ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第33卷 第24期 Vol.33 No.24 2013

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 24 期　　2013 年 12 月　（半月刊）

目　　次

前沿理论与学科综述

中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 …… 赵其国，黄国勤，马艳芹（7615）

《生态学基础》：对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P.奥德姆诞辰 100 周年 …… 包庆德，张秀芬（7623）

食物链长度理论研究进展 …… 张　欢，何　亮，张培育，等（7630）

个体与基础生态

天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 …… 李　叶，余玉群，史　军，等（7644）

松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 …… 张　晓，李秀玲，李新岗，等（7651）

菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 …… 魏宏农，潘建林，赵　凯，等（7661）

濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 …… 黄林芳，李文涛，王　珍，等（7667）

四年 O_3 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 …… 吴芳芳，郑有飞，吴荣军，等（7679）

重金属 Cd^{2+} 和 Cu^{2+} 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 …… 陈肖肖，高业田，吴洪喜，等（7690）

种群、群落和生态系统

不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 …… 郑思宁（7699）

亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 …… 李忠文，闫文德，郑　威，等（7707）

景观、区域和全球生态

中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 …… 王绍强，陈蝶聪，周　蕾，等（7715）

雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 …… 李海东，沈渭寿，蔡博峰，等（7729）

高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 …… 张庆印，樊　军（7739）

高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 …… 蔡晓布，于宝政，彭岳林，等（7748）

芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性 …… 武小钢，郭晋平，田旭平，等（7756）

湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 …… 孙伟军，方　晰，项文化，等（7765）

东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 …… 姜义亮，郑粉莉，王　彬，等（7774）

滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 …… 解成杰，郭雪莲，余磊朝，等（7782）

红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 …… 杨尚东，吴　俊，谭宏伟，等（7788）

2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 …… 袁丽华，蒋卫国，申文明，等（7798）

庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 …… 梁艳艳，周年兴，谢慧玮，等（7807）

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 …… 袁志良,陈　云,韦博良,等 (7819)
不同生境和去趋势方法下的祁连圆柏径向生长对气候的响应…… 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)
资源与产业生态
大小兴安岭生态资产变化格局…… 马立新,覃雪波,孙　楠,等 (7838)
生态环境移动数据采集系统研究与实现…… 申文明,孙中平,张　雪,等 (7846)
城乡与社会生态
城市遥感生态指数的创建及其应用 …… 徐涵秋 (7853)
研究简报
大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究…… 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)
干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 …… 卢广超,许建新,薛　立,等 (7872)
基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析…… 孟学平,申　欣,赵娜娜,等 (7882)
两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制…… 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)
北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响…… 史　宇,余新晓,张建辉,等 (7898)
学术信息与动态
景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评 ……
…… 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 33 * 2013-12

封面图说:黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

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/stxb201304270835
杨尚东,吴俊,谭宏伟,刘永贤,熊柳梅,周柳强,谢如林,黄国勤,赵其国.红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价.生态学报,2013,33(24):7788-7797.
Yang S D, Wu J, Tan H W, Liu Y X, Xiong L M, Zhou L Q,Xie R L, Huang G Q,Zhan Q G.Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation.Acta Ecologica Sinica,2013,33(24):7788-7797.

红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价

杨尚东[1,2],吴　俊[1],谭宏伟[2,*],刘永贤[2],熊柳梅[2],周柳强[2],谢如林[2],黄国勤[3],赵其国[4]
(1. 广西大学农学院, 南宁　530004; 2. 广西作物遗传改良生物技术重点开放实验室/广西农业科学院, 南宁　530007;
3. 江西农业大学, 南昌　330045; 4. 中国科学院南京土壤研究所, 南京　210008)

摘要:炼山是我国南方林区清理林地的一种传统方法。以广西红壤区桉树人工林为研究区域,通过样地调查和采样,应用培养和非培养(PCR-DGGE)等传统与现代分析方法分别对火烧迹地土壤肥力演变及生态环境进行了评价。结果表明:与非炼山对照区相比,炼山 1 周后土壤剖面表层土壤(0—3 cm)中有机质、全氮、全磷、全钾以及碱解氮、速效磷和速效钾含量均不同程度地提高;同时,可培养土壤微生物数量和土壤微生物生物量碳、氮也显著地高于对照。虽然中层土(3—25 cm)中各理化性状和生物学性状指标也呈现出与表层土类似的变化趋势,但下层土(25 cm 以下)却呈现出无规则的变化趋势;另一方面,炼山 4 个月后,除磷含量外,土壤剖面各土层土壤中理化性状指标均不同程度地低于非炼山对照区土壤。同时,炼山土壤中可培养微生物数量均低于对照区土壤,虽然表层土壤之间的差异均未达显著水平,但剖面各土层土壤微生物生物量碳、氮却显著低于对照区土壤。说明炼山无助于长效提高桉树人工林的土壤肥力。此外,虽然桉树人工林土壤细菌多样性指数、丰度和均与度指标在不同土层的变化不均一,但无论是炼山 1 周或 4 个月后,炼山方式均不同程度地导致了桉树人工林表层土壤细菌多样性指数、丰度和均与度指标的下降,说明炼山方式也不利于桉树人工林,尤其是表层土壤生态系统的持续稳定。

关键词:炼山; 红壤; 桉树人工林; 土壤肥力; 生态评价

Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation

YANG Shangdong[1,2], WU Jun[1], TAN Hongwei[2,*], LIU Yongxian[2], XIONG Liumei[2], ZHOU Liuqiang[2], XIE Rulin[2], HUANG Guoqin[3],ZHAO Qiguo[4]

1 *Agricultural College Guangxi University*, *Nanning* 530004, *China*

2 *Guangxi Crop Genetic Improvement and Biotechnology Lab/ Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement/Guangxi Academy of Agricultural Sciences*, *Nanning* 530007, *China*

3 *Jiangxi Agricultural University*, *Nanchang* 330045, *China*

4 *Institute of Soil Science*, *Chinese Academy of Sciences*, *Nanjing* 210008,*China*

Abstract: Controlled burning is a traditional forest-clearing method used in Southern China. We analyzed the variability of soil fertility between controlled burning and non-burnt areas in a *Eucalyptus robusta* plantation forest of the red soil region, located in Hengxian County in Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. Traditional incubation and culture-independent methods, such as the dilution-plate method, the polymerase chain reaction, and denaturing gradient gel electrophoresis (PCR-DGGE) were used. Possible effects on the soil ecological system were also evaluated. Soil organic matter (SOM), total and available nitrogen, phosphorus and potassium contents in the 0—3 cm soil layer only one week after burning were

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(U1033004);自治区重大资助项目(桂科重 1347001);IPNI 资助项目;广西农业科学院科技发展基金重点资助项目(2007001Z);(桂财〔2011〕314 号), 国家农业部专项资助项目(201003014)

