

庐山不同海拔森林土壤有机碳密度及分布特征*

杜有新¹ 吴从建³ 周赛霞¹ 黄良³ 韩世明¹ 徐雪峰¹ 丁园^{2**}

(¹ 江西省-中国科学院庐山植物园, 江西庐山 332900; ² 南昌航空大学环境与化学工程学院, 南昌 330063; ³ 九江市林业局, 江西九江 332000)

摘要 为阐明地处中亚热带北部的庐山森林土壤有机碳沿海拔梯度的分布特征, 2010年7—8月, 分别在庐山的南、北坡按200 m的高差选择6个和5个不同海拔采样点, 分层(0~10、10~20、20~30、30~40和>40 cm)采集土样, 测定土壤容重、有机碳含量及有机碳密度. 结果表明: 海拔和坡向显著影响森林土壤有机碳密度. 在北坡, 随海拔升高, 土壤有机碳呈逐渐增加趋势, 土壤有机碳含量与土壤容重和pH值呈显著负相关关系; 在南坡则没有明显规律. 随土层加深, 土壤有机碳逐渐下降. 北坡和南坡土壤有机碳密度分别为7.07~10.34 kg·m⁻²和6.03~12.89 kg·m⁻². 南坡土壤有机碳密度随海拔梯度和土层深度变化的变异性较大, 原始植被的破坏和人工林的建立可能是影响土壤有机碳空间分布的重要因素之一.

关键词 庐山 海拔梯度 森林土壤 有机碳密度

文章编号 1001-9332(2011)07-1675-07 **中图分类号** S714 **文献标识码** A

Forest soil organic carbon density and its distribution characteristics along an altitudinal gradient in Lushan Mountains of China. DU You-xin¹, WU Cong-jian³, ZHOU Sai-xia¹, HUANG Liang³, HAN Shi-ming¹, XU Xue-feng¹, DING Yuan² (¹Lushan Botanical Garden, Jiangxi Province & Chinese Academy of Sciences, Lushan 332900, Jiangxi, China; ²College of Environmental Chemistry Engineering, Nanchang Hang Kong University, Nanchang 330063, China; ³Jiujiang Forestry Bureau, Jiujiang 332000, Jiangxi, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(7): 1675-1681.

Abstract: To understand the spatial distribution characteristics of organic carbon in northern subtropical forest soils along an altitudinal gradient in Lushan Mountains of China, six and five sampling plots with a 200-m interval of elevation and covered by different vegetation types were installed on the southern and northern slopes, respectively in July-August in 2010 to collect soil profiles, with the soil thickness, bulk density, organic carbon content, and organic carbon density of 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, and >40 cm layers measured. The soil organic carbon density was significantly affected by altitude and slope. On northern slope, soil organic carbon content increased with increasing altitude, and had significant negative correlations with soil bulk density and pH value. On southern slope, soil organic carbon content had no obvious variation pattern along the altitudinal gradient and had less correlation with soil bulk density and pH value, but soil organic carbon density decreased with increasing soil depth. The soil organic carbon density on northern and southern slopes was within the range of 7.07-10.34 kg·m⁻² and 6.03-12.89 kg·m⁻², respectively. The larger variation of soil organic carbon density along altitudinal gradient and soil depth on southern slope suggested that the destruction of original vegetation and the establishment of forest plantation could be one of the important factors affecting the spatial distribution of soil organic carbon.

Key words: Lushan; altitudinal gradient; forest soil; organic carbon density.

* 江西省自然科学基金项目(2009GZN0084)资助.

** 通讯作者. E-mail: luck_ding@sina.com

2011-01-05 收稿, 2011-04-17 接受.

森林生态系统作为陆地生态系统的主体,虽然其面积仅占全球非冰表面的40%,但其生物量约占陆地生物量的85%^[1],并且维持着巨大的土壤碳库。森林土壤有机碳储量的变化影响着陆地生态系统碳收支平衡和碳循环过程^[2]。森林土壤有机碳主要分布于1 m深度的土壤内,对气候变化和人类活动干扰较敏感。由于受到植被覆盖类型、土地利用方式与环境条件等生物和非生物因素的综合影响,森林土壤有机碳储量的分布存在着地区不均匀性^[2]。在森林土壤碳储量的估算方面,由于不同学者所采用的方法不同,以及森林土壤的空间异质性和时间变化的复杂性,对不同地区和不同森林植被类型土壤有机碳储量的估算存在较大的差异性和不确定性^[3-4]。

