

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第7期 Vol.34 No.7 **2014**

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 34 卷 第 7 期

2014 年 4 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 何奕忻, 吴宁, 朱求安, 等 (1615)
- 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素 阿米娜木·艾力, 常顺利, 张毓涛, 等 (1626)

个体与基础生态

- 小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应 李兴欢, 刘瑞鹏, 毛子军, 等 (1635)
- 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响 吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 等 (1645)
- 庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 白秀梅, 韩有志, 郭汉清 (1654)
- 思茅松天然林树冠结构模型 欧光龙, 肖义发, 王俊峰, 等 (1663)
- 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐, 黄翼, 彭良志, 等 (1672)
- 斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播 李宁, 王征, 鲁长虎, 等 (1681)
- 重金属铅与两种淡水藻的相互作用 刘璐, 闫浩, 李诚, 等 (1690)
- 刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化 姜森颖, 周一兵, 唐伯平, 等 (1698)
- 控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 王银平, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等 (1707)
- 五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 犹昌艳, 杨宇, 胡飞, 等 (1716)

种群、群落和生态系统

- 西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价 林柳, 金延飞, 陈德坤, 等 (1725)
- 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化 李凡, 徐炳庆, 马元庆, 等 (1736)
- 长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响 蒋敏, 沈明星, 沈新平, 等 (1746)
- 极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程 周宏, 张恒嘉, 莫非, 等 (1757)

景观、区域和全球生态

- 流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 林炳青, 陈兴伟, 陈莹, 等 (1772)
- 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 徐维新, 辛元春, 张娟, 等 (1781)
- 丽江城市不同区域景观美学 郭先华, 赵千钧, 崔胜辉, 等 (1794)
- 珠三角河网水域栅藻的时空分布特征 王超, 李新辉, 赖子尼, 等 (1800)
- 博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系 王博雯, 汤祥明, 高光, 等 (1812)
- 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别 吴浩, 李岩, 史文中, 等 (1822)
- 川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应 靳翔, 徐庆, 刘世荣, 等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

城乡与社会生态

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例.....

..... 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)

浑河河水及其沿岸地下水污染特征 崔 健,都基众,王晓光 (1860)

社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 余中元,李 波,张新时 (1870)

研究简报

等渗 NaCl 和 Ca(NO₃)₂胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

专家观点

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

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/stxb201310162495

吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 任卫岭, 刘小飞, 杨玉盛. 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响. 生态学报, 2014, 34(7): 1645-1653.

Wu B B, Guo J F, Wu J J, Ren W L, Liu X F, Yang Y S. Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1645-1653.

采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响

吴波波^{1,2}, 郭剑芬^{1,2,*}, 吴君君^{1,2}, 任卫岭^{1,2}, 刘小飞^{1,2}, 杨玉盛^{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)

摘要:对福建省大武夷山常绿阔叶林野外站三明观测点的 35 年生米槠天然更新次生林皆伐后采伐剩余物进行不同处理(火烧 LB、保留 LR)后表层土壤(0—10 cm)主要生化特性、芳香性指数、腐殖化程度以及酶活性进行研究。结果表明:半年后,与 LB 相比,LR 土壤可溶性有机碳、可溶性有机氮和微生物量碳含量分别增加 92%、105% 和 39%,土壤有效磷含量和代谢熵值下降 42% 和 68%,土壤酸性磷酸酶、 β -葡萄糖苷酶和纤维素水解酶活性增加了 3.3 倍、2.8 倍和 2.1 倍,酚氧化酶活性下降了 34% ($P < 0.05$)。LR 土壤芳香性指数 (4.99 ± 2.39) 较低,腐殖化指数 (1.72 ± 0.01) 较高,但与 LB 均无显著差异 ($P > 0.05$)。1a 后,LB 除土壤 β -葡萄糖苷酶活性略有降低外,其他 3 种土壤酶活性较半年前均显著上升。土壤有机碳、全氮、可溶性有机碳氮、有效磷、土壤碳矿化速率和土壤腐殖化指数较半年时显著下降,其中土壤可溶性有机碳含量减少近 80%,代谢熵减少近 68% ($P < 0.05$)。LR 土壤芳香性指数 (10.58 ± 0.34) 较半年前显著增加 ($P < 0.05$)。处理 1a 后 LB 土壤有效磷含量 (1.71 ± 0.12) mg/kg 显著高于 LR,但 LR 土壤可溶性有机碳、可溶性有机氮含量和土壤碳矿化速率较 LB 仍明显更高 ($P < 0.05$)。可见,采伐剩余物不同处理对森林土壤质量存在不同程度的影响,保留采伐剩余物有利于改善林地水热条件和养分循环,对地力的维持有利。

关键词:采伐剩余物;土壤生化特性;酶活性

Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity

WU Bobo^{1,2}, GUO Jianfen^{1,2,*}, WU Junjun^{1,2}, REN Weiling^{1,2}, LIU Xiaofei^{1,2}, YANG Yusheng^{1,2}

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

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

Abstract: Changes of surface soil biochemical properties, aromaticity index, humification degree and enzyme activity for half a year and one year were studied in different logging residue treatments in a clear-cut 35-year-old secondary *Castanopsis carlesii* forest. Logging residue treatments included residue burned (LB) and residue remained (LR). The research results showed that: after six months, in comparing with LB, soil dissolved organic C, dissolved organic N and microbial biomass C contents in the LR increased by 92%, 105% and 39% respectively. Soil acid phosphatase, β -1,4-glucosidase and cellobiohydrolase activities increased by 3.3, 2.8 and 2.1 times. But soil available P content and metabolic quotient in the LR decreased by 42% and 68%. Phenol oxidase activity decreased by 34% ($P < 0.05$). Compared with the LB, soil aromaticity index (4.99 ± 2.39) was much lower and humification index (1.72 ± 0.01) much higher in the LR. However, there were no significant differences in soil aromaticity index and humification index between the two treatments ($P > 0.05$). One year later, soil enzyme activities significantly increased in the LB treatment except β -1,4-glucosidase. Contents of soil organic C, total N, dissolved organic C, dissolved organic N, available P, C mineralization rate and humification index in the LB treatment decreased significantly compared with six-month values, especially dissolved organic C and

基金项目:国家自然科学基金重点项目(31130013)

收稿日期:2013-10-16; 修订日期:2014-02-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jfguo@fjnu.edu.cn

metabolic quotient decreased by nearly 80% and 68%. One year after treatment, soil aromaticity index (10.58 ± 0.34) in the LR increased significantly. Soil available P (1.71 ± 0.12) mg/kg content in the LB was also significantly higher than in the LR, while dissolved organic C, dissolved organic N and soil C mineralization rate in the LR were much higher ($P < 0.05$). In conclusion, surface soil properties will be influenced by different treatments of logging residue. Logging residues remained will be benefit to improve forest hydrothermal conditions, nutrient cycling of the ecosystems and helpful for soil quality maintenance.