收稿日期:2013-04-27;　　**修订日期**:2013-09-26

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

all higher than those in a non-burnt *Eucalyptus* forest. The number of soil culturable microbes, which includes bacteria, fungi and actinomycetes, and the biomass C and N in the 0—3 cm layer were also significantly higher than those in the non-burnt *Eucalyptus* forest. Indexes of chemical and biological properties in the middle layer (3—25cm) of the burnt soils also showed the same trends observed in the surface soil layer. However, irregular changes were found in these chemical and biological indexes in soil layers below 25cm. This indicates that the chemical and biological properties of soils, including soil organic matter (SOM), total and available nitrogen, phosphorus and potassium, as well as the number of soil culturable microbes, and the biomass C and N in layer below 25cm were not significantly impacted by controlled burning. Furthermore, four months after controlled burning, except for total and available phosphorus contents, nutrients such as total and available nitrogen, potassium and SOM contents did not show the same trends with burning as were found after one week, and were all lower than those in the non-burnt forest soil. Also, the number of soil culturable microbes, and the biomass C and N in each layer of the burnt soils were also lower than those in the non-burnt soil. Thus, controlled burning in the *Eucalyptus* plantations in the red soil region of southern China has only short-term beneficial effects on soil fertility, and is not helpful for improving long-term soil fertility of *Eucalyptus* plantations. Indexes of soil bacterial diversity (Shannon-Wiener, H), Richness and Evenness (E_H) in each layer after burning showed irregular changes. However, in the surface soil layers (0—3cm) of the burnt treatments these indexes were all lower than those in the non-burnt treatment and hardly recovered to the same level as in the non-burnt treatment 4 months after burning. These results suggest that the method of controlled burning in southern China might not only result in a decline in soil fertility with time, but also lead to a decrease in the indexes of soil bacterial diversity, Richness and Evenness, in surface soils in these two periods after burning. Thus, based on the above results, controlled burning is not helpful for improving the soil fertility and maintaining the development of a sustainable surface soil ecosystem in *Eucalyptus* plantations in the red soil region of southern China.

Key Words: controlled burning; red soil; *Eucalyptus* plantation; soil fertility; ecological evaluation

桉树是桃金娘科(Myrtaceae)桉属(*Eucalyptus*)树种的总称。其具有速生,高产、优质的特点,现已成为我国南方速生丰产林的战略性树种。广西是桉树的适生区,至 2010 年,广西桉树人工林的面积已达 165.3 万 hm^2,占全国桉树种植面积的 60.4%,已成为我国桉树的主要栽培区[1-2]。然而广西桉树在生产过程中,经营者为了追求最大经济效益或当前的利益,林木采伐后所采用的林地清理方法仍采用传统的炼山方式[3]。炼山是我国南方林区清理林地的一种传统方法,在我国已有千余年的应用历史。国内外学者对炼山的利弊进行了广泛的研究,如:杨玉盛等[4]对国内外有关炼山对采伐剩余物、水土流失、土壤物理化学性质、土壤肥力等影响问题进行了综述,并归纳了炼山的利与弊,提出了相应的对策。

但由于至今对炼山方式在桉树人工林上的应用仍缺乏系统、长期的研究。导致目前对炼山方式在桉树人工林的应用上仍存在着不少的分歧。例如,潘辉[5]对炼山后尾叶桉林地土壤的理化性质等进行了为期 6a 的定位调查与研究,认为从维护地力可持续发内容展的长期要求而言,应尽快变革炼山这种传统的林地清理方式。而部分学者亦认为一定频率和强度的火烧能够改善生态系统的结构和功能,促进生态系统的良性循环,对维持生物多样性和维护生态平衡方面发挥着重要的作用[6-7]。如今,众多的研究大多数集中在烧山后对土壤养分的影响方面[8-10],缺乏对炼山后土壤健康质量的评价。

土壤健康质量可以通过土壤健康质量指标进行评价。其中,土壤健康评价的生物指标体系可区分为土壤中微生物的量、活性、多样性和功能性 4 个方面[11]。其中土壤微生物生物量水平相关的基本指标和衍生参数可称为土壤健康的敏感指标,并有潜力作为土壤生态系统受污和胁迫的预警性监测指标[11-12]。同时亦是土壤肥力评价及改良农业耕作制度的重要理论依据之一[13-14]。通常土壤微生物生物量碳(C)和氮(N)水平较高则土壤质量较高[15]。另外,土壤微生物多样性可反映土壤生态系统的稳定性,亦反映土壤生态机制和土壤胁迫对微生物多样性的影响,具有成为土壤生物指标的潜力[16]。

本文通过对广西红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化以及土壤生物学特性进行分析,与非炼山方式进行比较,试图揭示炼山方式对红壤区桉树人工林肥力及生物学特性的影响规律。评价炼山方式对土壤生态系统的影响,为提高桉树人工林土壤肥力和生态重建提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于广西东南部横县六景道庄(22°89′N,108°81′E),该桉树人工林场位于南亚热带季风气候区,年平均气温 21.4 ℃,平均降雨量 1415.4 mm。林地均为丘陵山地,土壤类型是由砂页岩发育而来的低丘红壤。

研究区桉树人工林栽植年限为 4a,平均树高和胸径分别为 15 m 和 12 cm,郁闭度为 0.4—0.5。炼山在林木砍伐搬运完成后进行,点火时间以早晨 5 点左右开始,炼山强度以火烧迹地仅余树桩和枝干灰分为主。

1.2 样品采集

土壤样品于 2011 年 4 月 24 日采集。采集地点海拔均为 200 m。分别取自炼山 1 周、4 个月和非炼山桉树人工林地。每个取样点分 0—3 cm、3—25 cm、25 cm 以下分层采样。每层各取 3 份土样及重复 3 次。新鲜土壤用四分法分成两份,一份自然风干后剔除植物根系,研钵磨细过 0.5 mm 筛,供理化性质分析使用;另一份过 2 mm 筛后置于 4 ℃保存,用于土壤生物学特性以及微生物多样性的分析使用。

1.3 测定方法

理化性状:土壤 pH 值采用 PHS-3C 型精密酸度计测定,有机质用重铬酸钾容量法测定;全氮用半微量凯氏法测定;用氢氧化钠碱熔法将土壤样品熔融后提取待测液,钼蓝比色法测全 P,火焰光度计测全 K;用 0.5 mol/L 碳酸氢钠提取土壤样品后,用钼蓝比色法测速效 P;用 1 mol/L 的中性醋酸钠提取土壤样品后,用火焰光度计测速效 K[17]。

生物学特性:土壤微生物计数用稀释平板法[18],微生物生物量碳、氮(Biomass C、N)测定采用氯仿熏蒸提取法[18-19]测定。

土壤细菌多样性:土壤基因组总 DNA 的提取,参照 Krsek M 和 Welington 的方法[20]并稍加修改进行。称取 5 g 土壤,采用提取液和回收试剂盒(Biospin gel extraction kit, Bioflux,产品号:bsc02m1)进行基因组总 DNA 的提取和纯化,粗提和纯化结果采用 1.0%(w/V)琼脂糖凝胶电泳检测;纯化后样品于-20 ℃冰箱保存备用;

