

庐山亚热带森林土壤活性有机碳氮库研究

于法展, 张忠启, 单勇兵

江苏师范大学, 地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州

收稿日期: 2022年8月24日; 录用日期: 2022年9月23日; 发布日期: 2022年9月30日

摘要

系统研究森林土壤活性有机碳氮库对全球气候变化以及碳氮循环有重大的指导意义。选取庐山8种典型性森林类型下土壤为研究对象, 通过野外调查和分析测试, 比较不同森林类型下土壤理化特性以及活性有机碳、氮的含量, 揭示不同森林土壤活性有机碳氮库的差异与规律, 以期为进一步了解该地区碳氮循环过程机制提供数据支撑。

关键词

森林类型, 土壤理化特性, 土壤活性有机碳氮, 庐山

Study on Soil Active Organic Carbon and Nitrogen Pool in Subtropical Forest of Lushan Mountain

Fazhan Yu, Zhongqi Zhang, Yongbing Shan

School of Geography, Geomatics, and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu

Received: Aug. 24th, 2022; accepted: Sep. 23rd, 2022; published: Sep. 30th, 2022

Abstract

Systematic study of forest soil active organic carbon and nitrogen pool has great guiding significance for global climate change and carbon and nitrogen cycle. The soil under 8 typical forest types in Lushan Mountain was selected as the research object. Through field investigation and analysis and testing, the physical and chemical characteristics of soil under different forest types and the contents of active organic carbon and nitrogen were compared, and the differences and laws of active organic carbon and nitrogen pools in different forest soils were revealed. This study can provide data support for further understanding the process mechanism of carbon and nitrogen cycle

in this region.

Keywords

Forest Type, Physical and Chemical Properties of Soil, Soil Active Organic Carbon and Nitrogen, Lushan Mountain

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

森林生态系统中土壤活性有机碳、氮的积累与分解直接影响着土壤有机碳氮库的时空变化,对陆地生物碳氮库以及全球碳氮平衡直接或间接地产生影响[1]。因此,森林土壤活性有机碳氮库的细小变化都会影响全球碳氮循环以及气候变化。森林土壤活性有机碳氮主要包括可溶性有机碳(DOC)、可溶性有机氮(DON)、微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN),它是能够反应森林土壤质量变化最显著、最快速的活性指标,对维持森林生态系统碳氮养分平衡作用明显[2] [3] [4] [5]。森林土壤活性有机碳氮库的变化与土壤中的活性有机碳、氮组分密不可分,通过研究不同森林土壤活性有机碳、氮组分含量和变化特征,对探讨森林土壤质量水平以及维护区域生态环境具有重要意义。目前,国内外对于森林土壤有机碳氮库的系列研究主要包括组分来源[6],有机碳、氮储量[1],外部环境因素及林分类型对土壤活性有机碳、氮的影响[7] [8] [9] [10],森林生态系统中碳、氮元素的矿化[11] [12],不同季节土壤中有机碳、氮的动态变化[13] [14] [15] [16]。

庐山作为我国目前保存较为完整的亚热带森林生态系统,拥有众多不同的森林类型和丰富的土壤资源,为研究不同森林土壤活性有机碳氮库的差异性提供了良好的条件。对庐山森林土壤有机碳氮的相关研究主要为有机碳含量、密度以及碳氮元素分布特征[14] [17] [18]。为深入了解庐山森林土壤健康状况和有机碳库状况,应对其森林土壤特性和碳库特征开展系统分析研究。选择庐山不同森林类型下土壤为研究对象,通过野外采样与室内实验,调查分析不同森林类型下土壤理化特性,比较不同森林类型下土壤活性有机碳、氮的含量,揭示不同森林土壤活性有机碳氮库的差异与规律,以期科学评估庐山森林生态系统的碳、氮循环以及山地森林土壤资源的永续利用提供基础数据。