Key Words: logging residue; soil biochemical property; enzymatic activity

有关采伐剩余物的研究以往主要集中在采伐剩余物的分解及其影响因素等方面^[1],而关于采伐剩余物不同处理对森林土壤质量的影响研究较少。目前在我国南方林区常用火烧来清理采伐剩余物,火烧对土壤的影响主要包括土壤结构的改变或破坏^[2]、土壤有机质的减少^[3]、土壤养分的下降^[4]等,而 Arcenegui 实验认为火烧会导致土壤结构稳定性的增加^[5],McIntosh 发现采伐剩余物火烧短期能增加表层土壤的养分有效性^[6],尤其在酸性缺磷的土壤中,火烧后有效磷会出现短时间的增加^[7]。采伐剩余物是林地土壤有机质和养分元素的重要来源,经分解和淋溶作用自然腐烂后可以增加土壤有机碳含量^[8]。Gómez-Rey 认为保留采伐剩余物将会带来表土层氮损失增加,这些氮损失又将影响更新林分的生长和生产力^[9],因此采伐剩余物不同处理方式对土壤生态过程的影响得到了林学家和生态学家的高度重视。

土壤质量不仅取决于土壤的理化性质,而且与土壤的生物学性质密切相关。由于土壤微生物量转化速率比较快,同时又是土壤养分的重要来源,因此在土壤养分循环过程中起着十分重要的作用^[10]。土壤微生物代谢熵($q\text{CO}_2$,即土壤微生物呼吸释放的 CO_2 -C 量与土壤微生物量碳比值)的变化能够反映土壤微生物对土壤碳的利用效率和土壤生态系统演化的程度及其受干扰程度^[11]。芳香性指数能够反映芳香化合物的含量,液相 ^1H 核磁共振的结果表明 254 nm 的紫外吸光值与芳香 H 的含量呈正相关关系^[12]。腐殖化指数可以用来表征土壤的腐殖化程度^[13]。此外,土壤酶直接参与土壤中物质的转化、养分释放和固定过程,能够表征土壤 C、N、P 等养分的循环状况^[14]。有关酶活性的研究目前主要集中于土壤酶活性状况及其影响因素和土壤酶活性与其

理化性状的关系方面^[15],对不同林地干扰下土壤酶活性变化则报道较少。

我国湿润亚热带是全球同纬度带少有的“绿洲”,分布着世界上面积最大、最典型的常绿阔叶林,是全球亚热带生物多样性的中心。同时,本区降雨量丰富且集中,加上山高、坡陡,以花岗岩发育土壤抗蚀性差,山区生态系统较为脆弱,对人类干扰响应极为敏感。本文着重从森林表土生化特性及酶活性角度,比较采伐剩余物不同处理方式的影响差异,这有助于进一步深入了解不同强度人为干扰对森林土壤生态过程的影响,为地力维持及森林的合理经营提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验样地概况

试验地设在福建省三明市金丝湾森林公园陈大林业采育场($26^{\circ}19' \text{ N}$, $117^{\circ}36' \text{ E}$),样地总面积达到 17.1 hm^2 。地处戴云山脉西北面、武夷山脉东南面,是以低山丘陵为主的山区;平均海拔 330 m,平均坡度 30° — 40° ,属中亚热带季风气候,年均气温 18.5°C ,年均降雨量 1745 mm(主要集中在 3—8 月份),年均蒸发量 1585 mm,相对湿度 81%。土壤为黑云母花岗岩发育的红壤,土壤厚度超过 1 m。土壤基本性质见表 1。

1.2 样地设置及采样方法

拟采伐林分为 1978 年经强度择伐后天然更新的次生林,乔木层主要有米槠(*Castanopsis carlesii*)、闽粤栲(*Castanopsis fissa*)、木荷(*Schima superba*)等,以米槠占优势,其平均树高 19.7 m,胸径 13.5 cm,密度 2650 株/hm^2 ,林下植被主要有狗骨柴(*Tricalysia dubia*)、毛冬青(*Ilex pubescens*)、矩圆叶鼠刺(*Itea chinensis*)、沿海紫金牛(*Ardisia punctata*)、狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)等。

表 1 米楮次生林土壤性质

Table 1 The soil properties of secondary forest of *Castanopsis carlesii*

土层深度 Soil depth /cm	酸碱度 pH	全氮 TN /(g/kg)	全磷 TP /(g/kg)	全钾 TK /(g/kg)	微生物量碳 MBC /(mg/kg)	土壤密度 Volume weight /(g/cm ³)
0—10	4.40±0.05	1.74±0.17	0.15±0.04	42.27±11.09	476.03±33.20	0.95±0.03
10—20	4.40±0.11	1.24±0.50	0.14±0.03	51.66±12.27	377.39±35.20	1.04±0.03
20—40	4.30±0.27	0.61±0.01	0.11±0.05	48.62±15.67	317.34±43.10	1.20±0.06

表中数据为平均值±标准偏差

2012 年 3 月 28 日对米楮天然更新次生林进行皆伐,采伐剩余物设置两种处理,即保留(LR)、火烧(LB)。LR 采用传统的“stem-only”方法进行皆伐,只取走具商业价值的干材和皮,其它有机物质部分装入 180 个分解袋并按随机加局部控制的原则分别位于上、中、下坡均匀分布(每个坡面 60 袋,共 5 列,每列 12 袋,分别为叶、枝、细枝、中等枝和粗枝);LB 即传统的处理方法,伐后采伐剩余物(叶子和细枝)留在原地进行火烧。每种处理面积约 20 m × 20 m,各处理 3 个重复,6 块样地立地条件相似,按随机区组排列。