土壤细菌 16SrDNA V3 可变区的 PCR 扩增,采用对大多数细菌的 16S rRNA 基因 V3 区具有特异性的引物对 F338GC 和 R518[21-23], 它们的序列分别(上游引物)为:

F338GC5′-(CGCCCGCCGCGCGCGGCGGGCGGGGCGGGGGCACGGGGGGACTCCTACGGGAGGCAGCAG-3′);

下游引物为 R518(5′-AT-TACCGCGGCTGCTGG-3′),PCR 产物用 1.5%(W/V)琼脂糖凝胶电泳检测。

变性梯度凝胶电泳(DGGE)分析:采用 Bio-Rad 公司 DCode™基因突变检测系统对 PCR 反应产物分离。样品在变性剂浓度 30%到 60%(100%的变性胶为 7 mol/L 的尿素和 40%的去离子甲酰胺的混合物)的 8%聚丙烯酰胺凝胶中,在 100 V 的恒定电压下,60 ℃电泳 6 h。电泳完毕后,凝胶银染 20—30 min 后用 GelDoc 凝胶成像分析系统(北京赛百奥科技有限公司)观察并拍照。

1.4 数据分析方法

采用 Quantity one 分析软件(Bio-Rad)对各土壤样品的电泳条带多少及密度进行定量分析。多样性指数(H),丰度(S)和均匀度(E_H)的计算方法参照罗海峰等的方法[24]进行。数据处理用 Excel2003 进行。

2 结果与分析

2.1 炼山后桉树人工林土壤理化性状的变化

如表 1 所示,与非炼山区土壤相比,炼山处理 1 周后,其表土层(0—3 cm)和下层(3—25 cm)土壤 pH 值增加了 2.3%—14%,但炼山 4 个月后,除表土层外,下层土 pH 值与非炼山区土壤的 pH 值无显著差异。炼山 1 周后各土层有机质含量比非炼山区土壤增加了 14.9%—53.3%,但炼山 4 个月后却下降了 21.8%—48.8%。原因可能是炼山后短期内增加了土壤养分的有效性[25],刺激土壤微生物的生长,导致土壤微生物数量增加

(表 2)的同时,加速了土壤有机质的合成有关;同时炼山后经历较长的时间,表土层失去树冠、草被等植物保护易引起水土流失而导致有机质含量下降有关。另外,与非炼山区土壤相比,炼山 1 周后各土层土壤的 T-N、T-P、T-K 含量均不同程度高于前者,尤其是表层土壤的全 N、全 P、全 K 含量分别增加了 72.7%,122.8%和 2.7%。但炼山 4 个月后,除全 P 含量外,各土层中全 N 和全 K 含量均低于非炼山处理。这一现象可能是炼山后植物内含的矿质元素经燃烧后释放至土壤中,短期内虽提高了土壤矿质元素的含量,但炼山后导致土壤表层裸露,若出现降雨就会导致水土流失或淋溶使不易被土壤固定的 N 和 K 流失较为严重,而易于与土壤中 Ca、Fe、Al 等元素结合的 P 流失相对较少有关。同时,表征土壤速效养分含量指标的碱解 N、速效 P 和速效 K 含量亦呈现出与全量相一致的趋势。表明:炼山虽然短期(1 周)内可以增加土壤的速效养分,但从长远效果而言,却导致了速效养分的减少。这一试验结果与孙毓鑫等[26]的研究报道相一致。

表 1　桉树人工林地未炼山区与炼山区土壤的理化性状

Table 1　Physical-chemical properties of soils at non-burnt and burnt sites

理化性状 Physical-chemical properties	土壤深度 Soil layer /cm	未炼山(A) Non-burnt	炼山 1 周(B) Burnt after 1 week	炼山 4 月后(C) Burnt after 4 months
	0—3	3.90 ± 0.00 dD	4.45 ± 0.06 bB	4.06 ± 0.01 bB
pH 值	3—25	3.99 ± 0.07 cdCD	4.08 ± 0.04 cC	3.95 ± 0.04 cC
	25 以下	4.05 ± 0.05aA	3.90 ± 0.04 dD	4.03 ± 0.04 aA
有机质 Organic matter	0—3	65.18 ± 2.60 bB	74.88 ± 0.55 aA	50.42 ± 2.31 cC
/(g/kg)	3—25	29.31 ± 0.76 dD	44.93 ± 3.19 cC	24.06 ± 0.73 eD
	25 以下	9.25 ± 2.34 fE	11.70 ± 0.02 fE	6.21 ± 0.01 fE
全 N Total N	0—3	1.84 ± 0.96 bB	2.91 ± 0.08 aA	1.69 ± 0.52 bB
/(g/kg)	3—25	1.17 ± 0.06 cC	1.58 ± 0.06 bB	0.81 ± 0.04 dD
	25 以下	0.57 ± 1.24 deD	0.57 ± 1.51 deD	0.52 ± 0.51 eD
全 P Total P	0—3	0.45 ± 0.09 cBC	1.00 ± 0.06 abAB	1.40 ± 0.04 aA
/(g/kg)	3—25	0.58 ± 0.08 bcBC	1.23 ± 0.23 aA	0.91 ± 0.04 bcBC
	25 以下	0.33 ± 0.02 cC	0.60 ± 0.10 bcBC	0.91 ± 0.16 bcBC
全 K Total K	0—3	29.66 ± 0.14 bB	30.48 ± 1.01 bAB	27.78 ± 0.59 dD
/(g/kg)	3—25	31.48 ± 1.26 abAB	31.86 ± 0.73 abAB	28.69 ± 0.26 cdCD
	25 以下	34.79 ± 1.43 aA	34.99 ± 0.84 aA	30.70 ± 0.99 cC
碱解 N Alkalized N	0—3	142.51 ± 3.47 cdC	194.51 ± 4.63 bB	139.64 ± 6.37 bcBC
/(mg/kg)	3—25	79.85 ± 15.06 eE	120.39 ± 2.90 dCD	73.91 ± 1.74 eDE
	25 以下	54.67 ± 2.03 efE	33.66 ± 15.06 aA	36.45 ± 2.61 fE
速效 P Available P	0—3	4.89 ± 0.00 bB	13.89 ± aA	11.31 ± 0.84 aA
/(mg/kg)	3—25	2.58 ± 0.09 cC	4.76 ± bBC	1.98 ± 0.19 cC
	25 以下	2.58 ± 0.09 cC	2.31 ± cC	2.25 ± 0.09 cC
速效 K Available K	0—3	218.5 ± 0.71 bB	451.5 ± 7.78 aA	186.5 ± 2.12 cC
/(mg/kg)	3—25	169.5 ± 2.12 cC	181.0 ± 4.24 cC	94.0 ± 0.71 fE
	25 以下	97.0 ± 1.41 dD	79.5 ± 0.71 eDE	37.5 ± 8.49 fE

