

Dynamic Changes of Soil Active Organic Carbon Pool under Different Forest Vegetations in Mt.Lushan

Shuo Feng, Fazhan Yu*, Yuwei Zhu, Yali Tu, Shuyu Xing, Zilong Cai

School of Geography, Geomatics, and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu
Email: 594942226@qq.com, *yufazhan@126.com

Received: May 6th, 2017; accepted: May 20th, 2017; published: May 27th, 2017

Abstract

Studying forest soil organic carbon dynamic changes in Mt.Lushan has a significant meaning for forecasting and maintaining long-term productivity of forest ecosystems. It also provides basic data for the global climate change. In this paper, we take six kinds of soil under different forest vegetations in Mt.Lushan as samples to study changes of active soil organic carbon under various forest vegetations in different seasons and relationships between these soil organic carbons. The results showed that: evergreen broad-leaved forest has the highest levels in ROC, WSOC, MBC, but a smaller proportion of TOC comparing to other forest vegetations, which indicates that organic carbon has a close relationship with vegetation types. ROC's seasonal change is not very big in extent. The seasonal variation in WSOC and MBC is more complicated. In a word, the content of ROC and MBC is high in warm seasons and low in cold seasons while WSOC is exactly the opposite.

Keywords

Forest Vegetations, Active Organic Carbon, Seasonal Variation, Mt. Lushan

庐山不同森林植被下土壤活性有机碳的季节变化

冯 烁, 于法展*, 朱雨薇, 涂雅利, 邢书语, 蔡子龙

江苏师范大学, 地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州
Email: 594942226@qq.com, *yufazhan@126.com

收稿日期: 2017年5月6日; 录用日期: 2017年5月20日; 发布日期: 2017年5月27日

摘要

研究庐山森林土壤有机碳库动态变化, 无论对预测和维护森林生态系统长期生产力, 还是为全球气候变化研究提供基础数据方面, 均具有重要意义。以庐山6种森林植被下土壤为研究对象, 对不同森林植被下土壤各种活性有机碳的季节变化及相互关系进行分析。结果表明: 1) 常绿阔叶林下ROC、WSOC、MBC含量均为最高, 但其相应组分占TOC的比重较小, 说明各组分有机碳的含量与植被类型有着密切关系。2) ROC的季节变化幅度较小, WSOC、MBC的季节变化较为复杂; 总体上ROC与MBC含量表现为夏季高而冬季低, WSOC则完全相反。

关键词

森林植被类型, 活性有机碳, 季节变化, 庐山

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

土壤是陆地生态系统最大的碳储存库, 有研究显示其碳库占全球的 70%以上, 其中森林土壤有机碳占全球土壤有机碳库的 1/3 以上[1]。在全球变暖的大背景下, 森林的固碳作用对全球温度的变化有着举足轻重的作用[2]。同一地区的同一植被下土壤总有机碳的动态变化很少, 年季变化甚微[3], 因此很难检测到其变化, 但是森林植被的变化, 例如森林植被的砍伐与恢复、森林转变为草地或者耕地通常能使土壤有机碳总量及土壤性质发生明显变化[4]。土壤活性有机碳是土壤中移动快、稳定性差、易氧化和矿化, 对微生物活性较高的那部分有机碳[5], 它直接参与土壤微生物化学转化过程, 在土壤养分循环中具有重要的作用, 是土壤养分的储存库; 并能够在土壤全碳变化之前反映出土壤管理措施和环境引起的土壤微小变化, 因此可作为土壤质量和潜在生产力的敏感指标[6]。由于土壤活性有机碳的敏感性, 其含量会表现出明显的季节变化。土壤活性有机碳各组分可用土壤易氧化有机碳(ROC)、水溶性有机碳(WSOC)、微生物量有机碳(MBC)来表示。

国外学者对森林土壤有机碳的研究较早, David 等(1984)研究发现针叶林下土壤可溶性有机碳含量明显高于阔叶林下土壤, Somlander 等(2002)的结论正好相反。国内近年来对土壤有机碳库的研究较多: 周国模等(2006)研究了不同管理模式下毛竹下土壤有机碳的动态变化[7]; 沈玉娟等(2011)研究了太湖湖滨带土壤活性有机碳沿水分梯度的变化特征[8]; 王连峰等(2001, 2003)对庐山 6 种树木立地土壤溶液铝形态与溶解有机碳变化、庐山森林生态系统土壤溶液有机碳的分布进行了研究[9] [10]。但是有关庐山森林土壤活性有机碳动态变化的研究仍然是空白。本文以庐山内的 6 种森林植被下土壤为研究对象, 系统研究不同森林植被下土壤活性有机碳库的动态变化, 旨在揭示各种活性有机碳的季节变化及相互关系, 为亚热带相似地形、地貌区域森林土壤有机碳库的科学管理提供借鉴。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

