

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

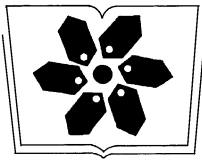
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第2期 Vol.33 No.2 **2013**

中国生态学会
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 2 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 岩溶山区水分时空异质性及植物适应机理研究进展..... 陈洪松, 聂云鹏, 王克林 (317)
- 红树林植被对大型底栖动物群落的影响 陈光程, 余 丹, 叶 勇, 等 (327)
- 淡水湖泊生态系统中砷的赋存与转化行为研究进展..... 张 楠, 韦朝阳, 杨林生 (337)
- 纳米二次离子质谱技术(NanoSIMS)在微生物生态学研究中的应用 胡行伟, 张丽梅, 贺纪正 (348)
- 城市系统碳循环: 特征、机理与理论框架 赵荣钦, 黄贤金 (358)
- 城市温室气体排放清单编制研究进展..... 李 晴, 唐立娜, 石龙宇 (367)

个体与基础生态

- 科尔沁沙地家榆林的种子散布及幼苗更新..... 杨允菲, 白云鹏, 李建东 (374)
- 环境因子对木棉种子萌发的影响 郑艳玲, 马焕成, Scheller Robert, 等 (382)
- 五花米草与短叶荳蔻落物分解过程中碳氮磷化学计量学特征 欧阳林梅, 王 纯, 王维奇, 等 (389)
- 性别、季节和体型大小对吐鲁番沙虎巢域的影响 李文蓉, 宋玉成, 时 磊 (395)
- 遮蔽行为对海刺猬摄食、生长和性腺性状的影响..... 罗世滨, 常亚青, 赵 冲, 等 (402)
- 水稻和玉米苗上饲养的稻纵卷叶螟对温度的反应 廖怀建, 黄建荣, 方源松, 等 (409)

种群、群落和生态系统

- 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性 商素云, 姜培坤, 宋照亮, 等 (416)
- 禁牧条件下不同类型草地群落结构特征 张鹏莉 陈 俊 崔树娟, 等 (425)
- 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系 任 珩, 赵成章 (435)
- 小兴安岭 4 种典型阔叶红松林土壤有机碳分解特性 宋 媛, 赵溪竹, 毛子军, 等 (443)
- 新疆富蕴地震断裂带植被恢复对土壤古菌群落的影响 林 青, 曾 军, 张 涛, 等 (454)
- 长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响 朱新玉, 董志新, 况福虹, 等 (464)
- 潮虫消耗木本植物凋落物的可选择性试验 刘 燕, 廖允成 (475)
- 象山港网箱养殖对近海沉积物细菌群落的影响 裘琼芬, 张德民, 叶仙森, 等 (483)
- 2005 年夏季东太平洋中国多金属结核区小型底栖生物研究 王小谷, 周亚东, 张东声, 等 (492)
- 川西亚高山典型森林生态系统截留水文效应 孙向阳, 王根绪, 吴 勇, 等 (501)

景观、区域和全球生态

- 中国水稻生产对历史气候变化的敏感性和脆弱性 熊 伟, 杨 婕, 吴文斌, 等 (509)
- 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势 贺 伟, 布仁仓, 熊在平, 等 (519)
- 地表太阳辐射减弱和臭氧浓度增加对冬小麦生长和产量的影响 郑有飞, 胡会芳, 吴荣军, 等 (532)

资源与产业生态

- 基于环境卫星数据的黄河湿地植被生物量反演研究 高明亮, 赵文吉, 官兆宁, 等 (542)
- 黄土高原南麓县域耕地土壤速效养分时空变异 陈 涛, 常庆瑞, 刘 京, 等 (554)

不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响..... 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等 (565)

施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响 吕 鹏,张吉旺,刘 伟,等 (576)

城乡与社会生态

城市景观组分影响水质退化的阈值研究 刘珍环,李正国,杨 鹏,等 (586)

长株潭地区生态可持续性 戴亚南,贺新光 (595)

外源 NO 对镉胁迫下水稻幼苗抗氧化系统和微量元素积累的影响 朱涵毅,陈益军,劳佳丽,等 (603)

达里诺尔湖沉积物中无机碳的形态组成 孙园园,何 江,吕昌伟,等 (610)

绿洲土 Cd、Pb、Zn、Ni 复合污染下重金属的形态特征和生物有效性 武文飞,南忠仁,王胜利,等 (619)

柠檬酸和 EDTA 对铜污染土壤环境中吊兰生长的影响 汪楠楠,胡 珊,吴 丹,等 (631)

研究简报

海州湾生态系统服务价值评估 张秀英,钟太洋,黄贤金,等 (640)

内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系 谭丽萍,周广胜 (650)

氮磷供给比例对长白落叶松苗木磷素吸收和利用效率的影响 魏红旭,徐程扬,马履一,等 (659)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 38 * 2013-01



封面图说: 科尔沁沙地榆树——榆树疏林草原属温带典型草原地带,适应半干旱半湿润气候的隐域性沙地顶级植物群落,具有极强的适应性、稳定性,生物产量较高。在我国仅见于科尔沁沙地和浑善达克沙地。是防风固沙、保护沙区生态环境和周边土地资源的一种重要的植物群落类型,是耐旱沙生植物的重要物种基因库和荒漠野生动物的重要避难所和栖息地。这些年来,由于人类毁林开荒、过度放牧、甚至片面地建立人工林群落等的干扰,不同程度地破坏了榆树疏林的生态环境,影响了其特有的生态作用。

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

DOI: 10.5846/stxb201111301831

商素云,姜培坤,宋照亮,李永夫,林琳. 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性. 生态学报, 2013, 33(2): 0416-0424.

Shang S Y, Jiang P K, Song Z L, Li Y F, Lin L. Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 0416-0424.

亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性

商素云¹, 姜培坤^{1,2,*}, 宋照亮^{1,2}, 李永夫^{1,2}, 林琳^{1,2}

(1. 浙江农林大学环境与资源学院, 临安 311300;

2. 浙江农林大学浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 临安 311300)

摘要:在浙江临安玲珑山选取了常绿阔叶林、马尾松林、板栗林和雷竹林 4 种林分,采用传统的化学方法与固态¹³C 核磁共振(NMR)技术研究其土壤有机碳在不同粒径土壤颗粒中的分布规律和结构特征,探讨林分类型和管理措施对土壤有机碳含量及其结构的影响,为亚热带地区森林固碳和土壤碳库管理提供科学依据。结果显示:(1)土壤表层(0—20 cm)有机碳含量按以下次序递减:雷竹林>常绿阔叶林>马尾松林>板栗林,且板栗林以粉黏粒结合态碳为主,其他林分土壤则以粗砂结合态碳为主;(2)¹³C NMR 结果表明,阔叶林和马尾松林土壤有机碳中烷基碳所占比例最大,而雷竹林和板栗林则是烷氧碳比例最大,表明人工经营措施改变了土壤有机碳的成分组成;(3)随着土壤颗粒变细,有机碳中烷基碳比例增加,烷氧碳比例减少,A/O-A 值和疏水碳/亲水碳值逐渐增大,表明颗粒越细,其结合的有机碳结构稳定性越高。

关键词:林分; 土壤有机碳; 粒径组分; 固态¹³C 核磁共振(NMR); 亚热带

Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China

SHANG Suyun¹, JIANG Peikun^{1,2,*}, SONG Zhaoliang^{1,2}, LI Yongfu^{1,2}, LIN Lin^{1,2}

1 School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang Agricultural & Forestry University, Lin'an 311300, China

2 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agricultural & Forestry University, Lin'an 311300, China

Abstract: Soil organic carbon (C) influences soil physical, chemical and biological properties that control nutrient cycling and consequently have important impacts on forest productivity and sustainability. Due to the important role of soil organic C in nutrient cycling of forest ecosystems and global C balance, there has long been an interest in understanding the effects of vegetation types and forest soil management on soil C pools. Four types of forest vegetations, including evergreen broad-leaved forest, Masson pine (*Pinus massoniana*), Chestnut (*Castanea mollissima*) forest and *Phyllostachys praecox* forest, on Linglong mountain located in Lin'an county, Zhejiang Province, China, were selected to study the distribution and chemical composition of soil organic C using chemical analysis and solid-state ¹³C nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. The results showed that the contents of soil organic C in the 0—20 cm soil layer under different forest types decreased in the order: *Phyllostachys praecox* forest > evergreen broad-leaved forest > Masson pine forest > Chestnut forest. Content of soil organic C under *Phyllostachys praecox* forest was significantly higher than that under other three types of forests. However, there were no significant differences in content of soil organic C content among other 3 types of forests. The proportion of C combined with coarse-sand fraction was the greatest in the soils under evergreen broad-leave, Masson pine and *Phyllostachys praecox* forests, while the soil under Chestnut forest contained a larger proportion of C combined with

基金项目:国家自然科学基金项目(31170567); 浙江省重点科技创新团队(2010R50030)

收稿日期:2011-11-30; 修订日期:2012-08-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangpeikun@zafu.edu.cn

clay and silt fraction. The ^{13}C NMR spectra showed that alkyl C had the highest intensity among the four C functional groups in the soils under the evergreen broad-leave and Masson pine forests, while O-alkyl C was the predominant organic C in soils under *Phyllostachys praecox* and Chestnut forests. These results indicate that forest management practices can affect chemical composition of soil organic C. The ratios of alkyl C/O-alkyl C (A/O-A) and Hydrophobic C/Hydrophilic C, and alkyl-C content increased, but the O-alkyl-C content decreased, with the decrease in soil particle-sizes. In other words, the finer particles (e. g., silt and clay) contain more stable soil organic C than the coarse particles (e. g., coarse and fine sands) do. However, relationship between aromaticity of soil organic C and soil particle size fractions was not consistent in soils among four forest types. There were significant differences in aromaticity, A/O-A and Hydrophobic C/Hydrophilic C between *Phyllostachys praecox* forest and other forests. Content and stability of soil organic C appeared to be closely related to the contents of silt and clay in soils. Therefore, soils with high content of silt and clay can potentially build up greater amount and more stable soil organic C. In conclusion, vegetation type, management practices, and soil tillage could significantly affect the distribution and stability of organic C in different particle-size fractions as well as the contents of organic C of forest soils.

Key Words: forest types; soil organic carbon; particle-size fractions; solid-state ^{13}C nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy; subtropical zone

土壤碳库是陆地生态系统最大的碳库,森林土壤贮藏约 787 Pg (1 Pg = 10^{15} g) 有机碳,约占全球土壤碳储量 40%^[1]。森林土壤碳库作为全球碳循环重要的组成部分,其积累和分解的变化将对陆地生态系统碳贮藏和全球碳平衡产生直接影响^[2]。土壤有机质与土壤众多理化性质和生物特性密切相关^[3],是衡量土壤肥力的一个重要指标,直接影响森林生态系统生产力和稳定性。鉴于森林土壤碳库在全球碳平衡和森林生态系统中的重要作用,林分类型和经营措施对森林土壤碳库的影响一直受到广泛关注^[4-6]。

近年来,核磁共振(NMR)技术广泛应用于土壤有机碳结构的研究中。该方法在研究土壤碳库的化学组成方面具有很大的优势,特别是在土壤有机碳分解和腐殖化过程中,可以清晰表明有机碳中各种类型碳的相对分布^[7-8],通过计算不同类型碳组分含量的变化,可以确定有机碳结构特征和稳定性的变化。通过研究不同粒级土壤颗粒物理、化学性质和生物特性的变化,来探讨土壤有机碳的变化过程,被认为是一个很好的方法^[8-9]。尽管国内外对土壤总有机碳和粒径组分碳含量进行了大量的研究^[10-12],但应用 NMR 技术研究亚热带森林土壤,特别是天然林改造成经济林后土壤总有机碳及粒径组分结构特征变化的研究非常少。

本研究选取亚热带代表性的天然林(常绿阔叶林和马尾松林)和目前亚热带经营强度较大的经济林(板栗林和雷竹林)作为研究样地。在测定研究区内不同林分下土壤总有机碳和粒径组分碳含量基础上,利用核磁共振技术研究上述 4 种林分土壤有机碳结构特征,探讨林分类别和经营措施对土壤总有机碳及粒径组分碳含量、结构和稳定性的影响,为亚热带区域固碳和森林土壤碳库管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区设在浙江省临安市玲珑山,地理坐标为 119°42' E, 30°14' N。该区属中亚热带季风气候,温暖湿润,雨量充沛,四季分明。一年之中,1 月为最冷月,7 月为最热月,年平均气温 15.8 °C,年均降水量 1424 mm,无霜期 236 d。土壤为发育于凝灰岩的黄红壤。在研究区内选择坡向(南坡)、坡度(10°—15°)、坡位(中坡)、海拔(330—370 m)基本一致的常绿阔叶林、板栗林、马尾松林和雷竹林。4 种林地的基本情况如下:

(1) 阔叶林,该地区的顶极群落,主要优势树种有青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)等,林龄约 25a,平均胸径 14.3 cm,郁闭度为 70%。林下灌木种类有山苍子(*Litsea cubeba*)、山胡椒(*Lindera glauca*)等,覆盖度 70%,该林地总面积为 14.7 hm²。(2) 马尾松(*Pinus massoniana*)林,生长历史在 20a 以上,平均胸径在 10—13 cm,覆盖度在 55%—75%,林下植被有连蕊茶(*Camellia fraterna*)、乌饭

