

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/stxb201208151151

胡振宏, 何宗明, 范少辉, 黄志群, 万晓华, 杨靖宇, 余再鹏, 王民煌. 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. 生态学报, 2013, 33(13): 4205-4213.

Hu Z H, He Z M, Fan S H, Huang Z Q, Wan X H, Yang J Y, Yu Z P, Wang M H. Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir plantation. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4205-4213.

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^{1,2}, 何宗明³, 范少辉^{4,*}, 黄志群^{1,2}, 万晓华^{1,2}, 杨靖宇³, 余再鹏^{1,2}, 王民煌^{1,2}

(1. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007; 2. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007;
3. 福建农林大学林学院, 福州 350002; 4. 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

摘要:根据福建省南平市峡阳国有林场二代杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)人工林 5 种采伐剩余物管理措施(收获采伐剩余物和地被层、全树收获、仅收获树干和树皮以及加倍采伐剩余物、炼山)下 0—40 cm 深度土壤全碳、全氮含量 15a 的监测数据,研究了采伐剩余物管理措施对杉木林土壤碳氮含量的影响。结果显示,加倍采伐剩余物处理样地 5 次取样年份(造林第 3 年、第 6 年、第 9 年、第 12 年和第 15 年) 0—10 cm 土层土壤全碳、全氮含量均高于其他处理样地,但单因素方差分析显示,采伐剩余物管理措施在 5 次取样年份对 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 土层全碳、全氮含量均没有显著影响($P>0.05$)。重复测量方差分析显示,杉木造林 15a 期间土壤全碳、全氮含量随年份显著变化($P<0.01$),但处理措施以及处理措施与取样年份的交互作用对 3 个土层土壤全碳、全氮含量影响不显著($P>0.05$)。杉木林 15 年生时,不同处理样地 3 个土层碳储量差异不显著($P>0.05$), 0—40 cm 土层平均值为 88.71 Mg/hm²。表明采伐剩余物管理措施对亚热带杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应并不显著。

关键词:土壤全碳、全氮含量;杉木人工林;采伐剩余物管理;亚热带;土壤类型

Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir plantation

HU Zhenhong^{1,2}, HE Zongming³, FAN Shaohui^{4,*}, HUANG Zhiqun^{1,2}, WAN Xiaohua^{1,2}, YANG Jingyu³, YU Zaipeng^{1,2}, WANG Minhuang^{1,2}

1 Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

2 College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

3 Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

4 International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China

Abstract: The long-term effects of harvest residue management on total soil carbon (C) and nitrogen (N) concentrations in the mineral soil (to a depth of 40 cm) in a replanted Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook) plantation were studied. The plantation was subjected to five harvest residue management treatments including: (1) whole tree harvest plus forest floor removal, (2) whole tree harvest, (3) stem only harvest, (4) double residue, and (5) burning residue. Soil samples were collected in 3, 6, 9, 12 and 15 years after tree replanting. The results showed that there was a trend for C and N concentrations to be higher in double residue treatment than other treatments in 0—10 cm layer during the first 15

基金项目:2011 教育部新世纪优秀人才支持计划(DB-168);2012 年福建省杰出青年科学基金项目资助(2060203)

收稿日期:2012-08-15; **修订日期:**2013-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fansh@icbr.ac.cn

years. However, one-way ANOVA showed that harvest residue management had no significant effects on C and N concentrations in 0—10 cm, 10—20 cm or 20—40 cm layers at any sampling year ($P>0.05$). Analysis of repeated-measures ANOVA showed that C and N concentrations for the three depth layers varied between years ($P<0.01$). Neither harvest residue management nor the interaction of sampling year and harvest residue management had any significant effects on C and N concentrations in any depth of soil layers ($P>0.05$). Soil C stock at the 0—40 cm depth was 88.71 Mg/hm² at age 15 years on average. Again, one-way ANOVA showed harvest residue management had no significant effect on the soil C stocks at any soil depths ($P>0.05$). These observations suggested that the long-term effects of harvest residue management on C and N concentrations in Chinese fir plantation were not significant in subtropical China.

Key Words: soil carbon and nitrogen concentrations; Chinese fir plantation; harvest residue management; subtropical; soil type

森林土壤碳储量是植被碳储量的 2—3 倍,土壤碳不仅在全球碳循环中占有重要的地位^[1],同时也是土壤异养生物参与营养物质再循环活动的重要能量来源^[2],因此增强土壤碳汇能力对于维持森林生产力具有重要的意义。碳、氮是土壤有机质最基本的组成元素,土壤全碳、全氮含量可以作为评价土壤肥力的重要指标^[3]。目前,世界人工林总面积为 1.87×10^8 hm²,中国人工林种植面积最大^[4],增强人工林土壤碳汇,是应对全球变化最有效的途径之一^[5-6]。

