol.33 No.13 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪 宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚 婧,李 颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘 露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘 波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张 健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张 明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟 希,张 淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李 兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈 林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊 伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨 磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘 帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳 林,王 信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余 杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄 蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张 义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭 建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201208021098

张丹桔, 张健, 杨万勤, 吴福忠, 黄玉梅, 张志伟, 王旭, 王小强, 朱琳. 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性. 生态学报, 2013, 33(13): 3947-3962.

Zhang D J, Zhang J, Yang W Q, Wu F Z, Huang Y M, Zhang Z W, Wang X, Wang X Q, Zhu L. Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 3947-3962.

一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性

张丹桔¹, 张 健^{1,*}, 杨万勤¹, 吴福忠¹, 黄玉梅², 张志伟¹,
王 旭¹, 王小强¹, 朱 琳¹

(1. 四川农业大学生态林业研究所 林业生态工程省级重点实验室, 温江 611130; 2. 四川农业大学风景园林学院, 温江 611130)

摘要: 为了全面、系统研究和评价退耕后桉树人工林生物多样性, 采用立地条件控制及空间代替时间法, 对四川丹棱县退耕营造的巨桉 (*Eucalyptus grandis*) 人工林 (1—10a) 植物和土壤生物多样性进行了同步研究。结果显示, 植物和土壤动物的物种数、密度和多样性指数及土壤微生物数量呈相似变化趋势, 即轮伐期前同步 (4a 左右) 降低, 此后随林龄显著增加。CCA 分析显示, 植物生活型随林龄由藤本植物、地面芽和 1 年生植物向多年生草本高位芽和高位芽植物过渡。土壤微生物以细菌占据数量优势; 土壤动物以腐食性功能团占据优势, 杂食性次之。腐食性功能团 1—7a 降低而后升高, 杂食性呈 S 型升高趋势; 植食性和捕食性功能团百分比随林龄显著降低。土壤动物优势类群中线虫纲个体百分比随林龄显著降低, 螨目百分比和 A/C 值 (螨目/弹尾目数量比) 呈 S 型上升趋势。各林龄巨桉林地植物多样性均显著高于对照农耕地; 除 1, 2a 及 4—7a 样地植物多样性显著低于对照马尾松林, 其余均与其无显著差异。土壤生物多样性, 轮伐期前巨桉林地与对照农耕地差异不显著, 此后则显著高于农耕地; 各林龄样地土壤生物多样性均显著低于对照马尾松林。植物和土壤生物多样性指标显著相关, 且相关系数随土壤层次加深而降低。

关键词: 巨桉人工林; 生物多样性; 植物; 土壤生物; 年龄序列

Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages

ZHANG Danju¹, ZHANG Jian^{1,*}, YANG Wanqin¹, WU Fuzhong¹, HUANG Yumei², ZHANG Zhiwei¹, WANG Xu¹, WANG Xiaoqiang¹, ZHU Lin¹

1 Institute of Ecology & Forestry, Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering in Sichuan Province, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China

2 College of Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China

Abstract: Issues around the loss of diversity caused by fast-growing tree plantations such as *Eucalyptus* have aroused controversy for many years. It is generally believed that *Eucalyptus* plantations bring about a decrease of plant's biodiversity by influencing resource competitions, allelopathy, or the level of soil fertility. Above and below-ground of forest ecosystems interact implicitly. Complex interactions between above-belowground biodiversity may provide important feedbacks regulating ecosystem. However, seldom information was available on the soil organism's diversity in *Eucalyptus* plantations. Furthermore, most of the previous studies were being conducted in the short-term rotation *Eucalyptus* plantations with a certain plantation age, which might limit our understanding of the actual plantation ecosystem process. Therefore, the

基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2006BAC01A11, 2008BAD2B01); 国家自然科学基金项目 (30872014) 资助; 高等学校博士学科点专项科研基金 (新教师类) 资助

收稿日期: 2012-08-02; 修订日期: 2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sicauzhangjian@163.com

abundance and diversity of plants and soil biodiversity were simultaneously measured across a range of eucalypt plantation ages (1—10 years) in southwest China to determine how *Eucalyptus grandis* afforestation of agricultural lands affected the native biodiversity. The present results showed that afforestation of *E. grandis* caused changes in plant and soil biodiversity with soil depth and was dependent on the stand age. The species richness, abundance and the diversity of understory plants and soil organisms showed a parallel development during the process of the succession, viz. both of them increased significantly with time but with a ‘dip’ around 4 years old. CCA analysis showed that the plant’s life forms transited from liana, hemicryptophytes and therophytes into perennial herbaceous-phanerophytes and phanerophytes. Bacteria quantitatively dominated the soil microbe in *E. grandis* regardless of plantation age. The individual proportion of saprozoic group quantitatively dominated in the soils of the all the study sites, followed by omnivorous group. The proportion of saprozoic groups decreased in 1—7 year old stands and then increased significantly with time. The proportion of omnivorous group increased as S shape with the plantation age. The proportion of predators and phytophage groups decreased significantly with time. The individual percentage of nematode decreased with the plantation age, but that of acarina and the number ratio of the acarina and collembola present the S shape increasing trend over time. The multiple comparisons test showed that plant diversity of the understory vegetation in 1, 2 and 4—7 years-old plantations were significantly lower than that in the control forests (*Pinus massoniana*). Plant diversity in 1—10 year-old *E. grandis* plantations were significantly higher than that of the control arable land. Soil biodiversity in the plantations before the rotation period has no significant differences compared with agricultural lands, but were significantly higher in the plantations on or after the rotation period than the crop land. There were significant correlations between the plant’s and soil organism’s diversity index and the correlation coefficient decreased with soil depth.

Key Words: *Eucalyptus grandis* plantation, biodiversity, plant, soil biota, a range of plantation age

世界工业人工林正以 200—300 万 hm^2/a 的速度发展,目前面积已超过 5 000 万 hm^2 ^[1]。如何使人工林在满足人类对木材的需求的同时发挥其应有的生态功能成为当前人工林生态研究的热点之一^[2]。目前,人工林生物多样性的研究更多关注的是天然林转化为人工林后会导致生物多样性的降低^[3-4],对农耕地转换为森林后生物多样性的形成过程研究不多。另外,地上/地下生态系统是不可分割的整体,土壤生态系统有着更为丰富的生物多样性^[5-7],土壤生物参与养分循环、有机质分解和植物生长等重要生态过程^[8-10],地上/地下的生物多样性及其相互作用是控制生态系统过程的重要生态学机制^[11]。已有的人工林生物多样性研究更加关注地上植物多样性,对土壤生物多样性关注较少,更缺乏对地上/地下生物多样性的同步研究^[12-13],这远不能满足人工林经营与管理的需求。

全球桉树人工林面积达 1 400 万 hm^2 ^[1]。桉树人工林生物多样性一直是个颇具争议的生态学问题。有些地区桉树人工林存在着生物多样性下降^[14]、抽水机、抽肥机^[15-16]和化感作用^[17-18]等人类普遍关注的林业生态问题。但在不少地区,桉树人工林却能够发挥其生态功能,如改善林地小气候、改善土体结构和提高土壤肥力、保育其林下生物多样性^[19-22]、化感作用表现并不明显等^[23]。这些争议说明桉树人工林对生物多样性影响可能受多种因素影响,如林龄、造林前的土地利用方式、树种及造林目的等^[24],为了全面、客观评价桉树人工林的生态效益,需要从更多影响因素来考虑。我国一直重视人工林建设且成效显著,如速生丰产用材林、工业原料林、退耕还林等生态林业工程,但对退耕还林后人工林生物多样性形成过程研究还十分鲜见。中国的桉树人工林面积达 155 万 hm^2 ,四川是我国首批实施退耕还林工程省份之一,目前桉树人工林已达 200000 hm^2 。本文通过时空互代、地上/地下同步研究的方法,选择退耕还林后一个年龄序列(1—10a)巨桉(*Eucalyptus grandis*)人工林为研究对象,对其地上/地下生物多样性的形成过程进行研究,试图更系统、全面地探究桉树人工林的生物多样性保育价值,以期为四川巨桉人工林合理与科学经营提供科学依据。

1 试验区概况及研究方法

1.1 试验区概况

研究区位于四川盆地西南边缘,四川省丹棱县杨场镇(102°57′—103°04′ E, 29°55′—29°59′ N;海拔570—592m),亚热带气候,年均温、降雨量和相对湿度分别为17.5℃,1397mm和82%;土壤为铁铝土性质老冲积黄壤^[22]。当地具有大面积退耕还林后处于不同生长阶段的巨桉人工林,各林龄林分面积均大于10 hm²,选择1—10年生巨桉人工林为研究对象。研究地地势平坦(<5°)(表1),通过对当地土地所有者的咨询得知,研究地在巨桉造林前为耕作土壤,耕作系统和管理强度具备当地典型性,造林前耕地轮作制度持续多年,因此人工林样地的土壤基质和原耕作土壤类似;种植桉树后未经过任何施肥或杂草处理,低林龄林分未经疏伐,因此样地的选择满足时空互代所需条件,该地巨桉人工林的轮伐期为5—7a。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

以1—10年生巨桉人工林为研究对象(表1),选择3个年龄序列作为重复。土壤理化特性如表2,随林龄土壤容重显著降低,土壤含水量显著升高,土壤有机质含量和土壤微生物量呈现1—4a降低而后升高趋势,土壤全N、P无显著变化^[23]。为方便表述且仅对于本研究而言,1—4a为轮伐期前;5—7a为轮伐期;8—10a为超过轮伐期。探究巨桉人工林退耕前后生物多样性的变化,为此选择附近农耕地和马尾松林(*Pinus massoniana*)(70a)为对照,虽然马尾松不是乡土树种,但可作为当地成熟林为对照样地。

