

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

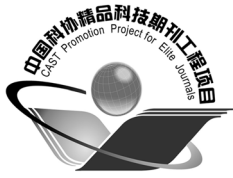


中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2015

第52卷 第3期

Vol.52 No.3



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

## 目 次

### 综述与评论

- 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究····· 蔡祖聪 张金波 黄新琦等 (469)
- 土壤裂隙及其优先流研究进展····· 张中彬 彭新华 (477)

### 研究论文

- 东北典型黑土区农耕土壤团聚体流失特征····· 温磊磊 郑粉莉 沈海鸥等 (489)
- 青藏高原永冻土活动层厚度预测指标集的建立及制图····· 陈吉科 赵玉国 赵 林等 (499)
- 贡嘎山海螺沟冰川退缩区土壤序列矿物组成变化····· 杨子江 邴海健 周 俊等 (507)
- 成都典型区水稻土有机碳组分构成及其影响因素研究····· 廖 丹 于东升 赵永存等 (517)
- 河北省土壤温度与干湿状况的时空变化特征····· 曹祥会 雷秋良 龙怀玉等 (528)
- 喀斯特小流域土壤饱和导水率垂直分布特征····· 付同刚 陈洪松 王克林 (538)
- 大沽河中游地区土壤水与浅层地下水转化关系研究····· 杨玉峥 林 青 王松禄等 (547)
- 化学转化法测定水体中硝酸盐的氮氧同位素比值····· 王 曦 曹亚澄 韩 勇等 (558)
- <sup>13</sup>C脉冲标记定量研究施氮量对光合碳在水稻-土壤系统中分布的影响 ···· 刘 萍 江春玉 李忠佩 (567)
- 垄作免耕对稻田垄埂土壤有机碳累积和作物产量的影响····· 慈 恩 王莲阁 丁长欢等 (576)
- 施入<sup>15</sup>N标记氮肥在长期不同培肥土壤的残留及其利用 ····· 赵 伟 梁 斌 周建斌 (587)
- 长期不同施肥对红壤性水稻土产量及基础地力的影响····· 鲁艳红 廖育林 周 兴等 (597)
- 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响····· 冀建华 侯红乾 刘益仁等 (607)
- 高粱分泌硝化抑制物对羟基苯丙酸与质子泵的关系研究····· 周金泉 张明超 魏志军等 (620)
- 钝化剂-锌肥降低烟草镉含量长期效果研究 ····· 曹晨亮 王 卫 马义兵等 (628)
- 钾肥和腐殖酸互作对烤烟有机钾盐指数的影响····· 郑东方 许嘉阳 许自成等 (637)
- 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响····· 张 凯 郑 华 陈法霖等 (646)
- 荒漠区生物土壤结皮对土壤酶活性的影响····· 杨航宇 刘艳梅 王廷璞 (654)
- 高量秸秆不同深度还田对黑土有机质组成和酶活性的影响····· 矫丽娜 李志洪 殷程程等 (665)
- 链霉菌JD211对水稻幼苗促生作用及土壤细菌多样性的影响 ····· 王世强 魏赛金 杨陶陶等 (673)

### 研究简报

- 基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价····· 贡 璐 张雪妮 冉启洋 (682)
- 铁膜对水稻根表面电学性质和氮磷钾短期吸收的影响····· 郑芸芸 李忠意 李九玉等 (690)
- 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化····· 夏 昕 石 坤 黄欠如等 (697)
- 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征····· 王合云 李红丽 董 智等 (706)

### 信息

- 2015国际土壤年 ····· (696)

封面图片：稻田裂隙二维与三维图像 (由张中彬提供)

DOI: 10.11766/trxb201407020337

# 桉树取代马尾松对土壤养分和酶活性的影响\*

张 凯<sup>1</sup> 郑 华<sup>1†</sup> 陈法霖<sup>2</sup> 欧阳志云<sup>1</sup> 兰 俊<sup>3</sup> 吴永富<sup>3</sup> 项学武<sup>3</sup>

(1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

(2 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128)

(3 广西国有东门林场, 广西崇左 532108)

**摘 要** 桉树取代马尾松造林是我国南方典型土地利用变化类型之一, 为了探讨该土地利用变化对土壤质量的影响, 采用成对设计方法, 研究了我国广西桉树取代马尾松造林对土壤养分、微生物生物量和酶活性的影响。结果表明: 桉树取代马尾松造林后, 土壤全碳、易分解碳库、中等易分解碳库、难分解碳库、全氮和碱解氮含量显著降低, 但速效磷显著增加, 这可能是由于桉树林施肥和磷素在土壤中移动性弱导致; 土壤微生物生物量碳、氮、酚氧化酶、过氧化物酶、蛋白酶、脲酶和酸性磷酸酶活性显著降低。树种变化、桉树林轮伐期短、林下植被差、炼山、翻耕等可能是土壤养分、微生物和酶活性降低的驱动因子; 施肥有助于缓解土壤养分降低。在林地转变和经营时, 适当保持林下植被和凋落物、减少土壤扰动和合理施肥将有助于改善土壤质量, 实现桉树林的可持续经营。