采伐剩余物管理是人工林常用的经营措施,最近 20 年有关采伐剩余物管理对人工林土壤碳氮含量的影响进行了大量的研究,但不同研究者得出的结论差别很大,甚至相反^[6-7]。Johnson 和 Curtis^[8]研究表明,总体而言采伐剩余物管理措施对土壤碳氮没有显著影响,但不同树种的影响存在差异。Nave 等^[7]发现,去除采伐剩余物显著降低始成土和老成土全碳含量,对灰化土和淋溶土影响不显著。Jandl 等^[6]认为采伐剩余物管理措施对土壤碳氮的影响随造林时间增加而减弱,不会产生持续影响。此外,采伐剩余物管理措施对气候较温暖地区土壤有机碳影响不显著^[9],但对温带森林土壤碳储量有显著影响^[7]。可见,全面了解采伐剩余物管理措施对森林土壤碳氮含量的影响和可能机制,应根据不同气候区、土壤类型和树种开展研究。

与全球同纬度其他地区相比,中国亚热带生态系统生产力高、碳储量大,生态过程对气候变化的响应多样^[10],被誉为回归线上的“绿洲”。杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook) 是中国亚热带地区重要的造林树种之一,材质优良,产量高,栽培面积最大,不仅为中国经济发展提供了大量商品用材,也是森林生态系统的重要组成部分^[4]。然而许多研究表明,杉木长期生长或连栽会引起林地土壤理化性质、生化特性变劣^[11-12],土壤肥力下降^[13]等问题,因此,杉木林采伐剩余物管理措施已引起广泛的重视。而目前国内有关采伐剩余物管理对杉木林土壤碳氮含量的长期影响还未见报道。为此,在世界林业研究中心(CIFOR)的发起和资助下,本研究在杉木中心产区福建省南平市峡阳国有林场,基于以往采伐剩余物管理措施对杉木林生长和土壤生化性质等方面的长期定位研究^[4],通过对试验样地 5 种采伐剩余物管理措施下 0—40 cm 深度土壤全碳、全氮含量 15a 数据进行整理,探讨采伐剩余物管理措施对杉木林土壤全碳、全氮含量的长期效应以及增加采伐剩余物是否提高杉木林土壤碳储量,以期研究亚热带地区人工林经营管理对土壤碳氮循环的影响提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在福建省南平市峡阳国有林场(117°59'E, 26°48'N),属于武夷山系南伸支脉,海拔高度在 200—260 m 之间,平均坡度在 28—36°之间。为中亚热带海洋季风气候,年平均气温 19.5℃,1 月平均气温 9.7℃,7 月平均气温 28.7℃,极端最低气温和最高气温分别为-5.8℃和 41℃。年平均降水量 1653 mm,多集中在 3—8 月,年平均蒸发量 1143 mm,年平均相对湿度 83%。土壤为变质岩发育的轻粘质红壤,表层疏松,土层深厚,土壤肥沃,但均含有少量的石砾。林下常见植被主要有:观音座莲(*Angiopteris fokiensis*)、狗脊

(*Woodwardia japonica*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)等。试验地前茬为 29 年生一代杉木纯林,试验地概况见表 1。

表 1 造林前 0—20 cm 土层土壤理化性质和杉木 15 年生时平均树高和胸径

Table 1 Soil physical and chemical properties in 0—20 cm layer before plantation and mean tree height and diameter at breast height at age 15 years in a Chinese fir plantation

Block 区组	造林前 Before plantation						造林 15a 后 At 15 years after plantation			
	海拔 Elevation /m	坡向 Aspect	坡度 Slope /(°)	有机质 Soil organic matter /(g/kg)	全氮 Total nitrogen /(g/kg)	pH	容重 Bulk density /(g/m ³)	容重 Bulk density /(g/m ³)	树高 Height /m	胸径 Diameter at breast height /cm
I	273	西	33	44.50	0.93	5.04	1.00	1.06	16.20	19.00
II	244	西	33	53.20	1.05	4.91	0.86	1.00	15.30	17.70
III	255	北	35	42.30	1.04	5.15	1.02	1.08	14.10	16.20
IV	230	东	33	52.60	1.01	4.90	0.88	0.93	15.70	18.00

1.2 试验设计

采用随机区组设计试验地,共设 4 个区组,每个区组设 5 个处理小区,小区面积为 600 m²(I、II、III 区组小区为 20 m×30 m,IV 区组小区为 24 m×25 m)。1996 年 10 月进行采伐剩余物处理后不再进行其他处理,5 个处理为:(1)去除采伐剩余物和地被层(收获地上所有有机质,BL0);(2)清理采伐剩余物,保留地被层(全树收获,BL1);(3)仅收获树干和树皮,保留采伐剩余物(保留采伐剩余物,BL2);(4)保留采伐剩余物,同时将 BL1 处理样地的采伐剩余物移放至此小区(加倍采伐剩余物,BL3);(5)将采伐剩余物和地被层火烧(炼山,SB)。试验地一代杉木林皆伐后产生的采伐剩余物生物量约为 26.1 Mg/hm²,地被层生物量约 9.9 Mg/hm²^[14]。试验小区分布见图 1。

1.3 栽培管理措施

1997 年 1 月采用穴状整地方式进行整地,穴规格为 50 cm×50 cm×40 cm(长度×宽度×深度),当年次月种杉木实生苗于穴内。杉木种植密度为每小区 150 株(密度 2500 株/hm²),与生产上的常规造林密度相同。1997 年 5 月每株杉木施 N、P、K 复合肥(营养元素净含量未知)100g。造林头 3a 每年进行 2 次(第 1 次在 5—7 月,第 2 次在 9—11 月)、第 4 年仅进行 1 次除草抚育,之后不再进行抚育。