(*Vaccinium bracteatum*)等,该林地总面积为 18.5 hm²。(3) 板栗(*Castanea mollissima*)林,由阔叶林和针叶林两类天然林改造而来,林龄 14a,种植密度 415 株/hm²,平均胸径 14.4 cm,该林地总面积为 4.3 hm²。每年除草 2—3 次并翻耕,每年施肥 3 次,年施肥量为 1 kg/株复合肥。(4) 雷竹(*Phyllostachys Praecox*)林,林龄 14a,胸径 3.5 cm,密度 1500 株/hm²,于 1997 年由常绿阔叶林幼林改造而来,该林地总面积为 6.8 hm²。2003 年起实行覆盖促成式栽培,其模式是:每年 11 月下旬至 12 月上旬给雷竹林地表覆盖有机物以增温避冷保湿,通常是在雷竹林地表先覆 10—15 cm 稻草,再在上面覆盖 10—15 cm 的砗糠,稻草用量 40 t/hm²,砗糠用量 55 t/hm²,翌年 3、4 月份揭去未腐烂的砗糠。

1.2 采样及分析方法

2010 年 3 月上旬,在上述四种林地中,各选择面积为 20 m×20 m 的样地 3 个。在同一个样地内,分别挖掘 3 个土壤剖面,取 0—20 cm 土层样品。将同一样地内 3 个点取到的土壤混合,作为该样地的土壤样品。样品采集后,带回实验室,在室温下风干,除去砾石和根系后过 2 mm 钢筛,磨细待测。

(1) 土壤基本性质测定 土壤 pH 值采用水浸提酸度计法(土:水=1:5);土壤有机碳用重铬酸钾外加热法测定;土壤全氮采用凯氏定氮;碱解氮用碱解扩散法;有效磷用 Bray 法;速效钾先用乙酸铵浸提,后在火焰光度计上测定。

(2) 土壤粒度分级 超声分散湿筛法,分组方法参照^[13-14]。获得粗砂(>250 μm),细砂(53—250 μm),粉黏粒(<53 μm)3 部分,在 60 °C 烘干、称重、磨细,用重铬酸钾外加热法测定各粒级含碳量。

(3) 土壤有机碳核磁共振分析 样品在进行固态¹³C 核磁共振波谱分析前进行 HF 预处理,目的是去除土壤中的 Fe³⁺和 Mn²⁺离子,提高仪器分析的信噪比,进而提高分析效率。HF 预处理方法主要参考^[15]。将 HF 预处理过的土壤样品进行固态魔角旋转-核磁共振测定(AVANCE II 300 MH)。实验采用 7 mm CPMAS 探头,观测频率为 100.5 MHz, MAS 旋转频率为 5000 Hz,接触时间为 2 ms,循环延迟时间为 2.5 s。化学位移的外标物为六甲基苯(hexamethyl benzene, HMB, 甲基 17.33 ppm(ppm 为核磁共振波谱中化学位移的计量单位))。对谱峰曲线进行区域积分,获得各种类型碳组分的相对含量。

1.3 数据处理

所有数据均为 3 次重复的平均值。数据处理均在 Microsoft Excel 2003 和 DPS7.05 软件上完成。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和新复极差法(Duncan's Multiple Range Test)比较不同数据组间的差异,显著性水平设定为 α=0.05。

2 结果

2.1 不同林分土壤基本理化性质分析

由表 1 可知,4 种林分表层土壤(0—20 cm) pH 值均呈强酸性,介于 4.10—4.47 之间,其中马尾松林土壤 pH 值最高,板栗林最低。雷竹林土壤总有机碳含量在 4 种林分中最高,显著高于其他林地土壤,其后依次是阔叶林、马尾松林、板栗林,后 3 种林分土壤有机碳含量不存在显著性差异。4 种林分土壤中,雷竹林的全 N、碱解 N、有效 P、速效 K 含量均显著高于其他林地相应养分含量。土壤中不同粒径颗粒的分布,阔叶林、马尾松林和雷竹林土壤粒级结构相似:以粗砂为主,所占比例超过 60%,细砂和粉黏粒含量相近;板栗林土壤仍以粗砂为主,但仅占 48.08%,而细砂和粉黏粒含量较高。

2.2 不同林分土壤总有机碳及粒径组分有机碳分布

由图 1 可知,不同林分土壤相同粒径有机碳含量差异明显。粗砂和细砂粒级含碳量,均以雷竹林最高(分别是 37.43 g/kg 和 36.93 g/kg),显著高于其他林地,然后依次分别是阔叶林(18.05 g/kg 和 22.23 g/kg)、马尾松林(10.88 g/kg 和 22.20 g/kg)、板栗林(6.14 g/kg 和 10.57 g/kg)。粉黏粒的含碳量,则是马尾松林最高(30.25 g/kg),阔叶林(21.68 g/kg)和雷竹林(19.16 g/kg)接近,板栗林(13.94 g/kg)最低。同一林分下,不同粒径土壤颗粒有机碳含量的差异也比较明显。马尾松林和板栗林不同粒径有机碳含量大小分布均为:粉黏粒>细砂>粗砂,存在显著性差异。阔叶林土壤中,细砂和粉黏粒碳含量较高,粗砂的碳含量最低,而

雷竹林土壤中,则是粗砂和细砂的碳含量较高,粉黏粒的碳含量最低。

表 1 不同林分土壤基本理化性质

Table 1 The basic physical and chemical properties of the soils under different forest types

林分 Forest types	pH	有机碳 Soil organic carbon /(g/kg)	全氮 Total nitrogen /(g/kg)	碱解氮 Available nitrogen /(mg/kg)	有效磷 Available phosphorus /(mg/kg)	速效钾 available potassium /(mg/kg)	粗砂 coarse sand (CS)/%	细砂 fine sand (FS)/%	粉黏粒 silt and clay particle (SCP)/%
阔叶林 Evergreen broad-leaved forest (RBLF)	4.32b	19.89b	1.31b	159.10b	5.4b	205b	65.1ab	18.8a	15.5c
马尾松林 Masson pine forest (MPF)	4.47a	13.62b	0.88d	89.05c	5.5b	181c	67.2a	18.5a	14.0c
板栗林 Chestnut forest (CF)	4.10c	12.17b	1.05c	107.38c	5.9b	133d	48.1c	21.5a	29.5a
雷竹林 <i>Phyllostachys praecox</i> forest (PPF)	4.32b	34.78a	2.21a	264.52a	337.2a	406a	62.2b	13.8b	23.2b