**关键词** 桉树; 马尾松; 土壤养分; 微生物生物量; 酶活性

**中图分类号** S714.8 **文献标识码** A

植被是影响土壤的重要因子。在中国, 由于天然林破坏造成的土地退化十分严重。为了改善土地退化状况, 同时满足日益增加的木材需求, 外来速生丰产树种被广泛引种造林, 并逐渐取代本地树种。桉树是热带和亚热带地区广泛引进的造林树种, 占世界人工林面积的23%<sup>[1]</sup>。我国南方地区过去多以本地马尾松作为造林树种, 但因其生长缓慢、病虫害严重、经济效益低, 现已大部分被桉树取代。据中国桉树研究中心报道, 至2010年底, 我国桉树人工林面积超过 $3.68 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。大面积桉树造林推动了木材经济的发展, 但也造成本地植被和生态环境的破坏<sup>[2]</sup>, 其中林地土壤退化问题引起了广泛关注<sup>[3]</sup>。

土壤是林地可持续发展的基础, 桉树造林是土壤生态系统特征变化的重要驱动力。大量研究表明, 桉树造林显著降低了土壤有机碳、养分元素<sup>[4]</sup>以及微生物生物量和代谢活性<sup>[5-6]</sup>。Lemenih<sup>[4]</sup>在埃塞俄比亚的研究发现, 相比于农业用地, 桉树

人工林土壤全碳、全氮、盐基饱和度、阳离子交换量、可利用磷钾和交换性钙显著较低, 表明桉树造林引起土地退化。但也有研究认为桉树造林不改变, 甚至增加了土壤养分库<sup>[7-9]</sup>。邓荫伟等<sup>[8]</sup>研究发现10年林龄桉树林土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量均接近或超过马尾松和杉木林; Maquere等<sup>[10]</sup>研究发现灌木稀树草原转变为桉树林后, 不管是短期轮伐还是持续生长, 经过60年后, 表层土壤碳储量显著增加。可见, 桉树造林对土壤养分的影响仍存在争论, 这可能与造林前土地类型、桉树品种、轮伐期和施肥等管理措施有关, 仍需进一步研究。

在我国南方, 大面积马尾松林被桉树林替代。本文采用成对设计方法, 从土壤养分、微生物和酶活性方面, 研究了桉树取代马尾松造林对土壤质量的影响, 探讨了驱动土壤质量变化的可能因素, 以期全面了解桉树造林生态效应和桉树人工林土壤养分管理提供依据。

\*国家自然科学基金项目(31170425, 40871130)和中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX2-EW-QN406)资助

†通讯作者, E-mail: zhenghua@cees.ac.cn

作者简介: 张 凯(1986—), 男, 河南获嘉人, 博士研究生, 主要研究土壤养分循环。E-mail: zhangkai4595241@163.com

收稿日期: 2014-07-02; 收到修改稿日期: 2014-10-09

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区崇左市扶绥县东门镇周边(22°14'~22°21' N, 107°47'~107°56' E)。该区域属于典型的亚热带季风气候, 年均温度为21.2~22.3 °C, 年降雨量为1 100~1 300 mm, 主要集中在6—8月, 年潜在蒸发量为1 704 mm。研究区域以丘陵为主, 海拔140~250 m, 坡度<15°, 土壤为砂页岩发育而来的砖红壤, pH为4.5~6.0, 大部分地区土层较深, 约80 cm。

在过去50年里, 该地区土地利用方式发生巨大变化。以往造林树种以本地马尾松(*Pinus massoniana*)为主, 所造马尾松林主要用于割油和生产木材, 轮伐期约为30年, 几乎无人管理, 林下灌木杂草多, 以桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、三叉苦(*Liparis nervosa*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)等为主。20世纪80年代以来, 随着“中澳技术合作东门桉树示范林项目”的引入, 该地区开展大规模桉树造林活动, 所造桉树林以尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *grandis*)为主, 主要出产木片。桉树人工林种植前要炼山、翻耕整地(耕作深度50 cm左右)、施基肥(0.5 kg 株<sup>-1</sup>, 穴施(20 cm深), N:P:K = 10:15:5); 林木行距4 m, 株距2 m; 种植前3年分别追肥0.25、0.5、0.5 kg 株<sup>-1</sup>(穴施, N:P:K = 15:10:8)、每年除草(草甘膦)一次, 林下灌木杂草较少, 以五节芒(*Miscanthus floridulus*)、飞机草(*Eupatorium odoratum*)等为主; 第5年或者第6年时进行采伐。第一代桉树造林方式为植苗, 第二代为萌芽。

### 1.2 实验设计和取样

采用空间取代时间的方法研究桉树取代马尾松造林对土壤生态系统的影响。选取9对马尾松-桉树林样地, 每个样地的每个树种设置3个样方, 样方大小为20 m × 20 m。为了排除林地转变时扰动的影响, 所选桉树林均为第二代4年林龄, 所选马尾松林均为20年左右林龄。采样时, 桉树林样地植被情况大致如下: 桉树平均胸径9~14 cm, 树高12~18 m, 样地总盖度75%~90%, 乔木层盖度40%~60%, 灌木层盖度5%~20%, 草本层盖度20%~40%。马尾松林样地植被情况大致如下:

林地主要乔木为马尾松, 也有枫香、香樟、银合欢、毛桐等其他杂木; 平均胸径12~17 cm, 树高11~15 m, 样地总盖度80%~100%, 乔木层盖度50%~70%, 灌木层盖度10%~30%, 草本层盖度40%~80%。土壤取样时间为2010年10月6日—8日。每个样方按五点取样法, 用土钻取0~10 cm土壤, 放入自封袋, 混匀。2种林型 × 9对样地 × 3个样方, 共计54个土样。在4°C条件下运回实验室。土壤过2 mm筛后, 一部分4°C冷藏, 两周内分析土壤微生物生物量和酶活性; 另一部分风干, 分析土壤理化性质。