数据为平均值±标准误; 同行内数值相同大小写字母的表示用 Duncan 检验在 0.01 和 0.05 显著水平下无显著差异

2.2　炼山后桉树人工林土壤生物学性状的变化

由表 2 可知,无论是炼山或非炼山处理,以及炼山后不同时间的土壤中,土壤微生物数量大小的顺序均呈细菌>放线菌>真菌的趋势,并且随着土层的下降而递减。这一结果与冯建等[27]报道的研究结果相一致。

土壤细菌数量受土壤温度、湿度、同期状况、耕作制度、有机质含量及作物种类等因素的影响[28]。与非炼山土壤相比,炼山 1 周时土壤表层(0—3 cm)的微生物数量在达到最高,而且无论是细菌、真菌及放线菌数量均显著高于非炼山处理。但炼山 4 个月后,各土层中除真菌数量与非炼山之间无显著差异外,下层土壤细菌数量以及表层、中层土壤的放线菌数量均显著低于非炼山处理。这一现象可能与炼山并经历较长时间后,表

层水土流失导致淋溶至下层土壤的有机质及速效养分含量低于非炼山土壤有关(表 1)。而且本试验结果亦与冯宏等[29]报道的研究结果相类似。

表 2 土壤微生物数量的变化

Table 2 Spatial and temporal variations in soil microorganisms at different treatment sites

Microbial number	土壤深度 Soil layer/cm	非炼山(A) non-burnt	炼山 1 周(B) burnt after 1 week	炼山 4 月后(C) burnt after 4 months
细菌 Bacteria	0—3	82.8±3.63bB	95.4±5.68aA	82.2±0.84bB
/($\times10^6$ cfu/g)	3—25	58.2±6.76bB	71.6±2.41aA	57.4±3.91bB
	25 以下	44.2±5.17aA	42.8±2.77bB	36.6±2.41cC
真菌 Fungi	0—3	18.3±3.16bB	25.0±2.55aA	18.0±3.49bB
/($\times10^4$ cfu/g)	3—25	5.6±0.92bB	6.4±1.51aA	5.4±1.61bB
	25 以下	3.0±1.61bB	4.4±1.60aA	2.9±1.00bB
放线菌 Actinomycetes	0—3	87.6±3.91bB	100.2±5.97aA	74.6±5.32cC
/($\times10^5$ cfu/g)	3—25	79.2±5.07aA	67.4±5.32bB	54.2±5.12cC
	25 以下	18.8±1.92bB	33.2±4.21aA	19.0±2.24bB

土壤微生物生物量是衡量土壤质量、维持土壤肥力和作物生产力的一个重要指标[29]。研究表明,微生物量越大,土壤保肥作用越强,并使土壤养分趋于积累。因此,土壤微生物生物量是植物矿质养分的源和汇,是稳定态养分转变为有效态养分的催化剂[30-31]。由图 1 可知,无论是炼山或非炼山处理,土壤微生物生物量碳和氮均随着土层深度的增加而递减(图 1)。炼山 1 周后,除表层(0—3cm)的土壤微生物量碳和氮均显著高于非炼山土壤外,其余各层土壤微生物生物量碳均低于非炼山土壤。在中层土壤(3—25cm)微生物生物量氮虽显著高于非炼山土壤,但至下层时两者间已无显著性差异。

另外,随着时间的推移,炼山 4 个月后,无论是土壤微生物量碳或氮在剖面各土层中均显著低于相应的非炼山土壤。何友军等[30]对杉木人工林土壤微生物生物量碳氮特征的研究表明,土壤微生物量碳与土壤全氮、全钾和速效钾呈极显著的正相关性;土壤微生物量氮亦与土壤养分具有极显著的正相关性。本试验的结果显示,炼山后土壤微生物生物量碳和氮的分布及时间上的变化趋势与土壤养分的分布及时间变化趋势基本一致。

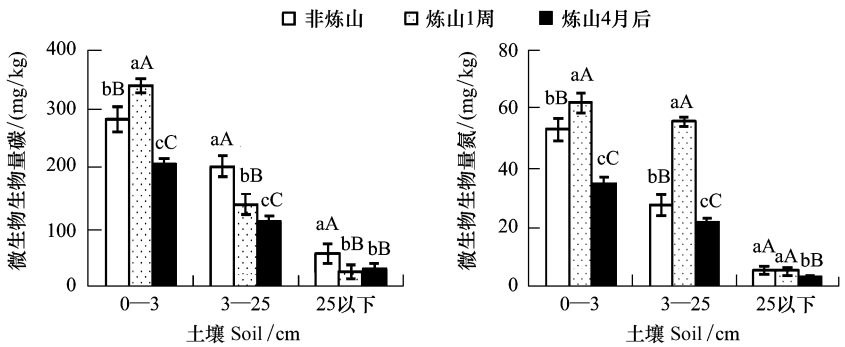

图 1 土壤微生物量的变化

Fig.1 Spatial and temporal variations in soil biomass at different treatment sites

2.3 炼山对桉树人工林土壤细菌多样性的影响

2.3.1 基因组 DNA 提取和 PCR 扩增 分别于炼山后不同时段土样中提取微生物总 DNA,取 4 μL DNA 样用 1%琼脂糖凝胶电泳检测。从图 2 可以看出,试验提取的总 DNA 亮度较好,而且无明显拖带现象,大小均约为 23 kb 左右。另外,在核酸蛋白测定仪上测定 OD_{260}和 OD_{280}的值,OD_{260}/OD_{280}值介于 1.8 和 2.0 之间,说明所得到的总 DNA 质量符合实验要求[31]。

以提取的土壤微生物总 DNA 为模板,F338-GC 和 R518 为扩增引物,对 16SrDNAV3 可变区进行 PCR 扩增。如图 3 所示,16SrDNA 扩增后的 DNA 片段长度是 250bp 左右,特异性好、无杂带,与理论值相符。说明该 PCR 程序适用于 16SrDNA 的扩增,并且能够得到较好的产物。

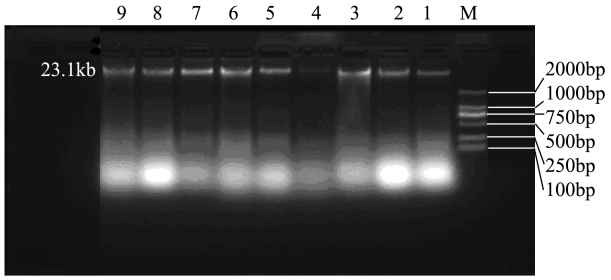

图 2　炼山与非炼山处理林地土壤总 DNA 的琼脂糖电泳图谱

Fig.2　Agarose gel electrophoresis of total DNA extracted from burning and non-burning eucalyptus plantation soils at different times