庐山地处我国亚热带北缘,山地气候特征明显,从低海拔到高海拔分布着不同的植被类型和土壤类型^[5]。由于长期受到人类活动干扰,地带性常绿阔叶林破坏严重,山体主要为人工针叶林和次生阔叶林及灌丛覆盖^[6]。随着海拔的变化,山地生态系统的环境条件、植被类型和土壤性质等发生着显著变化,植被输入土壤的枯落物和根系分泌物以及土壤碳积累状况存在较大差异,因此研究不同海拔和坡向森林土壤有机碳密度及其分布格局对估算本地区森林植被碳收支状况非常重要。虽然近年来对我国东部不同海拔森林土壤活性有机碳分布^[7]、土壤呼吸^[8]、不同植被类型^[9-10]及不同土地利用方式下土壤有机碳变化^[11]的研究较多,但关于庐山地区森林土壤有机碳的报道较少^[12]。本研究调查和分析了庐山地区不同海拔森林土壤有机碳的空间分布特征,旨在为深入认识我国东部地区森林生态系统的碳汇功能,估算我国东部亚热带山地森林土壤有机碳库的储量提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

庐山(29°26'—29°41' N, 115°52'—116°08' E)地处长江中下游鄱阳湖平原西北部,属断块山构造地貌、冰蚀地貌、流水地貌等三位一体的复合型地貌景观,土地面积302 km²,海拔跨度为40~1474 m,其主峰——汉阳峰海拔1474 m。该地区属亚热带北部山地湿润性季风气候^[13],年均气温11.4℃,极端最高气温32.8℃,极端最低气温-16.8℃,年均降水量1929.2 mm,比同纬度平原地区高500 mm左右,降雨集中于4—7月,约占全年降水量的70%,

年均相对湿度80%。

由于人类对森林植被的高强度利用和植树造林,地带性植被垂直带谱已经不明显。在低海拔(100~600 m)地带,以香樟(*Cinnamomum camphora*)和青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)为主的地带性常绿阔叶林已经被马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)或油茶(*Camellia oleifera*)等人工林取代,只是在村前屋后作为风水林被小面积保存下来;中海拔地带(600~1000 m),以小叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、黑壳楠(*Lindera megaphylla*)和黄檀(*Dalbergia hupeana*)为优势的地带性常绿和落叶阔叶混交林受到破坏以后,发育成以山鸡椒(*Litsea cubeba*)为主的次生落叶阔叶林或毛竹(*Phyllostachys edulis*)林;中高海拔地带(1100~1400 m)主要分布着以化香(*Platycarya strobilacea*)、小叶白辛(*Pterostyrax corymbosus*)或黄山松(*Pinus taiwanensis*)等为优势的天然阔叶林或针叶林,或者柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、日本扁柏(*Chamaecyparis obtusa*)和日本花柏(*Chamaecyparis pisifera*)等人工针叶林;较高海拔(1300~1474 m)分布有高山灌丛等植被类型。

1.2 样地设置及采样

选择具有一定代表性并能反映庐山植被覆盖状况的南北两条样带(表1),于2010年7—8月,在南坡和北坡两条样带上,按高差200 m左右分别选择6个和5个不同海拔高度的代表性植被类型。在每个海拔高度选择典型地段随机设置1个5 m×5 m的样地,共11个,采用Eijkelkamp土钻调查土层厚度并记录海拔高度。每个样地随机挖掘3个土壤剖面,按土壤深度在0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm和>40 cm分层各采集200 g左右的土壤样品。同时调查植被群落高度、乔木树种胸径和植被覆盖度等。

1.3 测定方法

采集的土样经风干、去除植物根系和石砾后过60目筛备用,同时用排水法测算石砾体积。土壤容重采用环刀法测定,土壤pH值采用电极电位法测定,土水质量比为1:2.5,土壤有机碳用浓硫酸-重铬酸钾外加热法测定^[14]。

1.4 数据处理

有机碳密度指单位面积的有机碳储量。某一土壤剖面的有机碳密度为该剖面所有土层有机碳密度之和,某一海拔点的有机碳密度为3个剖面的平均值,如果某一剖面由k层组成,该剖面有机碳密度

表 1 采样点植被群落与土壤基本特征

Table 1 Vegetation characteristics and soil condition among sampling plots (mean±SD)