2. 研究区域概况

庐山位于江西省北部,总面积约为 30493 hm^2 ,东和东南部被鄱阳湖环绕,北部濒长江(115°52'~116°13'E, 29°22'~29°46'N),属典型亚热带山地季风湿润气候,年平均温度为 11.4℃,年平均降水量 1917 mm。山体大致呈北北东方向,长为 30 km,宽约 10 km,主峰为大汉阳峰(海拔 1473.8 m)。优越的地理位置与复杂的气候生境孕育出了丰富的植物物种资源,但由于近年来人类大规模的砍伐破坏,庐山很多植物种类正面临着消失殆尽的危险,现今保护较完整的主要是次生针叶林和阔叶林[19]。区域内主要的森林类型包括灌丛、马尾松林、常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、玉山竹林和黄山松林,属典型亚热带山地森林生态系统[14]。

3. 样地设置与测定方法

在研究区域内选取马尾松林、常绿-落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、黄山松林、针阔

混交林、玉山竹林和灌丛 8 种典型性森林类型, 每种森林类型布设 3 个采样区, 每个采样区随机设置 3 个采样点, 按照混合法分别采集 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层的土样, 采集的土样除去杂质放入自封袋, 保存在冷藏箱中带回实验室供分析测试。8 种典型性森林类型采样点具体信息见表 1。待测各指标分析方法: 土壤容重采用环刀法; pH 值采用电位法; 有机质采用重铬酸钾氧化外加热法; 全氮采用凯氏定氮法; DOC、DON 采用碳氮分析仪法; MBC、MBN 采用氯仿熏蒸浸提法。以上具体的分析测试方法参照《土壤农化分析》[20]以及《土壤微生物生物量测定方法及其应用》[21]。

Table 1. Specific information of sampling points of 8 typical forest types in Lushan Mountain

表 1. 庐山 8 种典型性森林类型采样点具体信息

研究样区	森林类型	土壤类型	主要层优势植物	海拔/m	坡向坡度/°	采样地点
Z1	灌丛	黄壤	映山红	200	SW10~15	海会寺
Z2	马尾松林	红壤	马尾松	350	NW15~25	白鹿洞书院
Z3	常绿阔叶林	红壤、黄壤	苦槠、青栲	470	E15~20	观音桥
Z4	常绿-落叶混交林	山地黄壤	青岗栎、短柄枹	900	SW30~40	黄龙寺
Z5	落叶阔叶林	山地棕壤	化香、茅栗	1200	NE25~30	铁船峰
Z6	针阔混交林	山地黄壤	黄山松、短柄枹	1050	SW35~40	芦林饭店
Z7	玉山竹林	山地黄棕壤	玉山毛竹	1150	SW35~40	含鄱口
Z8	黄山松林	山地棕壤	黄山松	1250	NW20~25	五老峰

4. 结果与分析

4.1. 不同森林类型下土壤理化特性的比较分析

不同森林类型下土壤理化特性见表 2。土壤容重可以表征土壤的通气性以及土体的疏松程度, 该容重的大小说明林地涵养水源能力的强弱[22]。由表 2 中不同森林类型下不同土层的土壤容重比较可知, 表层(0~20 cm)土壤容重较小, 其土质较疏松, 随着土层的加深, 容重逐渐增大; 灌丛下表层土壤容重最小, 其土层疏松、通气性好, 林下水源涵养功能最好; 落叶阔叶林下土壤表层容重最大, 主要因为林下枯枝落叶分解的腐殖质对改变土壤容重作用最大。pH 值对土壤有机碳、氮有重要的影响作用, 对土壤肥力及林木生长影响明显, 能够影响森林土壤养分的有效性[23]。由表 2 可知, 不同森林类型下土壤 pH 值为 3.68~6.38, 属酸性土壤; 玉山竹林下表层土壤酸性最强(3.68), 主要是由于该林下土壤凋落物分泌过多的有机酸, 明显降低了其 pH 值。另外, 通过不同土层的土壤 pH 值对比发现, 随着土层深度增加其 pH 值呈逐渐升高的整体趋势。这是由于表层土壤受酸沉降影响最大, 随着土层的增加, 酸沉降受到上层土壤的缓冲作用, 对深层土壤的影响较小。

