

Analysis on the Situation of Typicality Forest Litter and Soil Quality in Lushan Mountains of China

Qian Zhang, Fazhan Yu, Zhongqi Zhang, Ling Li, Liangyuan Lei, Shaokun Zhang, Jun Chen

School of Geography, Geomatics, and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu
Email: 15150087306@163.com

Received: Oct. 13th, 2016; accepted: Nov. 8th, 2016; published: Nov. 11th, 2016

Copyright © 2016 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

Abstract

Forest litter is an important part of forest ecological system. It is the main material library of the woodland organic matter and maintains the basis of soil fertility. The relationship research between litter and soil quality is one of the hot research topics in the field of ecology. With 6 kinds of typical forest soil as the research object, the research analyzes the condition of the soil quality and forest litter in Lushan. The results show that firstly 6 different forest litter existing reserves average $13.99 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, and the average litter layer of N, P reserves is $117.48 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $11.86 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; respectively. Horsetail pine forest litter layer has the largest amount in holding water. Deciduous broad-leaved forest litter has the maximum held amount. Huangshan pine forest litter has the maximum amount. From the effective rate and the effective dammed-up water quantity, 6 different forest litter layers' effectively held ability is ranked as follows: Horsetail pines > Huangshan pine forest > Mt. Jade bamboo > Deciduous broad-leaved forest > Evergreen, deciduous broad-leaved mixed forest > Evergreen broad-leaved forest. Secondly, soil hardness of 6 different kinds of forest averagely changes between 13.24 and $25.43 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$; soil bulk density and phosphatase activity of different forests have certain differences. Thirdly, pH value of 6 different kinds of forest soil changes between 4.9 and 5.6 on average. The Horsetail pines forest land soil has the most organic matter content, and the average quantity of soil total N content is the highest. Evergreen and deciduous broadleaf mixed forest's soil cation exchange capacity is greater than the others; Mt. Jade bamboo forest's effective soil P content is the least. Under the evergreen broad-leaved forest, soil's available K content is relatively the least on average.

Keywords

Forest Litter, Soil Quality, Soil Nutrients, Lushan Mountains

庐山典型性森林凋落物与土壤质量的状况分析

张 茜, 于法展, 张忠启, 李 玲, 雷良媛, 张少坤, 陈 俊

江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州

Email: 15150087306@163.com

收稿日期: 2016年10月13日; 录用日期: 2016年11月8日; 发布日期: 2016年11月11日

摘 要

森林凋落物是森林生态系统的重要组成部分, 是林地有机质的主要物质库和维持土壤肥力的基础, 凋落物与土壤质量的相互关系研究是生态学领域的研究热点之一。以庐山6种典型性森林土壤为研究对象, 对森林凋落物与土壤质量的状况进行系统分析。结果表明: 1) 6种森林凋落物现存贮量平均值 $13.99 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 凋落物层N、P平均储量分别为 $119.60 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $12.16 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 马尾松林凋落物层最大持水率最高, 落叶阔叶林凋落物最大拦蓄量最大, 黄山松林凋落物最大拦蓄量最小; 从有效持水率和有效拦蓄量看, 6种不同森林凋落物层有效拦蓄能力大小依次为马尾松林 > 黄山松林 > 玉山竹林 > 落叶阔叶林 > 常绿-落叶阔叶混交林 > 常绿阔叶林。2) 6种森林土壤硬度的平均值变化在 $13.24\sim 25.43 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 之间; 不同森林土壤容重和磷酸酶活性存在一定差异。3) 6种森林土壤平均pH值变化大致在 $4.9\sim 5.6$; 马尾松林地土壤有机质含量最多, 土壤全N量平均含量最高; 常绿-落叶阔叶混交林地土壤阳离子交换量大于其它林地; 玉山竹林地土壤有效P平均含量最少; 常绿阔叶林地土壤速效K平均含量最低。