地理位置 Geographical location	海拔 Altitude (m)	植被类型 Vegetation type	群落高度 Community height (m)	土壤类型 Soil type	0~20 cm 土层 pH pH in 0~20 cm soil layer	土壤厚度 Soil thickness (cm)
北坡 Northern slope	270	香樟和油茶常绿阔叶林	12	红壤 Red soil	4.43±0.25a	70.2±11.2a
	470	次生青冈栎和山鸡椒阔叶林	5	红壤 Red soil	4.12±0.21a	49.5±13.8ab
	670	次生青冈栎和黄檀阔叶林	6	黄壤 Yellow soil	4.17±0.16a	58.9±17.4ab
	870	人工柳杉林	12.5	黄壤 Yellow soil	4.08±0.33a	52.7±15.6ab
	1070	天然黄山松林	6	黄棕壤 Yellow brown soil	4.10±0.26a	26.3±11.9b
南坡 Southern slope	270	人工马尾松和杉木混交林	11	红壤 Red soil	4.71±0.09b	67.8±7.8a
	470	次生黑壳楠和黄檀阔叶林	4	红壤 Red soil	5.11±0.16a	32.8±13.2b
	670	人工杉木和毛竹混交林	12	红壤 Red soil	5.02±0.12a	36.7±15.9b
	870	次生小叶青冈林	8	黄壤 Yellow soil	5.01±0.22a	71.2±12.7a
	1070	人工杉木林	13	黄棕壤 Yellow brown soil	5.00±0.17a	36.3±12.8b
	1170	天然黄山松林	8	棕壤 Brown soil	4.43±0.13c	29.2±24.7b

同列不同小写字母表示同一坡向不同海拔之间差异显著 ($P < 0.05$) Different lower case letters meant significant difference among different altitudinal plots on the same slope aspect at 0.05 level. 下同 The same below.

(SOC, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) 计算公式如下:

$$SOC = \sum_{i=1}^k SOC_i = \sum_{i=1}^k C_i Q_i D_i (1 - V_i) / 100$$

式中: C_i 为第 i 层土壤有机碳含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); Q_i 为第 i 层土壤容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); D_i 为第 i 层土壤厚度 (cm); V_i 为第 i 层直径大于 2 mm 的石砾所占的体积比例 (%)。

采用多因素方差分析 (ANOVA) 和多重比较判断差异水平. 方差分析结束后, 采用 Tukey (HSD) 标准进行显著性检验. 统计分析在 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件上完成.

2 结果与分析

2.1 不同海拔梯度森林土壤有机碳含量变化

因土层厚度随海拔梯度变异较大, 本文只分析庐山北坡 0~30 cm 和南坡 0~40 cm 深度的土壤有机碳分布状况. 总体来说, 土壤有机碳含量随土层加深而逐渐降低, 但沿海拔梯度的变异较大 (图 1). 其中, 北坡土壤有机碳含量沿海拔上升呈逐渐增加的趋势, 而南坡没有明显规律, 如土壤有机碳在海拔 670 m 处最低, 而且在海拔 670 m 以下变异增大. 这可能是由于低海拔地区人类干扰活动 (如毁林开荒、放牧、取薪等) 较强, 导致森林植被发生变化, 从而影响了土壤有机碳水平.

2.2 不同海拔梯度森林土壤有机碳密度及其分布

由表 2 可以看出, 0~20 cm 土层土壤有机碳密度总体表现出随海拔上升逐渐增加的趋势, 北坡土壤有机碳密度的峰值出现在海拔 470 m 处, 至 670 m 再度下降, 然后随海拔上升又逐渐增加. 南坡土壤有机碳密度随海拔上升没有明显规律, 0~20 cm 土