1.4 土样采集与分析

土样采集时间为 1999(造林第 3 年)、2002(第 6 年)、2005(第 9 年)、2008(第 12 年)和 2011(第 15 年)年的 12 月或翌年 1 月,用直径为 5 cm 土钻按 0—10 cm、10—20 cm 和 20—40 cm 土层分层取样,在每个小区内沿小区对角线分布 10—12 个样点,将土样按相同土层混匀后取四分之一,装入自封袋带回实验室。对取好的土样,去除大的根系和石块,风干后过 2 mm 筛常温保存。测量时取各年份部分土样研磨后过 0.149 mm 筛,采用德国 Elementar 公司生产的碳氮元素分析仪(Vario Max)测定土壤全碳、全氮含量。土壤碳储量采用单位面积土层质量与其相应土层碳含量的乘积。造林前土壤有机质、全氮含量分别采用硫酸-重铬酸钾外加热法和凯氏定氮法分析,pH 值采用水浸提-酸度计法,土壤容重采用环刀法测定。

1.5 数据分析

采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验在相同取样年份采伐剩余物管理措施对试验地土壤全碳、全

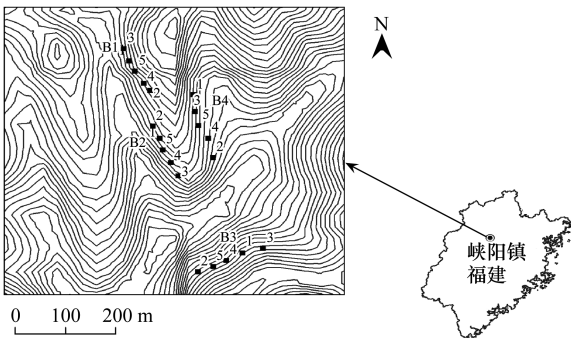


图 1 实验地地理位置和实验小区分布
Fig.1 Geographic location of the study site and the distribution of plots

处理 1=BL0,处理 2=BL1,处理 3=BL2,处理 4=BL3,处理 5=SB;
B1=区组 I,B2=区组 II,B3=区组 III,B4=区组 IV

氮含量及碳氮比值的影响, LSD 分析相同年份不同处理样地之间全碳、全氮含量及碳氮比的差异显著性, 重复测量方差分析 (repeated-measures ANOVA) 检验杉木造林 15a 期间采伐剩余物管理措施对土壤全碳、全氮含量及碳氮比值的影响。以上所有分析均在 SPSS 16.0 软件上进行。

2 结果与分析

2.1 土壤全碳含量变化

根据表 2, 5 次取样年份, BL3 (加倍采伐剩余物) 处理样地 0—10 cm 土层全碳含量均高于其他处理样地, LSD 分析显示造林第 3 年 (1999) BL3 处理样地 0—10 cm 土层全碳含量显著高于 SB (炼山) 处理样地 ($P < 0.05$), 但单因素方差分析表明, 5 次取样年份采伐剩余物管理措施对 0—10 cm, 10—20 cm 和 20—40 cm 土层全碳含量影响均不显著 ($P > 0.05$)。重复测量方差分析显示, 杉木造林 15a 期间, 3 个土层土壤全碳含量均随取样年份极显著变化 ($P < 0.01$, 表 3), 但处理方式、处理方式与取样年份的交互效应对土壤全碳含量影响不显著 ($P > 0.05$)。杉木 15 年生时, 采伐剩余物管理措施对所有土层碳储量影响不显著 ($P > 0.05$, 表 4), 不同采伐剩余物处理样地土壤容重差异不显著, 所有处理样地 0—40 cm 深度土壤碳储量平均值为 88.71 Mg/hm^2 。

表 2 杉木造林 15a 期间不同采伐剩余物管理样地 0—40 cm 深度土壤全碳含量

Table 2 Soil total C concentrations to the depth of 40 cm under different residue treatments during the first 15 years in a replanted Chinese fir plantation/

土层/cm Soil layer	年份 Year	土壤全碳含量 Soil total C concentrations/(g/kg)					P
		SB	BL0	BL1	BL2	BL3	
0—10	1999	26.34 (3.59)	29.27 (1.33)	30.14 (3.14)	28.99 (2.35)	32.89 (3.96)	0.32
	2002	28.78 (3.51)	26.59 (3.62)	24.69 (3.81)	27.72 (1.85)	30.24 (2.05)	0.43
	2005	29.19 (3.70)	29.53 (3.27)	28.93 (2.73)	28.45 (3.04)	32.53 (3.76)	0.65
	2008	27.61 (3.31)	28.81 (3.49)	29.86 (3.64)	29.39 (2.57)	32.86 (2.80)	0.43
	2011	25.27 (2.82)	23.68 (3.37)	23.47 (2.88)	25.44 (3.31)	26.38 (3.37)	0.97
10—20	1999	19.69 (3.77)	19.21 (0.77)	20.57 (2.59)	18.26 (1.79)	21.65 (2.29)	0.65
	2002	21.79 (3.09)	20.76 (3.19)	22.24 (2.44)	23.16 (1.14)	22.52 (2.16)	0.71
	2005	20.86 (3.36)	21.28 (1.95)	19.78 (3.20)	21.32 (0.61)	23.29 (1.85)	0.59
	2008	21.46 (3.26)	21.29 (2.17)	25.20 (1.26)	22.81 (2.37)	26.06 (2.75)	0.09
	2011	19.79 (3.09)	21.44 (1.42)	22.09 (2.19)	20.91 (3.47)	22.55 (3.14)	0.56
20—40	1999	15.04 (1.98)	14.79 (1.11)	14.68 (2.07)	14.37 (0.92)	14.29 (1.87)	0.98
	2002	18.29 (2.80)	15.40 (1.91)	16.18 (1.16)	16.20 (1.19)	16.60 (0.87)	0.66
	2005	15.40 (2.49)	15.99 (1.47)	15.08 (1.62)	16.37 (1.29)	17.39 (0.68)	0.60
	2008	16.09 (2.77)	16.02 (2.80)	16.68 (0.48)	17.11 (0.85)	16.56 (0.98)	0.89
	2011	14.85 (1.31)	15.78 (0.97)	17.13 (0.83)	16.44 (2.15)	16.50 (2.73)	0.40