表1 一个年龄序列巨桉人工林样地概况

Table 1 Characteristics of study sites and trees of *E. grandis* across a range of forest ages (1—10 years)

样地林龄 Site forest age	海拔 Altitude/m	坡向 Slope aspect	密度 Density /(株/hm ²)	郁闭度 Canopy closure	平均胸径 Mean DBH /cm	树高 Mean Height /m
1	556.2	NE27	1665	0.40 (0.11) *	6.0 (0.7)	3.0 (0.5)
2	557.1	NE36	1665	0.50 (0.12)	7.5 (0.8)	6.5 (0.5)
3	558.3	NE38	1700	0.65 (0.09)	9.0 (0.9)	9.6 (0.5)
4	556.5	NE30	1700	0.70 (0.06)	12.0 (1.1)	13.5 (0.2)
5	557.3	NE30	1700	0.60 (0.03)	13.0 (1.2)	14.0 (0.5)
6	556.4	NE32	1700	0.65 (0.13)	13.5 (1.8)	15.0 (0.7)
7	557.7	NE29	1700	0.60 (0.22)	14.5 (1.6)	17.8 (0.9)
8	556.1	NE28	1665	0.65 (0.12)	16.7 (1.0)	18.5 (0.2)
9	555.7	NE27	1665	0.70 (0.08)	21.8 (1.1)	22.0 (0.3)
10	556.8	NE29	1665	0.75 (0.12)	23.6 (0.5)	25.0 (0.6)

* 标准差

表2 一个年龄序列巨桉人工林土壤理化特性

Table 2 Soil physical and chemical properties (the average mean and standard deviation) along an age series of *E. grandis* plantations

林龄 Forest age/a	土壤容重 Bulk density /(mg/m ²)	土壤含水量 Water content /(kg/kg)	土壤有机质含量 Organic matter /(g C/kg)	全N N tot /(g N/kg)	全P P tot /(mg P/kg)	微生物量碳 MBC /(mg/kg)	微生物量氮 MBN /(mg/kg)
1	1.56 (0.02)	0.24 (0.05)	10.30 (1.29)	0.165 (0.02)	342.0 (14.0)	202.16 (24.60)	6.24 (1.35)
2	1.44 (0.07)	0.26 (0.03)	8.69 (1.66)	0.166 (0.01)	339.2 (8.30)	247.75 (19.76)	5.83 (1.67)
3	1.39 (0.04)	0.27 (0.01)	8.48 (1.35)	0.153 (0.01)	335.2 (32.70)	256.78 (7.13)	5.15 (1.87)
4	1.31 (0.06)	0.26 (0.03)	7.33 (1.10)	0.149 (0.02)	320.2 (28.70)	200.85 (17.99)	4.26 (0.96)
5	1.25 (0.02)	0.29 (0.01)	8.33 (1.21)	0.167 (0.03)	319.4 (51.5)	257.48 (19.82)	5.61 (1.06)
6	1.22 (0.01)	0.32 (0.03)	10.26 (1.22)	0.168 (0.01)	315.2 (17.20)	319.36 (13.27)	7.45 (1.65)
7	1.21 (0.02)	0.32 (0.01)	12.21 (1.23)	0.165 (0.03)	312.7 (21.80)	390.15 (21.28)	9.51 (2.19)
8	1.22 (0.01)	0.32 (0.06)	15.26 (1.15)	0.166 (0.01)	311.1 (21.70)	488.10 (20.92)	10.75 (1.44)
9	1.17 (0.01)	0.33 (0.01)	16.37 (1.28)	0.168 (0.03)	308.1 (16.50)	518.23 (17.89)	12.11 (1.93)
10	1.13 (0.02)	0.34 (0.05)	18.29 (1.31)	0.171 (0.04)	306.5 (18.00)	538.17 (21.233)	12.38 (1.78)

1.2.2 调查及采样方法

(1) 植物调查

2008 年 10 月,不同的年龄的巨桉人工林样地内进行林下植物群落学调查。每个林龄样地内设置 3 个 20 m × 20 m 的标准地,进行每木检尺,记录乔木的高度、胸径、枝下高、郁闭度等。在样地内设置 5 个(5 m × 5 m)的小样方,进行灌木层的调查,调查样地中 1.5 m 以上树木的种名、高度和胸径及所有苗木的种名、高度;设置 5 个(1 m × 1 m)的小样方进行草本层调查,记录草本层的种类和盖度等。按照 Raunkiaer 的生活型分类系统对植物种划分为高位芽、地上芽、地面芽、隐芽和 1 年生植物^[24]。

(2) 土壤动物

2008 年 10 月,在各林龄巨桉及对照(农耕地及马尾松林)样地进行土壤动物调查取样。每个标准地内随机设置 5 个小样方(30 cm × 30 cm),分别从凋落物层、0—5 cm, 5—10 cm, 10—15 cm 的 4 个层次采取土样,其中大型土壤动物采用手捡法,并将获得的大型土壤动物放入酒精中保存。每个样方中随机选取 5 个点,枯落物中、小型土壤动物的取样面积分别为 10 cm × 10 cm,然后挖取土壤剖面分别从 0—5 cm, 5—10 cm, 10—15 cm 3 层用 100 mL(直径 5 cm), 25 mL(直径 3 cm)取样器取土,用于中小型土壤动物的分离,样品放入带有尼龙网的黑布袋中,尽快带回实验室进行分离。中型土壤动物用 Tullgren 干漏斗法分离,小型土壤动物用 Baermann 湿漏斗法进行分离,分离时间 24 h,温度控制在 35—40 °C^[25]。

(3) 土壤微生物

2007 年 9 月,每个样方内随机 10 个点采集将落的衰老叶片和地面刚落的叶片,混合后风干,称取 5 g 分别装入 10 个 15 cm × 15 cm 分解袋中,于各林龄样方内,除去地表凋落物层,置于土壤表层。2008 年 10 月收集凋落物样品各 5 份,装入保鲜袋后迅速带回实验室,用于凋落物分解过程中土壤微生物数量的测定。2008 年 10 月,每个样地采用蛇形 5 点取样混合,分别于 3 个土壤层次即 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm,用直径为 45 cm 的取土钻进行采样,每层土壤共采集约 1 kg 左右,装入无菌袋收集带回实验室保存,进行微生物数量测定。土壤 3 大类微生物区系的数量分析采用平板稀释法:细菌(牛肉膏蛋白胨培养基);真菌(马丁氏-孟加拉红培养基);放线菌(改良高氏一号培养基)。据菌落形态确定土壤微生物类型和数量^[25]。

1.2.3 数据分析

1) 多样性指标的计算

选择 Shannon-Wiener 指数作为植物群落多样性指标衡量标准^[27];由于本研究土壤微生物为传统培养法,以数量作为微生物多样性指标^[28]。对于土壤动物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。选择密度-类群指数(Density-Group Index)^[29],作为土壤动物群落多样性指标:

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

式中, D_i 为第 i 类群个体数, $D_{\max}$ 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。

2) 统计分析

数据处理与统计分析运用 EXCEL、SPSS13.0、Canoco for Windows 4.5 统计分析软件完成。将土层深度作为嵌套因子,用 SPSS 软件的一般线性模型作以土层深度和林龄作为因子的双因素方差分析。植物以及每个土层的土壤生物(土壤动物和土壤微生物)多样性指标随林龄的变化用线性或多项式回归法进行分析,单因素方差分析(ANOVA)进行回归模型拟合显著性分析。用典范相关分析分析各样地植物物种生活型组成随着林龄及其他环境因子的关系。环境对植物群落的解释量用前两个排序轴的累积贡献率表示。对植物多样性指数,土壤微生物数量及土壤动物密度-类群指数进行偏相关分析。进行方差的齐次性检验并以 Levene 法进行方差的正态分布,如不符合方差的齐次性则进行数据的 log 转化,而后采用单因素方差分析(ANOVA)和多

重比较(分析研究样地 and 对照样地的植物和土壤生物多样性指标的差异)。

2 结果与分析

2.1 植物多样性

一个年龄序列巨桉人工林(1—10a)共 30 个样地,共出现植物种类 78 种分属 44 科, 65 属(附表 1),灌木物种数所占比例为(27%—56%),草本以多年生草本(55%—73%)占据优势,1 年生草本(15%—27%)和攀援草本(7%—21%)次之。随着林龄增长,植物物种数、个体密度、灌木及整个植物群落生物多样性指数均呈现相似趋势,即 1—3a 增加,随后两年(4—5a)降低,此后随林龄显著增长。草本生物多样性指数则随林龄显著增长(图 1)。选择 6 种环境因子和植物生活型进行 CCA 排序(图 2)。结果经 Monte Carlo Test 检验,第一排序轴和其余所有排序轴均显著($F=9.058, P=0.026; F=3.026, P=0.003$),其中土壤容重和第一轴呈现显著正相关,林龄、土壤含水量、植物 Shannon-Wiener 指数与第一轴显著负相关;郁闭度和植物 Shannon-Wiener 指数与第二轴呈现显著正相关(表 3)。前两个排序轴对物种数据的累积贡献率(累计值占特征值总和)达 55%,表明前 2 个排序轴可以在某种程度上反映不同植物生活型和环境间的关系。沿着第一轴从左到右,土壤容重增加,这与 CCA 排序的生态学意义相反,因此第一轴从右向由藤本植物、地面芽和 1 年生植物向多年生草本高位芽和高位芽植物过渡;第二轴由下至上基本表现林分郁闭度和植物多样性,从排序图的右下到左上,随着郁闭度和植物多样性的升高,植物群落从地上芽、地面芽,1 年生植物、藤本植物到多年生草本高位芽和高位植物过渡,隐芽植物在郁闭度和多样性较高生境具有最适值。