庐山位于东经 115°50'~116°10', 北纬 29°28'~30°53', 总面积 30,493 hm², 属中亚热带季风温湿气候区,

四季分明。其北侧为长江, 南侧为鄱阳湖, 由于山高坡陡、濒湖临江, 所以气候垂直分带较为明显, 该区处于西南暖湿气流与北方冷空气的接触部位, 山体高耸襟江临湖的独特地理位置, 使大量暖湿气流沿陡坡悬崖上升, 与山上冷空气相遇凝结成水, 造就了庐山特有的多雨雪云雾的气候特色。庐山是一座地垒式断块中山, 主峰大汉阳峰海拔为 1473.8 m, 四周为平原, 山体平均高出四周 1400 m 左右, 因而山体的垂直地带性较明显。庐山山体的森林植被覆盖率达 76.6%, 从山脚至山顶大体可划分为: 常绿阔叶林带、常绿-落叶阔叶混交林带、落叶阔叶林带。海拔 200 m 以下主要优势种为马尾松(*Pinus massoniana*); 海拔 700 m 以下主要为常绿阔叶林带, 建群优势种以壳斗科(*Fagaceae*)、樟科(*Lauraceae*)为主; 海拔 700~1000 m 之间为常绿-落叶阔叶混交林带, 常绿种有青冈栎(*C.glauca*)、白楠等, 落叶树种有灯台树(*Corunus controversa*)、青榨槭(*A.D avidii*)等; 海拔 1000 m 以上为落叶阔叶林带, 有毛栗(*C.Sequinii*)、化香等植被分布。从山麓到山顶依次分布着红壤和黄壤、山地黄壤、山地黄棕壤、山地棕壤[11]。

2.2. 采样与分析方法

在庐山上根据森林植被类型的不同设置 6 块测试样地(表 1 和图 1), 调查其上的主要植物种类及地形因子(坡向、坡度、坡形等); 每块样地设置 3 个重复, 样地面积视森林植被类型而定, 阔叶林取为 50 m × 50 m, 针叶林取为 30 m × 30 m, 各样地的土壤剖面选在靠近测试样地的位置(样方为 1 m × 1 m), 这样既保证土壤调查的代表性, 又不破坏样地的完整性[11]。在样地每隔 3 个月用取土器采集 0~20 cm 土层的混合样品, 根据不同季节共取样 4 次。样品带回实验室后, 除去大的石头和植物根叶等杂物, 过 2 mm 筛(如样品太湿则晾干半天后在筛), 充分混合后分成两份, 一份马上用于水溶性有机碳(WSOC)、微生物量碳(MBC)的测定; 另一份风干后用于土壤总有机碳(TOC)、易氧化态碳(ROC)的测定。WSOC 用蒸馏水浸提法; MBC 采用氯仿熏蒸法, 过滤后滤液在岛津-TOC 有机碳分析仪测定; ROC、TOC 采用重铬酸钾外加热法测定。具体分析参照《土壤微生物生物量测定方法及其应用》[12]。

2.3. 数据分析与处理

所有的数据用 Excel 2003 和 SPSS19.0 统计软件对结果进行统计分析及相关性分析。

3. 结果与讨论

3.1. 不同森林植被下 ROC 的季节变化

ROC 是土壤中化学活性较强有机化合物, 用 66.7 mol/L 重铬酸钾氧化测得的 ROC 含量, ROC 占 TOC 的比例能反映出土壤腐殖质的稳定性[13]。庐山不同森林植被类型下土壤活性有机碳库及其组分见表 2。