Table 2. Physical and chemical characteristics of soil under different forest types (mean \pm standard deviation)

表 2. 不同森林类型下土壤理化特性(平均值 \pm 标准差)

森林类型	土层/cm	容重/g·cm ⁻³	pH 值	有机质/g·kg ⁻¹	全氮/g·kg ⁻¹
灌丛	0~20	1.12 \pm 0.36ac	4.15 \pm 0.71a	90.1 \pm 32.5a	20.10 \pm 6.32a
	20~40	1.35 \pm 0.84b	4.42 \pm 1.87abb	66.4 \pm 23.2ab	14.58 \pm 4.35b
	40~60	1.51 \pm 0.29c	4.85 \pm 0.89b	17.4 \pm 4.7b	1.81 \pm 0.72ab

Continued

马尾松林	0~20	1.17 ± 0.41b	4.09 ± 0.12a	80.3 ± 23.4a	18.01 ± 6.14b
	20~40	1.42 ± 1.03b	4.61 ± 0.96b	64.9 ± 22.7a	10.12 ± 2.25a
	40~60	1.55 ± 0.69bc	5.14 ± 2.57b	16.9 ± 5.5ac	0.55 ± 0.27ac
常绿阔叶林	0~20	1.24 ± 0.74b	3.93 ± 0.48ac	88.3 ± 12.9a	17.34 ± 4.35ab
	20~40	1.47 ± 0.58b	4.20 ± 1.64b	66.2 ± 13.3ab	11.12 ± 2.05b
	40~60	1.62 ± 0.37ab	5.01 ± 0.77ab	19.2 ± 3.9a	1.99 ± 0.19a
常绿-落叶阔叶混交林	0~20	1.26 ± 0.80bc	4.02 ± 0.34b	96.3 ± 14.3a	30.26 ± 8.13a
	20~40	1.39 ± 0.15b	4.39 ± 0.13b	70.1 ± 23.5a	19.36 ± 3.18a
	40~60	1.56 ± 0.99ab	5.44 ± 3.03a	25.8 ± 7.8ac	5.92 ± 1.43bc
针阔混交林	0~20	1.23 ± 2.45b	5.25 ± 0.29b	92.6 ± 43.7a	23.36 ± 7.27a
	20~40	1.40 ± 0.63b	5.67 ± 2.07c	69.9 ± 34.1b	15.36 ± 4.14ab
	40~60	1.54 ± 0.68a	6.38 ± 1.95ac	23.2 ± 9.9a	5.50 ± 2.31a
落叶阔叶林	0~20	1.27 ± 0.19a	4.12 ± 3.51b	147.2 ± 52.1b	33.12 ± 9.18a
	20~40	1.44 ± 0.85b	4.67 ± 0.69ab	120.5 ± 32.7bc	22.56 ± 6.03b
	40~60	1.65 ± 0.33b	5.32 ± 2.16a	76.7 ± 22.7a	6.58 ± 1.14a
玉山竹林	0~20	1.20 ± 0.91ac	3.68 ± 1.74ab	89.5 ± 25.2a	18.34 ± 6.18a
	20~40	1.49 ± 0.66b	3.97 ± 0.46b	65.3 ± 16.4a	10.56 ± 1.22ac
	40~60	1.62 ± 0.78b	4.91 ± 2.23bc	17.2 ± 2.0ab	1.74 ± 1.08b
黄山松林	0~20	1.22 ± 0.76ab	4.07 ± 1.24b	86.1 ± 31.8a	25.94 ± 7.42b
	20~40	1.36 ± 0.57a	4.89 ± 0.59b	73.0 ± 12.5ac	21.08 ± 5.08a
	40~60	1.53 ± 0.19b	5.53 ± 3.81bc	22.0 ± 6.4a	4.49 ± 1.85ab