半年和 1a 后,在每个 LR 处理样地的 180 个分解袋下分别随机选取 10 个采样点,每个 LB 处理样地的上、中、下坡随机选取 10 个采样点,用直径 4 cm 的土钻取 0—10 cm 深的表层土壤,然后充分混合成一个土样,一共 6 袋,之后迅速带回实验室进行室内分析。每个土样分两个部分,一部分 4℃ 保存用于土壤微生物量碳、土壤碳矿化、土壤酶活性等测定;另一部分在室温下风干,分别过 2 mm 和 0.125 mm 筛,用于土壤基本化学性质测定。

1.3 分析方法

土壤有机碳氮用德国 Elementar vario MAX 碳氮元素分析仪测定;可溶性有机碳用总有机碳测试仪 TOC-VCPH 测定;全磷采用硫酸-高氯酸消煮法提取待测溶液;氨氮、硝氮、亚硝氮、有效磷和全磷用连续流动分析仪 skalar san⁺⁺测定。

土壤微生物量碳用氯仿熏蒸浸提方法并用连续流动分析仪 skalar san⁺⁺测定,微生物量碳计算公式:微生物量 C = EC (熏蒸后土壤浸提出的有机碳量 - 未熏蒸土壤浸提出的有机碳量) / k_{EC} (其中 k_{EC} = 0.38)。土壤矿化释放 CO₂ 量用碱液吸收盐酸滴定法测定。土壤酶活性分析按 Saiya-Cork 和 Sinsabaugh 方法测定,提取待测液体用 Synergy H4 多功能酶标仪测定。

芳香性指数(AIX)是 254 nm 紫外吸光值(cm^{-1})乘以 100 (m^{-1}),再除以溶液可溶性有机碳的浓度 (mg/L);腐殖化指数(HIX)定义为发射光谱中 $\Sigma 435—480 \text{ nm}$ 与 $\Sigma 300—345 \text{ nm}$ 的面积比(以上相关实验全部通过 3 次重复实验完成)。

1.4 数据处理

数据经 Excel 整理后,采用 SPSS17.0 软件包进行单因素方差(One-Way ANOVA),不同处理之间多重比较采用 LSD 方法。绘图由 excel 软件完成。

2 结果

2.1 采伐剩余物不同处理方式下次生林表土的化学性质

采伐剩余物不同处理方式对次生林表土化学性质影响不同(表 2)。半年内,2 种处理土壤间有机碳、全氮、全磷、硝态氮和亚硝氮均无显著差异($P > 0.05$)。与 LB 相比,LR 土壤可溶性有机碳氮含量明显更高($P < 0.05$),其中可溶性有机氮含量($7.61 \pm 1.41 \text{ mg/kg}$)是 LB 的 2.05 倍。LB 土壤有效磷含量($2.23 \pm 1.77 \text{ mg/kg}$)显著高于 LR($1.30 \pm 0.29 \text{ mg/kg}$) ($P < 0.05$)。LB 土壤氨氮含量显著低于 LR($P < 0.05$)。1a 后,LB 较半年前土壤的氨氮、硝态氮和亚硝氮含量显著增加,而有机碳、全氮、可溶性有机碳氮含量、有效磷含量显著下降($P < 0.05$),LR 变化趋势与其一致,其中 LB 土壤可溶性有机碳含量($11.68 \pm 2.77 \text{ mg/kg}$)减少近 80%。处理 1a 后 LB 土壤有效磷含量($1.71 \pm 0.12 \text{ mg/kg}$)显著高于 LR,但 LR 可溶性有机碳氮含量和土壤碳矿化速率较 LB 仍明显更高($P < 0.05$)。

2.2 采伐剩余物不同处理对次生林表土微生物学性状影响

从表 3 可见,处理半年时 LR 土壤微生物量碳含量($317.58 \pm 79.14 \text{ mg/kg}$)是 LB 的 1.38 倍,代谢熵($3.90 \pm 0.20 \text{ } \mu\text{g mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)比 LB 低 68.06% ($P <$

0.05)。土壤微生物熵 LR>LB,但差异不显著($P > 0.05$)。LB 土壤矿化释放 CO_2 量为 $(2.70 \pm 0.14) \mu\text{g mg}^{-1} \text{h}^{-1}$,明显高于 LR $(1.23 \pm 0.23) \mu\text{g mg}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。1a 后,LR 土壤微生物量碳、土壤碳矿化、代谢熵和微生物熵较半年前有所上升,其中土壤碳矿化速率 $(1.86$

$\pm 0.08) \mu\text{g mg}^{-1} \text{h}^{-1}$ 显著高于 LB ($P < 0.05$)。LB 土壤微生物量碳和微生物熵较半年前显著上升,土壤碳矿化显著减少,代谢熵 $(4.76 \pm 0.40) \mu\text{g mg}^{-1} \text{h}^{-1}$ 显著减少近 68% ($P < 0.05$)。

表 2 采伐剩余物不同处理方式土壤化学性质

Table 2 Soil chemical properties in different treatments of logging residue

处理 Treatment	时间 Time/a	有机碳 Soil organic C/(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	全磷 Total P /(g/kg)	有效磷 Available P /(mg/kg)	氨氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ /(mg/kg)	硝氮+亚硝氮 $\text{NO}_3^-\text{-N}+\text{NO}_2^-\text{-N}$ (mg/kg)	可溶性有机碳 Dissolved organic C /(mg/kg)	可溶性有机氮 Dissolved organic N /(mg/kg)
LR	0.5	24.39 $\pm$ 1.30aA	1.56 $\pm$ 0.16aA	0.14 $\pm$ 0.00aA	1.30 $\pm$ 0.29bA	14.59 $\pm$ 2.30aA	13.71 $\pm$ 4.15aA	99.34 $\pm$ 29.56aA	7.61 $\pm$ 1.41aA
LB		22.15 $\pm$ 4.58aA	1.57 $\pm$ 0.26aA	0.13 $\pm$ 0.01aB	2.23 $\pm$ 1.77aA	10.58 $\pm$ 3.68bA	15.44 $\pm$ 5.91aA	51.61 $\pm$ 12.71bA	3.71 $\pm$ 1.62bB
LR	1	21.30 $\pm$ 0.91aA	1.39 $\pm$ 0.04bA	0.10 $\pm$ 0.00bA	0.82 $\pm$ 0.03bA	38.74 $\pm$ 1.12aB	13.76 $\pm$ 4.49aA	42.82 $\pm$ 10.33aB	6.20 $\pm$ 0.19aA
LB		17.68 $\pm$ 5.12bB	1.26 $\pm$ 0.32bB	0.10 $\pm$ 0.01bB	1.71 $\pm$ 0.12aB	26.64 $\pm$ 1.85aB	19.61 $\pm$ 2.29aB	11.68 $\pm$ 2.77bB	3.47 $\pm$ 1.43bB