由表 2 可知, 常绿阔叶林下 ROC 含量显著高于其他植被, 平均为 11.14 g/kg, 其余 5 种森林植被下

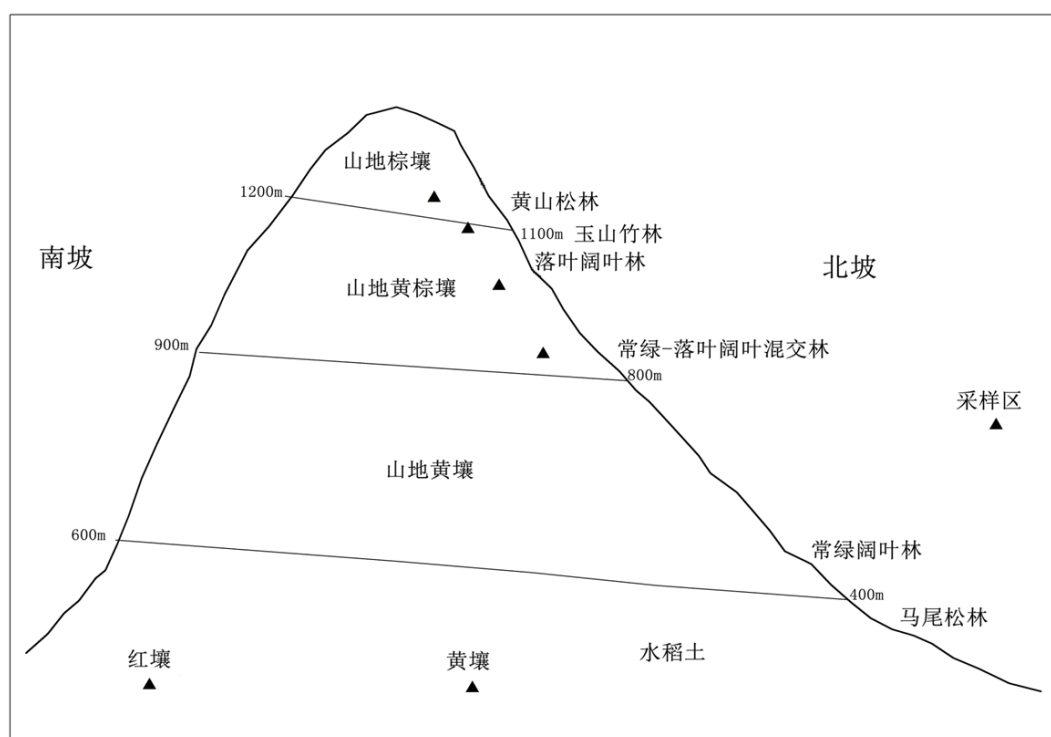
Table 1. Overview of six test plots in Mt.Lushan

表 1. 庐山 6 块测试样地概况[11]

森林植被类型	主要层优势植物	坡向坡度/°	海拔/m	土壤类型
马尾松林	马尾松	NW20	300	红壤
常绿阔叶林	山毛榉、栲树	E17	450	黄壤
常绿-落叶阔叶混交林	青冈栎、化香	SW35	800	山地黄壤
落叶阔叶林	茅栗、白辛树	NE28	1000	山地黄棕壤
玉山竹林	玉山毛竹	SW40	1100	山地黄棕壤
黄山松林	黄山松	NW25	1200	山地棕壤

Table 2. Active soil organic carbon pool and its component type under different forest vegetation in Mt.Lushan (average \pm standard deviation)**表 2.** 庐山不同森林植被类型土壤活性有机碳库及其组分(平均值 \pm 标准差)

植被类型	不同组分	TOC(g/kg)	ROC(g/kg)	WSOC(g/kg)	MBC(g/kg)
马尾松林		15.97 \pm 5.32	7.88 \pm 1.24	0.14 \pm 0.02	0.24 \pm 0.03
常绿阔叶林		25.02 \pm 6.06	11.14 \pm 2.21	0.28 \pm 0.06	0.30 \pm 0.06
常绿-落叶阔叶混交林		16.90 \pm 3.21	7.43 \pm 1.69	0.16 \pm 0.04	0.22 \pm 0.02
落叶阔叶林		13.64 \pm 3.04	6.05 \pm 1.62	0.23 \pm 0.04	0.26 \pm 0.05
玉山竹林		12.90 \pm 5.17	7.84 \pm 1.22	0.15 \pm 0.05	0.27 \pm 0.11
黄山松林		16.21 \pm 2.88	7.51 \pm 0.74	0.12 \pm 0.03	0.17 \pm 0.02

**Figure 1.** Distribution diagram plots of six tests under different forest vegetation in Mt.Lushan**图 1.** 庐山不同森林植被下的 6 块测试样地分布示意图[11]