关键词

森林凋落物, 土壤质量, 土壤养分, 庐山

1. 引言

森林凋落物(forest litter)是森林植物在其生长发育过程中新陈代谢的产物, 是分解者的物质和能量来源, 包括维持森林生态系统功能所有死有机质的总称[1]。它是森林生存力的重要组成部分, 也是森林生态系统养分归还的主要形式, 在维持土壤肥力以及促进森林生态系统正常的物质生物循环和养分平衡等方面起着重要的作用[2]。研究不同类型森林凋落物与土壤质量的相互关系有助于丰富人们对森林生态系统功能过程的认识。凋落物分解在促进森林生态系统有机碳及养分循环, 维护森林土壤生产力以及水源涵养功能中发挥着重要作用; 而土壤是凋落物的载体, 凋落物影响其营养状况、生物活性以及物理稳定性等, 凋落物分解速率的提高, 可促进土壤的营养循环, 改善土壤质量[2] [3]。国外对于森林凋落物的研究起步较早, 日本、美国、欧洲等国家和地区有关凋落物的研究报道较多[4]。比如德国的 Ebermayer 在 1876 年就开始研究凋落物在养分循环中的作用, 之后国外许多学者开始报道世界范围内森林凋落物的分解及养分释放。国内对于森林凋落物的研究开始相对较晚, 对森林凋落物的研究主要集中以下方面[5] [6] [7] [8]: 森林凋落物对土壤理化性质和微生物的影响; 不同森林植被类型下调落量以及影响因素; 森林凋落物水源涵养以及保持水土的作用; 人类经营活动对森林凋落物的影响; 森林凋落物营养元素含量及动态变化。比如国内学者陈印平等人从土壤生物学性质、理化性质等方面出发, 研究了土壤质量对凋落物分解所起的作用, 在凋落物质量对土壤质量影响的研究上取得一定成果。目前, 多数学者在森林凋落物及土壤质量的量化上研

究较多,但在定性研究两者的相关性方面较少,且研究结果有一定的局限性。本文以庐山6种典型森林土壤为研究对象,通过对其森林凋落物与土壤质量的状况进行分析,目的在于探讨森林凋落物作为土壤质量指标的可行性,为林分凋落物的管理以及森林生态环境质量评价提供科学参考。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

庐山位于江西省北部,距九江市约13 km,东和东南为鄱阳湖环绕,北濒长江,地理坐标 $115^{\circ}51' \sim 116^{\circ}10'E$, $29^{\circ}28' \sim 29^{\circ}45'N$,山体走向北北东,长约30 km,宽约10 km,平地拔起一座主峰大汉阳峰海拔1473.8 m。庐山顶部有峰岭90余座,山峰的形态以及岭、谷的排布受到褶皱构造、断裂构造、节理构造以及地层岩性和产状的控制。庐山地处亚热带东部季风区域,具有鲜明的季风气候特征;且面江临湖,山高谷深,与周围平原地区相比较,具有鲜明的山地气候特征。年平均温度 $11.4^{\circ}C$,1月均温 $-0.3^{\circ}C$,7月均温 $22.5^{\circ}C$,极端低温 $-16.8^{\circ}C$,极端高温 $32.8^{\circ}C$,年平均降水量1929.2 mm。庐山山体的垂直气候-植被-土壤地理分带规律明显:其森林植被垂直分带比较明显,从山麓到山顶大致为常绿阔叶林带、常绿-落叶阔叶混交林带、落叶阔叶林带。其中常绿阔叶林带由于人类活动的干扰、破坏比较严重,仅存小片分布,从灌草丛中首先恢复起来的是马尾松(*Pinus massoniana*)林,在山麓中分布较广;落叶阔叶林带破坏比较严重,在海拔1000 m以上主要为黄山松(*Pinus taiwanensis* Hayata)林。山上植被相对保存完好,山体的森林覆盖率达76.6%,其主要典型林分类型有马尾松林、常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、玉山竹林、黄山松林。其土壤类型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。