平均值 $\pm$ 标准差;同一列标有不同小写字母表示不同处理间差异显著,标有不同大写字母表示同一处理不同取样时间之间差异显著($P < 0.05$)

表 3 采伐剩余物不同处理方式土壤微生物学特征

Table 3 Soil microbial properties in different treatments of logging residue

处理 Treatment	时间 Time/a	微生物量碳(C_{bio}) Microbial biomass C/(mg/kg)	基础呼吸(BR) Basal respiration /($\text{CO}_2\text{-C}$, $\mu\text{g mg}^{-1} \text{h}^{-1}$)	代谢熵($q\text{CO}_2$) Metabolic quotient /(C/C_{bio} , $\mu\text{g mg}^{-1} \text{h}^{-1}$)	微生物熵($C_{\text{bio}}/C_{\text{org}}$) Microbial quotient/%
LR	0.5	317.6 $\pm$ 79.14bA	1.23 $\pm$ 0.23aA	3.90 $\pm$ 0.20aA	13.01 $\pm$ 3.20bA
LB		229.2 $\pm$ 82.03aA	2.70 $\pm$ 0.14bA	12.21 $\pm$ 2.76bA	10.34 $\pm$ 2.53bA
LR	1	327.1 $\pm$ 68.82bA	1.86 $\pm$ 0.08aA	5.84 $\pm$ 1.02aA	15.30 $\pm$ 2.71aA
LB		285.9 $\pm$ 16.31bB	1.36 $\pm$ 0.12bB	4.76 $\pm$ 0.40aB	17.24 $\pm$ 5.59aB

注:平均值 $\pm$ 标准差;同一列标有不同小写字母表示不同处理间差异显著,标有不同大写字母表示同一处理不同取样时间之间差异显著($P < 0.05$)

2.3 采伐剩余物不同处理对次生林表土芳香性和腐殖化程度影响

由图 1 看出,处理半年时与 LB 相比,LR 土壤芳香性指数 (4.99 ± 2.39) 较低,腐殖化指数 (1.72 ± 0.01) 较高,但均无显著差异($P > 0.05$)。1a 后,LR 土壤芳香性指数 (10.58 ± 0.34) 较半年前显著增加,并显著高于 LB 1.6 倍之多($P < 0.05$)。LB 土壤腐殖化指数 (1.20 ± 0.13) 较半年前显著降低,比 LR 小 36.5%。

2.4 采伐剩余物不同处理对次生林表土酶活性影响

采伐剩余物各处理对土壤酶活性影响不同(表 4)。半年时 LR 土壤酸性磷酸酶 $(180.01 \pm 3.61) \text{nmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 、 β -葡萄糖苷酶 $(13.21 \pm 1.77) \text{nmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 、纤维素水解酶 $(0.39 \pm 0.01) \text{nmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 活性均显著高于 LB,而酚氧化酶 $(54.59 \pm 4.16) \text{nmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 活性显著低于 LB ($P < 0.05$)。1a 后,除 β -葡萄糖苷酶活性略有降低外,LB 其他 3 种土壤酶活性较半年

前均显著上升($P < 0.05$),其中酚氧化酶 $(364.39 \pm 5.62) \text{nmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 增加近 4.5 倍并与 LR 有显著差异($P < 0.05$),其他几种酶与 LR 无显著差异($P > 0.05$)。LR 土壤酸性磷酸酶和 β -葡萄糖苷酶活性较半年前有所下降,酚氧化酶 $(83.67 \pm 5.27) \text{nmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 活性显著增加($P < 0.05$),纤维素水解酶活性也有所增加。

3 讨论

3.1 采伐剩余物对次生林表土化学性质的影响

处理半年时,和 LB 相比,LR 土壤可溶性有机碳氮含量较高,有研究表明这是由于采伐后剩余物的可溶性有机碳氮易被雨水淋洗进入土壤表层造成的^[16]。1a 后,分解基本结束,部分地表植被开始恢复,这也导致林地表层土壤养分因植被恢复时被大量吸收而减少^[17]。随着时间的推移,林地表层土

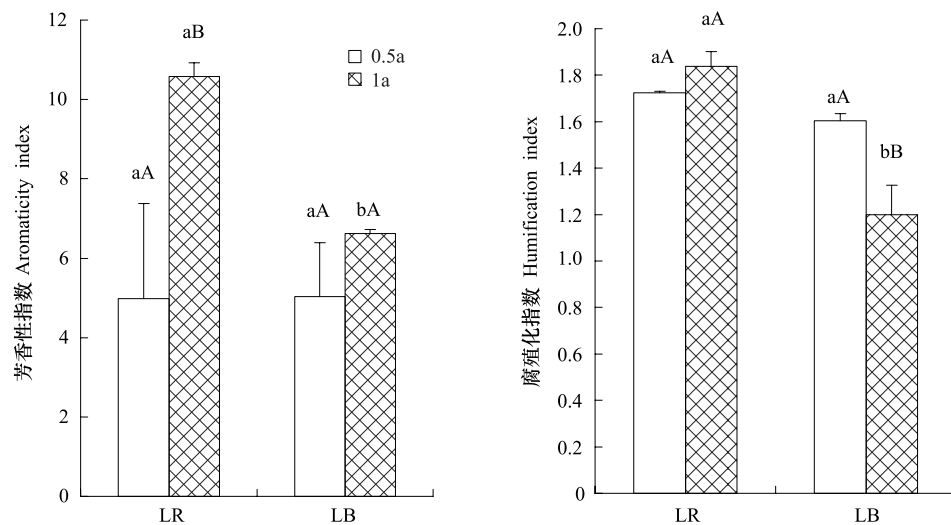


图1 采伐剩余物不同处理方式土壤芳香性指数和腐殖化指数

Fig.1 Soil aromaticity index and humification index in different treatments of logging residue