ROC 含量大体相当(6.05~7.88 g/kg)。6 种森林植被下 ROC 含量大小排序依次为：常绿阔叶林下 > 马尾松林 > 玉山竹林 > 黄山松林 > 常绿-落叶阔叶混交林 > 落叶阔叶林。根据表 2 中 ROC、TOC 的数据可分别计算出不同森林植被下 ROC 占 TOC 的比例，不同森林植被下 ROC/TOC 以玉山竹林最高(61.35%)，落叶阔叶林最低(44.21%)。这是因为竹林下根系发育，产生了较多的根系分泌物，而落叶阔叶林下虽然枯枝落叶较多，但是阔叶林的土壤环境下容易产生胡敏酸，胡敏酸是较为稳定的有机化合物，不易分解。

不同森林植被下 ROC 的季节变化见图 2。从图 2 中可以看出，不同森林植被下 ROC 呈现出不同的季节变化。常绿阔叶林 ROC 含量季节变化表现为 3 月至 9 月基本不变，9 月至 12 月有所下降。其余 5 种森林植被则表现为 3 月至 6 月迅速增加，6 月至 9 月小幅下滑，9 月至 12 月有所回落。总体而言，6 种森林植被下 ROC 的含量表现为冷季低暖季高，季节变化幅度较小。这是由于 ROC 对温度变化较为敏

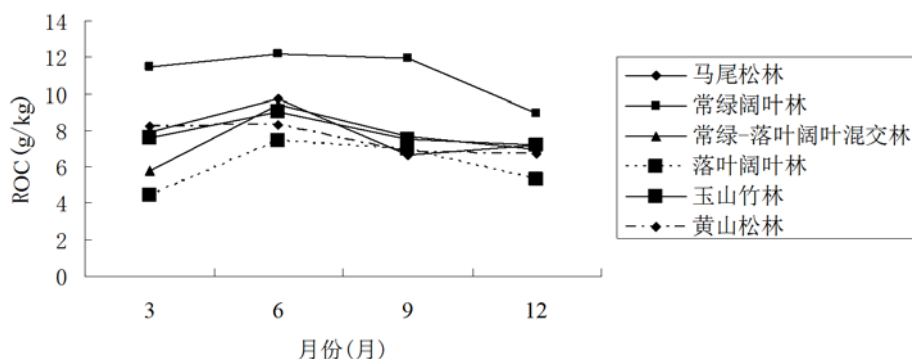


Figure 2. Dynamic changes in ROC of soils under different stands

图 2. 不同森林植被下 ROC 的季节变化

感, 庐山夏季温度高降水较多, 水热作用下土壤有机质分解加速, 从而产生了一些结构简单的易氧化有机物。

3.2. 不同森林植被下 WSOC 的季节变化

WSOC 是指具有水溶性并且能通过 $0.45 \mu\text{m}$ 孔径滤膜的有机碳, 主要由一些组成简单的羧酸、糖类和腐殖质组成, 它易于被土壤微生物分解, 是土壤微生物的主要能源, 在提供土壤养分方面具有重要作用。WSOC 也是土壤有机质变化的敏感指标之一, 其含量的变化对全球碳循环和土壤有机质的生态化学过程有着十分重要的影响, 对于土壤养分的迁移转化具有重要的作用[14]。从表 2 中可知: 不同森林植被下 WSOC 含量为常绿阔叶林 > 落叶阔叶林 > 常绿-落叶阔叶混交林 > 玉山竹林 > 马尾松林 > 黄山松林。由于森林土壤可溶性有机质主要来源于凋落物的分解、土壤腐殖质以及根系分泌物, WSOC 与 TOC 之间常处于一种动态平衡状态, 两者在一定条件下可以相互转化[15]。根据表 2 中 WSOC、TOC 的数据可分别计算出不同森林植被下 WSOC 占 TOC 的比例。6 种森林植被下 WSOC/TOC 比例为 0.17%~1.69%, 平均值达到了 0.99%, 这也表明森林 WSOC 主要来源于 TOC。WSOC/TOC 的比例以玉山竹林最高(1.16%), 黄山松林最低(0.17%), 说明 WSOC 含量与植被类型有着密不可分的关系。