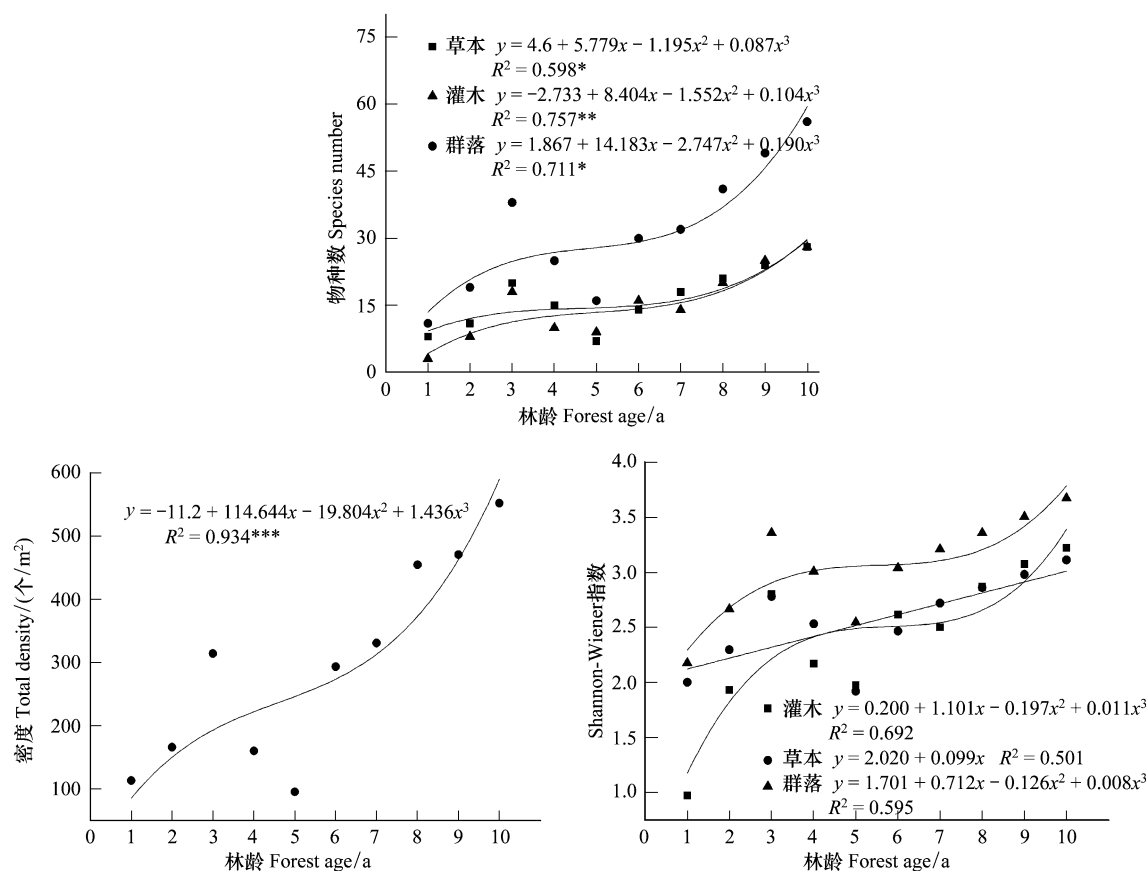


图 1 一个年龄序列巨桉人工林(1—10a)植物物种数、个体密度及 Shannon-Wiener 指数

Fig. 1 Responses of the means value of the species richness, individual density and Shannon-Wiener index of the understory communities across the three sites within each age to the *E. grandis* plantation ages (1—10 years)

2.2 土壤动物

1—10a 生巨桉人工林共收获 8326 头 30 种土壤动物,隶属 7 门,14 纲,33 目(表 4)。各样地以线虫纲、

蜚蠊目为优势类群,以轮虫纲、蜘蛛目、弹尾目、鞘翅目、膜翅目土壤动物为常见类群,其余为稀有或极稀有类群。林龄和取样层次的双因素方差分析显示,各体型土壤动物密度、总密度及密度-类群指数呈现显著垂直变化($P < 0.01$)和时间动态(图3)。随林龄增长,不同体型土壤动物类群数及总类群数显著增加。大型土壤动物密度在枯落物层和0—10 cm 土层随着林龄显著增加,在10—15 cm 土层则无显著变化;中型土壤动物密度在枯枝落叶层中1—3a 降低,而后显著升高;在各土层中随林龄显著升高。小型土壤动物密度,在枯枝落叶层及各土层均呈现随林龄显著增加趋势。土壤动物密度—类群指数(DG)在枯落物层和0—5 cm 土层分别呈1—4a 和1—5a 先降低而后逐渐升高的趋势,在较深土层则无显著变化(图3)。

土壤动物区系随林龄增长也有所变化,尤其是优势类群格局(图4),线虫纲所占百分比随着林龄显著降低,蜚蠊目所占百分比1—2a 降低,2—7a 上升,8—10a 又有所降低。A/C 值无规律性变化,4,8,9 年有所降低外,整体有所上升(图5)。

各样地土壤动物功能团类群数随林龄无显著变化,个体百分数均为腐食性土壤动物占据优势,杂食性、捕食性、植食性依次次之。随着林龄增长个体百分比,植食性、捕食性功能群显著降低,腐食性功能团1—7a 降低,此后升高;杂食性1—2a 降低,2—7a 升高,此后降低(图6)。

2.3 土壤微生物数量特征

细菌、放线菌、真菌数目及土壤微生物总数呈显著垂直变化($P < 0.01$),凋落物层数量最多随土壤深度增加而降低,但有些年份也出现逆向分布。土壤微生物中以细菌为主(91%—96%),放线菌次之,真菌最少。2 次回归检验发现,枯枝落叶层($F = 119.43$ $P < 0.001$)、0—5 cm ($F = 93.12$, $P < 0.001$)和5—10 cm ($F = 15.36$, $P < 0.001$)微生物数量1—4a 降低而后升高;但10—15 cm 土层其变化不显著(图7)。土壤细菌/真菌数量比在枯枝落叶层1—5a 降低($F = 9.22$ $P < 0.05$),而后显著升高;在0—5cm ($F = 9.32$ $P < 0.01$),5—10 cm 土层($F = 13.79$, $P < 0.01$)呈1—4a 降低而后显著升高趋势,在10—15 cm 土层无显著变化(图7)。

表3 环境变量与排序轴的相关性

环境变量 Environmental variables	排序轴 Axis	
	Axis 1	Axis 2
林龄 Plantation age	-0.6347	0.1501
土壤含水量 Water content	-0.6433	0.1697
土壤容重 Soil bulk density	0.7439	-0.2175
土壤有机质 Soil organic matter	-0.4074	0.3488
郁闭度 Canopy closure	-0.4689	0.5530
植物 Shannon-wiener 指数 Plant's Shannon-Wiener index	-0.5405	0.5582

2.4 与对照样地的对比

Tukey 多重比较如表5,对照农耕地由于处于耕作阶段未进行植物多样性对比。植物及土壤生物多样性,

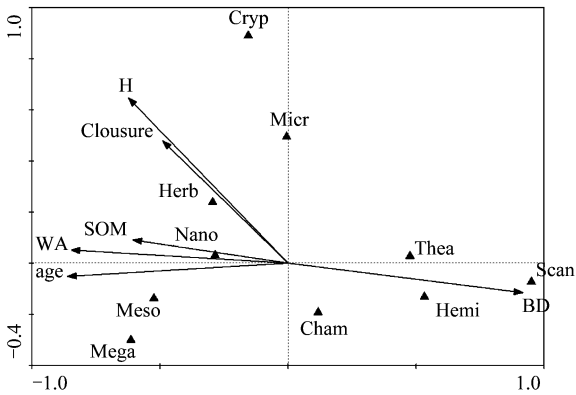


图2 一个年龄序列巨桉人工林林下植物不同生活型 CCA 排序图
Fig.2 CCA ordination of all species richness of the understory vegetation with different life form in *E. grandis* plantations (1—10 years)

Scan: 藤本高位芽 Scandentia phanerophytes; Mega: 大高位芽 Megaphanerophytes; Meso: 中高位芽 Mesophanerophytes; Mic: 小高位芽 Microphanerophytes; Nano: 矮高位芽 Nanophanerophytes; Herb: 草本高位芽 Herbaceous-phanerophytes; Cham: 地上芽 Chamaephytes; Hemi: 地面芽 Hemicryptophytes; Cryp: 隐芽植物 Cryptophytes; Thea: 1 年生植物 Therophytes; WA: 土壤持水量 water holding capacity; BD: 土壤容重 Bulk density; age: 林龄 Plantation age; SOM: 土壤有机质 Soil Organic Matter; Closure: 郁闭度 Canopy closure; H: 植物 Shannon-Wiener 指数