### 1.3 样品分析

土壤全碳、全氮利用元素分析仪(Vario ER III, Elementar Analysen System GmbH, Germany)进行分析; 土壤易分解碳库(Labile carbon pool I)、中等易分解碳库(Labile carbon pool II)和难分解碳库(Recalcitrant carbon pool)的分离参照Rovira和Vallejo<sup>[11]</sup>的方法, 采用重铬酸钾氧化外加热法<sup>[12]</sup>测定。土壤可溶性有机碳测定采用0.5 mol L<sup>-1</sup>硫酸钾浸提, TOC分析仪(Liqui TOC, Elementa, Germany)测定; 土壤碱解氮采用碱液扩散法<sup>[12]</sup>测定; 土壤全磷采用钒钼酸—高氯酸消煮—钼锑抗比色法测定<sup>[13]</sup>; 土壤有效磷采用双酸提取—钼锑抗比色法测定<sup>[12]</sup>。

土壤微生物生物量碳、氮(MBC和MBN)采用氯仿熏蒸浸提的方法测定<sup>[14]</sup>。土壤酶活性测定方法如下: β-1, 4-葡糖苷酶(β-1, 4-Glucosidase)、酚氧化酶(Phenoloxidase)、过氧化物酶(Peroxidase)、酸性磷酸酶(Acid phosphatase)的测定参照Waldrop等<sup>[15]</sup>的方法; 纤维二糖水解酶(Cellobiosidase)的测定参照Saiya-Cork等<sup>[16]</sup>方法; 蛋白酶(Protease)的测定参照Ladd和Butler的方法<sup>[17]</sup>, 略作改动: 称取1 g鲜土至离心管, 加入5 ml THAM缓冲液和5 ml酪蛋白酸钠溶液; 盖上盖子, 于50°C震荡恒温水浴锅中培养2 h; 培养结束后加入5 ml三氯乙酸, 2 500 r min<sup>-1</sup>离心10 min; 吸取5 ml上清液至试管, 加入7.5 ml碱性试剂, 室温下培养15 min; 加入5 ml福林试剂; 过滤; 1 h后于700 nm处比色测定; 同时设置对照, 即酪蛋白酸钠溶液在培养结束后添加, 而初始时不加。脲酶(Urease)的测定参照Kandeler和Gerber的方法<sup>[18]</sup>, 略作改动: 称取5 g鲜土至50 ml比色管, 加入1 ml甲苯处理15 min; 加

入10%尿素溶液5 ml和柠檬酸盐缓冲液10 ml,混合; 38℃培养3 h;用蒸馏水稀释至50 ml,过滤,滤液备用;取1 ml滤液于50 ml比色管中,蒸馏水稀释至10 ml,加入4 ml苯酚钠溶液,并立即加入3 ml次氯酸钠溶液;混合20 min后,用蒸馏水补至50 ml,578 nm处比色测定;与此同时,每个土壤设置用水代替基质的对照,对整个实验设置无土壤的对照。

#### 1.4 统计分析

桉树林和马尾松林土壤养分、微生物生物量和酶活性的对比采用成对t检验,指标间关系的分析采用Pearson相关分析,所用软件为SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)。

## 2 结果

### 2.1 桉树取代马尾松造林对土壤碳、氮和磷含量的影响

桉树取代马尾松造林显著降低了土壤碳、氮含量及可利用性(表1)。相比于马尾松林,桉树林土壤全碳、易分解碳库、中等易分解碳库、难分解碳库、全氮和碱解氮含量显著降低,分别降低了37%、17%、40%、48%、28%和25%。但马尾松林和桉树林土壤全磷含量无显著差异,桉树林速效磷含量较马尾松林高1倍( $p<0.05$ )。此外,桉树林土壤氮磷比显著低于马尾松林( $p<0.05$ )。

表1 马尾松林和桉树林土壤碳、氮、磷含量及可利用性

Table 1 Content and availability of soil carbon, nitrogen and phosphorus in *Pinus* and *Eucalyptus* plantations

林型 Forest type	全碳 Total carbon (g kg <sup>-1</sup> )	可溶性有机碳 Dissolved organic carbon (g kg <sup>-1</sup> )	易分解碳库 Labile carbon pool I (g kg <sup>-1</sup> )	中等易分解碳库 Labile carbon pool II (g kg <sup>-1</sup> )
马尾松林 <sup>①</sup>	26.77 ± 2.79*	4.77 ± 0.46	3.41 ± 0.17*	5.75 ± 0.54*
桉树林 <sup>②</sup>	16.86 ± 1.58	4.83 ± 0.60	2.83 ± 0.28	3.42 ± 0.34
林型 Forest type	难分解碳库 Recalcitrant carbon pool (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen (g kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkaline hydrolytic nitrogen (mg kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total phosphorus (g kg <sup>-1</sup> )
马尾松林 <sup>①</sup>	15.41 ± 2.41*	1.53 ± 0.12*	64.71 ± 3.79*	0.46 ± 0.08
桉树林 <sup>②</sup>	8.04 ± 1.34	1.10 ± 0.09	48.46 ± 4.22	0.48 ± 0.06
林型 Forest type	有效磷 Available phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )	碳氮比 Carbon/nitrogen ratio	氮磷比 Nitrogen/phosphorus ratio	
马尾松林 <sup>①</sup>	2.10 ± 0.23	17.38 ± 0.87	3.81 ± 0.40*	
桉树林 <sup>②</sup>	4.43 ± 0.76*	15.37 ± 0.52	2.58 ± 0.33	