直方柱上标有不同小写字母的表示不同处理间差异显著,标有不同大写字母的表示同一处理不同取样时间之间差异显著 ($P < 0.05$)

表4 采伐剩余物不同处理方式土壤酶活性

Table 4 Soil enzymatic activities in different treatments of logging residue

处理 Treatment	时间 Time/a	酸性磷酸酶 Acid phosphatase /(nmol g ⁻¹ h ⁻¹)	β -葡萄糖苷酶 β -1,4-glucosidase /(nmol g ⁻¹ h ⁻¹)	纤维素水解酶 Cellobiohydrolase /(nmol g ⁻¹ h ⁻¹)	酚氧化酶 Phenol Oxidase /(nmol g ⁻¹ h ⁻¹)
LR	0.5	180.01±3.61aA	13.21±1.77aA	0.39±0.01aA	54.59±4.16aA
LB	0.5	54.01±1.12bA	4.71±0.68bB	0.19±0.01bA	82.17±6.78bA
LR	1	170.03±3.57aA	9.45±2.12aB	0.41±0.09aA	83.67±5.27aB
LB	1	149.12±2.71aB	4.37±2.12aB	0.35±0.01aB	364.39±5.62bB

平均值±标准差;同一列标有不同小写字母的表示不同处理间差异显著,标有不同大写字母的表示同一处理不同取样时间之间差异显著 ($P < 0.05$)

壤可溶性养分不断减少,这也促成了养分滤出量减少。本研究 LR 土壤硝态氮和亚硝氮含量 1a 后变化不大,可能是因为 LR 大部分沉淀物中的无机氮化合物被有效的保留在大量采伐剩余物当中,保留的采伐剩余物中通过雨水淋洗渗入土壤中的无机氮较少^[18]。而氨氮含量却显著增加,这可能是腐烂的采伐剩余物和生物残骸层有机质矿化作用增强的结果^[19]。

Page-Dumroese 研究表明,在火烧之后 1a 内林地表层以下 30 cm 的土壤有机碳含量减少了近 80%^[20]。本研究,火烧后 LB 土壤有机碳含量减少可能因为火烧强度大造成大量有机碳损失^[21],也可能是火烧后表层土壤板结易受暴雨侵蚀导致有机碳大量损失^[22]。杨玉盛等在福建尤溪粉砂岩发育的山地红壤研究指出,火烧后第 1 年水土流失导致有机质的流失量达 489.39t/hm²^[23]。大多数研究表

明,火烧后无论是全磷、无机磷还是有效磷含量均迅速增加^[24],特别是火烧强度较大的火烧迹地有效磷含量增加明显^[25]。本研究中,和 LR 相比,火烧后半年明显增加了土壤有效磷含量,这与火烧后残留的灰分进入表层矿质土壤及表土温度升高而使土壤养分矿化速度加快有关^[26]。1a 后, LB 有效磷含量依然最高,因南方地区酸性土壤的有效磷含量极低,火烧后其含量的增加无疑对南方地区林木的更新具有积极意义。LB 土壤可溶性有机碳含量 1a 后减少近 80%,可溶性有机氮含量变化不大,这表明可溶性有机碳对火烧响应更为敏感。Fisher 研究发现,火烧剩余物后,通过氧化(气化)、蒸发(挥发)、灰分颗粒对流、增加可溶性离子的淋溶,加速了地表侵蚀, LB 可溶性有机碳含量可能因此迅速降低^[27]。Smithwick 对林火后北方针叶林无机氮的变化研究发现,林火后氮挥发、有机质经高温溶解、无机氮沉积等现象都

有发生,林地表层无机氮的增加可能和林地表层物质燃烧量及火烧强度成正比^[28]。LB 土壤有机质碳化和植被层火烧后有机残体与无机物堆积,加上火烧后土壤温度升高、固氮植物减少、土壤微生物减少固氮能力降低导致氮矿化速率增加,氨氮、硝态氮和亚硝氮含量随之增加,这表明 LB 表层土壤一年来硝化作用在不断增强。

3.2 采伐剩余物对次生林表土生物特性的影响

土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力,其本身既是土壤养分的贮备库,也参与有机质的分解、腐殖质的形成、养分的转化和循环的各个生化过程,发挥着极为重要的作用^[29]。LR 中采伐剩余物分解为微生物提供了养分和能量来源,从而导致半年后 LR 土层中土壤微生物量碳含量比 LB 高。随着土壤微生物量碳转换加快,微生物熵也变大,土壤有机碳周转速率随之加快^[30]。 qCO_2 值的变化能够反映土壤微生物种群利用土壤有机成分的效率,半年后, LB 土壤的 qCO_2 值最高, LR 的最低,表明 LR 土壤微生物利用土壤养分效率最高^[31]。通常情况下,火烧引起的高温可以直接杀死土壤微生物^[32],短期内会引起土壤微生物生物量的显著下降^[33],部分土壤养分、微生物量碳及微生物熵相比 LR 有所降低,但随后由于自然恢复植被产生的死地被物积累与逐步分解,土壤养分含量又开始增加。火烧后一年内林地光照充足,地表温度升高,土壤微生物量碳和微生物熵较半年前小幅上升, qCO_2 值显著下降,土壤碳矿化减少并显著小于 LR,这将导致土壤养分循环速率的提高。这与黄熬梅的研究结论“土壤质量提高,土壤 qCO_2 有减少的趋势一致^[34]”。表明随着火烧后时间的增加,迹地生态环境可能在逐渐改善,这将有利于植被的快速恢复。但也说明 LB 土壤微生物生物量要经过很长时间才能恢复到火烧前水平。Fritze 研究发现松林要经历长达 12a 才能使微生物生物量恢复到火烧前的水平^[35]。因此,在进行皆伐炼山过程中,土壤进行强烈的矿质化作用,这对土壤养分及时供应是有利的,但对养分的蓄持是不利的,因而要尽量减少火烧的强度和持续时间,减少对土壤微生物群落的影响。LR 采伐剩余物残体主要积累在表土层中,相应地可供微生物维持生命活动的能量充足,因而 LR 土壤微生物量碳、土壤碳矿化、代谢熵和微生物熵较半年前有所上升。