括号内数据为标准偏差

表 3 杉木造林 15a 期间不同采伐剩余物管理样地土壤全碳、全氮含量及碳氮比值的重复测量方差分析表 (P)

Table 3 The repeated measures ANOVA for soil total C and N concentrations and C:N ratio under different residue treatments in a replanted Chinese fir plantation

土层 Soil layer/cm		全碳 Total C	全氮 Total N	碳氮比 C:N
0—10	年份 Year	0.00	0.00	0.00
	处理 Treatment	0.46	0.07	0.97
	年份×处理 Year × Treatment	0.82	0.81	0.86
10—20	年份 Year	0.00	0.00	0.00
	处理 Treatment	0.45	0.36	0.73
	年份×处理 Year × Treatment	0.38	0.51	0.95
20—40	年份 Year	0.01	0.00	0.00
	处理 Treatment	0.88	0.79	0.92
	年份×处理 Year × Treatment	0.78	0.36	0.99

表 4 杉木林 15 年生时不同采伐剩余物处理样地土壤碳储量

Table 4 Soil C stocks at the 0—40 cm depth in a replanted Chinese fir plantation under different residue treatments at age of 15 years

土层/cm Soil layer	土壤碳储量 Soil C stocks/(Mg/hm ²)					P
	BL0	BL1	BL2	BL3	SB	
0—10	26.54 (1.89)	26.48 (1.30)	27.89 (2.18)	27.99 (3.33)	27.85 (2.90)	0.79
10—20	23.59 (0.58)	23.78 (1.69)	22.56 (2.00)	23.61 (3.09)	21.91 (3.29)	0.74
20—40	38.39 (3.52)	40.28 (3.92)	38.43 (2.26)	38.76 (6.12)	35.45 (4.52)	0.62
合计 Total	88.53 (4.82)	90.54 (6.21)	88.94 (3.65)	90.36 (11.48)	85.21 (10.61)	0.88

括号内数据为标准偏差

2.2 土壤全氮含量变化

从表 5 可知,5 次取样年份,BL3(加倍采伐剩余物)处理样地 0—10 cm 土层土壤全氮含量均高于其他处理样地,LSD 分析显示造林第 3 年(1999)BL3 处理样地 0—10 cm 土层全氮含量显著高于 SB(炼山)处理样地 ($P<0.05$),造林第 12 年(2008)BL3 处理样地 0—10 cm 土层和 10—20 cm 土层全氮含量显著高于 SB 处理样地 ($P<0.05$),但单因素方差分析表明,5 次取样年份采伐剩余物管理措施对 3 个土层土壤全氮含量影响均不显著 ($P>0.05$)。重复测量方差分析表明,取样年份对所有土层全氮含量有极显著影响 ($P<0.01$,表 3),但处理方式、处理方式与取样年份的交互效应对所有土层全氮含量影响均不显著 ($P>0.05$)。

表 5 杉木造林 15a 期间不同采伐剩余物管理样地 0—40 cm 深度土壤全氮含量

Table 5 Soil total N concentrations to the depth of 40 cm under different treatments during the first 15 years in a replanted Chinese fir plantation