2.2. 土样采集与测定方法

2014年4~10月在研究区内代表性地段选择典型性森林类型设立6块标准测试样地,并对6种不同森林类型的环境因子进行调查、采样(表1和图1)。按混合法采集0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm的土壤样本,每块样地设3次重复,土样经实验室风干后测定凋落物和土壤质量状况,应用SPSS软件对所获数据进行差异性检验和相关分析[9]。具体测定方法:1)森林凋落物量测定。在上述6种不同森林类型下设置 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 定位标准地,在标准地的4个角及中央共5处分别安置 $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ 的凋落物收集器,框口距离地面0.6 m,每1个月收集1次(共6次),测定其森林凋落量。以5个样方的均值乘10,000换算成每 hm^2 林地的凋落物量。2)凋落物分解速率的测定。6种森林凋落物在 $60^{\circ}C$ 条件下烘干至恒重,每种森林植被的凋落物样品各称取900 g,分成18份,每份50 g,置于网眼 $1\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ 的尼龙网袋内,并扎紧袋口,放回各自定位标准地坡面上、中、下3处活地被物稍茂盛且较隐蔽的地面,让其自行分解。随后每隔1个月随机从样地取回其中3袋,清除草根和泥沙并用清水快速漂洗、风干、烘干,测干重并计算失重率,求得其分解速率。3)土壤物理性状及磷酸酶活性、pH值及养分状况测试分析参照《土壤农业化学分析方法》[10]。

3. 结果与分析

3.1. 不同森林凋落物状况

3.1.1. 不同森林凋落物现存贮量

森林凋落物贮量是表征凋落物生态功能的重要参数,凋落物厚度(数量)和组成(质量)不仅对水文生态具有重要影响,而且是林地有机质的主要来源[7]。庐山测试样地不同森林凋落物现存贮量见表2。由表2比较可知,不同森林凋落物现存贮量(凋落物层总量)有一定差异,其中马尾松林凋落物现存贮量最大($18.70\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),常绿阔叶林最少($9.89\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),6种不同森林凋落物平均现存贮量为 $13.99\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,未分解

Table 1. The basic situation of six standard test plots in Lushan Mountain
表 1. 庐山 6 块标准测试样地的基本概况

采样地点	森林类型	主要层优势植物	坡向坡度/°	海拔/m	土壤类型
白鹿洞	马尾松林	马尾松	NW15~25	250	红壤
观音桥	常绿阔叶林	苦槠、大叶栲树	E15~20	500	黄壤
黄龙寺	常绿-落叶阔叶混交林	青岗栎、化香	SW30~40	900	山地黄壤
铁船峰	落叶阔叶林	茅栗、短柄枹	NE25~30	1000	山地黄棕壤
含鄱口	玉山竹林	玉山毛竹	SW35~40	1100	山地黄棕壤
五老峰	黄山松林	黄山松	NW20~25	1250	山地棕壤