3.3 采伐剩余物对次生林表土芳香性和腐殖化程度的影响

王清奎等人认为芳香性指数可以粗略地反映腐殖质的芳化分子程度和分子量的大小,其值越大,分子的复杂程度越高,芳香族原子团越多,缩合程度越高。相反,值越小,则芳香性小,脂肪侧链多,光密度较小^[36]。由图 1 看出,半年时 LR 与 LB 土壤芳香性指数差异不显著,说明采伐剩余物处理半年对芳香化物的吸附影响不明显。当它在土壤表层覆盖采伐剩余物后其吸光值逐渐升高, 1a 后, LR 芳香性指数较半年前显著增加,这是 LR 对芳香化合物优先吸附的结果,说明保留采伐剩余物后土壤腐殖质中的芳香物质的缩合程度高。LB 腐殖化指数较半年前显著降低,与 1a 后土壤芳香性变化趋势相似。Michel 研究认为腐殖化指数较大的土壤中含有更多的大分子物质,比如缩合的芳香环和芳香化合物,这些都是腐殖质中所含有的典型大分子物质^[37]。杨秀虹室内分解实验与本研究结果类似, LR 采伐剩余物的输入和分解短期内增加了土壤可溶性有机碳含量,一些大分子量的物质可以优先被吸附在土壤中,土壤芳香类组分增多,团聚化程度增加,促进了土壤有机物质的转化,加快了营养元素循环,为林木生长提供更多的营养物质,同时也积累了较多的腐殖质,起到了培肥改土的作用^[38]。LB 土壤的吸附作用大致呈现下降的趋势, 1a 后腐殖化指数较半年前显著降低,这是由于火烧时火对表层土壤的灼烧,表层土壤腐殖质遭分解,不但数量上减小,其品质亦发生一定的变化^[39]。Pérez 研究表明,火烧能减少表层土壤有机质中能降低物质溶解度的表面含氧基团,减小烷基化合物如烷烃、脂肪酸和醇的链长,使糖和脂类发生芳构化,腐殖质大分子缩合等^[40]。Jenkinson 发现土壤中腐殖质含量及所占比例下降与林地枯死物数量减少和质量下降有关,与营林措施采取(特别是炼山措施反复使用)导致其分解有关^[41]。本研究中,虽然 LB 半年内差异不是很明显,但随着时间的推移, LB 土壤腐殖化度减弱,腐殖质大分子缩合,复杂程度降低,芳香族原子团减少,结合度变弱,而脂肪族结构增大,土壤腐殖质团粒化作用降低,分解和裂解矿物的作用加强,表层土壤腐殖质品质变差,活化度变弱,这对保持森林土壤良好结构的能力不利。

3.4 采伐剩余物对次生林表土酶活性的影响

土壤酶是土壤生物化学过程的积极参与者,在森林生态系统中的物质循环和能量流动过程中扮演着重要的角色^[42],对于土壤生态系统中的 C、N 循环具有重要作用^[43]。火烧之后,土壤酶活性的变化随酶的种类、火烧时间和火烧强度而异。半年时 LR 土壤酸性磷酸酶、 β -葡萄糖苷酶、纤维素水解酶活性明显比 LB 土壤的更高,尤其是土壤酸性磷酸酶和 β -葡萄糖苷酶,这说明土壤输入采伐剩余物土壤碳氮元素循环较快,土壤质量明显改善,而严重火烧引起的高温使酶变性而失去活性^[44]。这与其他相关研究结果类似。如:Boerner 和 Brinkman 发现,频繁火烧迹地降低了森林土壤中酸性磷酸酶和 β -葡萄糖苷酶活性^[45],Miesel 的研究也表明火烧后一年内加州混合针叶树森林相对未火烧区域酸性磷酸酶活性下降 33%^[46],Hamman 等发现严重火烧后 2—3a,土壤酶活性仍低于火烧前水平^[47]。LR 表层土壤覆盖了较多采伐剩余物及其已分解的腐殖质,有机质含量高转化快,利于微生物生长,加之表层水热条件和通气状况良好,微生物生长旺盛,代谢活跃,呼吸强度加大,从而使表层土壤的 β -葡萄糖苷酶活性较高。由于土壤酚氧化酶活性与土壤腐殖化程度呈负相关^[48],本研究中 LB 土壤酚氧化酶活性较高,这表明火烧使土壤粗腐殖质较多,土壤腐殖化程度低,而 LR 土壤酚氧化酶活性较低,说明 LR 土壤有较强的合成腐殖质的能力,因此能积累更多的营养物质,为林木生长提供基础。总体上,LR 土壤微生物数量的增加和土壤酶活性增强,表明土壤的生物活性得到了提高,其势必加速土壤养分的循环速率,促进林木的生长,有利于土壤肥力的提高^[49]。

1a 后采伐剩余物分解基本结束,LR 土壤较半年前微生物生物量变化不大,酸性磷酸酶、 β -葡萄糖苷酶活性略有降低,纤维素水解酶活性有所增加,土壤腐殖化程度加深,说明此时 LR 以腐殖质合成作用占优势,表层土壤养分变化不大。LB 因其改变了林下生境的光热条件,火烧迹地地表裸露,土壤热量状况较好,促进了微生物的繁衍,除 β -葡萄糖苷酶活性少许降低外,LB 土壤酶活性较半年前有所上升,土壤磷酸酶增加,酶促作用能加速有机物磷元素的脱磷速度,提高磷元素的有效性,使得 LB 土壤有效磷的含量较 LR 土壤的大。但随时间延长,LB 土壤酚氧