1) 同列数据后不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)

不同林分下粒径组分有机碳占土壤总有机碳的比例差异也很明显(图2):阔叶林、马尾松林和雷竹林土壤中,均为粗砂固定的碳占土壤总有机碳的比例最大,特别是雷竹林其比例高达71.08%,细砂和粉黏粒固定碳所占比例较小。而板栗林土壤中则是粉黏粒固定的碳所占比例最大,为43.83%。

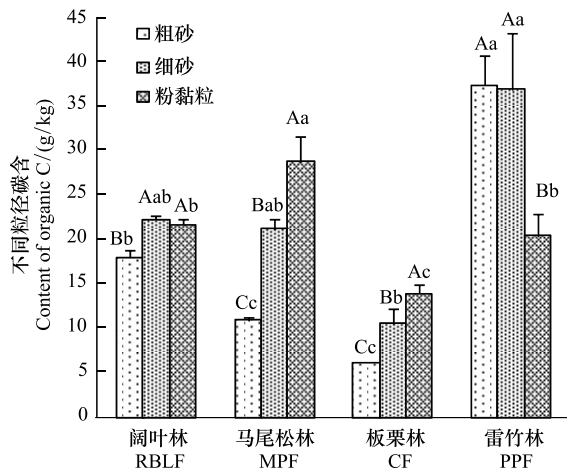


图 1 4 种林分土壤有机碳在不同粒径中的分布

Fig.1 Distribution of organic carbon in different sized particles of the soils under four forest types

不同大写字母表示同一林分不同粒径颗粒多重比较差异显著,不同小写字母表示不同林分下相同粒径颗粒多重比较差异显著 ($P<0.05$)

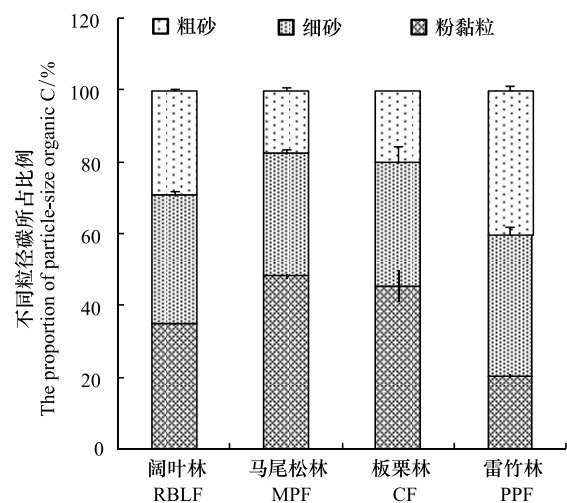


图 2 4 种林分类型中不同粒径颗粒碳占总有机碳的比例

Fig.2 The proportions of organic carbon in different sized particles to total organic carbon in the soils under four forest types

2.3 不同林分土壤总有机碳及粒径组分化学结构特征

2.3.1 土壤总有机碳 NMR 结构的比较

阔叶林、马尾松林、板栗林和雷竹林土壤总有机碳的固态¹³C 核磁共振波谱如图3所示。4种林分土壤有机碳的核磁共振谱均包含4个明显共振区:烷基碳区(0—50 ppm)、烷氧碳区(50—110 ppm)、芳香碳区(110—160 ppm)和羰基碳区(160—220 ppm),但其土壤有机碳核磁共振的信号强度是有差异的(表2)。阔叶林和马尾松林土壤有机碳中烷基碳的比例最大,分别为52.33%和42.62%;而板栗林和雷竹林则是烷氧碳的比例最高,分别为46.07%和68.26%。相比较而言,4种碳官能团中,芳香碳和羰基碳所占比例较少,其中芳香碳的比例是最小。雷竹林土壤芳香碳比例最高(8.12%),显著高于其他3种林分。马尾松林的羰基

碳显著高于雷竹林,但与阔叶林和板栗林没有显著性差异。土壤有机碳的 A/O-A 和疏水碳/亲水碳的比值按以下次序递减:阔叶林>马尾松林>板栗林>雷竹林,并且存在显著性差异。雷竹林土壤有机碳的芳香度显著高于其他 3 种林分。

2.3.2 粒径组分土壤有机碳的 NMR 结构特征

由图 4 可知,粗砂、细砂和粉黏粒土壤有机碳也都包含 4 个明显的共振区,其分布与总有机碳大致相似。由粗砂到粉黏粒,4 种林分土壤表现出一定的变化趋势(表 3)。随着颗粒变细,粒径有机碳中烷基碳的比例增加,烷氧碳比例下降,芳香碳和羰基碳则没有一致的变化趋势,A/O-A 和疏水碳/亲水碳的比值呈增加的趋势,而芳香度没有一致的变化趋势。其中,雷竹林土壤,无论是粗砂、细砂还是粉黏粒,都是烷基碳所占比例最大,烷基碳的比例明显低于其他林地土壤相应粒级,而芳香碳比例明显高于其他林地。在 A/O-A 值、芳香度和疏水碳/亲水碳这 3 个指标上,雷竹林土壤各个粒级均与其他林地土壤相应粒级存在较大的差异。

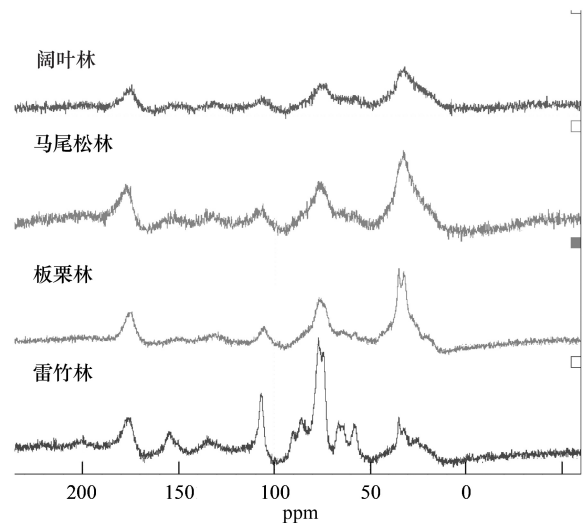


图 3 4 种林分土壤总有机碳核磁共振波谱

Fig. 3 Solid-state ^{13}C NMR spectra of total organic carbon in the soils under four forest types

表 2 不同林分类型土壤中不同有机碳官能团占总有机碳的比例

Table 2 The proportions of different organic carbon groups to total organic carbon in the soils under four forest types