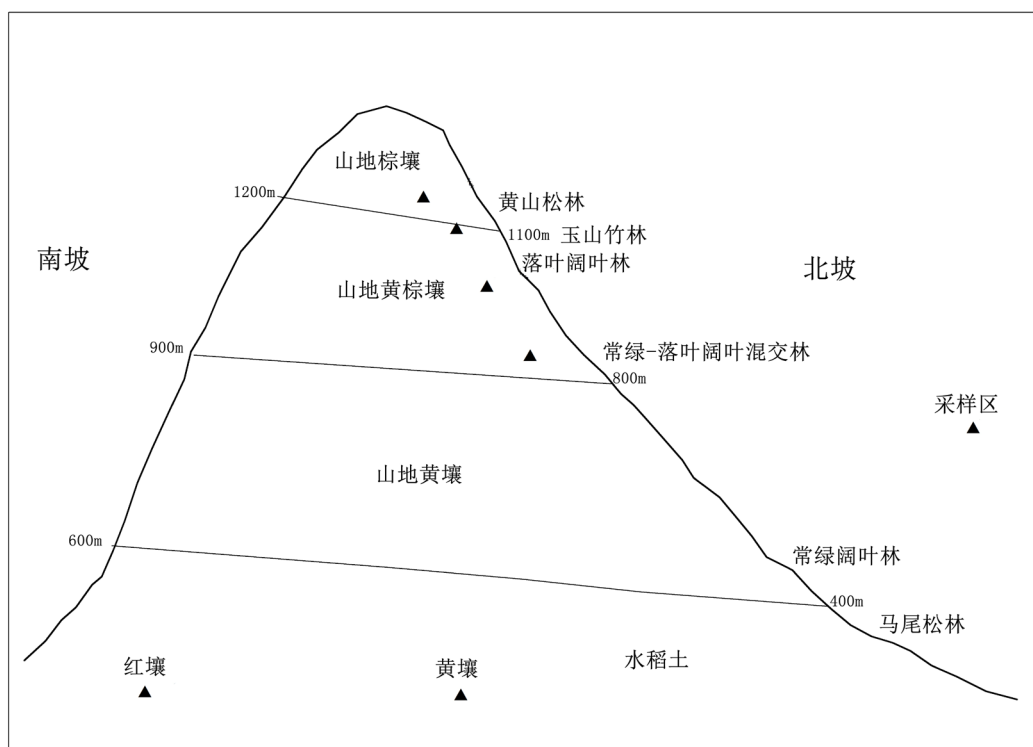


Figure 1. Distribution curve of six standard test plots in Lushan Mountain

图 1. 庐山 6 块标准测试样地分布示意图

凋落物 L 层和已分解 Y 层所占比例大致相当(L 层和 Y 层的贮量平均值相差不大)。不同森林凋落物现存贮量的差异主要是由森林植被类型本身的生物学特性决定，即马尾松林和黄山松林同属针叶林，其针叶片短粗，皮质较厚，凋落后分解速度较慢；相比之下，常绿阔叶林郁闭度相对较低，落叶量较少，每年输入的凋落物较少，凋落后易分解腐烂，归还土壤的速度较快，造成凋落物现存贮量(凋落物层总量)较少。庐山 6 种森林凋落物平均现存贮量($13.99 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)远低于位于温带的云杉林($39.566 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)，但比亚热带的常绿阔叶林($2.763 \sim 8.740 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)要高[7]。这是由于不同气候条件致使其森林凋落物分解速度不同，最终所形成的凋落物现存贮量也不同。

3.1.2. 不同森林凋落物养分贮存能力和蓄水固土功能

凋落物层是森林生态系统物质循环过程中重要的“有机物质库”，贮存了大量营养物质，并通过土

壤原生动物及微生物的分解释放出来, 随着凋落物层渗滤水淋洗到土壤中, 供给植物生长的需要[8]。庐山气候类型属亚热带季风山地气候, 其降雨量较大, 森林土壤有机质容易分解, 营养物质容易流失。因此, 将养分贮存于森林生态系统并缓慢释放是凋落物养分保持能力的重要体现。庐山不同森林凋落物养分贮存能力和蓄水固土功能见表 3。由表 3 可知, 庐山 6 种不同森林凋落物层具有很高的 N、P 储量, N 储量以马尾松林最高(146.82 kg·hm⁻²), 常绿-落叶阔叶混交林相对较低(96.14 kg·hm⁻²); P 储量以马尾松林最高(18.24 kg·hm⁻²), 常绿阔叶林最低(6.45 kg·hm⁻²), 两者相差近 3 倍, 说明常绿阔叶林对 P 的吸收能力较强。森林生态系统是庐山其他系统养分的主要供给者, 而这种供给必须通过凋落物层有机质的分解。据前人研究[1], 每年森林凋落物层的分解可以满足森林植物生长 80%的营养需求, 其余 20%由雨水和矿物的分化补给。研究结果表明, 庐山不同森林凋落物层具有相当高的养分贮存与供应能力, 这无疑对该地区林分凋落物的管理具有重要的现实意义。森林凋落物层具有吸收雨水、调节和过滤地表径流的作用, 一方面可以阻留和减缓水分离速, 延长水分下渗时间, 增加地表粗糙度, 避免雨水直接打击土壤, 减少水土流失; 另一方面, 森林凋落物层具有较大的水分截持能力从而影响到穿透降水对土壤水分的补充和植物的水分供应[6]。同时, 凋落物层的分解可以改善土壤结构, 加大土壤孔隙度, 增加土壤贮水保水的作用。因此, 森林凋落物层是一个重要的水文层次, 在林冠层、凋落物层和根系土壤层的垂直结构中, 它是实现森林涵养水源的主要作用层[4]。最大持水率和最大拦蓄量只能反映凋落物层潜在持水能力的大小[8]。由表 3 可知, 庐山 6 种不同森林类型中, 马尾松林凋落物层最大持水率最高(2 613.4 g·kg⁻¹); 落叶阔叶林凋落物最大拦蓄量最大(27.94 t·hm⁻²), 黄山松林凋落物最大拦蓄量最小(12.35 t·hm⁻²), 还不到落叶阔叶林的一半。就 6 种不同森林蓄水固土功能而言, 黄山松林最弱, 在自然状况下仅局限稳定于山顶、