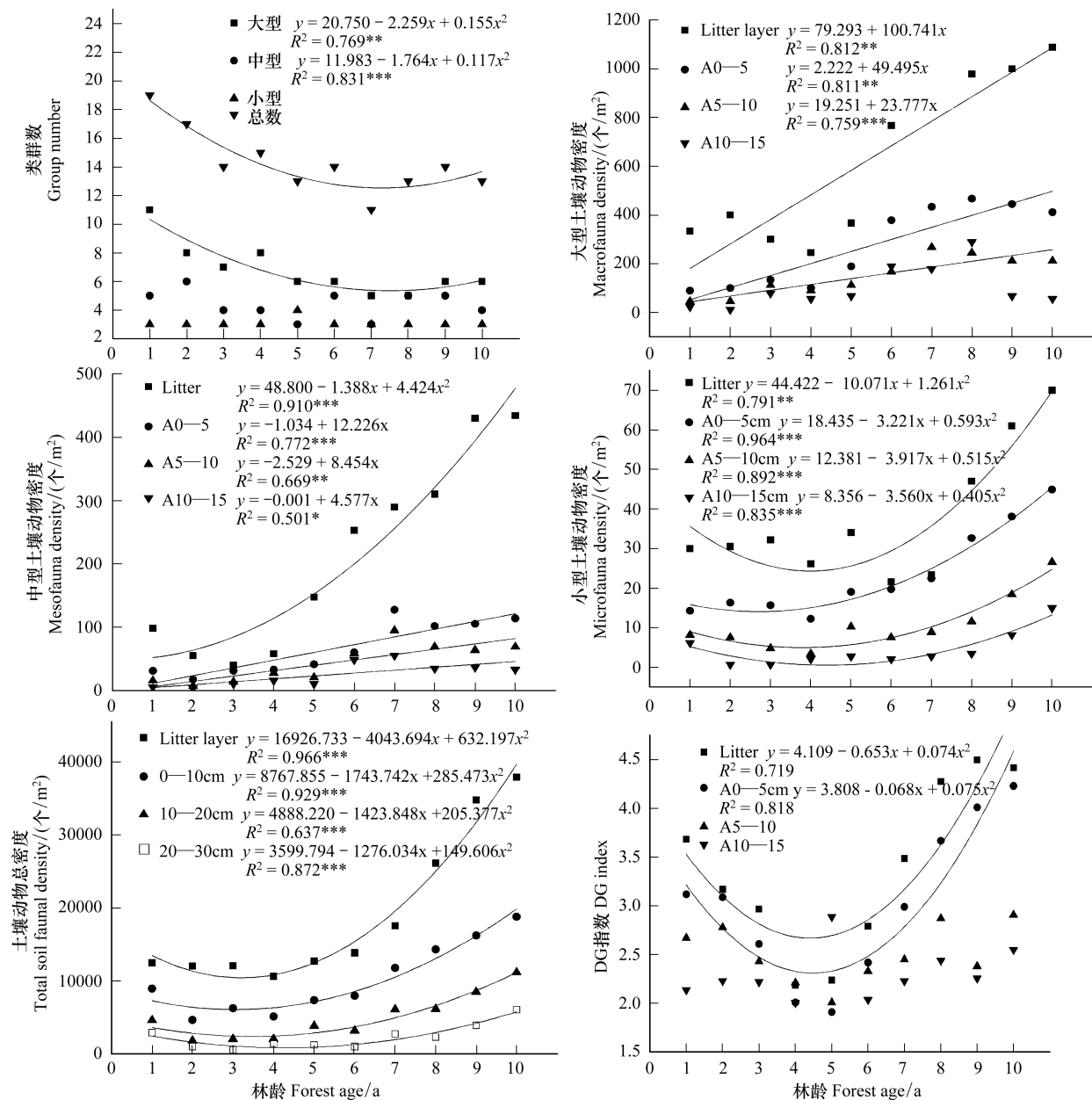


图3 一个年龄序列巨桉人工林(1—10a)土壤动物类群数、不同体型土壤动物密度和总密度及密度类群指数动态

Fig. 3 Responses of the soil faunal group number, soil faunal density with different size and the total density and DG index to the *E. grandis* plantation ages (1–10 years)

表4 一个年龄序列巨桉人工林秋季土壤动物种类和数量

Table 4 Groups and individual numbers of soil fauna per site in autumn in *E. grandis* plantations with a range of forest age (1–10 a)

土壤动物类群 Taxa	林龄 Forest age/a									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
捕食性 Predators										
轮虫纲 Rotatoria (Mi)	17 +++	7 +++	35 +++	19 +++	27 +++	8 ++	10 +++	14 ++	16 ++	15 ++
蜘蛛目 Araneae (Ma)	6 +++	4 +++	9 +++	8 ++	1 +	1 +	9 +++	1 +	2 +	1 +
伪蝎目 Pseudoscorpiones (Me)		1 +	1 +							
地蜈蚣目 Geophilomorpha (Ma)	1 +			1 +						4 +
石蜈蚣目 Lithobiomorpha (Ma)	1 +				1 +					

续表

土壤动物类群 Taxa	林龄 Forest age/a									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
综合纲 Symphyla (Me)	1+	5 +++	5 ++	3 +	1 +	2 +	4 +	7 ++	5 +	6 +
涡虫纲 Turbellaria (Mi)					1 +					
盲蛛目 Opiliones (Ma)	3 ++	1 +	1 +	2 +	1 +					
双尾纲 Diplura (Me)	2 +	5 +++		2 +		4 +		1 +		
腐食性 Saprozoic										
缨翅目 Thysanoptera					1					
线虫纲 Nematoda (Mi)	289 ++++	299 ++++	295++++	256 ++++	346 ++++	217 ++++	225 ++++	462 ++++	590 ++++	720 ++++
线蚓科 Enchytraeidae (Mi)	36+++	28 +++	23+++	12 +++	13 +++	34 +++	49 +++	64 +++	100 +++	92
后孔寡毛纲 Oligochaeta opisthopora (Ma)	7 +++	4 +++	3 ++	2+	1 +			1 +		
蜚蠊目 Blattoptera (Ma)	1+			1 +		1 +			1 +	
等足目 Isopoda (Ma)										
双翅目幼虫 Diptera (Larvae) (Ma)		7 +++	10 +++	3 +	4 ++	1 +		1 +	4 +	7 +
双翅目 Diptera (Ma)				2 +	8 ++	17 +++	20 +++	11 +++	22 +++	15 ++
等翅目 Isoptera (Me)	1+	7 +++							1	1 +
植食性 Phytophage										
直翅目 Orthoptera (Ma)	2+	1+	1 +			1 +				
啮虫目 Psocoptera (Me)						1 +		3+	1+	
半翅目 Hemiptera (Ma)	1 +				1 +					
竹节虫目 Phasmida (Ma)	1 +	3++		1 +						
同翅目 Homoptera (Ma)						1 +	1 +			1 +
杂食性 Omnivorous										
膜翅纲 Hymenoptera (Ma)	17 +++	22 +++	26+++	14 +++	21 +++	61 +++	82 +++	112 ++++	85 +++	85 +++
蜱螨目 Acarina (Me)	58 ++++	39 ++++	54 ++++	68 ++++	191++++	270 ++++	371 ++++	298 ++++	390 +++	460 ++++
弹尾纲 Collembola (Me)	66 ++++	14 +++	12 +++	29 +++	47 +++	73 +++	76 +++	120 +++	152 ++	92++
鞘翅纲 Coleoptera (Ma)	4 +++	8 +++	1 +		12 +++	45 +++	40 +++	44 +++	30 +++	31 +++
鞘翅纲幼虫 Coleoptera (Larvae) (Ma)			5++		17 +++	8 ++	4 +	8 ++	10 ++	15 +++
总个体数 Total individual number	514	456	482	423	693	745	891	1147	1410	1545
总类群数 Total group number	19	17	14	15	13	14	11	13	14	13

Ma: Macrofauna 大型土壤动物; Me: Mesofauna 中型土壤动物; Mi: Microfauna 小型土壤动物; ++++ > 10%; +++ 1%—10%; ++ 0.1%—1%; + <0.1%

表 5 一个年龄序列巨桉人工林地上/地下生物多样性指标与对照样地的多重比较 (Tukey test)

Table 5 Comparison with Tukey' test of the mean values of the plant and soil biota diversity in *E. grandis* plantations with a range of forest ages

植物 Understory plants			微生物 Soil microbe		土壤动物 Soil fauna		
物种数 Species number	密度 Density	H 指数 Shannon- Wiener index	总数 Total counts	细菌/真菌比 Bacterial/ Fungal number ratio	类群数 Group Number	总密度 Total density	DG 指数 DG index
E vs A			(1—2) a *	(1—4) ns	(1—5) ns	(1—3,5) **, (4) ns,	(1—5) ns, (6,7) **, (8—10) ****
P vs A			3—5 ns	(5—10) **	(6—10) **	(6—10) ***	
E vs P	(1—10) **	(1,2,4—7) **, (3,8—10) ns	(1—10) **	(1—10) **	(1—10) ***	(1—10) ***	(1—10) ***

E: 巨桉人工林 *E. grandis*; A: 农耕地 Arable land; P: 马尾松林 *Pinus massoniana*; a: 林龄 forest age; ns: 差异不显著 not significant; * 0.05 水平上显著 significant at the 0.05 level; ** 0.01 水平上显著 significant at the 0.01 level

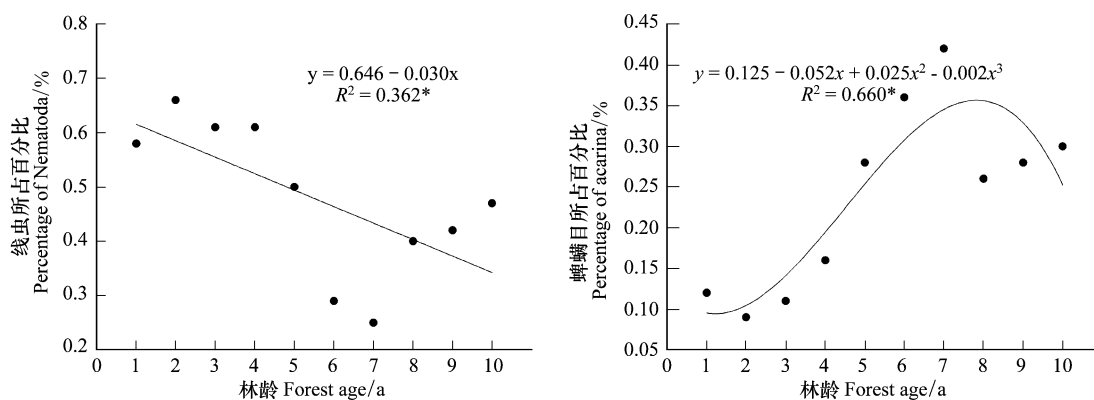


图4 一个年龄序列巨桉树人工林土壤动物优势类群(线虫纲和蜱螨目)所占百分比

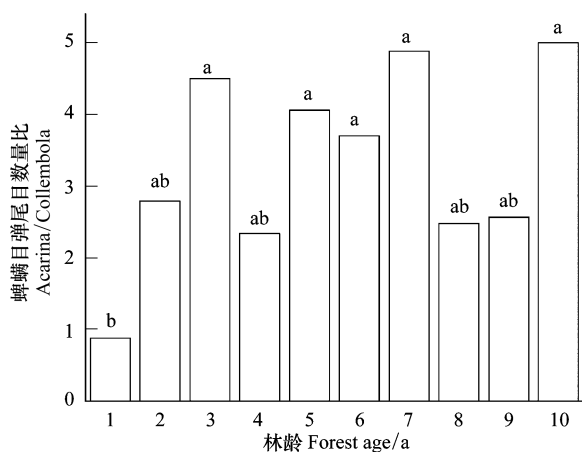
Fig. 4 Responses of the percentage of Nematoda and Acarina to the *E. grandis* plantation ages (1—10 years)