不同森林植被下 WSOC 的季节变化见图 3。6 种森林植被下 WSOC 的季节变化不完全一致。其中常绿阔叶林和玉山竹林 WSOC 含量的变化为 6 月 < 3 月 < 12 月 < 9 月; 落叶阔叶林 WSOC 含量的变化为 9 月 < 12 月 < 6 月 < 3 月; 马尾松林 WSOC 含量变化为 9 月 < 6 月 < 3 月 < 12 月; 黄山松林 WSOC 含量变化为 6 月 < 3 月 < 9 月 < 12 月; 常绿-落叶阔叶混交林 WSOC 含量的变化为 12 月 < 9 月 < 3 月 < 6 月。除了常绿-落叶阔叶混交林, 其余森林植被 WSOC 含量表现为冬季较高而夏季较低。这主要与庐山上的降水与温度有关。WSOC 大多为简单易分解的有机化合物, 在春夏季节分解速度快, 微生物活动对水溶性有机质也有一定消耗, 再加上夏季庐山降水较多, 造成水溶性有机质淋溶流失, 因而春夏季节 WSOC 的含量较少。秋冬时节, 森林植被的凋落物带来了大量有机碳原料, 降水和生物量的减少使有机碳的转化和损失减少, 因此秋冬季节 WSOC 的含量有所增加。常绿-落叶阔叶混交林下 WSOC 的季节变化不同于其他的植被类型, 这与森林植被本身的复杂性有关, 进一步说明了 WSOC 含量与森林的生物归还能力有着密不可分的关系。

3.3. 不同森林植被下 MBC 的季节变化

MBC 指土壤中体积小于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的活性微生物总量, 是土壤活性有机质中最活跃最容易变化的部分, 它对土壤环境因子的变化极为敏感, 其变化可直接或间接反应土壤肥力的变化[2]。从表 2 中可知, 不同森林植被下 MBC 含量排序为常绿阔叶林 > 玉山竹林 > 落叶阔叶林 > 马尾松林 > 常绿-落叶阔叶

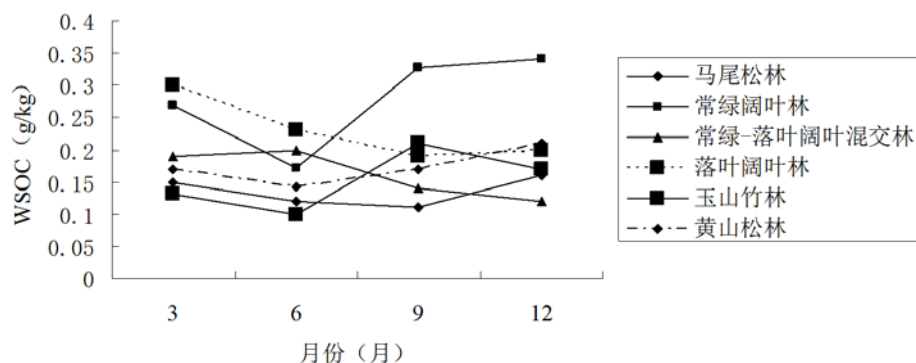


Figure 3. Dynamic changes in WSOC of soils under different stands

图 3. 不同森林植被下 WSOC 的季节变化

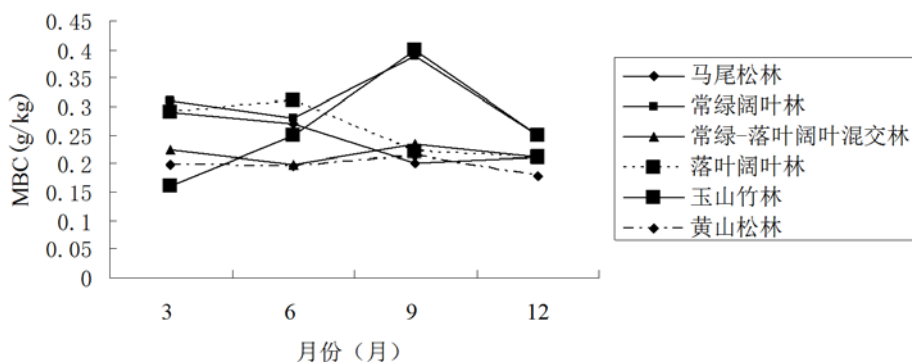


Figure 4. Dynamic changes in MBC of soils under different stands

图 4. 不同森林植被下 MBC 的季节变化

混交林 > 黄山松林。MBC/TOC 的范围为 1.06%~2.05%，玉山竹林最高，黄山松林最低。这说明 MBC 与不同森林植被类型的光合作用产物有着密不可分的关系。