Table 2. Existing storage of different forest litter in standard test plots (average value \pm standard deviation)

表 2. 庐山测试样地不同森林凋落物现存贮量(平均值 \pm 标准差)

森林类型	未分解 L 层/t·hm ⁻²	已分解 Y 层/t·hm ⁻²	凋落物层总量/t·hm ⁻²
(1) 马尾松林	11.59 \pm 1.27	7.11 \pm 0.82	18.70 \pm 4.54
(2) 常绿阔叶林	4.73 \pm 0.88	5.16 \pm 1.14	9.89 \pm 1.85
(3) 常绿 - 落叶阔叶混交林	3.56 \pm 0.41	6.78 \pm 0.75	10.34 \pm 3.62
(4) 落叶阔叶林	6.18 \pm 1.22	9.14 \pm 3.51	15.32 \pm 2.78
(5) 玉山竹林	5.81 \pm 0.93	6.65 \pm 1.01	12.46 \pm 3.15
(6) 黄山松林	9.04 \pm 0.38	8.19 \pm 0.87	17.23 \pm 2.61

Table 3. The function of storage nutrient and layer effectively held ability of different forest litter (average)

表 3. 庐山不同森林凋落物养分贮存能力和蓄水固土功能(平均值)

森林类型	N 储量/kg·hm ⁻²	P 储量/kg·hm ⁻²	凋落物现存贮量/t·hm ⁻²	自然含水率/g·kg ⁻¹	最大持水率/g·kg ⁻¹	有效持水率/g·kg ⁻¹	最大拦蓄量/t·hm ⁻²	有效拦蓄量/t·hm ⁻²
(1)	146.82(21.53)	18.24(9.07)	18.70(4.54)	375.8(39.4)	2 613.4(537.6)	1 521.4(253.8)	25.73(6.32)	24.85(5.73)
(2)	101.36(39.68)	6.45(1.79)	9.89(1.85)	290.1(72.3)	2 472.8(613.1)	1 145.6(641.2)	20.81(9.17)	14.82(6.27)
(3)	96.14(18.73)	10.38(3.13)	10.34(3.62)	138.7(65.1)	2 079.3(824.5)	1 187.5(318.7)	23.19(4.35)	15.29(7.34)
(4)	135.25(30.71)	8.92(2.24)	15.32(2.78)	195.3(49.6)	2 155.9(441.6)	1 269.2(536.4)	27.94(7.91)	17.06(8.12)
(5)	109.43(27.53)	12.81(4.39)	12.46(3.15)	201.5(83.7)	1 926.2(317.2)	1 366.9(451.4)	20.32(8.54)	18.79(4.81)
(6)	128.57(47.09)	16.14(6.02)	17.23(2.61)	218.9(90.8)	2 264.0(716.3)	1 460.3(236.5)	12.35(3.67)	20.67(3.74)
平均值	119.60(52.42)	12.16(3.72)	13.99(3.06)	236.7(69.5)	2 251.9(624.7)	1 325.2(419.3)	21.72(8.51)	18.58(7.90)