图5 一个年龄序列巨桉树人工林土壤动物 A/C 值(蜱螨目/弹尾目数量比)

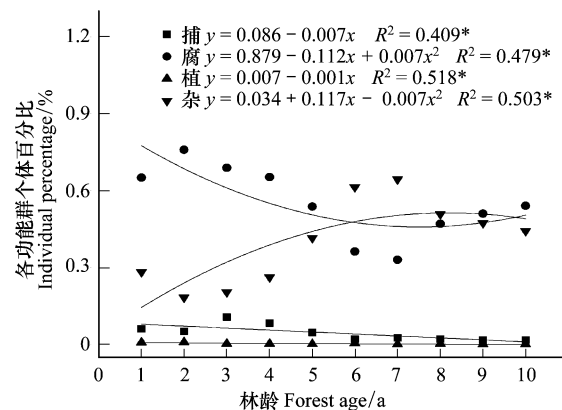
Fig. 5 Responses of the count ratio of A/C (Acarina and Collembola) to the *E. grandis* plantation ages (1—10 years)

图6 一个年龄序列(1—10a)巨桉人工林土壤动物各功能群动态变化

Fig. 6 The dynamics of individual percentage ratio of the soil fauna with different function group across a range of plantation ages (1—10 a)

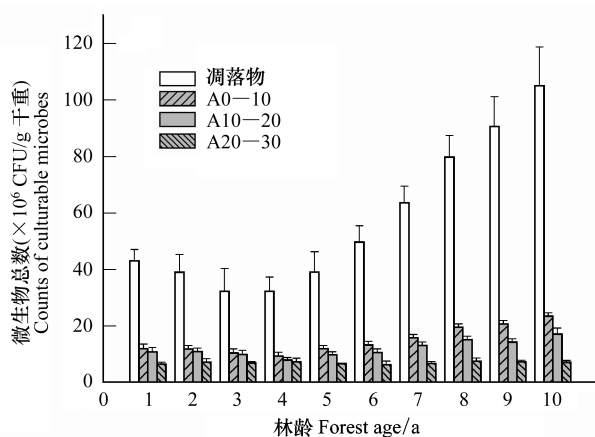


图7 一个年龄序列巨桉树人工林土壤微生物总数和细菌/真菌数量比

Fig. 7 Responses of the total counts of soil microbe and the bacterial/fungal number ratio to the *E. grandis* plantation ages (1—10 a)

农耕地均显著低于对照马尾松林。微生物总数 1, 2a 及 7—10a 样地高于农耕地, 3—5a 则与农耕地无显著差异; 细菌/真菌数量比 1—4a 与耕地差异不显著, 此后则显著高于农耕地; 土壤动物类群数, 1—5a 林地与农耕地

地差异不显著,此后显著高于农耕地。土壤动物总密度除第4年外,其他林龄样地均显著高于农耕地;密度—类群指数,1—5年生样地与农耕地差异不显著,此后则显著高于农耕地。巨桉人工林植物物种数、密度均高于马尾松林;植物多样性指数,最初2a及4—7a低于马尾松林,第3年及超出轮伐期则与马尾松林无显著差异。各林龄巨桉人工林微生物总数及细菌/真菌数量比,土壤动物类群数、密度及密度—类群指数均低于对照林地均显著低于对照马尾松林。

2.5 植物和土壤生物多样性的关系

对植物、土壤动物多样性指数及土壤微生物数量进行相关性分析,如表6。植物多样性指数与凋落物和0—10cm土层的土壤动物DG指数呈显著正相关;与10—30cm土层DG指数无显著相关性。植物多样性指数与凋落物层和0—20cm土层DG指数显著正相关,与20—30cm土层DG指数相关性不显著。凋落物层和0—10cm土层DG指数,与凋落物层和0—20cm土壤微生物数量显著正相关,与20—30cm土壤微生物数量相关性则不显著。除10—20cm土层显著正相关外,10—30cm各土层DG指数与各层土壤微生物数量相关性均不显著。

表6 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性特征值表间的相关性和显著性分析

Table 6 The significant level and correlation coefficient for characteristics of plants' and soil organism's diversity of an age series of *E. grandis* plantations (1—10 a)

	<i>H</i>	DG1	DG2	DG3	DG4	SM1	SM2	SM3	SM4
<i>H</i>	1								
DG1	0.59 *	1							
DG2	0.53 *	0.98 ***	1						
DG3	0.23	0.73 *	0.77 **	1					
DG4	0.03	0.08	0.09	-0.06	1				
SM1	0.68 *	0.86 **	0.88 **	0.50	0.28	1			
SM2	0.67 *	0.87 **	0.88 **	0.50	0.34	0.99 **	1		
SM3	0.62 *	0.91 **	0.91 **	0.67 *	0.33	0.96 **	0.97	1	
SM4	0.50	0.40	0.47	0.39	0.14	0.40	0.40	0.39	1

H Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index; DG: 密度—类群指数 Density-Group index; SM: 土壤微生物数量 Soil Microbial counts; 1,凋落物层 litter layer; 2,0—10cm;3,10—20cm; 20—30cm; * 0.05 水平上显著 significant at the 0.05 level; ** 0.01 水平上显著 significant at the 0.01 level

3 结论和讨论

本研究中,巨桉人工林虽于农耕地上营造,但土壤中仍存在不少植物繁殖体(如土壤中的根茎、种子库等)^[30],此外,临近的当地次生林或人工林成熟林也是巨桉人工林土壤种子的主要来源,使得其林下植被得以更新。造林初期(1—3a),由于农耕作业停止、造林初期较低林分郁闭度较低使得光照条件充足,促进了种子库中非耐阴性包括草本和灌木物先锋物种种子的入侵和萌发(如总状山矾 *Symplocos. botryatha*, 莎草 *Cyperus szechuanensis*, 狗尾草 *Setaria allidifusca* 等)^[31-33]。但在轮伐期前(4a左右),巨桉的高生长速度较其他生长阶段快^[34],对土壤养分和水分需求量较大,巨桉根和根际土壤中化感物质积累浓度较大,化感作用显著^[23]。此时,林木快速的生长也导致林分郁闭度较大,光照条件有限,不利于物种入侵和种子的萌发。植物生活型与环境因素的 CCA 分析显示,当植物多样性较低时草本物种有最适值,这是因为非耐阴性草本在造林初年的大量入侵,使得其优势度较大加之灌木物种此时较少,因此整个植物群落多样性降低。以上这些因素均导致了4a左右植物多样性的降低。此后,随着林龄的增长,巨桉树人工林林内环境的空间异质性增加,巨桉生长速度及郁闭度增长速度减缓,林木对土壤养分和水分竞争逐渐减弱。前期研究发现巨桉树人工林(1—10a)随林龄增长,土壤含水量升高、容重降低,土壤有机质增加,说明土壤状况已经得到改善^[22]。该研究地处于华西雨屏区,雨量的丰沛可以使巨桉根际和土壤中化感物质浓度的降低,削弱了其化感作用^[33]。这些因素都有利于为更多耐阴性木本和草本物种提供生境^[36-38],使得植物多样性在轮伐期和超出轮伐期升高。CCA 排序图显

示,随着巨桉人工林发展,林内和土壤环境不断变化的同时,其林下植物群落生活型组成,也由藤本植物、地面芽和 1 年生植物向多年生草本高位芽和高位芽植物过渡,巨桉人工林林下植物生活型结构得以改善。

一般来说,土壤生物的动态变化应该取决于其所需资源的可利用性^[38-40]。造林初期,1 年生、多年生草本植物的迅速发展形成了巨桉人工林的最初净生产力,此后随着林龄的增长,林下植物的生长与死亡成为土壤中 C、N 和其他营养成分输入的重要来源^[5,40]。因此,由植物提供的可利用性资源应该决定着土壤的生物多样性。本研究中,土壤动物类群数、密度及多样性指数呈现轮伐期前(4a 左右)降低,而后随林龄增加的趋势,这和植物多样性指标的变化趋势相似。土壤微生物研究方法为传统培养法,但微生物的数量特征也呈现出类似的变化趋势。各样地微生物均以细菌占据优势,细菌/真菌数量比也呈现类似变化,这在一定程度上也反映了巨桉人工林土壤肥力的改善^[41]。而轮伐期前和轮伐期(4a 左右)土壤生物多样性的降低,应该和此时树木迅速的高生长和土壤生物竞争有限的资源^[42-43],可分解凋落物较少、养分输入有限及化感作用显著有关。轮伐期至超出轮伐期,树木生长速率稳定、郁闭度增长幅度减小、凋落物量和枝条脱落的增加使得养分输入增加,为土壤生物生存提供了有效食物来源。巨桉为深根性树种,植物根的穿透形成通道及轮伐期后林内枯倒木数量的增加等因素为土壤动物提供了更多的生存空间,这些因素也促进了土壤微生物的繁殖^[43-44]。同时,土壤微生物和土壤动物分解有机物质,增强了植物养分利用率,有利于植物的生长^[16,44,46],因此,巨桉人工林地上/地下生物多样性的这种同步变化还应和植物与土壤生物之间密切和复杂的相互关系有关^[5,10,44]。