注: 平均值 ± 标准误, n=8; \* 表示0.05水平差异显著。下同 Note: Means ± Standard error, n=8; \* means significant difference at 0.05 level. The same bellow. ①*Pinus massoniana*, ②*Eucalyptus urophylla* × *grandis*

### 2.2 桉树取代马尾松造林对土壤微生物生物量和酶活性的影响

土壤微生物不仅是土壤有机质的分解者,其本身也是一个重要的养分库;土壤酶催化土壤中的生物化学过程,在有机质分解和养分释放中发挥重要

作用。马尾松林转变为桉树林后,土壤微生物生物量碳、氮显著降低,分别降低了37%和36%,而微生物生物量碳氮比变化不显著(表2);土壤酚氧化酶、过氧化物酶、蛋白酶、脲酶和酸性磷酸酶活性显著下降,分别降低了45%、44%、36%、16%

表2 桉树林和马尾松林土壤微生物生物量和酶活性

Table 2 Soil microbial biomass and enzymes activities in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations

林型 Forest type	微生物生物量碳 MBC (mg kg <sup>-1</sup> )	微生物生物量氮 MBN (mg kg <sup>-1</sup> )	微生物生物量碳氮比 MBC/MBN ratio	β-1, 4-葡萄糖苷酶 β-1, 4-Glucosidase (μmol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
马尾松林 <sup>①</sup>	675.0 ± 74.7*	35.31 ± 4.26*	22.98 ± 2.61	122.3 ± 7.3
桉树林 <sup>②</sup>	428.0 ± 57.2	22.45 ± 3.53	20.06 ± 1.60	114.4 ± 4.5

林型 Forest type	纤维二糖水解酶 Cellobiosidase (nmol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	酚氧化酶 Phenoloxidase (×1 000 abs g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	过氧化物酶 Peroxidase (×1 000 abs g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	蛋白酶 Protease (μg g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
马尾松林 <sup>①</sup>	1.88 ± 0.34	124.0 ± 20.9*	446.5 ± 49.0*	874.2 ± 68.3*
桉树林 <sup>②</sup>	1.07 ± 0.17	68.65 ± 10.56	251.6 ± 30.8	559.7 ± 44.7

林型 Forest type	脲酶 Urease (μg g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	酸性磷酸酶 Acid phosphatase (μmol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
马尾松林 <sup>①</sup>	89.66 ± 5.77*	151.8 ± 9.8*
桉树林 <sup>②</sup>	75.07 ± 4.18	127.0 ± 8.8

① *Pinus massoniana*, ② *Eucalyptus urophylla* × *grandis*

和16%，土壤β-1, 4-葡萄糖苷酶、纤维二糖水解酶活性变化不显著（表2）。

### 2.3 土壤微生物生物量和酶活性与养分含量的相关分析

相关分析发现，土壤全碳、全氮与微生物生物量碳、氮、纤维二糖水解酶、过氧化物酶、蛋白酶和脲酶活性显著正相关，表明土壤碳、氮是影响微生物生物量和碳、氮转化相关酶活性的主要因子；土壤碳氮比与β-1, 4-葡萄糖苷酶、纤维二糖水解酶和过氧化物酶显著正相关（ $p < 0.05$ ），表明碳氮比也会影响碳转化相关酶活性；而酸性磷酸酶活性与全磷、速效磷显著负相关，与氮磷比显著正相关（ $p < 0.05$ ）（表3）。

## 3 讨论

桉树取代马尾松造林显著降低了表层土壤碳、氮、微生物生物量、酚氧化酶、过氧化物酶、蛋白酶、脲酶和酸性磷酸酶活性，这与大部分研究结果一致。Lemenih<sup>[4]</sup>研究发现，相比于农业用地，桉树人工林土壤全碳、全氮、盐基饱和度、阳离子交换量、可利用磷钾和交换性钙显著较低。Chen

等<sup>[5]</sup>发现马尾松林转变为桉树林后土壤微生物代谢活性（BIOLOG）显著下降。李宁云等<sup>[19]</sup>比较了旱冬瓜、果园、云南松和桉树林土壤酶活性，发现桉树林土壤蔗糖酶、蛋白酶、脲酶和过氧化氢酶活性均最低。谭宏伟等<sup>[6]</sup>研究发现桉树林土壤β-葡萄糖苷酶、蛋白酶和磷酸酶活性显著低于马尾松林和天然次生林。

马尾松林转变为桉树林后，土壤碳、氮、微生物生物量和酶活性的降低，可能由树种变化、轮伐期、林下植被、炼山和翻耕等因子及其相互作用造成。

（1）桉树林的速生特性和短轮伐期。尾巨桉为速生丰产树种，养分需求量大，易造成土壤养分过度消耗<sup>[20]</sup>。采伐是人工林养分输出的主要途径，据研究报道，桉树采伐时带走的养分量，包括树干的全部以及枝、叶、皮、根等部位质量分数为80%的养分量<sup>[21]</sup>。相比于马尾松林30年左右的轮伐期，尾巨桉人工林轮伐期仅为5年，较短的轮伐期意味着频繁的林木采伐和大量的养分输出，从而造成土壤碳、氮等养分含量的降低（表1），这与余雪标<sup>[3]</sup>研究结论一致。