注：同列数字后不同小写字母 a, b, c 表示 $p < 0.05$ 水平差异显著(下同)。

有机质是评价土壤质量的重要指标，它可以促进土壤团粒的形成，改善土壤的通气性和蓄水性，增强土壤的缓冲性，表征土壤的保肥和供肥能力[24]。从表 2 可以看出，落叶阔叶林下土壤有机质含量最大 ($147.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)，这是由于该林下积累的凋落物最多。不同森林类型土壤有机质含量均随着土层深度呈现明显的下降趋势，这主要是由于凋落物分解的有机质滞留在表土层，越往深处植物根系的总生物量越少，植物根系的死亡腐败产生的有机质明显减少。全氮量是表示土壤氮素养分的供给容量，在一定程度上说明土壤氮的供应水平[23]。由表 2 可知，落叶阔叶林下土壤全氮含量最高，这是因为该林下的凋落物含有较多的氮和固氮微生物。跟土壤有机质含量的变化特征相似，不同森林类型下土壤全氮量在各土层间差异明显，均表现为随土层深度的增加而急剧减少，这与林下凋落物直接在表层堆积有关，造成其表层土壤全氮的含量较高，随着深度的增加，并且由于渗透流失以及生物分解作用而发生锐减。

4.2. 不同森林类型下土壤活性有机碳、氮含量的比较分析

不同森林类型下 DOC、DON 含量和 MBC、MBN 含量见表 3。DOC、DON 主要来自于森林凋落物淋溶、土壤微生物分解产物和根系分泌物，其含量的大小可以表示森林土壤碳、氮矿化程度的强弱[4]。从表 3 可知，不同森林类型下表层(0~20 cm) DOC、DON 含量大小排序：灌丛 > 常绿阔叶林 > 马尾松林 > 常绿-落叶阔叶混交林 > 针阔混交林 > 玉山竹林 > 落叶阔叶林 > 黄山松林；同一森林类型土壤

各土层之间变化较大, 表层 DOC、DON 含量较高, 其表聚现象明显, 随着土层深度的增加, 其含量大幅减小, 另外, 表层以下的两层 DOC、DON 含量差异不明显。这是由于来源于地上凋落物较多, 随着土层的增加, DOC、DON 的流失也会相对较多, 渗透流失作用以及微生物的分解导致土壤 DOC、DON 含量随土层厚度而递减。土壤微生物量能够反映环境变化对森林土壤养分的影响, 而 MBC、MBN 可以用来表征森林土壤质量的 2 个微生物学指标, 它可以评价森林土壤质量与肥力的大小[2]。从表 3 比较得出, 灌丛、常绿阔叶林和马尾松林下 MBC、MBN 含量较高; 落叶阔叶林和黄山松林下其含量较低。主要是因为落叶阔叶林和黄山松林处于高海拔地带, 海拔上升导致温度下降, 不利于该林下土壤生物的生存, 使其释放速率显著降低; 而灌丛、常绿阔叶林和马尾松林下其含量高的原因是海拔低、温度高, 该林下凋落物层丰富, 土壤微生物活性增强。总之, 海拔可以综合体现其周围环境的变量, 通过水热条件的变化明显影响着土壤活性有机碳、氮的分解及转化。

Table 3. DOC and DON contents and MBC and MBN contents under different forest types (mean \pm standard deviation)
表 3. 不同森林类型下 DOC、DON 含量和 MBC、MBN 含量(平均值 \pm 标准差)