森林类型 Forest types	烷基碳 Alkyl-C /%	烷氧碳 O-alkyl C/%	芳香碳 Aromatic C / %	羰基碳 Carbonyl C / %	烷基碳/烷氧碳 A/O-A	芳香度 Aromaticity /%	疏水碳/亲水碳 Hydrophobic C/ Hydrophilic C
阔叶林 EBLF	52.33a	30.66c	0.82b	15.19ab	1.74a	0.97b	1.18a
马尾松林 MPF	42.62b	37.37bc	3.02b	16.27a	1.16b	3.65b	0.85b
板栗林 CF	39.71b	46.07b	2.20b	12.02bc	0.88c	1.15b	0.72b
雷竹林 PPF	11.81c	68.26a	8.12a	9.54c	0.17d	9.29a	0.26c

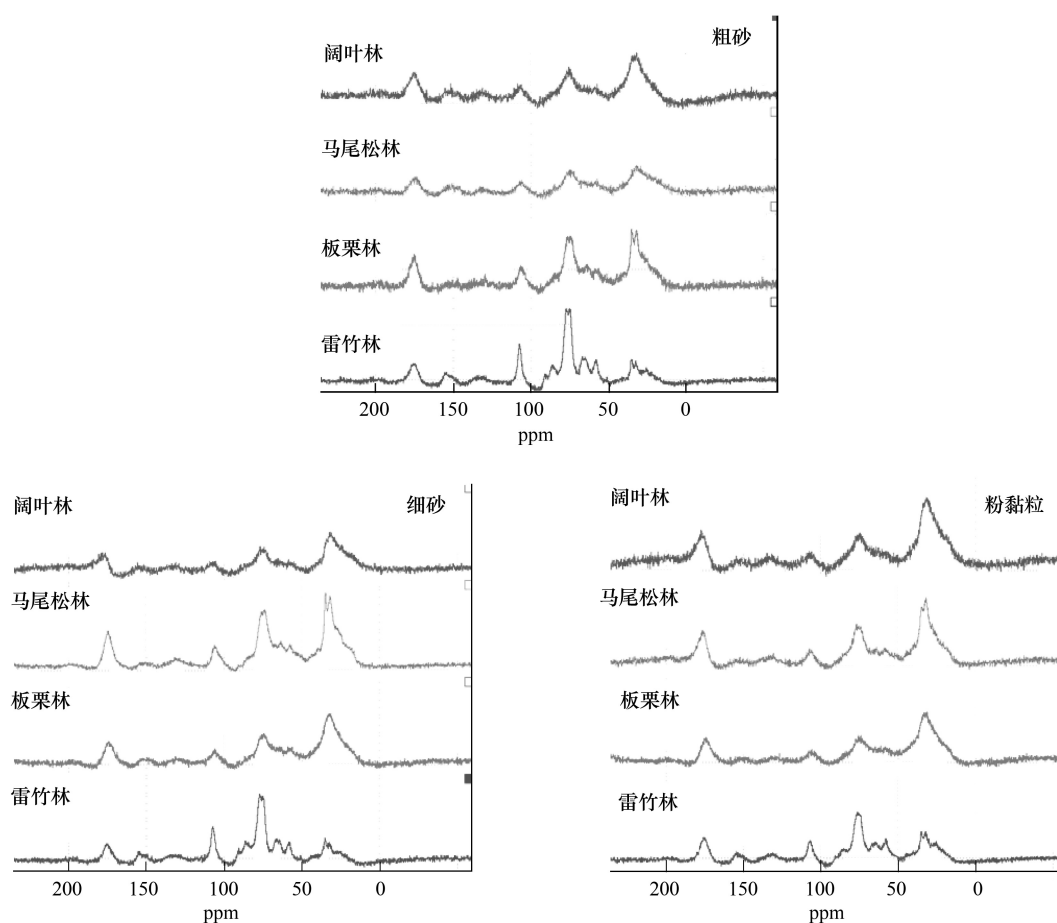
芳香度 = 芳香碳 / (烷基碳 + 烷氧碳 + 芳香碳) $\times 100\%$; 疏水碳/亲水碳 = (烷基碳 + 芳香碳) / (烷氧碳 + 羰基碳)

表 3 4 种林分类型土壤中不同粒径颗粒不同碳官能团分布

Table 3 The proportions of different organic carbon groups to total organic carbon in the soils under four forest types

林分 Forest types	粒径 Sized particles	烷基碳/% Alkyl-C	烷氧碳/% O-alkyl C	芳香碳/% Aromatic C	羰基碳/% Carbonyl C	烷基碳/烷氧碳 A/O-A	芳香度/% Aromaticity	疏水碳/亲水碳 Hydrophobic C/ Hydrophilic C
阔叶林 RBLF	粗砂 CS	48.83b	33.51a	2.88a	14.24a	1.47b	3.40a	1.09b
	细砂 FS	60.86a	27.62a	0.93b	10.60a	2.22ab	1.05b	1.63a
	粉黏粒 SCP	60.15a	25.11a	0.90b	13.79a	2.52a	1.05b	1.59a
马尾松 MPF	粗砂 CS	48.63b	36.62a	2.88a	11.76a	1.34a	3.26a	1.07b
	细砂 FS	54.42a	33.20a	2.28ab	10.10a	1.61a	2.53ab	1.31a
	粉黏粒 SCP	55.90a	32.05a	1.27b	11.11a	1.75a	1.43b	1.33a
板栗林 CF	粗砂 CS	43.94a	44.47a	1.03a	10.56a	0.99b	1.15a	0.82a
	细砂 FS	45.61a	42.49a	1.68a	10.24a	1.17ab	1.86a	0.93a
	粉黏粒 SCP	52.05a	33.34b	1.67a	12.95a	1.57a	1.91a	1.17a
雷竹林 PPF	粗砂 CS	14.38b	72.63a	5.02a	7.97a	0.20b	5.46a	0.24b
	细砂 FS	16.74b	71.45a	4.13a	7.68a	0.24b	4.47a	0.26b
	粉黏粒 SCP	28.77a	51.00b	5.46a	14.77a	0.57a	6.60a	0.52a

不同小写字母表示在相同林分下不同粒径相同碳官能团的比例多重比较显著 ($P < 0.05$)

图4 4种林分土壤中不同粒径有机碳 ^{13}C NMR图谱Fig. 4 Solid-state ^{13}C NMR spectra of organic carbon in different sized particles in the soils under 4 forest types

3 讨论与结论

3.1 不同经营方式对土壤总有机碳及粒径组分碳含量的影响

天然林土壤有机碳主要来源于凋落物,人工林土壤有机碳含量则与经营措施密切相关。本研究中阔叶林植物物种丰富,地上生物量大,导致生物归还量大,所以土壤有机碳含量较高;马尾松林枯落物生物量较小,而且比较难分解,导致土壤有机碳含量较低^[16]。板栗林和雷竹林均由天然林改造而来,两者的经营措施却不尽相同。雷竹林采取集约经营的管理模式,使土壤有机碳含量大幅增加^[17-18]。板栗林处于幼林阶段,凋落物很少,加上每年多次除草并翻耕,使土壤原有的有机碳含量下降^[19],因此其土壤有机碳含量较低。