短轮伐期也部分解释了某些研究结果的不一

表3 土壤化学性质与微生物生物量和酶活性的相关分析

Table 3 Correlation analysis of soil chemical properties with microbial biomass and enzyme activities

指标 Index	全碳 Total carbon	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	碳氮比 Carbon/nitrogen ratio
微生物生物量碳 MBC	0.76**	0.87**	0.07	0.06
微生物生物量氮 MBN	0.72**	0.89**	-0.12	-0.03
$\beta$ -1, 4-葡糖苷酶 $\beta$ -1, 4-Glucosidase	0.32	0.08	-0.50*	0.59*
纤维二糖水解酶 Cellobiosidase	0.56**	0.47*	-0.51*	0.50*
酚氧化酶 Phenoloxidase	0.35	0.42	-0.18	0.23
过氧化物酶 Peroxidase	0.82**	0.73**	-0.21	0.58*
蛋白酶 Protease	0.64**	0.72**	-0.03	0.21
脲酶 Urease	0.48*	0.54*	-0.22	0.20
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	0.32	0.19	-0.51*	0.45

指标 Index	氮磷比 Nitrogen/phosphorus ratio	碱解氮 Alkaline hydrolytic nitrogen	速效磷 Available phosphorus
微生物生物量碳 MBC	0.40	0.83**	-0.10
微生物生物量氮 MBN	0.52*	0.89**	-0.17
$\beta$ -1, 4-葡糖苷酶 $\beta$ -1, 4-Glucosidase	0.43	-0.04	-0.19
纤维二糖水解酶 Cellobiosidase	0.75**	0.44	-0.37
酚氧化酶 Phenoloxidase	0.35	0.54*	-0.29
过氧化物酶 Peroxidase	0.63**	0.61**	-0.44
蛋白酶 Protease	0.54*	0.68**	-0.51
脲酶 Urease	0.55*	0.52*	-0.38
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	0.55*	0.11	-0.60*

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ 

致。与本研究结果不同，邓萌伟<sup>[8]</sup>、钟慕尧<sup>[9]</sup>和温远光<sup>[22]</sup>等发现桉树林和对照树种对土壤养分的影响没有显著差异，这可能是他们的研究旨在比较树种差异的影响，桉树和对照树种林龄均为10年及以上；而本文关注土地利用变化，研究中的马尾松林龄为20年左右，而尾巨桉林龄仅为4年。

(2) 林下植被。林下植被不仅可以改善微生境，促进土壤微生物生长和酶活性提高，还能缓解降雨侵蚀和减少养分流失。但在桉树林管理时，为了减少生长初期林下植物和桉树的养分竞争，营林者会在桉树种植后的前3年施用除草剂，破坏和抑制林下植

物的生长，因而导致桉树林地微环境较差，土壤微生物生物量和酶活性均较低（表2），同时，也更容易受降雨侵蚀，造成水土流失和养分淋溶<sup>[2]</sup>。

(3) 炼山。炼山是林地转化和桉树连栽过程中土壤有机质和养分流失的重要环节。研究表明，炼山往往会造成土壤有机质含量降低<sup>[23]</sup>、某些挥发性养分损失<sup>[24]</sup>；同时，高温会杀死一部分热敏感的微生物，或通过改变土壤理化性质，造成土壤微生物生物量和土壤酶活性的降低<sup>[25]</sup>，这与本研究结果一致。此外，炼山也清除了地表植被和凋落物层，造成了土壤裸露，易受降雨侵蚀<sup>[3]</sup>。

(4) 翻耕。桉树造林前的翻耕整地旨在疏松土壤, 促进根系生长, 但往往也会破坏了土壤结构, 加快土壤有机质的分解<sup>[26]</sup>, 造成土壤碳、氮含量的下降(表1)。此外, 翻耕造成的土壤结构破坏, 加之炼山对林下植被和凋落物层的清除, 以及除草剂对林下植被生长的抑制, 在我国南方降雨集中的季节, 极易造成严重的水土流失。有机质是土壤微生物的能量来源, 也是酶的底物<sup>[27]</sup>。马尾松林转变为桉树林后, 土壤碳氮含量的降低可能直接造成了纤维二糖水解酶、过氧化物酶、蛋白酶和脲酶活性的降低, 或通过降低土壤微生物生物量, 影响酶活性(表3)。

虽然桉树林土壤全磷和马尾松林无显著差异, 有效磷含量显著高于马尾松林(表1), 但酸性磷酸酶活性却显著低于马尾松林(表2), 这可能与桉树林大量施肥和桉树对磷的选择性吸收有关<sup>[28]</sup>。在桉树林施肥造成的高磷环境中, 磷素易于获取, 植物和微生物会减少获取磷素的投入, 减少酸性磷酸酶的合成; 而在马尾松林中, 情况正好相反。冯丽贞等<sup>[29]</sup>研究发现桉树可通过叶片及根际酸性磷酸酶活性的增强来适应缺磷环境, 也证实了该观点。土壤磷酸酶活性与氮磷比显著正相关(表3), 表明较低的氮磷比可能也是抑制桉树林土壤磷酸酶活性的因子。