注: 括弧内为标准差。

岭脊及向阳陡坡等特殊环境。另外,从有效持水率和有效拦蓄量看,6种不同森林凋落物层平均有效持水率为 $1325.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均有效拦蓄量为 $18.58 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,其有效拦蓄能力大小依次为:马尾松林 > 黄山松林 > 玉山竹林 > 落叶阔叶林 > 常绿-落叶阔叶混交林 > 常绿阔叶林。

3.2. 不同森林土壤质量状况

3.2.1. 不同森林土壤物理性状及磷酸酶活性

土壤的物理性状可以作为衡量森林的生态系统优劣的标准。土壤硬度作为土壤的基本物理性状之一,其差异可以影响植被根系的发达程度和土壤的蓄水能力;土壤容重可以表征土壤的疏松程度,说明其土壤涵蓄水分以及供应树木生长所需水分的能力;土壤孔隙度的差异导致土壤的透气性能不同,对土壤的持水量有着重要影响[11]。庐山不同森林土壤物理性状及磷酸酶活性测定结果见表4。由表4可知,6种不同森林土壤硬度的平均值变化在 $13.24\sim 25.43 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 之间,这说明不同森林类型土壤能够满足当地植物正常生长发育的需要[3]。6种森林土壤容重大小排序为:黄山松林 > 玉山竹林 > 常绿-落叶阔叶混交林 > 落叶阔叶林 > 常绿阔叶林 > 马尾松林。正是由于不同森林土壤容重和孔隙度有差异,导致其土壤的持水量不同,即其土壤透气性能不同。马尾松林地土壤容重的平均值最小,而总孔隙度、毛管孔隙度的比例最高,这就说明马尾松林下土壤疏松多孔,其透气性能好,具有较高的水源涵养和水土保持功能;同时可以看出马尾松林地土壤饱和持水量、田间持水量的平均值最大,这是因为该林分下生物量组成及分布较合理,是一种稳定的生态结构。此外,使用SPSS软件对6块测试样地不同森林土壤分析结果显示,其土壤容重随土层深度的变化达到显著水平($P < 0.01$),而土壤孔隙度随土层深度的变化也达到显著水平($P < 0.01$),即6种森林土壤均表现出土壤容重随土层深度增加而逐渐增大,土壤孔隙度随土层深度增加而逐渐减小的规律。这与森林土壤有机质、土壤动物形成的孔隙、植物根系、死亡根系形成的根孔都随土层深度而降低有关。磷酸酶是土壤中广泛存在的一种水解酶,其活性高低直接影响着土壤中有机P的分解转化及其生物有效性[12]。由表4可知,6种森林土壤磷酸酶活性有一定的区别,常绿-落叶阔叶混交林下土壤磷酸酶活性大于黄山松林和马尾松林,而小于常绿阔叶林,玉山竹林和落叶阔叶林下土壤磷酸酶活性相对偏低。

3.2.2. 不同森林土壤 pH 值及养分状况

pH值表示土壤的酸碱性能,它主要取决于土壤溶液中 H^+ 浓度, H^+ 多来源于吸附性 Al^{3+} 以及土壤生物呼吸作用产生的 CO_2 溶于 H_2O 后的碳酸与有机质降解产生的有机酸[3]。不同森林类型下人为抚育措施在一定程度上可以增加土壤通气性,提高土壤氧化还原电位而改变土壤pH值,从而直接影响森林土壤中养分的存在状态、转化和有效性[6]。土壤有机质是评价土壤质量的重要指标,它不仅能增强土壤的保肥和供肥能力,提高土壤养分的有效性,而且可促进团粒结构的形成,改善土壤的透水性、蓄水能力及通气性,增强土壤的缓冲性能[12]。庐山不同森林土壤pH值及养分状况测定结果见表5。由表5可知,6种森林土壤平均pH值变化大致在4.9~5.6,经比较可知落叶阔叶林下土壤酸性较强(pH4.9),产生的原因是落叶阔叶林下土壤凋落物分解有机酸过多,降低土壤pH值作用较明显。6种不同森林土壤有机质含量相差不大,这是因为森林凋落物是其有机质的主要来源。相比较而言,马尾松林下土壤有机质含量最多,这是因为马尾松林地土壤腐殖质层厚度大,其积累的凋落物最多。阳离子交换量中Ca、Mg、K、Na4种碱性离子所占阳离子交换量的百分比叫做盐基饱和度,盐基饱和度较高的土壤肥力较高,土壤pH值也较高[3]。由表5可知,常绿-落叶阔叶混交林下土壤阳离子交换量大于其它林地,主要是由于常绿-落叶阔叶混交林下凋落物分解速度快,使得进入土壤的养分数量较多,且与土壤pH值也有关。全N量和水解性N能较好地反映出近期内土壤N素供应水平[8]。由表5可知,马尾松林下土壤全N量平均含量最高,这是因为马尾松林下凋落物层厚度大,且凋落物现存贮量最大,其地表凋落物含N量、固N微生物