不同粒径的土壤颗粒,有机碳含量差异很大,一般来说,颗粒越细,有机碳含量越高。而本研究中雷竹林土壤的粗砂和细砂粒级碳含量显著高于粉黏粒,这是因为集约经营使雷竹林土壤有机碳增加的部分,主要固定在大团聚体中^[20]。

3.2 不同经营方式对土壤有机碳 NMR 结构的影响

以往有关不同碳组分占土壤总有机碳比例的研究结果有很大的差异,若干研究结果^[4,6-7]显示,烷氧碳在四种碳组分中所占比例最大,而 Oades^[21]和 Chen^[22]的研究结果表明,烷基碳所占的比例最高。本研究中不同林分的结果也表现出很大差异:阔叶林和马尾松林土壤中,烷基碳的比例最大,雷竹林和板栗林土壤中则是烷氧碳比例最高。不同的研究结果差异很大,可能与土地利用方式、土壤类型、气候特征以及经营方式有关。Mathers 和 Xu^[4]研究显示,覆盖处理会增加土壤中烷氧碳的相对含量。这与本研究中采用覆盖措施的雷竹林土壤中烷氧碳比例最高是一致的。土壤有机碳的芳香结构组分主要来自枯落物的残留物和根系分泌

物^[6,23]。覆盖措施和雷竹地下部分大量竹鞭的分泌物使其土壤芳香碳比例显著高于其他林地。而板栗林土壤中烷基碳和芳香碳比例较低可能是除草措施造成的^[6]。

本研究中,不同粒径中有机碳核磁共振图谱与土壤总有机碳相似,但表现出一定的变化趋势。随着颗粒变细,烷基碳比例增加,烷氧碳比例下降,这可能与碳水化合物被土壤微生物利用消耗和某些顽固组分(如聚亚甲基等)被保留下来有关^[24]。从土壤形成演化的角度来说,随着土壤质地变细,不稳定的碳(烷氧碳)向稳定的碳(烷基碳)转化,土壤碳库渐渐稳定。

3.3 不同经营方式对土壤有机碳稳定性的影响

A/O-A 值常作为有机碳分解程度的指标^[25]。该比值愈大,土壤有机碳的稳定性愈高。但有学者认为,A/O-A 值可能会受输入土壤的有机碳原始结构影响,不能准确体现土壤有机碳的稳定程度^[4,24]。因此本研究采用疏水 C/亲水 C 比值(通常该比值越大,表示有机碳和团聚体的稳定性越高^[26-27])和 A/O-A 值两个指标来表征土壤有机碳的稳定程度。芳香度可以反映有机碳分子结构的复杂程度,该值越大,表明芳香核结构越多,分子结构越复杂。

树种对土壤有机碳的含量和稳定性有一定的影响作用^[25,28-29]。有研究表明马尾松人工林比阔叶人工林土壤稳定性高^[28],本研究中阔叶林的 A/O-A 和疏水 C/亲水 C 值均大于马尾松林,说明阔叶林表层土壤比马尾松林土壤稳定性更高,可能是阔叶林树种组成不同造成的。雷竹林表层土壤有机碳含量虽然很高(34.78 g/kg),但与砂粒结合的碳占总碳的 86.46%,并且 A/O-A 和疏水 C/亲水 C 值在 4 种林分中最小,均表明其土壤有机碳活性较大,处于不稳定的状态。这一点从土壤水溶性碳和土壤含烷氧碳含量呈极显著正相关($P < 0.01$)也得到证明^[30]。同时,雷竹林土壤有机碳的芳香度最大,说明其结构比较复杂。板栗林土壤有机碳含量最小,而且与阔叶林和马尾松相比,A/O-A 和疏水 C/亲水 C 值都较小,说明林下除草、翻耕不但减少板栗林土壤有机碳含量,并且降低了其有机碳的稳定性。

粉黏粒的物理保护作用是土壤有机碳保持稳定的一个重要途径。已有研究表明土壤中粉黏粒含量与土壤有机碳含量有较高的正相关性^[31]。本研究中各粒径组分有机碳的 A/O-A 值:粉黏粒>细砂>粗砂,与 Chen^[32]结果一致。这说明土壤颗粒越细,其结合的有机碳结构越稳定。换言之,粉黏粒中有机碳本身的结构比粗砂和细砂的稳定。而且最新研究表明,相对于高岭土和伊利石,由蒙脱石构成的黏粒土壤有机碳稳定性更高^[33]。因此增加土壤中粉黏粒的相对含量,不但可以增加有机碳含量,还有利于提高有机碳的稳定性。土壤中粉黏粒的含量主要取决于成土母质,同时还受气候、土地利用方式、植被类型、经营措施等影响。而针对本研究涉及的 4 种林分,可通过在林下建立植物拦截,减少翻耕次数或免耕等措施减少水土流失来增大土壤碳储量和提高碳库的稳定性。

由本研究结果可以得出结论,植被类型、管理模式、耕作方式可以显著影响森林土壤有机碳含量及其在不同粒径中的分配和稳定性。对天然林地,树种对土壤有机碳的含量和稳定性有很大的影响作用,人工林除了受树种因素影响外,还与其管理措施密切相关。本研究中阔叶林土壤有机碳含量及稳定性均高于马尾松林,集约经营虽导致雷竹林土壤有机碳含量显著增加,但却降低了其稳定性,而林下除草、翻耕不仅使板栗林土壤有机碳含量下降,还降低了其稳定性。因此实施造林/再造林过程中,选取适当的树种,合理的管理措施,尽量减少水土流失,综合考虑对土壤有机碳储量和结构稳定性的影响,对增加局部地区碳储量,减缓全球气候变化过程意义重大。

References:

- [1] Lal R. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effects. *Progress in Environmental Science*, 1999, 1(4): 307-326.
- [2] Zhou X Y, Zhang C Y, Guo G F. Effects of climate change on forest soil organic carbon storage: a review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(7): 1867-1874.
- [3] Smith O H, Petersen G W, Needelman B A. Environmental indicators of agroecosystems. *Advances in Agronomy*, 1999, 69: 75-97.