## 4 结 论

桉树取代马尾松造林显著降低了土壤养分、微生物生物量和酶活性, 这可能会影响林地的生物量生产。在林地转变和经营时, 适当保持林下植被和凋落物、减少土壤扰动和合理施肥将有助于改善土壤生态系统状况, 实现桉树人工林的可持续经营。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Turnbull J W. Eucalypt plantations. *New Forests*, 1999, 17 (1): 37—52
- [ 2 ] 于福科, 黄新会, 王克勤, 等. 桉树人工林生态退化与恢复研究进展. *中国生态农业学报*, 2009, 17 (2): 393—398. Yu F K, Huang X H, Wang K Q, et al. An overview of ecological degradation and restoration of *Eucalyptus* plantation (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17 (2): 393—398
- [ 3 ] 余雪标. 桉树人工林长期生产力管理研究. 北京: 中国林业出版社, 2000. Yu X B. *Studies on long-term productivity management of eucalypt plantation (In Chinese)*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000
- [ 4 ] Lemenih M. Comparison of soil attributes under *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* established on abandoned farmlands with continuously cropped farmlands and natural forest in Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 2004, 195 (1/2): 57—67
- [ 5 ] Chen F L, Zheng H, Zhang K, et al. Changes in soil microbial community structure and metabolic activity following conversion from native *Pinus massoniana* plantations to exotic *Eucalyptus* plantations. *Forest Ecology and Management*, 2013, 291: 65—72
- [ 6 ] 谭宏伟, 杨尚东, 吴俊, 等. 红壤区桉树人工林与不同林分土壤微生物活性及细菌多样性的比较. *土壤学报*, 2014, 51 (3): 575—584. Tan H W, Yang S D, Wu J, et al. Comparison of *Eucalyptus* plantation with and other forests in soil microbial activity and bacterial diversity in red soil region, China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51 (3): 575—584
- [ 7 ] Ashagrie Y, Zech W, Guggenberger G. Transformation of a *Podocarpus falcatus* dominated natural forest into a monoculture *Eucalyptus globulus* plantation at Munesa, Ethiopia: Soil organic C, N and S dynamics in primary particle and aggregate-size fractions. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2005, 106 (1): 89—98
- [ 8 ] 邓荫伟, 李凤, 韦杰, 等. 桂林市桉树、马尾松、杉木林下植被与土壤因子调查. *广西林业科学*, 2010, 39 (3): 140—143. Deng Y W, Li F, Wei J, et al. Investigation of understory vegetation and soil in *Eucalyptus*, *Pinus* and *Cunninghamia* in Guilin city (In Chinese). *Guangxi Forestry Science*, 2010, 39 (3): 140—143
- [ 9 ] 钟慕尧, 黄树才, 杨民胜, 等. 尾巨桉、马占相思和马尾松人工林的土壤肥力比较. *桉树科技*, 2006, 23 (2): 33—37. Zhong M Y, Huang S C, Yang M S, et al. Research on soil fertility of *E. urophylla* × *E. grandis*, *Pinus massoniana* Lamb and *Acacia mangium* plantations (In Chinese). *Eucalypt Science & Technology*, 2006, 23 (2): 33—37
- [ 10 ] Maquere V, Laclau J P, Bernoux M, et al. Influence of land use (savanna, pasture, *Eucalyptus* plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. *European Journal of Soil Science*, 2008, 59 (5): 863—877
- [ 11 ] Rovira P, Vallejo V R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: An acid hydrolysis approach. *Geoderma*, 2002, 107 (1/2): 109—141