M:分子量标准;1:炼山 4 个月后表层土总 DNA; 2:炼山 4 个月后中层土总 DNA;3:炼山 4 个月后下层土总 DNA; 4:未炼山桉树人工林表层土总 DNA; 5:未炼山桉树人工林中层土总 DNA;6:未炼山桉树人工林下层土总 DNA; 7:炼山 1 周后表层土总 DNA; 8:炼山 1 周后中层土总 DNA;9:炼山 1 周后下层土总 DNA

2.3.2　土壤细菌群落 DGGE 图谱分析

应用 DGGE 技术分离 16SrDNAV3 片段 PCR 产物,可分离到数目不等、位置各异的电泳条带(图 4)。根据 DGGE 能分离长度相同而序列不同 DNA 的原理,每一个条带大致与群落中的一个优势菌群或操作分类单元(OUT)相对应,条带数越多,说明生物多样性越丰富;条带染色后的荧光强度越亮,表示该种属的数目越多。从而反映土壤中的微生物种类和数量[20]。

采用凝胶成像分析系统对 DGGE 图谱进行分析,结果表明:桉树人工林炼山 1 周、4 个月后,各自泳道的条带位置和数目不仅与未炼山的桉树林土壤之间存在较大的差异,而且与未炼山的阔针叶混合林之间的条带亦存在大的差异(图 3)。说明炼山导致了桉树人工林土壤细菌多样性发生了显著变化。此外,各特异条带在亮度上亦存在差异,表明炼山和非炼山桉树人工林地土壤中细菌在 DNA 水平上存在明显差异。

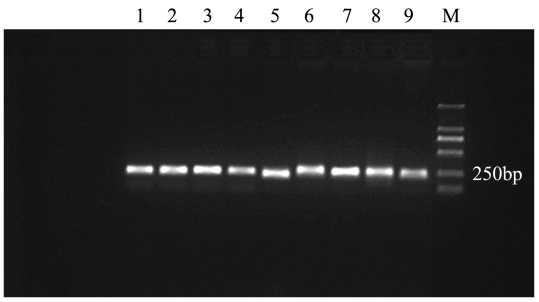

图 3　炼山与非炼山处理林地土壤细菌 16SrDNA 基因 V3 区扩增片段图谱

Fig.3　PCR amplified fragment 16SrDNA (V3) gene of burning and non-burning eucalyptus plantation soils

从图 4 还可以得知:以未炼山桉树人工林的表层(0—3 cm)土壤为对照,炼山 1 周和 4 个月后,桉树人工林表层土壤细菌 DGGE 图谱的条带数量大小顺序为:未炼山(S 为 11)>炼山 4 个月后(S 为 10)>炼山 1 周后(S 为 9);其次,中层土(3—25 cm)细菌 DGGE 图谱的条带数量顺序则为:炼山 1 周后(S 为 11)>炼山 4 个月后(S 为 10)>未炼山(S 为 7);下层土(25 cm 以下)细菌 DGGE 图谱的条带数量大小顺序为:炼山 4 个月后(S 为 8)>未炼山(S 为 6)= 炼山 1 周后(S 为 6)。表明炼山对桉树人工林土壤细菌丰度的影响依土壤深度的变化而异。炼山显著降低了表层土壤细菌的丰度,但随着时间的推移,土壤细菌丰度呈现缓慢回升的趋势;同时,对于中层土和下层土而言,炼山处理后无论时间长短均提高了土壤细菌的丰度,这可能与炼山后土壤结构发生变化,改变了土壤水分和气体的通透性以及改变了土层中有机质、碱解氮和速效磷钾等养分含量有关(表 1)。此外,各泳道中的条带粗细不一,对应其在 DGGE 胶上的密度大小不同,密度大,则条带比较粗黑;密度小,则条带比较细。图中显示共有 26 类条带,其中 12 号条带是除未炼山桉树人工林下层土(泳道 6)之外在其余每个样品中均有出现。同时,每个特征条带在各泳道的粗细各异,表明炼山对桉树人工林土壤细菌的密度影响也很大。

2.3.3　土壤细菌群落 Shannon 多样性指数分析

根据细菌 16SrDNA 的 PCR-DGGE 图谱中条带的位置和亮度的数值化结果计算了细菌群落结构指标 Shannon-Wiener 指数,Shannon 指数值越大,表明细菌群落多样性越高[32]。

分析不同处理林地土壤细菌 Shannon 指数、丰度和均匀度指数。结果表明(图 5):表层土壤细菌多样性

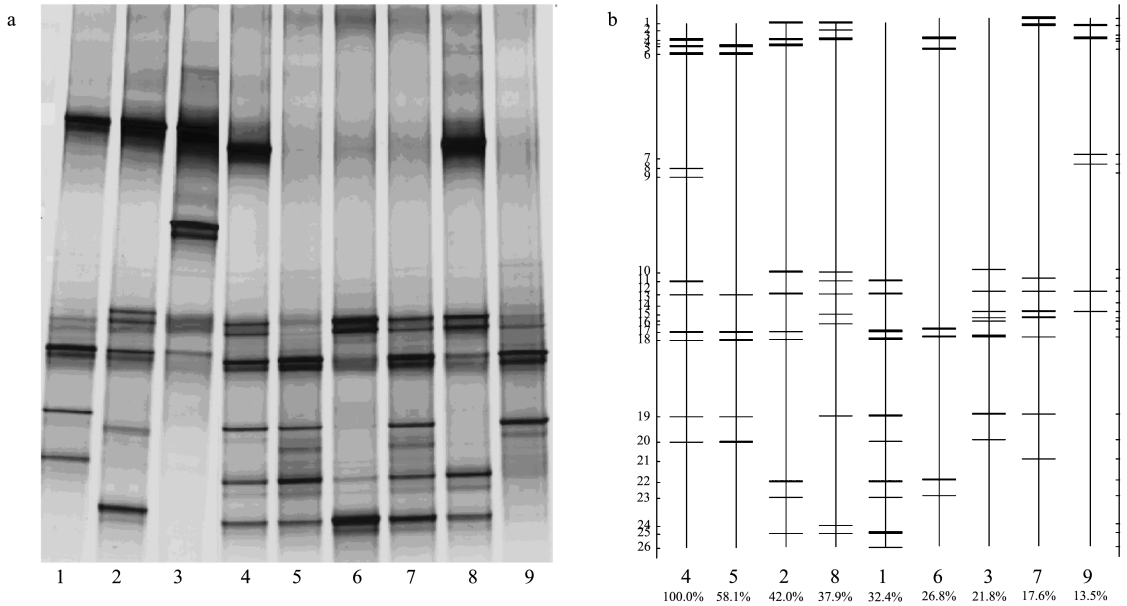

图 4 炼山与非炼山处理桉树人工林土壤细菌的 DGGE 图谱(a)和 DGGE 条带强度示意图(b)