- [4] Mathers N J, Xu Z H. Solid-state ^{13}C NMR spectroscopy, characterization of soil organic matter under two contrasting residue management regimes in a 2-year-old pine plantation of subtropical Australia. *Geoderma*, 2003, 114(1/3): 19-31.
- [5] Ussiri D A, Johnson C E. Organic matter composition and dynamics in a northern hardwood forest ecosystem 15 years after clear-cutting. *Forest Ecology and Management*, 2007, 240(1/3): 131-142.
- [6] Huang ZQ, Xu Z H, Chen C R, Boyd S. Changes in soil carbon during the establishment of a hardwood plantation in subtropical Australia. *Forest Ecology and Management*, 2008, 254(1): 46-55.
- [7] Mahieu N, Randall E W, Powlson D S. Statistical analysis of published carbon- 13 CPMAS NMR spectra of soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63(2): 307-319.
- [8] Mathers N J, Mao X A, Xu Z H, Beners-Price S J, Perera M C. Recent advances in the application of ^{13}C and ^{15}N NMR spectroscopy to soil organic matter studies. *Australian Journal of Soil Research*, 2000, 38(4): 769-787.
- [9] Golchin A, Baldock J A, Clarke P, Higashi T, Oades J M. The effects of vegetation and burning on the chemical composition of soil organic matter of a volcanic ash soil as shown by ^{13}C NMR spectroscopy; II. Density fractions. *Geoderma*, 1997, 76(3/4): 175-192.
- [10] Arai H, Tokuchi N. Soil organic carbon accumulation following afforestation in a Japanese coniferous plantation based on particle-size fractionation and stable isotope analysis. *Geoderma*, 2010, 159(3/4): 425-430.
- [11] Lin P S, Ouyang C T, Shang Z H, Ou X J, Zeng L H. Red soil aggregate and its organic carbon distribution under different land use in mountain area of northeast Guangdong. *Tropical Geography*, 2011, 31(4): 362-367.
- [12] Luo Y J, Wei C F, Li Y, Ren Z J, Liao H P. Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 257-266.
- [13] Chefetz B, Tarchitzky J, Deshmukh A P, Deshmukh, Hatcher P G, Chen Y. Structural characterization of soil organic matter and humic acids in particle-size fractions of an agricultural soil. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(1): 129-141.
- [14] Cambardella C A, Elliott E T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma*, 1993, 56(1/4): 449-457.
- [15] Mathers N J, Xu Z H, Berners-Price S J, Perera M C, Saffigna G P. Hydrofluoric acid pre-treatment for improving ^{13}C CPMAS NMR spectral quality of forest soils in southeast Queensland. *Australian Journal of Soil Research*, 2002, 40(4): 655-674.
- [16] Guo P P, Jiang H, Yu S Q, Ma Y D, Dou R P, Song X Z. Comparison of litter composition of six species of coniferous and broad-leaved trees in subtropical China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2009, 15(5): 655-659.
- [17] Sun X, Zhuang S Y, Liu G Q, Li G D, Gui R Y, He J C. Effect of Lei bamboo plantation on soil basic properties under Intensive Cultivation Management. *Soil*, 2009, 41(5): 784-789.
- [18] Li G D, Liou G Q, Zhuang S Y, Gui R Y. Changes of organic matter in soils planted Lei bamboo with different years. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(4): 845-849.
- [19] Busse M D, Cochran P H, Barrett J W. Changes in ponderosa pine site productivity following removal of understory vegetation. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60(6): 1614-1621.
- [20] Hassink J. Preservation of plant residues in soils differing in unsaturated protective capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60(2): 487-491.
- [21] Oades J M, Waters A G, Vassallo A M, Wilson M A, Jones G P. Influence of management on the composition of organic matter in a red brown earth as shown by ^{13}C nuclear magnetic resonance. *Australian Journal of Soil Research*, 1988, 26(2): 289-299.
- [22] Chen C R, Xu Z H, Mathers N J. Soil carbon pools in adjacent natural and plantation forests of subtropical Australia. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(1): 282-291.
- [23] Pomilio A B, Leicach S R, Grass M Y, Ghera C M, Santoro M, Vitale A A. Constituents of the root exudate of *Avena fatua* grown under far-infrared-enriched light. *Phytochemical Analysis*, 2000, 11(5): 304-308.
- [24] Baldock J A, Oades J M, Waters A G, Peng X, Vassallo A M, Wllson M A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ^{13}C NMR spectroscopy. *Biogeochemistry*, 1992, 16(1): 1-42.
- [25] Ussiri D A, Johnson C E. Characterization of organic matter in a northern hardwood forest soil by ^{13}C NMR spectroscopy and chemical methods. *Geoderma*, 2003, 111(1/2): 123-149.
- [26] Piccolo A, Mbagwu J S. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63(6): 1801-1810.
- [27] Spaccini R, Mbagwu J S, Conte P, Piccolo A. Changes of humic substances characteristics from forested to cultivated soils in Ethiopia. *Geoderma*, 2006, 132(1/2): 9-19.
- [28] Wang H, Liu S R, Mo J M, Wang J X, Makeshin F, Wolff M. Soil organic carbon stock and chemical composition in four plantations of

- indigenous tree species in subtropical China. *Ecological Research*, 2010, 26(6): 1071-1079.
- [29] Russell A E, Raich J W, Valverde-Barrantes O J, Fisher R F. Tree species effects on soil properties in experimental plantations in tropical moist forest. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71(4): 1389-1397.
- [30] Jiang P K, Xu Q F, Zhou G M, Meng C F. *Soil Quality Under Phyllostachys Praecox Stands and Its Evolution Trend*. Beijing: Agriculture Press, 2009: 102-104.
- [31] Galantini J A, Sennsi N, Brunetti, Rosell R. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid Pampean grassland soils of Argentina. *Geoderma*, 2004, 123(1/2): 143-152.
- [32] Chen J S, Chiu C Y. Characterization of soil organic matter in different particle-size fractions in humid subalpine soils by CP/MAS ^{13}C NMR. *Geoderma*, 2003, 117(1/2): 129-141.
- [33] Saidy A R, Smernik R J, Baldock J A, Kaiser K, Sanderman J, Macdonald L M. Effects of clay mineralogy and hydrous iron oxides on labile organic carbon stabilisation. *Geoderma*, 2012, 173-174: 104-110.