森林类型	土层/cm	DOC/mg·kg ⁻¹	DON/mg·kg ⁻¹	MBC/mg·kg ⁻¹	MBN/mg·kg ⁻¹
灌丛	0~20	110.3 \pm 13.8ab	16.7 \pm 1.7c	610.9 \pm 320.5a	119.7 \pm 73.2ac
	20~40	36.3 \pm 3.7b	6.5 \pm 0.3b	90.3 \pm 14.4bc	33.8 \pm 12.6b
	40~60	18.2 \pm 2.1b	3.2 \pm 0.9b	41.8 \pm 5.8b	13.9 \pm 2.1b
马尾松林	0~20	92.5 \pm 8.9a	13.2 \pm 1.9ac	580.1 \pm 220.5a	109.7 \pm 44.7a
	20~40	20.8 \pm 3.6b	5.9 \pm 0.8b	79.2 \pm 14.2bc	32.9 \pm 12.1b
	40~60	13.2 \pm 1.3b	3.8 \pm 0.4b	39.8 \pm 7.0b	13.2 \pm 2.3ab
常绿阔叶林	0~20	105.4 \pm 78.8a	14.3 \pm 1.2ac	584.7 \pm 125.6c	106.5 \pm 23.8c
	20~40	32.1 \pm 2.5b	6.1 \pm 0.4bc	80.5 \pm 20.8b	37.2 \pm 12.5b
	40~60	17.8 \pm 10.6b	3.5 \pm 0.6b	41.9 \pm 13.1b	14.9 \pm 1.8ab
常绿 - 落叶阔叶混交林	0~20	91.7 \pm 9.4c	12.4 \pm 1.7a	570.2 \pm 225.1ab	98.7 \pm 23.6ac
	20~40	22.5 \pm 3.1b	5.7 \pm 5.3b	90.2 \pm 20.2b	36.4 \pm 12.3b
	40~60	16.9 \pm 9.4bc	3.2 \pm 0.5b	45.8 \pm 13.4b	14.2 \pm 1.2b
针阔混交林	0~20	90.2 \pm 10.4a	10.2 \pm 1.7a	423.9 \pm 87.4a	95.7 \pm 23.6a
	20~40	28.7 \pm 5.9b	5.2 \pm 0.1ab	78.2 \pm 14.3bc	36.5 \pm 12.4b
	40~60	14.2 \pm 3.1b	2.9 \pm 1.4bc	34.1 \pm 7.9b	12.9 \pm 9.1b
落叶阔叶林	0~20	82.1 \pm 12.8c	8.7 \pm 4.2c	390.1 \pm 126.9a	85.1 \pm 14.5ac
	20~40	26.7 \pm 20.4b	3.2 \pm 0.9b	70.2 \pm 12.6b	28.9 \pm 2.6b
	40~60	15.3 \pm 1.9b	1.2 \pm 0.7ab	26.8 \pm 3.5b	12.1 \pm 1.4b
玉山竹林	0~20	85.7 \pm 9.2a	9.4 \pm 2.5ac	412.2 \pm 90.8a	92.1 \pm 20.1a
	20~40	24.2 \pm 7.9b	5.9 \pm 0.4b	80.1 \pm 15.9b	38.7 \pm 14.1b
	40~60	12.1 \pm 3.1bc	3.1 \pm 0.2bc	46.8 \pm 13.7b	11.6 \pm 2.9ab
黄山松林	0~20	75.6 \pm 8.1c	7.9 \pm 1.2a	381.1 \pm 89.5c	84.9 \pm 45.5c
	20~40	21.1 \pm 4.5ab	4.2 \pm 0.5b	67.2 \pm 14.6b	27.1 \pm 5.3b
	40~60	10.3 \pm 2.3b	2.1 \pm 0.6b	40.2 \pm 12.2ab	11.5 \pm 1.5b

5. 结论与讨论

5.1. 结论

1) 灌丛下表层(0~20 cm)土壤容重最小, 落叶阔叶林下土壤表层容重最大, 不同森林类型下不同土层的土壤容重随着土层的加深而变大; 不同森林类型下土壤 pH 值为 3.68~6.38, 其中玉山竹林下表层土壤酸性最强, 随着土层深度增加其 pH 值呈逐渐升高的整体趋势; 落叶阔叶林下土壤有机质含量和全氮含量均最高, 不同森林类型下两者的含量均随着土层增加而锐减。