Fig.4 DGGE profile of burning and non-burning eucalyptus plantation soils (a) and sketch map of bands distribution and its relative luminance (b)

指数的大小顺序为:未炼山桉树人工林(2.285)>炼山 4 个月桉树人工林(2.192)>炼山 1 周桉树人工林(1.972);而中层土壤细菌多样性指数大小则表现为:炼山 1 周桉树人工林(2.257)>炼山四个月桉树人工林(2.206)>未炼山桉树人工林(1.843);下层土为:炼山四个月桉树人工林(1.977)>未炼山桉树人工林(1.749)>炼山 1 周桉树人工林(1.688)。同时,与非炼山处理多样性指数呈上层土>中层土>下层土的顺序相比,炼山后不论时间长短,中层土壤细菌多样性指数均高于表层土壤。表明炼山对林地土壤的影响以表层土(0—3 cm)为主,同时破坏了土壤结构,扰乱了林地土壤细菌的分布,尤其降低了桉树人工林表层土壤细菌丰度和群落的多样性。

另一方面,均匀度是表示物种在环境中的分布状况,各物种数目越接近,数值越高[33]。图 5 中均匀度的数据显示:炼山亦导致了表层土壤细菌均匀度的降低,但随着时间的推移,呈现回升的趋势。表明炼山对林地各层土壤细菌均匀度指数的影响亦是以表层土壤为主,呈现降低的趋势,但其影响效果随着时间的推移而减弱。

2.3.4 土壤细菌群落相似性分析

针对炼山和非炼山桉树人工林土壤细菌群落多样性进行相似性分析。结果显示:炼山 1 周后,炼山和非炼山桉树人工林表层土壤细菌群落的相似性系数仅为 12.8%,4 个月后虽上升至 32.4%;中层土则分别为 6.7%和 31.2%(表 3),各层土壤细菌群落相似性系数均随着炼山后时间的推移呈上升的趋势,但相似性系数均低于 60%。一般认为,相似性系数高于 60%的两个群体具有较好的相似性[34]。这一论据说明炼山不仅对土壤细菌群落多样性的影响很大,而且影响持续的效果在较长一段时间内(4 个月)也得不到有效恢复。

3 结论与讨论

狭义的土壤肥力概念就是指土壤供给养分的能力,其主要包括土壤养分的含量、存在形态、对植物的有效性和供给力[11]。从表 1 的结果可知,炼山处理方式虽然短期(1 周)内可以增加土壤的速效成分,但炼山后山体裸露引发的水土流失导致了后期土壤有机质和速效钾含量的降低。表明炼山方式并不利于长期维持和提升退化红壤区桉树人工林的土壤肥力,反而容易导致桉树人工林土壤肥力下降。这一结论与潘辉[5]报道的在福建从事类似研究的试验结果相一致。

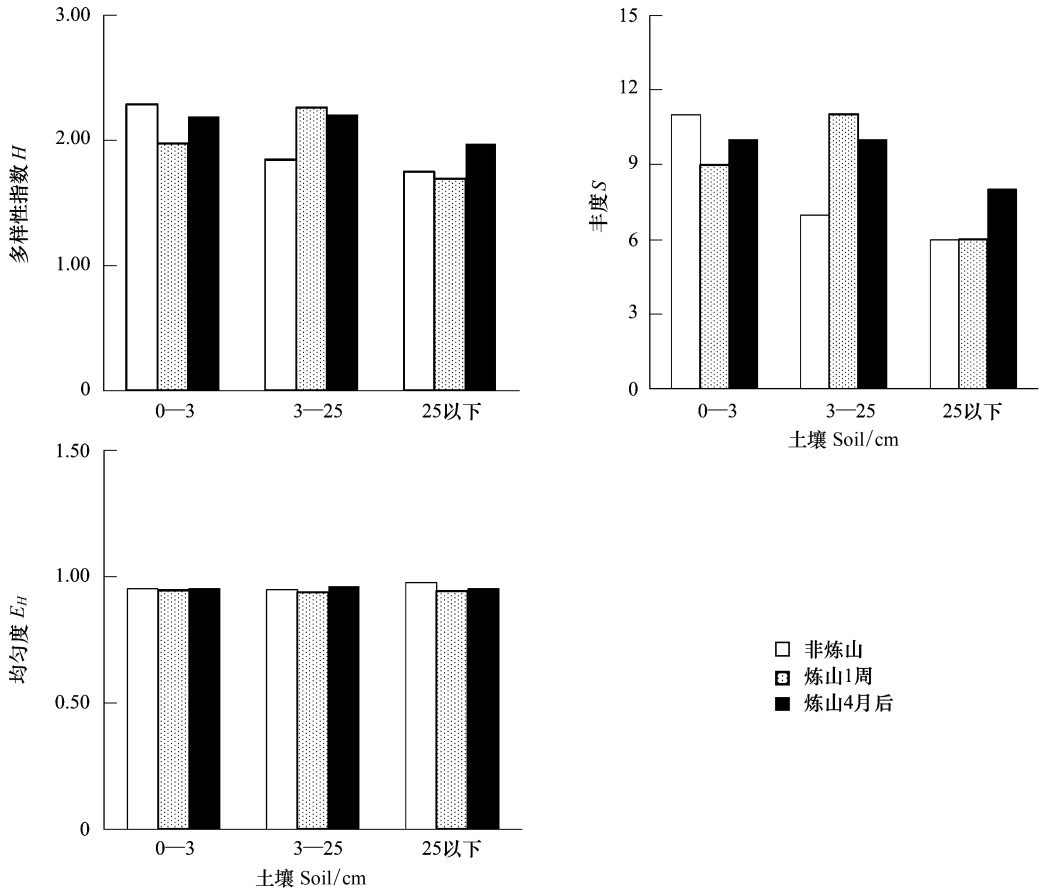

图 5　炼山和非炼山处理桉树人工林土壤细菌种群多样性、丰度指数

Fig.5　Shannon-Wiener(H), Richness(S) and Evenness(E_H) of each soil samples estimated by the DGGE bands patterns of burning and non-burning eucalyptus plantation soils

表 3　炼山和非炼山桉树人工林土壤细菌群落相似性系数

Table 3　Similarity coefficient of soil bacterial communities between burning and non-burning eucalyptus plantation

泳道 Lane	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	100	33.9	27.5	32.4	24.2	30.0	11.0	18.1	5.7
2	33.9	100	18.4	30.1	31.2	17.7	27.0	22.3	43.1
3	27.5	18.4	100	21.5	32.6	15.4	22.1	21.3	10.2
4	32.4	30.1	21.5	100	43.6	32.6	12.8	45.4	24.8
5	24.2	31.2	32.6	43.6	100	55.1	9.7	6.7	4.3
6	30.0	17.7	15.4	32.6	55.1	100	6.4	0.0	0.0
7	11.0	27.0	22.1	12.8	9.7	6.4	100	33.5	23.1
8	18.1	22.3	21.3	45.4	6.7	0.0	33.5	100	16.0
9	5.7	43.1	10.2	24.8	4.3	0.0	23.1	16.0	100