森林生态系统地上/地下部分的相互作用复杂而密切,植物为土壤生物提供 C 源且植物多样性的变化能够为土壤生物提供了更多小生境;而土壤生物分解有机物质为植物生长释放养分^[44]。本研究中,巨桉人工林植物和土壤生物多样性指数间具有较强的相关性,并随土层加深而减弱。植物和土壤生物发生作用的主要媒介是根际。一般认为,中小型土壤动物受环境影响较大^[47],根系和微生物分解凋落物所提供的养分能够改变土壤线虫群落的组成和丰富度^[48],但有些根系分泌物是具有毒性(如酚聚合物等)会成为线虫等的化学武器^[17,49],巨桉根系能够分泌这类物质^[23],这可能是随着人工林的演替线虫纲所占比例有所降低的原因,并且这种抑制作用在土壤中短期之内不能得到缓冲^[22]。蛴螬目的抗干扰能力较弱^[42],可能是其优势度随林龄增长呈波动性变化的原因。A/C 值无规律性变化但总体趋势升高,这应该和随着林龄人工林生境的变化且稳定性逐渐增强有关^[40]。土壤动物腐食性功能团所占比例最高,杂食性次之。杂食性和腐食性功能团的生态功能是分解枯落物、促进土壤团粒结构的形成、取食微生物以调控控制整个生态系统物质循环和能量流动的速率等,腐食性功能团常被作为土壤肥力高低的指标之一^[40]。植物多样性的变化所引起的地下生态系统结构和资源的形态、化学和时空上的变化会为腐食性和杂食性功能团提供更多食物来源和小生境^[51-52]。腐食性功能团比例亦呈先降低而后升高的趋势但其反应滞后于植物和土壤生物多样性的变化,这应是由于巨桉生长特性和化感作用等方面对土壤动物功能群的负面影响在短期内得不到缓冲。包括一些大中型土壤动物在内的捕食性功能团数量较低且其个体百分比呈现显著降低趋势,但此类功能群具有重要生态功能^[53-54],即巨桉人工林土壤食物网上行力(bottom-up effects)在低营养水平上较强,而这种作用对将来发展为较高营养水平具有重要的意义^[10]。

很多研究认为桉树人工林会带来生物多样性下降等负面效应,但这些研究多以某一林龄桉树人工林为研究对象且常以天然林或次生林作为对照,这就不能全面、客观反映桉树人工林生态学效应^[34]。与天然林或次生林相比人工林的确缺乏生境多样性和复杂性^[56],这种比较并不合理。本研究发现,巨桉人工林植物和土壤生物多样性较农耕地即退耕前有显著升高,但仍不及对照马尾松(*Pinus massoniana*)成熟林,呈现轮伐期前降低(4,5a),此后随林龄显著升高的同步变化趋势。人工林生物多样性需要较长时间的演化^[56],本研究显示对于短轮伐期的巨桉人工林,原耕作和施肥等措施、树木本身生长特性、化感作用、轮伐期和一些人为因素等将会在相当长一段时间内影响其植物和土壤生物多样性。针对此种变化格局建议该地区虽然有不同林龄的巨桉树人工林,但树种单一,异龄多树种混交人工林会为当地物种提供更多的生境类型^[57]。采取合理的管理措施能够提高生境质量^[58],应避免轮伐期及轮伐期前的高强度整地以免破坏可分解的枯落物;轮伐期前(4a

左右)应适当施肥、小强度疏伐、适当除草、禁止当地农民对凋落物的收集和适当延长轮伐期都可以减少资源竞争,提高生物多样性。采伐措施应采取群丛状或小片采伐^[59]并维持枯倒木及一些高林龄树木等,都能够提高生境异质性和人工林的生物多样性保育价值。

References:

- [1] FAO. Global Forest Resources Assessment 2005: Progress towards sustainable forest management. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.
- [2] Feng R F, Yang W Q, Zhang J. Artificial forest management for global change mitigation. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3870-3877.
- [3] Nsabimana D, Haynes R J, Wallis F M. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26(2): 81-92.
- [4] Stark C, Condon L M, Stewart A, Di H J, O'Callaghan M. Effects of past and current crop management on soil microbial biomass and activity. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43(5): 531-540.
- [5] Wardle D A, Bardget R D, Klironomos J N, Setälä H, van der Putten W H, Wall D H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004, 304(5677): 1629-1633.
- [6] Jones T H, Bradford M A. Assessing the functional implications of soil biodiversity in ecosystems. *Ecological Research*, 2001, 16(5): 845-858.
- [7] Bossio D A, Fleck J A, Scow K M, Fujii R. Alteration of soil microbial communities and water quality in restored wetlands. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(6): 1223-1233.
- [8] Edwards C A, Bohlen P J. *Biology and Ecology of Earthworms*. 3rd ed. London: Chapman and Hall, 1996.
- [9] Bossuyt H, Six J, Hendrix P F. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(2): 251-258.
- [10] Coleman D C. From peds to paradoxes: Linkages between soil biota and their influences on ecological processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(2): 271-289.
- [11] Yang W Q, Zhang J, Hu T X, Luo C D. *Forest Soil Ecology*. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 2006.
- [12] Chen Q B. The effects of Eucalyptus plantations on soil biodiversity. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2002, 22(1): 66-76.
- [13] Fu S L. A review and perspective on soil biodiversity research. *Biodiversity Science*, 2007, 15(2): 109-115.
- [14] Smith O H, Petersen G W, Needelman B A. Environmental indicators of agroecosystems. *Advances in Agronomy*, 2000, 69: 75-97.
- [15] Wall A, Heiskanen J. Water-retention characteristics and related physical properties of soil on afforested agricultural land in Finland. *Forest Ecology and Management*, 2003, 186(1/3): 21-32.
- [16] Sicardi M, García-Préchac F, Frioni L. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. *Applied Soil Ecology*, 2004, 27(2): 125-133.
- [17] Ahmed R, Hoque A T M R, Hossain M K. Allelopathic effects of leaf litters of *Eucalyptus camaldulensis* on some forest and agricultural crops. *Journal of Forestry Research*, 2008, 19(1): 19-24.
- [18] Yu X B, Xu D P, Long T, Mo X Y. Studies on the growth characteristics and the crown structure of Eucalyptus plantation with the different continuous-planting rotation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(S1): 137-142.
- [19] Keenan R, Lamb D, Woldring O, Irvine T, Jensen R. Restoration of plant biodiversity beneath tropical tree plantations in Northern Australia. *Forest Ecology and Management*, 1997, 99(1/2): 117-131.
- [20] Feyera S, Beck E, Lüttge U. Exotic trees as nurse-trees for the regeneration of natural tropical forests. *Trees*, 2002, 16(4/5): 245-249.
- [21] Manning A D, Fischer J, Lindenmayer D B. Scattered trees are keystone structures-implications for conservation. *Biological Conservation*, 2006, 132(3): 311-321.
- [22] Zhang D J, Zhang J, Yang W Q, Wu F Z. The effect of afforestation with *Eucalyptus grandis* on soil physicochemical and microbiological properties. *Soil Research*, 2012, 50(2): 167-176.
- [23] Zhang D J, Zhang J, Yang W Q, Wu F Z. Potential allelopathic effect of *Eucalyptus grandis* across a range of plantation ages. *Ecological Research*, 2010, 25(1): 13-23.
- [24] Li J Q, Niu S K, L, Liu Y H. *Forest Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [25] Committee of Handbook of Soil Fauna Research Methods. *Handbook of Soil Fauna Research Methods*. Beijing: China Forest Publishing House, 1998: 20-61.
- [26] Guan S Y. *Soil Microbe and the Study Method*. Beijing: Agricultural Press, 1983.
- [27] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2011.
- [28] Wu C W, Zhao L P. Technologies on soil microbiology diversity. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(11): 231-235.
- [29] Liao C H, Li J X, Huang H T. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5): 549-555.
- [30] Egler F E. Vegetation science concepts I. Initial floristic composition, a factor in old-field vegetation development with 2 figs. *Vegetatio*, 1954, 4(6): 412-417.
- [31] Sem G, Enright N J. The soil seed bank in *Agathis australis* (D. Don) Lindl. (kauri) forests of northern New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 1995, 33(2): 221-235.
- [32] Garay I, Pellens R, Kindel A, Barros E, Franco A A. Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. *Applied Soil Ecology*, 2004, 27(2): 177-187.
- [33] Wang G L, Liu G B, Xu M X. Above- and belowground dynamics of plant community succession following abandonment of farmland on the Loess Plateau, China. *Plant and Soil*, 2009, 316(1/2): 227-239.
- [34] Zhang J, Yang W Q. *Eucalyptus Plantations Ecosystem with Short Rotation Period*. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2008.
- [35] Moline A, Reigosa M J, Carballeira A. Release of allelochemical agents from litter, throughfall, and topsoil in plantation of *Eucalyptus globulus* Labill in Spain. *Journal of Chemical Ecology*, 1991, 17(1): 147-159.