参考文献:

- [2] 周晓宇, 张称意, 郭广芳. 气候变化对森林土壤有机碳贮藏影响的研究进展. *应用生态学报*, 2010, 21(7): 1867-1874.
- [11] 林培松, 欧阳椿陶, 尚志海, 欧先交, 曾兰华. 粤东北山区不同土地利用类型红壤团聚体及其有机碳分布特征. *热带地理*, 2011, 31(4): 362-367.
- [12] 罗友进, 魏朝富, 李渝, 任镇江, 廖和平. 土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响. *生态学报*, 2011, 31(1): 257-266.
- [16] 郭培培, 江洪, 余树全, 马元丹, 窦荣鹏, 宋新章. 亚热带 6 种针叶和阔叶树种凋落叶分解比较. *应用与环境生物学报*, 2009, 15(5): 655-659.
- [17] 孙晓, 庄舜尧, 刘国群, 李国栋, 桂仁意, 何钧潮. 集约经营下雷竹种植对土壤基本性质的影响. *土壤*, 2009, 41(5): 784-789.
- [18] 李国栋, 刘国群, 庄舜尧, 桂仁意. 不同种植年限下雷竹林土壤的有机质转化. *土壤通报*, 2010, 41(4): 845-849.
- [30] 姜培坤, 徐秋芳, 周国模, 孟赐福. *雷竹林土壤质量及其演变趋势*. 北京: 中国林业出版, 2009: 102-104.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.2 January ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatio-temporal heterogeneity of water and plant adaptation mechanisms in karst regions; a review CHEN Hongsong, NIE Yunpeng, WANG Kelin (317)
- Impacts of mangrove vegetation on macro-benthic faunal communities CHEN Guangcheng, YU Dan, YE Yong, et al (327)
- Advance in research on the occurrence and transformation of arsenic in the freshwater lake ecosystem ZHANG Nan, WEI Chaoyang, YANG Linsheng (337)
- Application of nano-scale secondary ion mass spectrometry to microbial ecology study HU Hangwei, ZHANG Limei, HE Jizheng (348)
- Carbon cycle of urban system; characteristics, mechanism and theoretical framework ZHAO Rongqin, HUANG Xianjin (358)
- Research and compilation of urban greenhouse gas emission inventory LI Qing, TANG Lina, SHI Longyu (367)

Autecology & Fundamentals

- Seed dispersal and seedling recruitment of *Ulmus pumila* woodland in the Keerqin Sandy Land, China YANG Yunfei, BAI Yunpeng, LI Jiandong (374)
- Influence of environmental factors on seed germination of *Bombax malabaricum* DC. ZHENG Yanling, MA Huancheng, Scheller Robert, et al (382)
- Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometric characteristics during the decomposition of *Spartina alterniflora* and *Cyperus malaccensis* var. *brevifolius* litters OUYANG Linmei, WANG Chun, WANG Weiqi, et al (389)
- Home range of *Teratoscincus roborowskii* (Gekkonidae): influence of sex, season, and body size LI Wenrong, SONG Yucheng, SHI Lei (395)
- Effects of the covering behavior on food consumption, growth and gonad traits of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis* LUO Shibin, CHANG Yaqing, ZHAO Chong, et al (402)
- Biological response of the rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) reared on rice and maize seedling to temperature LIAO Huaijian, HUANG Jianrong, FANG Yuansong, et al (409)

Population, Community and Ecosystem

- Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China SHANG Suyun, JIANG Peikun, SONG Zhaoliang, et al (416)
- The community characteristics of different types of grassland under grazing prohibition condition ZHANG Pengli, CHEN Jun, CUI Shujuan, et al (425)
- Spatial pattern and competition relationship of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population in degraded alpine grassland REN Heng, ZHAO Chengzhang (435)
- SOC decomposition of four typical broad-leaved Korean pine communities in Xiaoxing' an Mountain SONG Yuan, ZHAO Xizhu, MAO Zijun, et al (443)
- The influence of vegetation restoration on soil archaeal communities in Fuyun earthquake fault zone of Xinjiang LIN Qing, ZENG Jun, ZHANG Tao, et al (454)
- Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China ZHU Xinyu, DONG Zhixin, KUANG Fuhong, et al (464)
- Woody plant leaf litter consumption by the woodlouse *Porcellio scaber* with a choice test LIU Yan, LIAO Yuncheng (475)
- The bacterial community of coastal sediments influenced by cage culture in Xiangshan Bay, Zhejiang, China QIU Qiongfeng, ZHANG Demin, YE Xiansen, et al (483)
- A study of meiofauna in the COMRA's contracted area during the summer of 2005 WANG Xiaogu, ZHOU Yadong, ZHANG Dongsheng, et al (492)
- Hydrologic regime of interception for typical forest ecosystem at subalpine of Western Sichuan, China SUN Xiangyang, WANG Genxu, WU Yong, et al (501)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Sensitivity and vulnerability of China's rice production to observed climate change XIONG Wei, YANG Jie, WU Wenbin, et al (509)

- Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005 HE Wei, BU Rencang, XIONG Zaiping, et al (519)
- Combined effects of elevated O₃ and reduced solar irradiance on growth and yield of field-grown winter wheat ZHENG Youfei, HU Huifang, WU Rongjun, et al (532)
- Resource and Industrial Ecology**
- The study of vegetation biomass inversion based on the HJ satellite data in Yellow River wetland GAO Mingliang, ZHAO Wenji, GONG Zhaoning, et al (542)
- Temporal and spatial variability of soil available nutrients in arable Lands of Heyang County in South Loess Plateau CHEN Tao, CHANG Qingrui, LIU Jing, et al (554)
- Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation WU Ji, GUO Xisheng, LU Jianwei, et al (565)
- Effects of nitrogen application stages on photosynthetic characteristics of summer maize in high yield conditions LÜ Peng, ZHANG Jiwang, LIU Wei, et al (576)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The degradation threshold of water quality associated with urban landscape component LIU Zhenhuan, LI Zhengguo, YANG Peng, et al (586)
- Ecological sustainability in Chang-Zhu-Tan region; a prediction study DAI Yanan, HE Xinguang (595)
- The effect of exogenous nitric oxide on activities of antioxidant enzymes and microelements accumulation of two rice genotypes seedlings under cadmium stress ZHU Hanyi, CHEN Yijun, LAO Jiali, et al (603)
- Forms composition of inorganic carbon in sediments from Dali Lake SUN Yuanyuan, HE Jiang, LÜ Changwei, et al (610)
- Fractionation character and bioavailability of Cd, Pb, Zn and Ni combined pollution in oasis soil WU Wenfei, NAN Zhongren, WANG Shengli, et al (619)
- Effects of CA and EDTA on growth of *Chlorophytum comosum* in copper-contaminated soil WANG Nannan, HU Shan, WU Dan, et al (631)
- Research Notes**
- Values of marine ecosystem services in Haizhou Bay ZHANG Xiuying, ZHONG Taiyang, HUANG Xianjin, et al (640)
- Variations of *Leymus chinensis* community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors TAN Liping, ZHOU Guangsheng (650)
- The effect of N:P supply ratio on P uptake and utilization efficiencies in *Larix olgensis* Henry. seedlings WEI Hongxu, XU Chengyang, MA Lüyi, et al (659)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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

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 2 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 2 (January, 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