另一方面,土壤微生物是土壤生态系统变化的敏感指标之一,其活性和群落结构变化能敏感地反映出土壤生态系统的质量和健康状况[35],土壤微生物指标已被公认为土壤生态系统变化的预警及敏感指标[36]。土壤细菌占土壤微生物总数的 70%—90%,是土壤中最活跃的因素[12],研究炼山对桉树人工林土壤细菌多样性的影响,不仅能评价炼山对桉树人工林地生态系统的影响,并对保障桉树产业的可持续发展具有重要意义。

土壤细菌的数量受土壤温度、湿度、同期状况、耕作制度、有机质含量及作物种类等因素的影响[28]。炼山后短期(1 周)虽表现出细菌、真菌及放线菌数量均显著高于非炼山处理,但经历较长时间(4 个月)后,以细菌

为主的微生物数量显著低于非炼山处理。这可能与炼山并经历较长时间后,坡地植被尚未恢复,裸露的表层在雨季降雨的反复冲刷下,水土流失导致土壤中的有机质和各种速效养分含量低于非炼山土壤有关(表 1)。另外,作为衡量土壤质量、维持土壤肥力和作物生产力重要指标的土壤微生物生物量亦表现出炼山初期仅具有短暂的“刺激”效果,但随着时间的推移均呈下降趋势(图 1)。

同时,炼山还导致了桉树人工林土壤细菌丰度和多样性指数(Shannon-Wiener index)的下降,尤其在 0—3 cm 的表层土壤中体现更为明显。另外,炼山亦改变了桉树人工林地土壤细菌的群落结构多样性,甚至在炼山后经历了 4 个月的时间,也无法恢复至与未炼山处理相似性系数高于 60%的土壤细菌群落结构。

综合以上结果,炼山无助于长效提高桉树人工林的土壤肥力,在炼山后 4 个月期间内桉树人工林土壤生态质量指标呈现下降的趋势,表明炼山也不利于桉树人工林土壤生态系统的持续长期稳定。

References:

[1] Xiang D Y. The sustainable development of *Eucalyptus* plantation in Guangxi during new century. Guangxi Forestry Science, 2002, 31(3): 114-121

[2] He B Y, Zhen R, Pan D. Explores the developing ideas and approaches of *Eucalyptus* plantation in Guangxi. Guangxi Forestry Science, 2012, 41(1): 65-68.

[3] Xiang D Y, Chen J B, Ye L, Shen W H. Present development situation, problems and countermeasure of *Eucalyptus* plantation in Guangxi. Guangxi Forestry Science, 2006, 35(4): 195-201.

[4] Yang Y S, He Z M, Ma X Q, Lin K M, Yu X T. On the advantages and disadvantages of the effects of controlled burning on the ecological system of Chinese fir plantation and the countermeasures. Journal of Natural Resources, 1997, 12(2): 153-159.

[5] Pan H. Effect of different ground clearance on productivity of *E. grandis*×*E. urophylla* forests. Journal of Fujian College of Forestry, 2003, 23(4): 312-316.

[6] Kennard D K, Gholz H L. Effects of high-and low-intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest. Plant and Soil, 2001, 234(1): 119-129.

[7] Certini G. Effects of fire on properties of forest soils a review. Oecologia, 2005, 143(1): 1-10.

[8] Mohamed A, Härdtle W, Jirjahn B, Niemeyer T, Oheimb G. Effects of prescribed burning on plant available nutrients in dry health land ecosystems. Plant Ecology, 2007, 189(2): 279-289.

[9] Moghaddas E E Y, Stephens S L. Thinning, burning, and thin-burn fuel treatment effects on soil properties in a Sierra Nevada mixed-conifer forest. Forest Ecology and Management, 2007, 250(3): 156-166.

[10] Wang L, Kazuto S. Research on the dynamic change of soil nutrients in the burned area of mountain forest. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(1): 81-85.

[11] Xu J M, Zhang G L, Xie Z M, Lv X N. Indices and Assessment of Soil Quality. Beijing: Science Press, 2010: 4-36.

[12] Cao Z P. Soil Ecology. Beijing: Press of Chemical Industry, 2007: 211-222.

[13] Gao Y C, Zhu W S, Chen W X. Estimation for biomass and turnover of soil microorganisms. Chinese Journal of Ecology, 1993, 12(6): 6-10.

[14] Gao Y C, Zhu W S, Chen W X. Bacterial and fungal biomass and activities in straw mulch no-tillage soils. Chinese Journal of Ecology, 2001, 20(2): 30-36.

[15] García-Gil J C, Plaza C, Solerrovia P, Polo A. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(13): 1907-1913.

[16] Schloter M, Dilly O, Munch J C. Indicators for evaluating soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 98(1/3): 255-262.

[17] Bao S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2007: 25-109.

[18] Li Z G, Luo Y M, Teng Y. Soil and Environmental Microbial Research. Beijing: Science Press, 2008: 90-99, 319-329.

[19] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(6): 703-707.

[20] Krsek M, Welington E M H. Comparison of different methods for the isolation and purification of total community DNA from soil. Journal of Microbiological Methods, 1999, 39(1): 1-16.

[21] Li A J, Yang S F, Li X Y, Gu J D. Microbial population dynamics during aerobic sludge granulation at different organic loading rates. Water Research, 2008, 42(13): 3552-3560.

[22] Liu W, Zhang J C, Deng G H. Influence of cultivation time on the rhizosphere microbial diversity of *Syzygium grijsii* and its PCR-DGGE analysis. Bulletin of Botanical Research, 2010, 30(5): 582-587.

[23] van Hannen E J, Zwart G, van Agterveld M P, Gons H J, Ebert J, Laanbroek H J. Changes in bacterial and Eukaryotic community structure after mass lysis of filamentous cyanobacteria associated with virus. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65(2): 795-801.

[24] Luo H F, Qi H Y, Zhang H X. The impact of acetochlor the bacterial diversity in soil. Acta Microbiologica Sinica, 2004, 44(4): 519-522.

[25] Carter M C, Foster C D. Prescribed burning and productivity in southern pine forests a review. Forest Ecology and Management, 2004, 191(1/3): 93-109.