土层/cm Soil layer	年份 Year	土壤全氮含量 Soil total C concentrations/(g/kg)					P
		SB	BL0	BL1	BL2	BL3	
0—10	1999	2.00(0.15)	2.11(0.03)	2.19(0.15)	2.17(0.11)	2.36(0.17)	0.14
	2002	2.36(0.19)	2.20(0.12)	2.19(0.15)	2.35(0.08)	2.51(0.29)	0.26
	2005	2.25(0.27)	2.34(0.09)	2.29(0.12)	2.22(0.15)	2.48(0.12)	0.23
	2008	1.83(0.27)	1.98(0.12)	2.03(0.33)	1.90(0.11)	2.22(0.13)	0.13
	2011	2.18(0.24)	2.06(0.23)	2.11(0.12)	2.18(0.20)	2.26(0.11)	0.56
10—20	1999	1.60(0.18)	1.59(0.08)	1.66(0.12)	1.53(0.06)	1.66(0.05)	0.86
	2002	2.01(0.18)	1.92(0.14)	2.02(0.16)	2.00(0.06)	2.01(0.27)	0.71
	2005	1.83(0.20)	1.87(0.17)	1.76(0.16)	1.87(0.09)	1.88(0.03)	0.67
	2008	1.52(0.20)	1.53(0.13)	1.79(0.06)	1.58(0.06)	1.79(0.08)	0.10
	2011	1.30(0.21)	1.42(0.10)	1.40(0.22)	1.40(0.27)	1.40(0.09)	0.51
20—40	1999	1.37(0.12)	1.38(0.10)	1.34(0.08)	1.33(0.01)	1.31(0.05)	0.94
	2002	1.83(0.07)	1.53(0.09)	1.68(0.17)	1.61(0.05)	1.68(0.14)	0.24
	2005	1.54(0.09)	1.55(0.13)	1.52(0.03)	1.60(0.03)	1.58(0.08)	0.45
	2008	1.22(0.30)	1.26(0.21)	1.29(0.09)	1.25(0.08)	1.31(0.08)	0.79
	2011	1.05(0.08)	1.07(0.06)	1.14(0.18)	1.10(0.12)	1.10(0.20)	0.57

括号内数据为标准偏差

2.3 土壤碳氮比变化

单因素方差分析表明,在 5 次取样年份,采伐剩余物管理措施对 3 个土层碳氮比均影响不显著 ($P>0.05$,表 6)。重复测量方差分析表明,取样年份对 3 个土层碳氮比有极显著影响 ($P<0.01$,表 3),处理方式、处理方式与取样年份的交互效应对土壤碳氮比影响不显著 ($P>0.05$),所有土层碳氮比随年份变化趋势基本一致。

3 讨论与结论

Mendham 等^[15]对澳大利亚西南部桉树(*Eucalyptus globulus*)人工林的研究表明,造林 7a 期间采伐剩余物管理措施对土壤肥力较好地区土壤有机碳、全氮含量均没有显著影响,仅在某些年份对肥力较差地区有显著影响。Powers 等^[9]研究认为,采伐剩余物管理措施对北美地区不同树种造林 10 年期间土壤有机质含量影响

不显著。本研究中,杉木造林 15a 期间采伐剩余物管理措施对土壤全碳、全氮含量及碳氮比的影响均不显著,因此采伐剩余物管理对杉木林土壤碳氮含量的长期效应不显著。一般认为,采伐剩余物管理措施对土壤碳氮含量的影响主要体现在造林初期(<5a)^[7-8],但也有研究表明,采伐剩余物管理对土壤碳氮含量的影响存在持续效应(>10a)^[16-17]。Chen 等^[2]对澳大利亚亚热带地区 6 年生湿地松(*Pinus elliottii*)的研究发现,保留采伐剩余物样地土壤全碳、全氮含量显著高于去除采伐剩余物样地。本研究中,仅造林第 3 年和第 12 年 BL3(加倍采伐剩余物)处理样地 0—10 cm 土层土壤全碳、全氮含量显著高于 SB(炼山)处理样地。此外,本研究发现,杉木 15 年生时,采伐剩余物管理措施对 0—40 cm 深度土壤碳储量没有显著影响,这与 Jones 等^[18]对新西兰 17 年生辐射松 0—30 cm 深度土壤碳储量的研究结果一致。

表 6 杉木造林 15a 期间不同采伐剩余物管理样地 0—40 cm 土壤碳氮比

Table 6 Soil C/N ratio to the depth of 40 cm under different treatments during the first 15 years in a replanted Chinese fir plantation

土层 Soil layer	年份 Year	土壤碳氮比 Soil C/N ratio					P
		SB	BL0	BL1	BL2	BL3	
0—10 cm	1999	13.20(1.12)	13.83(0.96)	13.72(0.87)	13.36(0.54)	13.89(1.51)	0.86
	2002	12.14(1.53)	12.04(2.02)	11.15(0.70)	11.77(1.15)	12.06(1.09)	0.63
	2005	12.89(1.08)	12.62(0.98)	12.63(0.82)	12.83(1.29)	13.07(1.34)	0.97
	2008	15.01(0.96)	14.52(1.10)	14.71(1.19)	15.47(0.88)	14.91(0.84)	0.89
	2011	15.57(0.50)	15.58(1.18)	15.47(1.02)	15.03(0.52)	15.89(1.68)	0.74
10—20 cm	1999	12.35(1.03)	12.11(0.51)	12.44(0.70)	11.66(1.13)	13.02(1.61)	0.65
	2002	10.83(1.19)	10.84(2.14)	11.00(1.42)	11.59(0.32)	11.18(1.15)	0.74
	2005	11.34(1.07)	11.40(0.42)	11.22(0.90)	11.40(0.51)	12.40(1.05)	0.71
	2008	14.09(0.86)	13.94(0.87)	14.15(0.68)	14.40(1.04)	14.67(1.02)	0.95
	2011	15.18(0.96)	15.08(0.270)	15.71(1.20)	14.97(1.66)	16.09(1.59)	0.54
20—40 cm	1999	11.03(1.03)	10.72(0.51)	11.03(0.70)	10.77(1.13)	10.92(1.61)	0.93
	2002	9.93(1.19)	9.99(2.14)	9.62(1.42)	10.09(0.32)	9.88(1.15)	0.97
	2005	9.96(1.07)	10.29(0.42)	9.96(0.90)	10.25(0.51)	11.02(1.05)	0.75
	2008	13.16(0.86)	12.76(0.87)	13.07(0.68)	13.68(1.04)	12.78(1.02)	0.92
	2011	14.13(0.96)	14.83(0.27)	14.96(1.20)	14.82(1.66)	15.01(1.59)	0.67