6 种森林植被下 MBC 季节变化如图 4 所示，不同森林植被具有不同的季节变化形态。其中玉山竹林、常绿阔叶林、黄山松林和常绿-落叶阔叶混交林表现为秋季含量最高，冬春季节含量较低。玉山竹林 MBC 含量自 3 月至 9 月迅速增加，9 月后又迅速回落。常绿阔叶林、黄山松林和常绿-落叶阔叶混交林则表现为 3 月至 6 月轻微减少，6 月至 9 月大幅增加，9 月至 12 月有所减少。落叶阔叶林和马尾松林下 MBC 含量表现为夏季较高，秋冬季节较低。从总体上看，MBC 含量均表现为暖季高而冷季低，这说明气温对 MBC 有较大影响。

4. 结论

1) 常绿阔叶林下 ROC 含量最高，落叶阔叶林最小；6 种森林植被下 ROC 含量表现为冷季低暖季高，季节变化幅度较小。这是由于 ROC 对温度变化较为敏感，庐山夏季温度高降水较多，水热作用下土壤有机质分解加速，从而产生了一些结构简单的易氧化有机物。

2) 常绿阔叶林下 WSOC 含量最高，黄山松林最低；6 种森林植被下 WSOC 的季节变化呈现多种模式，常绿阔叶林和落叶阔叶林下 WSOC 含量的变化幅度相对较大，其余森林植被的变化幅度相对较小，总体表现为冬春季节较高而夏秋季节较低。这与森林植被本身的复杂性有关，说明其 WSOC 含量与森林的生物归还能力有着密不可分的关系。

3) 常绿阔叶林下 MBC 含量显著高于其他 5 种森林植被，玉山竹林下 MBC 含量自 3 月至 9 月迅速增加，9 月后又迅速回落；常绿阔叶林、黄山松林和常绿-落叶阔叶混交林则表现为 3 月至 6 月轻微减少，

6月至9月大幅增加,9月至12月有所减少;落叶阔叶林和马尾松林则表现为夏季较高,秋冬季节较低。总体而言,不同森林植被下MBC含量均表现为暖季高而冷季低,这说明气温对MBC有较大影响。

基金项目

江苏师范大学创新训练项目(编号:XSJCX7014);国家自然科学基金资助项目(41201213)。

参考文献 (References)

- [1] 向成华, 栾军伟, 骆宗诗, 等. 川西沿海拔梯度典型植被类型土壤活性有机碳分布[J]. 生态学报, 2010, 21(4): 1025-1034.
- [2] 莫汝静. 岷江上游土壤活性有机碳组分研究[D]: [硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- [3] 张仕吉, 项文化. 土地利用方式对土壤活性有机碳影响的研究进展[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(4): 134-143.
- [4] 刘荣杰, 吴亚丛. 中国北亚热带天然次生林与杉木人工林土壤活性有机碳库的比较[J]. 植物生态学报, 2012, 36(5): 431-437.
- [5] 刘荣杰, 李正才, 王斌, 等. 浙西北丘陵地区次生林与杉木林土壤水溶性有机碳季节动态[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1385-1390.
- [6] 张剑, 汪思龙, 王清奎, 等. 不同森林植被下土壤活性有机碳含量及其季节变化[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 41-47.
- [7] 周国模. 毛竹林生态系统中碳储量、固定及其分配与分布的研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [8] 沈玉娟, 赵琦齐, 冯育青, 等. 太湖湖滨带土壤活性有机碳沿水分梯度的变化特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(6): 1119-1124.
- [9] 王连峰, 潘根兴, 石盛莉, 等. 庐山6种树木立地土壤溶液铝形态与溶解有机碳变化[J]. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1602-1606.
- [10] 王连峰, 潘根兴, 石盛莉, 等. 酸沉降影响下庐山森林生态系统土壤溶液溶解有机碳分布[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(1): 29-34.
- [11] 于法展, 尤海梅, 李保杰, 等. 江西庐山自然保护区不同森林植被下土壤理化性状研究[J]. 苏州科技学院学报, 2009, 26(3): 71-76.
- [12] 吴金水. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [13] 袁可能. 土壤有机矿质复合体研究 I. 土壤有机矿质复合体中腐殖质氧化稳定性的初步研究[J]. 土壤学报, 1963, 11(3): 286-293.
- [14] 王新建, 张仁陟, 毕冬梅, 等. 保护性耕作对土壤有机碳组分的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 115-121.
- [15] 徐秋芳, 姜培坤, 沈泉. 灌木林与阔叶林土壤有机碳库的比较研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(2): 18-22.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojs@hanspub.org