- [ 12 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [ 13 ] 孙波, 施建平, 杨林章, 等. 陆地生态系统土壤观测规范. 北京: 中国环境科学出版社, 2007. Sun B, Shi J P, Yang L Z, et al. Protocols for standard soil observation and measurement in terrestrial ecosystems (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 2007
- [ 14 ] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006. Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, et al. Soil microbial biomass - Methods and application (In Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2006
- [ 15 ] Waldrop M P, Balsler T C, Firestone M K. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32 (13): 1837—1846
- [ 16 ] Saiya-Cork K, Sinsabaugh R, Zak D. The effects of long term nitrogen deposition on extracellular enzyme activity in an *Acer saccharum* forest soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34 (9): 1309—1315
- [ 17 ] Ladd J, Butler J. Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. *Soil Biology & Biochemistry*, 1972, 4 (1): 19—30
- [ 18 ] Kandeler E, Gerber H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and Fertility of Soils*, 1988, 6 (1): 68—72
- [ 19 ] 李宁云, 田昆, 陆梅, 等. 澜沧江上游典型退化山地土壤酶活性研究. 西南林学院学报, 2006, 26 (2): 29—32. Li N Y, Tian K, Lu M, et al. Soil enzyme activities of the typical degraded mountainous ecosystem in the upper reach of the Lancang River (In Chinese). *Journal of Southwest Forestry College*, 2006, 26 (2): 29—32
- [ 20 ] 项东云. 华南地区桉树人工林生态问题的评价. 广西林业科学, 2000, 29 (2): 57—64. Xiang D Y. Assessment of ecological problems of *Eucalyptus* plantation in southern China (In Chinese). *Guangxi Forestry Science*, 2000, 29 (2): 57—64
- [ 21 ] 廖观荣, 钟继洪, 李淑仪, 等. 桉树人工林生态系统养分循环和平衡研究 II. 桉树人工林生态系统的养分循环. 生态环境, 2003, 12 (3): 296—299. Liao G R, Zhong J H, Li S Y, et al. The nutrient cycling and balance of *Eucalyptus* plantation ecosystem II. The nutrient cycling of *Eucalyptus* plantation ecosystem (In Chinese). *Ecology and Environment*, 2003, 12 (3): 296—299
- [ 22 ] 温远光, 郑羨, 李明臣, 等. 广西桉树林取代马尾松林对土壤理化性质的影响. 北京林业大学学报, 2009 (6): 145—148. Wen Y G, Zheng X, Li M C, et al. Effects of eucalypt plantation replacing Masson pine forest on soil physiochemical properties in Guangxi, southern China (In Chinese). *Journal of Beijing Forestry University*, 2009 (6): 145—148
- [ 23 ] 杨尚东, 吴俊, 谭宏伟, 等. 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, et al. Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33 (24): 7788—7797
- [ 24 ] Fisher R F, Binkley D. Ecology and management of forest soils. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 2000
- [ 25 ] De Marco A, Gentile A E, Arena C, et al. Organic matter, nutrient content and biological activity in burned and unburned soils of a Mediterranean maquis area of southern Italy. *International Journal of Wildland Fire*, 2005, 14 (4): 365—377
- [ 26 ] Turner J, Lambert M. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 2000, 133 (3): 231—247
- [ 27 ] 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 等. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系. 中国农业科学, 2005, 38 (8): 1591—1599. Li X Y, Zhao B Q, Li X H, et al. Effects of different fertilization systems on soil microbe and its relation to soil fertility (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38 (8): 1591—1599
- [ 28 ] 明安刚, 温远光, 朱宏光, 等. 连栽对桉树人工林土壤养分含量的影响. 广西林业科学, 2009, 38 (1): 26—30. Ming A G, Wen Y G, Zhu H G, et al. Impacts of successive *Eucalyptus* planting on soil nutrients (In Chinese). *Guangxi Forestry Science*, 2009, 38 (1): 26—30
- [ 29 ] 冯丽贞, 黄勇, 马祥庆. 磷胁迫对不同桉树品种酸性磷酸酶活性的影响. 热带作物学报, 2008, 29 (2): 131—134. Feng L Z, Huang Y, Ma X Q. Effect of phosphorus stress on activities of acid phosphatase in different *Eucalyptus* varieties (In Chinese). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2008, 29 (2): 131—134

## IMPACTS OF REPLACEMENT OF *PINUS* WITH *EUCALYPTUS* ON SOIL NUTRIENTS AND ENZYME ACTIVITIES

Zhang Kai<sup>1</sup> Zheng Hua<sup>1†</sup> Chen Falin<sup>2</sup> Ouyang Zhiyun<sup>1</sup> Lan Jun<sup>3</sup> Wu Yongfu<sup>3</sup> Xiang Xuewu<sup>3</sup>

( 1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China )

( 2 College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China )

( 3 Guangxi State Dongmen Forest Farm, Chongzuo 532108, China )

**Abstract** *Eucalyptus* is an important tree species for afforestation in tropical or subtropical regions and many countries around the world have used it in afforestation. In South China, millions of hectares of local forests have been converted into *Eucalyptus* plantations. However, due to soil nutrient limitation in many areas and a high demand of *Eucalyptus* for nutrients, this kind of change in land use may exhaust soil nutrients and lead to deterioration of the soil in quality. In order to explore impacts of the practice on soil quality, soil samples were collected from 9 pairs of *Eucalyptus* and *Pinus* plantations in Guangxi, China, for analysis of soil nutrients, soil microbial biomass and soil enzyme activities and paired-t test. Pearson correlation analysis was done to explore relationships between soil nutrients, soil microbial biomass and enzyme activities. Results show that the replacement significantly decreased soil total carbon, labile carbon pool ( I ) and ( II ) , recalcitrant carbon pool, total nitrogen and alkalytic nitrogen, but significantly increased soil available phosphorus, which might be a result of fertilization in the *Eucalyptus* plantations low in phosphorus mobility in the soil. The replacement also significantly decreased soil microbial biomass carbon and nitrogen, and activities of phenol oxidase, peroxidase, protease, urease and acid phosphatase. The significantly lower soil carbon, nitrogen, microbial biomass and enzyme activities suggested that conversion of *Pinus* plantations to *Eucalyptus* ones significantly decreased soil quality. Correlation analysis shows that ( 1 ) soil total carbon and nitrogen were positively related with soil microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen, cellobiosidase, peroxidase, protease and urease activities, ( 2 ) soil carbon/nitrogen ratio was positively related with  $\beta$ -1, 4-glucosidase, cellobiosidase and peroxidase activities and ( 3 ) soil acid phosphatase activity was negatively related with total and available phosphorus and positively with nitrogen/phosphorus ratio, which suggest that soil carbon, nitrogen, phosphorus and their ratios were the most important factors influencing soil microorganism and enzyme activities. The change in tree species, short felling cycle, poor understory coverage and litter layer, field burning and tillage might be the factors that lead to decrease in soil nutrient, microbial biomass and enzyme activity in the soil, while fertilization might alleviate the effect on soil nutrients. Keeping proper understory coverage and litter layer, reducing soil disturbance and fertilizing properly would help improve soil quality during the replacement processes and follow-on management of the plantations and hence ensure sustainable development of *Eucalyptus* plantations.