括号内数据为标准偏差

采伐剩余物管理对人工林土壤碳氮的影响通常在表土层(0—10 cm)较大,并且有报道表明其持续效应可长达 15a^[5, 17]。本研究中,BL3 处理样地表土层(0—10 cm)全碳、全氮含量在 5 次取样年份均高于其他处理样地,但方差分析表明差异并不显著(表 2,表 5)。可能原因是,一方面加倍采伐剩余物将增加进入土壤的有机碳氮源,另一方面,亚热带地区的长期定位实验表明,增加采伐剩余物会增加土壤微生物量和土壤呼吸^[19-20]。相对减少采伐剩余物样地,增加的土壤呼吸将一定程度扣除增加采伐剩余物进入土壤的有机碳氮。虽然造林 15a 期间,杉木林土壤全碳、全氮含量随取样时间不同而显著变化,这主要与杉木在不同发育时期输入和输出土壤的有机碳氮不平衡有关^[4]。

研究表明,采伐剩余物管理措施对人工林土壤碳氮含量及碳氮比的影响因气候条件、造林树种和土壤类型等因素而异^[6-7]。水热条件是控制土壤有机质输入和分解的主要影响因子,水热条件较好的气候区,地表凋落物分解较快,其保留在土壤中的碳氮含量较少^[21-22]。Powers 等^[9]认为在气候较温暖地区(例如亚热带地区),采伐剩余物产生的有机碳大部分通过呼吸作用进入大气,进入土壤的有机碳较少。多数研究认为,人工林造林初期,由于林分郁闭度小,土壤温度高,造成有机质分解速率快,而且亚热带地区水热条件较好,可能采伐剩余物在杉木郁闭前就已经大量分解,进入土壤的碳氮量较少^[1, 16]。杨玉盛等^[23]研究表明,杉木林皆伐后由于地表裸露,采伐剩余物大量分解,1a 后采伐剩余物分解基本殆尽。此外,造林初期未形成林冠层,降雨也会造成大量土壤可溶性有机碳氮因淋溶而被转移出生态系统^[24],特别是本区雨季时间较长,且试验地均分布在山坡上,造林初期降雨导致的土壤碳氮损失不可忽视。不同造林树种,其在生产力、碳氮分配和凋落物(地

上枯枝落叶和地下死亡根系)数量质量等方面存在差异,使得受采伐剩余物管理对人工林土壤碳氮含量的效应也会有差异^[6, 21]。Nave 等^[7]认为,去除采伐剩余物对针叶林和针阔混交林土壤碳储量没有显著影响,但却显著减少阔叶林土壤碳储量。土壤有机碳氮主要来自地上枯枝落叶和根系周转产生的碎屑,凋落物的质和量及外界环境共同决定了土壤有机碳氮的含量^[25]。杉木凋落物形成后具有在树上宿存多年的特性,本试验地造林前 6a 基本无凋落物产生,在造林初期杉木林主要吸收土壤养分^[26],之后杉木凋落物逐年增加,但试验地不同处理小区多年凋落物归还量差异并不显著^[4]。同时,细根生物量和周转对土壤有机碳氮积累也起着重要的决定作用,但研究发现不同处理样地的细根生物量差别不大^[4]。因此,采伐剩余物管理对杉木凋落物归还量影响不大,也是造成不同处理小区碳氮含量差异不显著的重要原因。此外,不同的土壤类型,其土壤养分含量和质地的差异也可能会影响采伐剩余物管理对土壤碳氮含量的效应^[7, 21]。当土壤中碳氮储量较高,而采伐剩余物向土壤输入的碳氮量所占比重较小时,土壤自身的理化过程将会缓冲这种影响^[2, 7]。本试验地土壤全碳、全氮含量分别是澳大利亚湿地松人工林的 2—3 倍和 5—10 倍,所以保留采伐剩余物能显著增加湿地松人工林土壤碳氮含量^[2],而在本研究中影响却不显著。造林后土壤碳过程也受土壤质地的影响,具有高粘土活性的土壤,土壤碳变化受森林经营管理的影响较其他类型土壤要小^[22]。Scott 等^[27]对新西兰牧场转变为辐射松人工林 26a 后土壤碳过程的研究发现,具有高的粘土活性的土壤其碳储量没有变化,而其他类型的土壤其表土层碳储量均显著降低。本试验地土壤均为亚热带山地红壤,土壤质地黏重,这可能限制采伐剩余物管理措施对土壤碳氮含量的影响。