- [36] Brockerhoff E G, Jactel H, Parrotta J A, Quine C P, Sayer J. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity?. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(5): 925-951.
- [37] Allen R B, Platt K H, Coker R E J. Understorey species composition patterns in a *Pinus radiata* D. Don plantation on the central North Island volcanic plateau, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology*, 1995, 25: 301-317.
- [38] Brockerhoff E G, Ecroyd C E, Leckie A C, Kimberley M O. Diversity and succession of adventive and indigenous vascular understorey plants in *Pinus radiata* plantation forests in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 2003, 185(3): 307-326.
- [39] Moore-Kucera J, Dick R P. PLFA profiling of microbial community structure and seasonal shifts in soils of a Douglas-fir chronosequence. *Microbial Ecology*, 2008, 55(3): 500-511.
- [40] Cao Y S, Fu S L, Zou X M, Cao H L, Shao Y H, Zhou L X. Soil microbial community composition under *Eucalyptus* plantations of different age in subtropical China. *European Journal of Soil Biology*, 2010, 46(2): 128-135.
- [41] Behera N, Sahani U. Soil microbial biomass and activity in response to *Eucalyptus* plantation and natural regeneration on tropical soil. *Forest Ecology and Management*, 2003, 174(1/3): 1-11.
- [42] Huang Y M, Zhang J, Yang W Q, Lu C T, Liu X, Wang W, Guo W. Response of soil faunal community to simulated understory plant loss in the subalpine coniferous plantation of western Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2018-2025.
- [43] Bragali S S, Singh R P, Singh S P. Structure and function of an age series of *Eucalypt* plantations in Central Himalaya. I. Dry matter dynamics. *Annals of Botany*, 1992, 69(5): 405-411.
- [44] Eisenhauer N, Milcu N, Nitschke N, Sabais A C W, Scherber C, Scheu S. Earthworm and belowground competition effects on Plant Productivity in a plant diversity gradient. *Oecologia*, 2009, 161(2): 291-301.
- [45] Salamon J A, Zaitsev A, Gärtner S, Wolters V. Soil macrofaunal response to forest conversion from pure coniferous stands into semi-natural montane forests. *Applied Soil Ecology*, 2008, 40(3): 491-498.
- [46] Porazinska D L, Bardgett R D, Blaauw M B, Hunt H W, Parsons A N, Seastedt T R, Wall D H. Relationships at the aboveground-belowground interface: plants, soil biota, and soil processes. *Ecological Monographs*, 2003, 73(3): 377-395.
- [47] Huang X, Zhang J, Yang W Q, Liu Y, Hu F J, Su J F. Soil fauna diversity of the subalpine forest-pasture ecotone in western Sichuan. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5161-5173.
- [48] Boutton T W, Lifo J D, Filley T R, Archer S R. Belowground carbon storage and dynamics accompanying woody Plant encroachment in a subtropical savanna // Lal R, Follett R, eds. *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 2009.
- [49] Bonanomi G, Sicurezza M G, Caporaso S, Esposito A, Mazzoleni S. Phytotoxicity dynamics of decaying plant materials. *New Phytologist*, 2006, 169(3): 571-578.
- [50] Loranger G, Bandyopadhyaya I, Razaka B, Ponge J F. Does soil acidity explain altitudinal sequences in collembolan communities? *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(3): 381-393.
- [51] Hopkin S P, Read H J. *The Biology of Millipedes*. New York: Oxford University Press, 1992.
- [52] Doblas-Miranda E, Wardle D A, Peltzer D A, Yeates G W. Changes in the community structure and diversity of soil invertebrates across the Franz Josef Glacier chronosequence. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(5): 1069-1081.
- [53] Wolters V. Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, 2001, 37(4): 221-227.
- [54] Salamon J A, Alpei J, Ruf A, Schaefer M, Scheu S, Schneider K, Sühlig A, Maraun M. Transitory dynamic effects in the soil invertebrate community in a temperate deciduous forest: effects of resource quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(2): 209-221.
- [55] Lindenmayer D B, Franklin J F. *Conserving Forest Biodiversity: A Comprehensive Multiscaled Approach*. Washington: Island Press, 2002.
- [56] Calvino-Cañcela M, Rubido-Barú M, van Etten E J B. Do eucalypt plantations provide habitat for native forest biodiversity?. *Forest Ecology and Management*, 2012, 270: 153-162.
- [57] Hartley M J. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. *Forest Ecology and Management*, 2002, 155(1/3): 81-95.
- [58] Carnus J M, Parrotta J, Brockerhoff E, Arbez M, Jactel H, Kremer A, Lamb D, O'Hara K, Walters B. Planted forests and biodiversity. *Journal of Forestry*, 2006, 104(2): 65-77.
- [59] Cummings J, Reid N. Stand-level management of plantations to improve biodiversity values. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(5): 1187-1211.

参考文献:

- [2] 冯瑞芳, 杨万勤, 张健. 人工林经营与全球变化减缓. *生态学报*, 2006, 26(11): 3870-3877.
- [11] 杨万勤, 张健, 胡庭兴, 罗承德. *森林土壤生态学*. 成都: 四川科技出版社, 2006.
- [13] 傅声雷. 土壤生物多样性的研究概况与发展趋势. *生物多样性*, 2007, 15(2): 109-115.
- [18] 余雪标, 徐大平, 龙腾, 莫晓勇. 连栽桉树人工林生长特性和树冠结构特征. *林业科学*, 2000, 36(S1): 137-142.
- [24] 李俊清, 牛树奎, 刘艳红. *森林生态学*. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [25] 土壤动物研究方法手册编写组. *土壤动物研究方法手册*. 北京: 中国林业出版社, 1998: 20-61.
- [26] 关松荫. *土壤微生物及其研究方法*. 北京: 农业出版社, 1983.
- [27] 张金屯. *数量生态学 (第二版)*. 北京: 科学出版社, 2011.
- [28] 吴才武, 赵兰坡. 土壤微生物多样性的研究方法. *中国农学通报*, 2011, 27(11): 231-235.
- [29] 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.
- [34] 张健, 杨万勤. 短轮伐期巨桉人工林生态系统. 成都: 四川科技出版社, 2008.
- [42] 黄玉梅, 张健, 杨万勤, 卢昌泰, 刘旭, 王伟, 郭伟. 川西亚高山针叶林土壤动物群落对模拟林下植物丧失的响应. *生态学报*, 2010, 30(8): 2018-2025.
- [47] 黄旭, 张健, 杨万勤, 刘洋, 闫帮国, 胡方洁, 苏江峰. 川西亚高山林牧交错区土壤动物多样性. *生态学报*, 2010, 30(19): 5161-5173.

附表 1 一个年龄序列巨桉人工林灌木和草本植物种类、生活型和数量(重要值)
Appendix 1 Understory shrub and herb species' life form and the individual number (important value) along a chronosequence of *E. grandis* plantations

物种和生活型 Species and life form	林龄 Plantations age/a									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
灌木物种 Shrub species										
1 <i>Symplocos laurina</i> 黄牛奶 (Mega-Ph) (Ch)		1 (9.32)	6 (5.13)				5 (6.46)	7 (5.40)	5 (4.07)	6 (3.60)
2 <i>Gordonia acuminata</i> 大头茶 (Mega-Ph)					1 (8.10)	3 (5.25)	6 (6.77)	6 (5.12)	7 (4.63)	6 (3.62)
3 <i>Ficus henryi</i> Warb 尖叶榕 (Mega-Ph)				1 (7.24)	1 (8.20)			2 (3.90)	3 (3.48)	2 (2.79)
4 <i>Broussonetia papyifera</i> 构树 (Mega-Ph)									1 (2.90)	2 (2.78)
5 <i>Castanopsis spach</i> 峨眉栲 (Mega-Ph)								3 (4.22)	2 (3.20)	6 (3.61)
6 <i>S. botryatha</i> 总状山矾 (Mega-Ph)			13 (6.84)		7 (13.10)	9 (7.55)	10 (8.13)		7 (4.62)	5 (3.41)
7 <i>Cinnamomum camphora</i> 香樟 (Mega-Ph)								2 (3.92)	1 (2.93)	4 (3.26)
8 <i>Melia azedarac</i> 楝树 (Mega-Ph)					1 (8.1)			2 (3.91)	1 (2.92)	4 (3.25)
9 <i>Rhododendron</i> sp 杜鹃 (Meso-Ph)				7 (10.88)	6 (12.27)	10 (7.93)		9 (6.02)	5 (4.06)	4 (3.20)
10 <i>Cornus officinalis</i> 山茱萸 (Meso-Ph)						4 (5.63)				11 (4.66)
11 <i>Mallotus hookerianus</i> 野桐 (Meso-Ph)		2 (10.47)				6 (6.40)	8 (7.48)	9 (6.12)	6 (4.34)	4 (3.27)
12 <i>Phoebe shearerii</i> 紫楠 (Meso-Ph)							1 (5.08)		2 (3.20)	3 (3.00)
13 <i>Trena cannabina</i> 山油麻 (Meso-Ph)			8 (5.62)	3 (8.47)		7 (6.78)	8 (7.48)	7 (5.40)	3 (3.49)	3 (3.01)
14 <i>Melastoma candidum</i> 野牡丹 (Micro-Ph)		4 (12.76)	10 (6.11)					5 (4.80)	6 (4.34)	9 (4.24)
15 <i>Rhus chinensis</i> 盐肤木 (Micro-Ph)		2 (10.47)	7 (5.39)			2 (4.87)	4 (6.12)	5 (4.82)	6 (4.35)	5 (3.41)
16 <i>Erodia leptae</i> 三叉苦 (Micro-Ph)			8 (5.63)	6 (10.27)		5 (6.02)	10 (6.81)	7 (5.42)	7 (4.64)	6 (3.61)
17 <i>Myrsine Africana</i> 铁仔 (Micro-Ph)			5 (4.90)	3 (8.45)			12 (8.84)	7 (5.40)	6 (4.33)	5 (3.42)
18 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> 桃金娘 (Micro-Ph)			9 (5.87)		5 (11.43)					
19 <i>Symplocos stellaris</i> 老鼠矢 (Micro-Ph)			7 (5.39)			5 (6.03)		3 (4.22)	5 (4.06)	4 (3.25)
20 <i>Eurya japonica</i> 柃木 (Na-Ph)						2 (4.87)	3 (5.78)		4 (3.77)	4 (3.20)
21 <i>Acanthopanax wilsonii</i> 龙芽葱木 (Na-Ph)						1 (4.48)		2 (3.91)	1 (2.92)	4 (3.19)
22 <i>Mallotus apelta</i> 野桐 (Na-Ph)				9 (12.09)	6 (12.25)	6 (6.40)			6 (4.33)	12 (4.86)
23 <i>Symplocos setchuensis</i> 山矾 (Na-Ph)			11 (6.35)	10 (12.69)				11 (6.63)	8 (4.91)	12 (4.85)
24 <i>Vitex negundo</i> 黄荆 (Na-Ph)		4 (12.76)	5 (4.92)	4 (9.06)			4 (6.12)			3 (3.00)
25 <i>Lepedeza bicolor</i> 胡枝子 (Na-Ph)		6 (15.06)	9 (5.67)	7 (10.88)			12 (8.84)	7 (5.42)	9 (5.20)	8 (4.04)
26 <i>Lonocera szechuanica</i> 忍冬 (Na-Ph)			9 (5.99)		9 (14.77)	13 (9.08)	11 (7.50)	5 (4.82)	6 (4.34)	9 (4.25)
27 <i>Smilax</i> s 菝葜 (Sc-Ph)	1 (27.12)		6 (5.15)							
28 <i>Broussonetia kaempferi</i> 构树 (Sc-Ph)	4 (39.13)	7 (16.21)	6 (5.17)		4 (10.60)	5 (6.02)	4 (6.12)		5 (4.06)	
29 <i>Rosa multiflora</i> 野蔷薇 (Sc-Ph)		3 (12.18)	9 (5.87)					9 (6.02)	5 (4.06)	6 (3.62)
30 <i>Milletia nitida</i> 亮叶崖豆藤 (Sc-Ph)			6 (5.16)	5 (9.66)		5 (6.12)		3 (4.22)		6 (3.62)