Table 4. Different forest soil physical character and phosphatase activity in Lushan Mountain (average value \pm standard deviation)
表 4. 庐山不同森林土壤物理性状及磷酸酶活性(平均值 \pm 标准差)

森林类型	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	硬度/ $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$	饱和持水量/mm	田间持水量/mm	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	磷酸酶活性/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$
(1)	1.18 ± 0.03	13.24 ± 2.37	551.8 ± 47.3	481.7 ± 90.4	54.35 ± 10.51	49.67 ± 5.67	18.25 ± 6.58
(2)	1.20 ± 0.05	17.38 ± 9.43	507.9 ± 24.1	460.4 ± 51.3	53.37 ± 9.28	49.42 ± 13.43	27.63 ± 7.41
(3)	1.24 ± 0.07	20.57 ± 5.25	438.5 ± 87.2	403.5 ± 62.7	52.07 ± 15.36	48.94 ± 9.82	23.15 ± 4.37
(4)	1.23 ± 0.04	22.96 ± 8.63	399.7 ± 34.8	378.3 ± 70.5	51.53 ± 7.32	47.38 ± 18.04	16.61 ± 1.98
(5)	1.26 ± 0.08	23.85 ± 4.91	353.1 ± 71.6	357.2 ± 27.9	51.21 ± 4.87	47.66 ± 8.49	15.49 ± 2.75
(6)	1.29 ± 0.07	25.43 ± 6.36	302.6 ± 55.7	325.9 ± 14.4	50.66 ± 21.03	46.75 ± 11.75	19.87 ± 3.49

注: 采样土层深为 60 cm。

Table 5. The PH and nutrient status of different forest soil in Lushan Mountain(average value \pm standard deviation)
表 5. 庐山不同森林土壤 pH 值及养分状况(平均值 \pm 标准差)

森林类型	有机质/ $\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	pH 值/ H_2O	阳离子交换量/ $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$	全 N/ $\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}$	水解性 N/ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	有效 P/ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	速效 K/ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$
(1)	215 ± 19	5.1 ± 0.3	11.56 ± 2.26	6.49 ± 0.85	48.2 ± 5.5	14.1 ± 2.3	53.1 ± 4.8
(2)	169 ± 45	5.4 ± 0.2	13.98 ± 3.11	5.58 ± 1.14	46.5 ± 4.8	25.9 ± 3.8	49.6 ± 2.7
(3)	183 ± 34	5.6 ± 0.1	19.48 ± 1.96	4.47 ± 0.72	54.6 ± 6.9	16.3 ± 2.6	56.5 ± 4.5
(4)	172 ± 20	4.9 ± 0.2	14.21 ± 3.26	5.92 ± 1.43	38.4 ± 3.3	13.8 ± 1.9	70.9 ± 7.4
(5)	204 ± 27	5.2 ± 0.2	16.14 ± 2.75	5.50 ± 0.27	45.7 ± 4.9	12.4 ± 2.3	99.3 ± 8.1
(6)	196 ± 81	5.0 ± 0.3	17.21 ± 5.29	6.22 ± 1.60	35.3 ± 3.0	15.6 ± 2.7	63.4 ± 6.9