关于炼山对杉木人工林土壤肥力影响的研究,多数认为炼山在短期内(<1a)具有激肥效应,之后土壤肥力迅速下降,因而炼山是造成杉木林地力衰退的重要原因^[18, 28]。本研究中,虽然造林第 3 年和第 12 年时,0—10 cm 土层炼山处理样地土壤全碳、全氮含量均低于其他处理样地(表 2,表 5),炼山样地除某些年份在 0—10 cm 土层与加倍采伐剩余物样地土壤全碳、全氮含量有显著差异外,但与其他处理样地相比差异均不显著。这说明炼山对杉木林土壤碳氮含量的长期影响不显著,同时加倍采伐剩余物可以一定程度增加土壤碳氮含量。杨玉盛等^[23]研究发现,杉木造林 2a 内,炼山会造成严重的水土流失使得表土层(0—10 cm)土壤全碳、全氮含量大量损失,但之后土壤养分将逐渐恢复。本研究中,土壤养分状况比较好,土壤肥沃,也使得炼山处理对土壤全碳、全氮含量的长期影响不明显^[4]。类似地,在澳大利亚西南部桉树人工林造林 7a 期间,炼山对土壤肥力较好地区的土壤碳氮含量影响不显著^[15]。同时,炼山后土壤取样的时间间隔也有重要的影响^[6]。以往的研究多认为炼山在杉木造林初期会显著降低土壤养分,本研究中土壤取样的时间间隔相对较长,可能炼山对土壤碳氮含量的影响在造林初期已有所恢复。

通过加强对人工林的经营管理,促进其碳汇功能增加,被认为是应对全球气候变化最有效的途径^[1, 4]。但是,本研究中增加采伐剩余物并未能显著增加杉木林 0—40 cm 深度土壤碳储量,表明采伐剩余物管理措施对提高杉木人工林土壤碳汇功能的作用不大。虽然土壤容重等物理性质是影响土壤碳储量的重要因素,但对试验地土壤容重多年的测量并未发现不同处理样地存在显著差异,且土壤容重随年份变化较小(未发表数据),Powers 等^[9]亦认为采伐剩余物管理对北美地区不同造林树种土壤结构影响不显著。

总之,采伐剩余物管理措施对本区杉木人工林土壤全碳、全氮含量长期影响不显著,这可能与亚热带地区水热条件较好,土壤有机质矿化速率较高有关,也与本区土壤性质和杉木树种特性有关。近年来,通过同位素示踪、光谱分析、分子标记技术和野外长期定位实验均表明,根系周转和菌根活动对土壤碳过程有重要的影响^[29-31]。本研究中,大量的采伐剩余物输入对土壤碳氮含量影响不显著,一定程度暗示了本区土壤碳、氮含量受地表有机质输入的影响相对较小,可能主要受植物根系周转的控制。因此,未来应加强植物根系周转对亚热带人工林土壤碳氮循环影响机制的研究。

致谢:感谢 E. K. S. Nambiar 博士、A. Tiarks 博士、C. Cossalter 先生和中国林业科学院研究院热带林业研究所徐大平博士对试验地建设的指导和帮助,以及峡阳林场翁贤权和杨旭静等对试验地的维护。

References:

- [1] Lal R. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220(1/3): 242-258.
- [2] Chen C R, Xu Z H. Soil carbon and nitrogen pools and microbial properties in a 6-year-old slash pine plantation of subtropical Australia: impacts of harvest residue management. *Forest Ecology and Management*, 2005, 206(1/3): 237-247.
- [3] McFarlane K J, Schoenholtz S H, Powers R F, Perakis S S. Soil organic matter stability in intensively managed ponderosa pine stands in California. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 74(3): 979-992.
- [4] Huang Z, He Z, Wan X, Hu Z, Fan S, Yang Y. Harvest residue management effects on tree growth and ecosystem carbon in a Chinese fir plantation in subtropical China. *Plant and Soil*, 2013, 364(1/2): 303-314.
- [5] Jones H S, Garrett L G, Beets P N, Kimberley M O, Oliver G R. Impacts of harvest residue management on soil carbon stocks in a plantation forest. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(6): 1621-1627.
- [6] Jandl R, Lindner M, Vesterdal L, Bauwens B, Baritz R, Hagedorn F, Johnson D W, Minkinen K, Byrne K A. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 2007, 137(3/4): 253-268.
- [7] Nave L E, Vance E D, Swanston C W, Curtis P S. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(5): 857-866.
- [8] Johnson D W, Curtis P S. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management*, 2001, 140(2/3): 227-238.
- [9] Powers R F, Andrew Scott D, Sanchez F G, Voldseth R A, Page-Dumroese D, Elioff J D, Stone D M. The North American long-term soil productivity experiment: Findings from the first decade of research. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220(1/3): 31-50.
- [10] Yang Y S, Guo J, Chen G, Xie J, Gao R, Li Z, Jin Z. Carbon and nitrogen pools in Chinese fir and evergreen broadleaved forests and changes associated with felling and burning in mid-subtropical China. *Forest Ecology and Management*, 2005, 216(1/3): 216-226.
- [11] Yang C D, Zhang X Q, Jiao R Z, Wei Y R, Feng F J. Variatio of chemical properties, biochemical, microorganism activities and function in soil of successive rotation of Chinese fir and their influence on growing. *Scientia Silvea Sinicea*, 1996, 32(2): 175-181.
- [12] Yang Y S, Qiu R H, Yu X T, He Z M, Huag B L. Atudy on soil humus and fertility characteristic in the 29 year-old plantations of chinese fir on different rotations. *Scientia Silvea Sinicea*, 1999, 35(3): 116-119.
- [13] Yu X T, Zhang Q S. Study on the enzyme activities and fertilities of soil in a Chinese fir repeated plantation woodland. *Journal of Fujian college of forest*, 1989, 9(3): 256-262.
- [14] Fan S H, Yang C D, He Z M, He Z Y, Lin S Z, Lu S T, Ying J H, Yang X J. Effects of site management in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations in Fujian province, China. //Workshop Proceedings of Center for International Forestry Research: a progress report. Bogor: Center for international forest research, 1999: 83-85.
- [15] Mendham D S, O'Connell A M, Grove T S, Rance S J. Residue management effects on soil carbon and nutrient contents and growth of second rotation eucalypts. *Forest Ecology and Management*, 2003, 181(3): 357-372.
- [16] Vanguelova E, Pitman R, Luiro J, Helmisaari H S. Long term effects of whole tree harvesting on soil carbon and nutrient sustainability in the UK. *Biogeochemistry*, 2010, 101(1/3): 43-59.
- [17] Huang Z, Clinton P W, Davis M R. Post-harvest residue management effects on recalcitrant carbon pools and plant biomarkers within the soil heavy fraction in *Pinus radiata* plantations. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(2): 404-412.
- [18] Jones H S, Beets P N, Kimberley M O, Garrett L G. Harvest residue management and fertilisation effects on soil carbon and nitrogen in a 15-year-old *Pinus radiata* plantation forest. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262(3): 339-347.
- [19] Schaefer D A, Feng W, Zou X. Plant carbon inputs and environmental factors strongly affect soil respiration in a subtropical forest of southwestern China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 1000-1007.
- [20] Sayer E J. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews*, 2006, 81(1): 1-31.
- [21] Yan M F, Zhang X S, Jiang Y, Zhuo G S. Effects management practices on forest plantation soil carbon: A review. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(11): 2265-2271.
- [22] Shi J, Liu J Y, Gao Z Q, Cui L L. A review on the influence of afforestation on siol carbon storage. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4): 410-416.
- [23] Yang Y S, Chen G S, Wang X G, Xie J S, Dong B, Li Z, Gao R. Effects of clear-cutting on soil respiration of Chinese fir plantation. *Acto Pedologica Sinica*. 2005, 42(4): 584-590.

- [24] Parfitt R L, Salt G J, Saggart S. Post-harvest residue decomposition and nitrogen dynamics in *Pinus radiata* plantations of different N status. *Forest Ecology and Management*, 2001, 154(1/2): 55-67.
- [25] Raich J W, Tufekciogul A. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1): 71-90.
- [26] Zhang J C, Sheng W T. The study on decay of dead branches and leaves on living trees taken from crown into litter environment in a Chinese fir plantation, compared with decay in canopy. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(6): 2-10.
- [27] Scott N A, Tate K R, Ford-Robertson J, Giltrap D J, Smith C T. Soil carbon storage in plantation forests and pastures: land-use change implications. *Tellus B*, 1999, 51(2): 326-335.
- [28] Yang Y S, He Z M, Ma X Q, 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.
- [29] Kramer C, Trumbore S, Fröberg M, Cisneros Dozal L M, Zhang D, Xu X, Santos G M, Hanson P J. Recent (<4 year old) leaf litter is not a major source of microbial carbon in a temperate forest mineral soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42(7): 1028-1037.
- [30] Dungait J A J, Hopkins D W, Gregory A S, Whitmore A P. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. *Global Change Biology*, 2012, 18(6): 1781-1796.
- [31] Rasse D, Rumpel C, Dignac M F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, 2005, 269(1): 341-356.

参考文献:

- [11] 杨承栋, 张小泉, 焦如珍, 魏以荣, 冯福娟. 杉木连栽土壤组成、结构、性质变化及其对林木生长的影响. *林业科学*, 1996, 32(2): 175-181.
- [12] 杨玉盛, 邱仁辉, 俞新妥, 何宗明, 黄宝龙. 不同栽植代数 29 年生杉木林土壤腐殖质及结合形态的研究. *林业科学*, 1999, 35(3): 116-119.
- [13] 俞新妥, 张其水. 杉木连栽林地土壤生化特性及土壤肥力的研究. *福建林学院学报*, 1989, 9(3): 256-262.
- [21] 闫美芳, 张新时, 江源, 周广胜. 主要管理措施对人工林土壤碳的影响. *生态学杂志*, 2010, 29(11): 2265-2271.
- [22] 史军, 刘纪远, 高志强, 催林丽. 造林对土壤碳储量影响的研究. *生态学杂志*, 2005, 24(4): 410-416.
- [23] 杨玉盛, 陈光水, 王小国, 谢锦升, 董彬, 李震, 高人. 皆伐对杉木人工林土壤呼吸的影响. *土壤学报*, 2005, 42(4): 584-590.
- [26] 张家城, 盛伟彤. 杉木人工林树上宿存枯死枝、叶在冠层与在枯枝落叶层分解的比较研究. *林业科学*, 2001, 37(6): 2-10.
- [28] 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.

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 Jianet 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