化酶活性增加近 4.5 倍,合成腐殖质的能力大大降低,这对土壤养分及时供应是有利,但对养分的蓄持是不利的。

4 结论

林地表层土壤生化性质及酶活性对采伐剩余物不同处理方式反应比较敏感,尤其是可溶性有机碳、微生物量碳和酚氧化酶。半年内,LR 土壤微生物利用土壤养分效率最高,除酚氧化酶外其他 3 种酶活性均高于 LB。LB 对土壤养分及时供应有利,但随时间延长,严重火烧引起的高温使酶变性而失去活性,1a 后 LB 土壤酶活性有所上升,但芳香族原子团变少,土壤腐殖质品质变差;LR 土壤养分较半年前变化不大,但积累了较多的腐殖质,起到了培肥改土的作用。总体上采伐剩余物保留对林地表层土壤质量的改善效果比火烧更明显。

References:

- [1] Kaila A, Asam Z Z, Sarkkola S, Xiao L W, Laurén A, Vasander H, Nieminen M. Decomposition of harvest residue needles on peatlands drained for forestry-Implications for nutrient and heavy metal dynamics. *Forest Ecology and Management*, 2012, 277: 141-149.
- [2] Badía D, Martí C. Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management*, 2003, 17(1): 23-41.
- [3] Hatten J A, Zabowski D, Ogden A, Thies W. Soil organic matter in a ponderosa pine forest with varying seasons and intervals of prescribed burn. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(7): 2555-2565.
- [4] Wanthongchai K, Bauhus J, Goldammer J G. Nutrient losses through prescribed burning of aboveground litter and understorey in dry dipterocarp forests of different fire history. *Catena*, 2008, 74(3): 321-332.
- [5] Arcenegui V, Mataix-Solera J, Guerrero C, Zornoza R, Mataix-Beneyto J, García-Orenes F. Immediate effects of wildfires on water repellency and aggregate stability in Mediterranean calcareous soils. *Catena*, 2008, 74(3): 219-226.
- [6] McIntosh P D, Laffan M D, Hewitt A E. The role of fire and nutrient loss in the genesis of the forest soils of Tasmania and southern New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220(1/3): 185-215.
- [7] Talkner U, Jansen M, Beese F O. Soil phosphorus status and turnover in central-European beech forest ecosystems with differing tree species diversity. *European Journal of Soil Science*, 2009, 60

- (3): 338-346.
- [8] Nilsen P, Strand L T. Thinning intensity effects on carbon and nitrogen stores and fluxes in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand after 33 years. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(3): 201-208.
- [9] Gómez-Rey M X, Vasconcelos E, Madeira M. Lysimetric study of eucalypt residue management effects on N leaching and mineralization. *Annals of Forest Science*, 2007, 64(7): 699-706.
- [10] Niklińska M, Chodak M, Laskowski R. Characterization of the forest humus microbial community in a heavy metal polluted area. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(12): 2185-2194.
- [11] Hu Y L, Wang S L, Huang G Y, Yu X J. Effects of litter chemistry on soil biological property and enzymatic activity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2662-2668.
- [12] Kalbitz K, Schmerwitz J, Schwesig D, Matzner E. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma*, 2003, 113(3/4): 273-291.
- [13] Ohno T. Fluorescence inner-filtering correction for determining the humification index of dissolved organic matter. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36(4): 742-746.
- [14] Liu S J, Xia X, Chen G M, Mao D, Che S G, Li Y X. Study progress on functions and affecting factors of Soil Enzymes. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(21): 1-7.
- [15] Liu X Q, Zhang T, Sun X L. The relation between soil enzyme activities and soil fertility factors in the low hill lands along Yantze River. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(7): 341-344.
- [16] Kreutzweiser D P, Hazlett P W, Gunn J M. Logging impacts on the biogeochemistry of boreal forest soils and nutrient export to aquatic systems: a review. *Environmental Reviews*, 2008, 16(1): 157-179.
- [17] Xi J B, Xing S J, Song Y M, Zhang J F, Zhang J G, Dong Z C. Characteristics of soil salt and nutrient of different afforestation systems in Yellow River Delta Area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(S1): 33-38.
- [18] Wall A. Effect of removal of logging residue on nutrient leaching and nutrient pools in the soil after clearcutting in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(6): 1372-1383.
- [19] O'connell A M, Grove T S, Mendham D S, Rance S J. Impact of harvest residue management on soil nitrogen dynamics in Eucalyptus globulus plantations in south western Australia. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(1): 39-48.
- [20] Page-Dumroese D S, Jurgensen M F. Soil carbon and nitrogen pools in mid-to late-successional forest stands of the northwestern United States: potential impact of fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006, 36(9): 2270-2284.
- [21] Knicker H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry*, 2007, 85(1): 91-118.
- [22] Mills A J, Fey M V. Frequent fires intensify soil crusting: physicochemical feedback in the pedoderm of long-term burn experiments in South Africa. *Geoderma*, 2004, 121(1/2): 45-64.
- [23] Qiu R H, Zhou X N, Yang Y S. Environmental protection technology for forest harvesting. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(2): 144-151.
- [24] Schafer J L, Mack M C. Short-term effects of fire on soil and plant nutrients in palmetto flatwoods. *Plant and Soil*, 2010, 334(1/2): 433-447.
- [25] Cade-Menun B J, Berch S M, Preston C M, Lavkulich L M. Phosphorus forms and related soil chemistry of Podzolic soils on northern Vancouver Island. II. The effects of clear-cutting and burning. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, 30(11): 1726-1741.
- [26] Homann P S, Bormann B T, Darbyshire R L, Morrisette B A. Forest soil carbon and nitrogen losses associated with wildfire and prescribed fire. *Soil Science Society of America Journal*, 2011, 75(5): 1926-1934.
- [27] Fisher R F, Binkley D. *Ecology and Management of Forest Soils*. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [28] Smithwick E A H, Turner M G, Mack M C, Chapin F S. Postfire soil N cycling in northern conifer forests affected by severe, stand-replacing wildfires. *Ecosystems*, 2005, 8(2): 163-181.
- [29] Zhang B Y, Chen T L, Wang B. Effects of long-term uses of chemical fertilizers on soil quality. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(11): 182-187.
- [30] Vance E D, Chapin F S. Substrate limitations to microbial activity in taiga forest floors. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(2): 173-188.
- [31] Anderson T H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 98(1/3): 285-293.
- [32] Wüthrich C, Schaub D, Weber M, Marxer P, Conedera M. Soil respiration and soil microbial biomass after fire in a sweet chestnut forest in southern Switzerland. *Catena*, 2002, 48(3): 201-215.
- [33] Pietikäinen J, Hiukka R, Fritze H. Does short-term heating of forest humus change its properties as a substrate for microbes?. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(2): 277-288.
- [34] Huang Y M, An S S, Xue H. Responses of soil microbial biomass C and N and respiratory quotient (qCO_2) to revegetation on the Loess Hilly-Gully region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2811-2818.
- [35] Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 2005, 143(1): 1-10.
- [36] Wang Q K, Wang S L, Feng Z W, Deng S J, Gao H. An overview on studies of soil organic matter in Chinese fir plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1947-1952.