数量较多。有效 P 的含量标志着土壤供 P 能力的大小[3]。玉山竹林地土壤有效 P 平均含量最少($12.4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)，其原因是玉山竹在生长过程中需要吸收大量的 P，这与其林下土壤供 P 能力跟不上有关。植物所能利用的 K 是速效 K，它能真实反映土壤中 K 素的供应情况，有利于作物根系的伸展和微生物活动[12]。从表 5 中比较可知，常绿阔叶林地土壤速效 K 平均含量最低($49.6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)，这主要是由于常绿阔叶林对 K 的吸收利用能力较强，从而造成土壤中速效 K 的含量相对偏低。

4. 结论与讨论

1) 庐山 6 种森林凋落物现存贮量有一定的差异，其中马尾松林凋落物现存贮量最大($18.70 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)，常绿阔叶林最少($9.89 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)，不同森林凋落物现存贮量平均值 $13.99 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ；6 种不同森林凋落物层 N、P 平均储量分别为 $119.60 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $12.16 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，马尾松林凋落物层最大持水率最高，为 $2613.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，落叶阔叶林凋落物最大拦蓄量最大，为 $27.94 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，黄山松林凋落物最大拦蓄量最小($12.35 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)；从有效持水率和有效拦蓄量看，6 种不同森林凋落物层有效拦蓄能力大小依次为：马尾松林 > 黄山松林 > 玉山竹林 > 落叶阔叶林 > 常绿 - 落叶阔叶混交林 > 常绿阔叶林。

2) 6 种森林土壤硬度的平均值变化在 $13.24\sim 25.43 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 之间；不同森林土壤容重大小排序为：黄山松林 > 玉山竹林 > 常绿 - 落叶阔叶混交林 > 落叶阔叶林 > 常绿阔叶林 > 马尾松林；不同森林土壤磷酸酶活性有一定的区别，常绿 - 落叶阔叶混交林下土壤磷酸酶活性大于黄山松林和马尾松林，而小于常绿阔叶林，玉山竹林和落叶阔叶林下土壤磷酸酶活性相对偏低。

3) 6 种森林土壤平均 pH 值变化大致在 $4.9\sim 5.6$ ；马尾松林下土壤有机质含量最多，土壤全 N 量平均

含量最高；常绿-落叶阔叶混交林下土壤阳离子交换量大于其它林地；玉山竹林地土壤有效 P 平均含量最少；常绿阔叶林地土壤速效 K 平均含量最低。

4) 森林凋落物受树种生物学特性和年内降水量、气温、风力等气候因子的综合影响，凋落物现存贮量会随季节波动。其现存贮量高，一方面可提高林地水源涵养能力及养分潜在供应能力等；但也存在负面作用，即养分循环利用率低，火灾隐患突出，尤其是未分解凋落物 L 层的大量积累。另外，在森林管理中，一方面要尽量减少人为干扰，维持森林物质生物循环和养分平衡；另一方面，重视土壤生态系统的保护与管理，防止退化，积极采取有效措施，为森林凋落物的营养释放提供良好的生态环境。

基金项目

江苏省大学生创新训练项目(编号: 201510320082Y); 国家自然科学基金资助项目(41201213)。

参考文献 (References)

- [1] 孙新. 马尾松林下套种阔叶树对森林凋落物及土壤的影响[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建农林大学, 2005.
- [2] 胡亚林, 汪思龙, 黄宇, 等. 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[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2662-2668.
- [3] 邵方丽. 冀北山地典型森林植被与土壤成分的空间异质性关系研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [4] 林瑞余. 森林土壤和枯枝落叶层 DOM 的研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建农林大学, 2003.
- [5] 张德强, 叶万辉, 余清发, 等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究[J]. 生态学报, 2000, 20(6): 938-944.
- [6] 王春阳. 黄土高原生态重建中植物凋落物碳氮在土壤中转化特性研究[D]: [博士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [7] 郑路, 卢立华. 我国森林地表凋落物现存量及养分特征[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(1): 63-69.
- [8] 涂玉. 油松-辽东栎混交林地凋落物和氮添加对土壤生物学性质的影响[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [9] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002.
- [11] 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.
- [12] 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.

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: gser@hanspub.org