2) 灌丛下表层 DOC、DON 含量最高, 黄山松林最小, 同一森林类型下土壤各土层之间变化较大, 表层 DOC、DON 含量较高, 其表聚现象明显, 随着土层深度的增加, 其含量大幅减小; 灌丛、常绿阔叶林和马尾松林下 MBC、MBN 含量较高, 落叶阔叶林和黄山松林下其含量较低。

5.2. 讨论

本研究分析不同森林类型下土壤理化特性, 比较不同森林类型下土壤活性有机碳、氮的含量; 而对森林土壤理化特性与活性有机碳、氮之间的联系以及土壤养分转化及循环规律有待于进一步研究。

基金项目

江苏师范大学博士学位教师科研支持项目(19XFRS013)。

参考文献

- [1] 弓文艳, 陈丽华, 郑学良. 基于不同林分类型下土壤碳氮储量垂直分布[J]. 水土保持学报, 2019, 33(1): 152-157, 164.
- [2] 徐秋芳. 森林土壤活性有机碳库的研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [3] 王纪杰. 桉树人工林土壤质量变化特征[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [4] 葛萍. 安徽大别山海拔梯度上森林土壤碳氮动态研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [5] 黄宇, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 不同人工林生态系统林地土壤质量评价[J]. 应用生态学报, 2012, 15(12): 2199-2205.
- [6] 王春燕. 中国东部森林土壤有机碳组分的纬度格局及其影响因素[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [7] 王绍强, 史学正, 于东升, 等. 气候因子对森林土壤有机碳影响的幅度效应研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(2): 27-32.
- [8] 陈亮中. 三峡库区主要森林植被类型土壤有机碳研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [9] 王清奎. 碳输入方式对森林土壤碳库和碳循环的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 1075-1081.
- [10] 张曼夏, 季猛, 李伟, 等. 土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其结合有机碳的影响[J]. 应用与生物环境学报, 2013, 19(4): 598-604.
- [11] 聂浩亮. 海坛山不同林分土壤有机碳库及矿化特征[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2021.
- [12] 欧阳学军, 周国逸, 魏识广, 等. 南亚热带森林植被恢复演替序列的土壤有机碳氮矿化[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1688-1694.
- [13] 唐国勇, 黄道友, 黄敏, 等. 红壤丘陵景观表层土壤有机碳空间变异特点及其影响因子[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 22-26.
- [14] 杜有新, 吴从建, 周赛霞, 等. 庐山不同海拔森林土壤有机碳密度及其分布特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1675-1681.
- [15] 朱浩宇, 王子芳, 陆畅, 等. 缙云山 5 种植被下土壤活性有机碳及碳库变化特征[J]. 土壤, 2021, 53(2): 354-360.
- [16] 林鑫宇, 惠昊, 王亚茹, 等. 不同林分类型下土壤活性有机碳含量和分布特征[J]. 安徽农业大学学报, 2021, 48(3): 437-443.
- [17] 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.

-
- [18] 关雪晴, 吴昊. 庐山土壤中微量元素的分布特征及其影响因素[J]. 现代农业科技, 2008(9): 102-105.
- [19] 杜有新, 何春林, 丁园, 等. 庐山植物园 11 种植物的根际土壤氮磷有效性和酶活性[J]. 生态环境学报, 2013, 22(8): 1297-1302.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [21] 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.
- [22] 陈雪, 马履一, 贾忠奎, 等. 影响油松人工林土壤质量的关键指标[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(8): 46-51.
- [23] 游秀花, 蒋尔可. 不同森林类型土壤化学性质的比较研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(3): 357-360.
- [24] 杨万勤, 张健, 胡庭兴, 等. 森林土壤生态学[M]. 成都: 四川科学出版社, 2006.