- [37] Michel K, Matzner E, Dignac M F, Kögel-Knabner I. Properties of dissolved organic matter related to soil organic matter quality and nitrogen additions in Norway spruce forest floors. *Geoderma*, 2006, 130(3/4): 250-264.
- [38] Yang X H, Peng L J, Li S Y, Wang S Z. Effect of mangrove leaf litter decomposition on soil dissolved organic matter. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(6): 924-930.
- [39] Vergnoux A, Rocco D R, Domeizel M, Guiliano M, Doumenq P, Théraulaz F. Effects of forest fires on water extractable organic matter and humic substances from Mediterranean soils: UV-vis and fluorescence spectroscopy approaches. *Geoderma*, 2011, 160(3/4): 434-443.
- [40] González-Pérez J A, González-Vila F J, Almendros G, Knicker H. The effect of fire on soil organic matter—a review. *Environment International*, 2004, 30(6): 855-870.
- [41] Jenkinson D S, Andrew S P S, Lynch J M, Goss M J, Tinker P B. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 1990, 329(1255): 361-368.
- [42] Yang W Q, Wang K Y. Advances in forest soil Enzymology. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(2): 152-159.
- [43] Cao H, Shun H, Yang H, Sun B, Zhao Q G. A review soil enzyme activity and its indication for soil quality. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(1): 105-109.
- [44] Xue L, Kuang L G, Cheng H Y, Tan S M. Soil nutrients, microorganisms and enzyme activities of different stands. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 280-285.
- [45] Boerner R E J, Brinkman J A. Fire frequency and soil enzyme activity in southern Ohio oak-hickory forests. *Applied Soil Ecology*, 2003, 23(2): 137-146.
- [46] Miesel J R, Boerner R E J, Skinner C N. Soil nitrogen mineralization and enzymatic activities in fire and fire surrogate treatments in California. *Canadian Journal of Soil Science*, 2011, 91(6): 935-946.
- [47] Hamman S T, Burke I C, Knapp E E. Soil nutrients and microbial activity after early and late season prescribed burns in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(3): 367-374.
- [48] Hu Y L, Wang S L, Yan S K, Gao H. Effects of replacing natural secondary broad-leaved forest with *Cunninghamia lanceolata* plantation on soil biological activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1411-1416.
- [49] Xue L, Xiang W J, He Y J, Li Y, Wu M, Xu Y, Qu M. Effects of different ground clearance on soil fertility of Chinese fir stands. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1417-1421.

参考文献:

- [11] 胡亚林, 汪思龙, 黄宇, 于小军. 凋落物化学组成对土壤微生物学性状及土壤酶活性的影响. *生态学报*, 2005, 25(10): 2662-2668.
- [14] 刘善江, 夏雪, 陈桂梅, 卯丹, 车升国, 李亚星. 土壤酶的研究进展. *中国农学通报*, 2011, 27(21): 1-7.
- [15] 刘秀清, 章铁, 孙晓莉. 沿江丘陵区土壤酶活性与土壤肥力的关系. *中国农学通报*, 2007, 23(7): 341-344.
- [17] 郝金标, 邢尚军, 宋玉民, 张建锋, 张建国, 董振成. 黄河三角洲不同造林模式下土壤盐分和养分的变化特征. *林业科学*, 2007, 43(S1): 33-38.
- [23] 邱仁辉, 周新年, 杨玉盛. 森林采伐作业环境保护技术. *林业科学*, 2002, 38(2): 144-151.
- [29] 张北赢, 陈天林, 王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响. *中国农学通报*, 2010, 26(11): 182-187.
- [34] 黄熬梅, 安韶山, 薛虹. 黄土丘陵区草地土壤微生物 C、N 及呼吸熵对植被恢复的响应. *生态学报*, 2009, 29(6): 2811-2818.
- [36] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 邓仕坚, 高洪. 杉木人工林土壤有机质研究. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1947-1952.
- [38] 杨秀虹, 彭琳婧, 李适宇, 王诗忠. 红树植物凋落叶分解对土壤可溶性有机质的影响. *生态环境学报*, 2013, 22(6): 924-930.
- [42] 杨万勤, 王开运. 森林土壤酶的研究进展. *林业科学*, 2004, 40(2): 152-159.
- [43] 曹慧, 孙辉, 杨浩, 孙波, 赵其国. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(1): 105-109.
- [44] 薛立, 邝立刚, 陈红跃, 谭绍满. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究. *土壤学报*, 2003, 40(2): 280-285.
- [48] 胡亚林, 汪思龙, 颜绍馥, 高洪. 杉木人工林取代天然次生阔叶林对土壤生物活性的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1411-1416.
- [49] 薛立, 向文静, 何跃君, 李燕, 吴敏, 徐燕, 屈明. 不同林地清理方式对杉木林土壤肥力的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1417-1421.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)
- Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

Autecology & Fundamentals

- Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing'an mountain LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)
- Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)
- Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)
- Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)
- Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)
- Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et al (1681)
- Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)
- Annual variations of the primary productivity and its size-fractioned structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)
- Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp WANG Yinping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)
- Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

Population, Community and Ecosystem

- Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et al (1725)
- Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)
- Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xinpeng, et al (1746)
- Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)
- Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)
- Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)
- Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

- Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten
 WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)
- Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm
 WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)
- Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan
 JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)
- An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources
 in the northwestern
 Pacific Ocean FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case
 GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)
- Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River
 CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)
- Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)
- Research Notes**
- Effects of iso-osmotic $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings
 ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)
- View Point**
- The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction SHEN Guofang (1891)

《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,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 魏辅文

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 34 卷 第 7 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 7 (April, 2014)

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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元