**Key words** *Eucalyptus*; *Pinus massoniana*; Soil nutrients; Microbial biomass; Enzyme activities

( 责任编辑：卢 萍 )

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Application of reductive soil disinfection to suppress soil-borne pathogens ..... Cai Zucong, Zhang Jinbo, Huang Xinqi, et al. ( 475 )  
 A review of researches on soil cracks and their impacts on preferential flow...Zhang Zhongbin, Peng Xinhua ( 488 )

**Research Articles**

- Characteristics of soil aggregate loss in croplands in the typical black soil region of Northeast China ..... Wen Leilei, Zheng Fenli, Shen Haiou, et al. ( 498 )  
 Construction of an index set for predicting thickness of active layer of permafrost in Qinghai-Tibet Plateau and for mapping ..... Chen Jike, Zhao Yuguo, Zhao Lin, et al. ( 506 )  
 Variation of mineral composition along the soil chronosequence at the Hailuoguo Glacier foreland of Gongga Mountain ..... Yang Zijiang, Bing Haijian, Zhou Jun, et al. ( 515 )  
 Composition of organic carbon in paddy soil in typical area of Chengdu and its influencing factors ..... Liao Dan, Yu Dongsheng, ZhaoYongcun, et al. ( 526 )  
 Spatio-temporal variation of soil temperature and soil moisture regime in Hebei Province ..... Cao Xianghui, Lei Qiuliang, Long Huaiyu, et al. ( 536 )  
 Vertical distribution of soil saturated hydraulic conductivity in a small karst catchment ..... Fu Tonggang, Chen Hongsong, Wang Kelin ( 546 )  
 Transformation between soil water and shallow groundwater in the middle reaches of the Dagu River ..... Yang Yuzheng, Lin Qing, Wang Songlu, et al. ( 556 )  
 Determination of nitrogen and oxygen isotope ratio of nitrate in water with a chemical conversion method ..... Wang Xi, Cao Yacheng, Han Yong, et al. ( 565 )  
 Quantitative research on effects of nitrogen application rate on distribution of photosynthetic carbon in rice-soil system using <sup>13</sup>C pulse labeling technique ..... Liu Ping, Jiang Chunyu, Li Zhongpei ( 574 )  
 Effects of no-tillage ridge-cultivation on soil organic carbon accumulation in ridges and crop yields in paddy fields ..... Ci En, Wang Liange, Ding Changhuan, et al. ( 585 )  
 Residual of applied <sup>15</sup>N fertilizer in soils under long-term different patterns of fertilization and its utilization ..... Zhao Wei, Liang Bin, Zhou Jianbin ( 595 )  
 Effect of long-term fertilization on rice yield and basic soil productivity in red paddy soil under double-rice system ..... Lu Yanhong, Liao Yulin, Zhou Xing, et al. ( 605 )  
 Effects of long-term fertilization on yield variation trend, yield stability and sustainability in the double cropping rice system ..... Ji Jianhua, Hou Hongqian, Liu Yiren, et al. ( 618 )  
 Relationship between exudation of nitrification inhibitor MHPP and plasma membrane proton pump of sorghum root ..... Zhou Jinquan, Zhang Mingchao, Wei Zhijun, et al. ( 527 )  
 Effects of long-term amendment with passivant and zinc fertilizer on cadmium reduction in tobacco growing in a Cd contaminated field ..... Cao Chenliang, Wang Wei, Ma Yibing, et al. ( 635 )  
 Effects of interaction between potassium and humic acid on index of organic potassium salt in flue-cured tobacco ..... Zheng Dongfang, Xu Jiayang, Xu Zicheng, et al. ( 645 )  
 Impacts of replacement of *Pinus* with *Eucalyptus* on soil nutrients and enzyme activities ..... Zhang Kai, Zheng Hua, Chen Falin, et al. ( 653 )  
 Effects of biological soil crusts on soil enzyme activities in desert areas ..... Yang Hangyu, Liu Yanmei, Wang Tingpu ( 663 )  
 Effect of incorporation of crop straw on composition of soil organic matter and enzyme activity in black soil relative to depth and rate of the incorporation ..... Jiao Lina, Li Zhihong, Yin Chengcheng, et al. ( 671 )  
 Effect of *Streptomyces* JD211 promoting growth of rice seedlings and diversity of soil bacteria ..... Wang Shiqiang, Wei Saijin, Yang Taotao, et al. ( 681 )

**Research Notes**

- Quality assessment of oasis soil in the upper reaches of Tarim River based on minimum data set ..... Gong Lu, Zhang Xueni, Ran Qiyang ( 689 )  
 Effect of iron plaque on surface electrochemical properties and short-term N, P and K uptake by rice roots .....Zheng Yunyun, Li Zhongyi, Li Jiuyu, et al. ( 695 )  
 The changes of microbial community structure in red paddy soil under long-term fertilization ..... Xia Xin, Shi Kun, Huang Qianru, et al. ( 705 )  
 Salinization characteristics of afforested coastal saline soil as affected by species of trees used in afforestation ..... Wang Heyun, Li Hongli, Dong Zhi, et al. ( 712 )

**Cover Picture:** Two dimensional and three dimensional images of soil cracks in paddy field ( by Zhang Zhongbin )

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 3 期 2015 年 5 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 3 May, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

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

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

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

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