续表

物种和生类型 Species and life form	林龄 Plantations age/a									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31 <i>Streptocaulon Griffithii</i> 马莲薹 (Sc-Ph)	3 (33.75)		4 (4.66)			4 (5.64)				7 (3.83)
草本物种 Herb Species										
32 <i>Cyperus szechuanensis</i> 莎草 (He-Ph)			44 (8.12)			46 (9.97)		36 (3.48)	44 (5.88)	45 (5.16)
33 <i>Taraxacum mongolicum</i> 蒲公英 (He-Ph)			8 (4.20)				7 (4.38)	4 (5.85)	6 (3.16)	7 (2.84)
34 <i>Oxalis corniculata</i> 酢浆草 (He-Ph)				13 (7.12)		15 (6.41)			22 (4.31)	30 (4.24)
35 <i>Setaria albidifusca</i> 狗尾草 (He-Ph)	21 (15.61)		36 (7.25)					15 (4.30)	19 (4.09)	
36 <i>Duchesnea indica</i> 蛇莓 (He-Ph)	11 (11.01)	19 (9.61)			15 (14.79)	13 (6.18)		9 (3.85)	10 (3.45)	18 (3.51)
37 <i>Iris lacteal</i> 路边菊 (He-Ph) (Ch)						27 (7.80)		29 (5.33)	12 (3.60)	
38 <i>Paspalum paspaloides</i> 双穗雀稗 (He-Ph)							12 (4.89)			4 (2.66)
39 <i>Cayratia japoni</i> 乌敛莓 (He-Ph)	9 (11.43)		9 (4.34)							14 (3.27)
40 <i>Lygodium japonicum</i> 海金沙 (He-Ph)			23 (5.85)			28 (7.90)			21 (4.24)	
41 <i>Imerata cylindrica</i> 白茅草 (Ch)		7 (7.18)		6 (5.73)						
42 <i>Beautiful hyllodium</i> 排钱草 (Ch)	21 (14.96)	19 (9.61)	21 (5.63)	19 (8.47)				20 (5.63)		
43 <i>Dicranoteris linearis</i> 铁芒萁 (Ch)				11 (6.78)	14 (14.13)		10 (4.69)		2 (2.88)	
44 <i>Prunella vulgaris</i> 夏枯草 (Ch)			19 (5.40)			32 (8.36)		33 (4.67)	34 (5.17)	35 (4.55)
45 <i>Bothriochloa ischaemum</i> 白茅草 (Ch)			21 (5.63)				17 (5.40)			
46 <i>Praederia scandens</i> 鸡矢藤 (Ch)			6 (4.01)			5 (5.26)	4 (4.07)			5 (2.72)
47 <i>Rubus corchorifolius</i> 悬钩子 (Ch)	10 (10.72)		9 (4.34)	5 (5.52)				11 (4.00)	9 (3.38)	7 (2.84)
48 <i>Pteris semipinnata</i> 凤尾蕨 (Ch)				13 (7.21)						22 (3.76)
49 <i>Arundinella hirta</i> 野古草 (Ch)						11 (5.95)		20 (4.67)		
50 <i>Pedicularia</i> sp 马先蒿 (Ch)						33 (8.48)	44 (8.17)	38 (6.01)	36 (5.31)	30 (4.24)
51 <i>Deyeuxia arundinacea</i> 青茅 (Ch)		19 (9.61)	23 (5.85)		17 (15.50)			10 (3.93)		5 (2.72)
52 <i>Stellaria alsine</i> Grimm 雀舌草 (Ch)						17 (5.40)			21 (4.24)	40 (4.86)
53 <i>Sorghum nitidum</i> 光高粱 (Ch)		13 (8.39)							9 (3.38)	
54 <i>Duchesnea indica</i> 蛇莓 (Ch)	(11.01)	19 (9.61)			15 (14.79)	13 (6.18)		9 (3.85)	10 (3.45)	18 (3.51)
55 <i>Pteris vittata</i> 凤尾蕨 (Ch)				6 (5.73)	11 (13.37)		8 (4.48)			
56 <i>Iris lacteal</i> 路边菊 (Ch)						27 (7.80)		29 (5.33)	12 (3.60)	
57 <i>Centipeda minima</i> 鹅不食草 (Th)				5 (5.52)				8 (3.78)		
58 <i>Senecio scandens</i> 千里光 (Ch)							22 (5.91)			29 (4.18)
59 <i>Bothriochloa intermedia</i> 臭根子草 (Ch)				22 (9.10)				19 (4.59)		10 (3.02)
60 <i>Cyperus rotundus</i> 香肤子 (Ch)						8 (5.60)	23 (6.01)			

续表

物种和生活型 Species and life form	林龄 Plantations age/a									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
61 <i>Geum aleppicum</i> 路边青 (He-Ph)									11 (3.52)	
62 <i>Cuscuta chinensis</i> 菟丝子 (He-Ph)			5 (3.91)	6 (5.73)		8 (5.60)		12 (4.08)	10 (3.45)	6 (2.78)
63 <i>Eragrostis pilosa</i> 画眉草 (He-Ph)							22 (5.19)	31 (5.48)		20 (3.63)
64 <i>Plantago asiatica</i> 车前草 (He-Ph)							24 (6.11)	30 (5.41)	12 (3.59)	9 (2.96)
65 <i>Lophatherum gracile</i> 淡竹叶 (He-Ph)	13 (11.60)		18 (5.31)							
66 <i>Paspalum paspaloides</i> 双穗雀稗 (He-Ph)							12 (4.89)			4 (2.66)
67 <i>Ficus tikoua</i> 地瓜藤 (He)	7 (9.83-Ph)	11 (7.99)	12 (4.66)	10 (6.57)		10 (5.83)			31 (4.95)	25 (3.94)
68 <i>Cayratia japoni</i> 乌敛莓 (He-Ph)	9 (11.43)		9 (4.34)							14 (3.27)
69 <i>Adiantum flabellatum</i> 扇叶铁线蕨 (He-Ph)				6 (5.73)			9 (4.58)			
70 <i>Panax pseudo-ginseng</i> 假人参 (He-Ph)			1 (3.47)	1 (4.57)				1 (3.26)	1 (2.80)	
71 <i>Setaria albidifusca</i> 狗尾草 (He-Ph)	21 (15.61)		36 (7.25)					15 (4.30)	19 (4.09)	
72 <i>Tribulus terrestris</i> 蒺藜 (Th)		8 (7.38)	6 (4.01)		9 (12.66)					3 (2.60)
73 <i>Commelina communis</i> 鸭跖草 (Th)				20 (8.68)			34 (7.13)	40 (6.15)	22 (4.31)	
74 <i>Veronica didyma</i> 婆婆纳 (Th)		30 (11.83)					20 (5.71)		33 (5.09)	
75 <i>Apluda nutioa</i> 水蕉草 (Cr)					17 (15.49)			13 (4.15)		28 (4.12)
76 <i>Eriogonon Canadensis</i> 小飞蓬 (Th)			11 (4.55)							15 (3.33)
77 <i>Ageratum conyzoides</i> 胜红蓟 (Th)	21 (13.96)					33 (8.44)		31 (5.48)	30 (4.88)	40 (4.86)
78 <i>Erigeron sonchifol</i> 一点红 (Th)		17 (9.20)	11 (4.55)				12 (4.89)		15 (3.81)	30 (4.24)

Mega-Ph: 大高位芽; Meso-Ph: 中高位芽; Micro-Ph: 小高位芽; Na-Ph: 矮高位芽; Sc-Ph: 藤本高位芽; He-Ph: 草本高位芽; Ch: 地上芽; Th: 一年生植物

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jian et al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 彭少麟

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元