[26] Sun Y X, Wu J P, Zhou L X, Lin Y B, Fu S L. Changes of soil nutrient contents after prescribed burning of forestland in Heshan City, Guangdong Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(3): 513-517.
[27] Feng J, Zhang J. Ecological distribution patterns of soil microbes under artificial *Eucalyptus Grandis* stand. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(8): 1422-1426.
[28] Liu J J, Fang S Z, Xie B D, Hao J J. Effects of bio-mulching on rhizosphere soil microbial population, enzyme activity and tree growth in polar plantation. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(6): 1204-1210.
[29] Feng H, Guo Y B, Wei X H, Zhang Z H, Li H X. Study on variation of soil nutrient and microbe on different erosion position of Hily slope in Latosolic red soil region. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(6): 149-152, 201-201.
[30] He Y J, Wang Q K, Wang S L, Yu X J. Characteristics of soil microbial biomass carbon and nitrogen and their relationships with soil nutrients in *Cunninghamia lanceolata* plantations. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2292-2296.
[31] Xu X Y, Min H, Liu H, Wang Y P. Comparison of DNA extraction methods for PCR_DGGE analysis of bacterial community in soil. Journal of Agricultural Biotechnology, 2005, 13(3): 377-381.
[32] Xue D, Yao H Y, Huang C Y. Genetic diversity of microbial communities in tea orchard soil. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(4): 843-847.
[33] Wu Z C, Yu X S, Xu Y T. Analysis on microbial diversity of different agricultural soils by using molecular biology technique. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(12): 2474-2480.
[34] Chen F L, Zhang K, Zheng H, Lin X Q, Ouyang Z Y, Tu N M. Analyzing the effect of mixed decomposition of conifer and broadleaf litters on soil microbial communities by using PCR_DGGE. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2011, 17(2): 145-150.
[35] Zhong W H, Cai Z C. Effect of soil management practices and environmental factors on soil microbial diversity: a review. Biodiversity Science, 2004, 12(4): 456-465.
[36] Ren T Z, Grego S. Soil bioindicators in sustainable agriculture. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(1): 68-75.

参考文献:

[1] 项东云. 新世纪广西桉树人工林可持续发展策略讨论. 广西林业科学, 2002, 31(3): 114-121.
[2] 何彬元, 曾嵘, 潘丹. 广西桉树现代种业发展思路与对策的探讨. 广西林业科学, 2012, 41(1): 65-68.
[3] 项东云, 陈健波, 叶露, 申文辉. 广西桉树人工林发展现状, 问题与对策. 广西林业科学, 2006, 35(4): 195-201.
[4] 杨玉盛, 何宗明, 马祥庆, 林开敏, 俞新妥. 论炼山对杉木人工林生态系统影响的利弊及对策. 自然资源学报, 1997, 12(2): 153-159.
[5] 潘辉. 不同林地清理方式对巨尾桉林地生产力的影响. 福建林学院学报, 2003, 23(4): 312-316.
[10] 王丽, 嶋一徹. 山地林火烧迹地土壤养分的动态变化. 水土保持通报, 2008, 28(1): 81-85.
[11] 徐建明, 张甘霖, 谢正苗, 吕晓男 等. 土壤质量指标与评价. 北京: 科学出版社, 2010: 4-36.
[12] 曹志平. 土壤生态学. 北京: 化学工业出版社, 2007: 211-222.
[13] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 土壤微生物生物量周转的估算. 生态学杂志, 1993, 12(6): 6-10.
[14] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤细菌和真菌生物量与活性的研究. 生态学杂志, 2001, 20(2): 30-36.
[17] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2007: 25-109.
[18] 李振高, 骆永明, 腾应. 土壤与环境微生物研究法. 北京: 科学出版社, 2008: 90-99, 319-329.
[22] 刘玮, 张嘉超, 邓光华. 不同栽培时间三叶赤楠根际微生物多样性及其 PCR-DGGE 分析. 植物研究, 2010, 30(5): 582-587.
[24] 罗海峰, 齐鸿雁, 张洪勋. 乙草胺对农田土壤细菌多样性的影响. 微生物学报, 2004, 44(4): 519-522.
[26] 孙毓鑫, 吴建平, 周丽霞, 林永标, 傅声雷. 广东鹤山火烧迹地植被恢复后土壤养分含量变化. 应用生态学报, 2009, 20(3): 513-517.
[27] 冯健, 张健. 巨桉人工林地土壤微生物类群的生态分布规律. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1422-1426.
[28] 刘久俊, 方升佐, 谢宝东, 郝娟娟. 生物覆盖对杨树人工林根际土壤微生物、酶活性及林木生长的影响. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1204-1210.
[29] 冯宏, 郭彦彪, 韦翔华, 张志红, 李华兴. 赤红壤丘陵坡地不同侵蚀部位土壤养分和微生物特征变异性研究. 水土保持学报, 2008, 22(6): 149-152, 201-201.
[30] 何友军, 王清奎, 汪思龙, 于小军. 杉木人工林土壤微生物生物量碳氮特征及其与土壤养分的关系. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2292-2296.
[31] 徐晓宇, 闵航, 刘和, 王远鹏. 土壤微生物总 DNA 提取方法的比较. 农业生物技术学报, 2005, 13(3): 377-381.
[32] 薛冬, 姚槐应, 黄昌勇. 茶园土壤微生物群落基因多样性. 应用生态学报, 2007, 18(4): 843-847.
[33] 吴展才, 余旭胜, 徐源泰. 采用分子生物学技术分析不同施肥土壤中细菌多样性. 中国农业科学, 2005, 38(12): 2474-2480.
[34] 陈法霖, 张凯, 郑华, 林学强, 欧阳志云, 屠乃美. PCR-DGGE 技术解析针叶和阔叶凋落物混合分解对土壤微生物群落结构的影响. 应用与环境生物学报, 2011, 17(2): 145-150.
[35] 钟文辉, 蔡祖聪. 土壤管理措施及环境因素对土壤微生物多样性影响研究进展. 生物多样性, 2004, 12(4): 456-465.
[36] 任天志, Grego S. 持续农业中的土壤生物指标研究. 中国农业科学, 2000, 33(1): 68-75.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ····· ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)

Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern: To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday ····· BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)

Food chain length theory: a review ····· ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer ····· LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)

Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabuleaformis* ····· ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)

Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* ····· WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)

Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant ····· HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)

Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O_3 ····· WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)

Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper ····· CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ····· ZHENG Sining (7699)

Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China ····· LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China ····· WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)

The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China ····· LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)

Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ····· ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)

The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe ····· CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)

Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain ····· WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)

Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China ····· SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)

The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China ····· JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)

Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan ····· XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation ····· YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)

The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 ····· YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)

Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan ····· LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)

Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone ····· YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)

Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ····· ZHANG Ruibo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)

Resource and Industrial Ecology

The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China ····· MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)

Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment ····· SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)

Urban, Rural and Social Ecology

A remote sensing urban ecological index and its application ····· XU Hanqiu (7853)

Research Notes

Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR ····· HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)

Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species ····· LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)

Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure ····· MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)

The mechnism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two Ulva species ····· XU Juntian, WANG Xuewen, ZHONG Zhihai, et al (7892)

Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platycladus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area ····· SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《生态学报》2014 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研工作者,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研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,280 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 丁　平　**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 24 期　(2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 33　No. 24 (December, 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

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