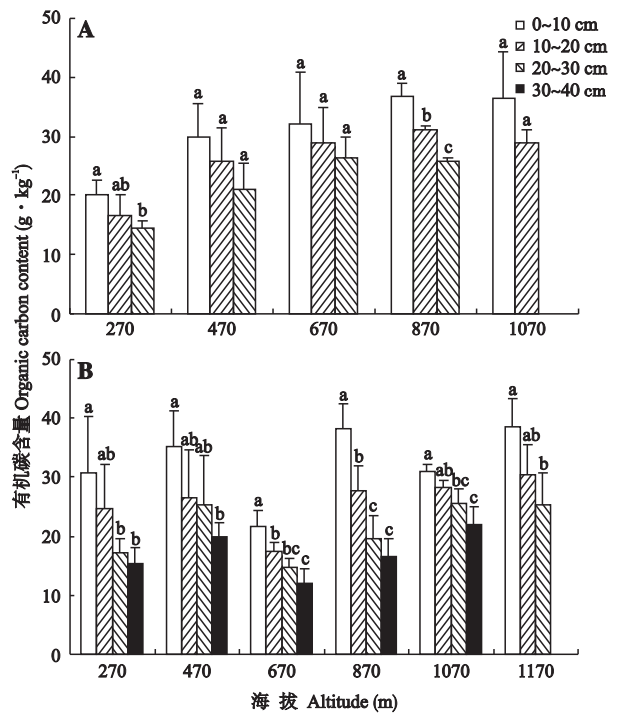


图 1 庐山北坡 (A) 和南坡 (B) 土壤有机碳沿海拔和土壤深度的变化

Fig. 1 Variation of soil organic carbon content along altitudinal gradient and soil depth on northern (A) and southern slopes (B) of Lushan Mountains (mean±SD).

不同小写字母表示同一海拔不同土层间差异显著 ($P < 0.05$) Different lower case letters meant significant difference among different soil layers at the same altitude at 0.05 level.

层土壤有机碳密度的峰值出现在海拔 870 m 处, 最小值出现于海拔 670 m 处. 在相同海拔表层 (0~20 cm) 土壤内, 南坡土壤有机碳密度约高于北坡, 如北坡表层土壤有机碳密度为 $3.12 \sim 5.77 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 南坡为 $3.23 \sim 6.82 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. 就整个土层而言, 北坡、

表2 土壤有机碳密度沿海拔梯度的分布特征

Table 2 Distribution characteristics of soil organic carbon density along altitudinal gradient in Lushan Mountains ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, mean \pm SD)

地理位置 Geographical location	海拔 Altitude (m)	土层 Soil layer (cm)			合计 Total
		0~20	20~40	>40	
北坡 Northern slope	270	3.57 \pm 0.62b	2.96 \pm 0.43a	3.92 \pm 0.88a	10.14 \pm 1.81a
	470	4.95 \pm 1.00a	3.41 \pm 0.71a	1.53 \pm 0.28a	10.34 \pm 2.06a
	670	3.63 \pm 0.86ab	2.62 \pm 0.34a	2.73 \pm 1.20a	8.98 \pm 1.83ab
	870	4.41 \pm 0.17ab	3.37 \pm 0.12a	1.38 \pm 0.05a	9.16 \pm 0.34a
	1070	4.16 \pm 0.71ab	2.86 \pm 0.30a	0.00 \pm 0.00b	7.07 \pm 1.01b
南坡 Southern slope	270	5.13 \pm 1.48a	2.88 \pm 0.42b	3.36 \pm 0.63ab	11.37 \pm 2.61ab
	470	5.24 \pm 1.01a	2.90 \pm 1.76b	1.67 \pm 1.00bc	9.81 \pm 2.37ab
	670	3.48 \pm 0.36b	2.55 \pm 0.35b	0.20 \pm 0.36c	6.03 \pm 0.74c
	870	5.70 \pm 0.69a	3.38 \pm 0.64ab	3.80 \pm 1.33a	12.89 \pm 2.14a
	1070	5.51 \pm 0.17a	4.64 \pm 0.49a	0.26 \pm 0.41c	10.15 \pm 0.76a
	1170	5.53 \pm 0.78a	2.37 \pm 0.50b	0.05 \pm 0.10c	7.90 \pm 1.28bc

南坡土壤有机碳密度分别为 7.07 ~ 10.34 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 6.03 ~ 12.89 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

土壤有机碳密度在剖面上的垂直分布是随着土层深度的增加而递减,表层土壤有机碳密度较高的地方下降幅度也较大,但不同海拔表层土壤有机碳密度的变化大于深层土壤(图2).其中,北坡海拔 270 m 处的 10 ~ 20 cm 土层有机碳密度最高,随后逐渐下降;在南坡海拔 470 和 1070 m 处,20 ~ 30 cm

土层的有机碳密度出现峰值,然后逐渐下降.当北坡土层下降到 25 cm、南坡土层下降到 35 cm 以下时,土壤有机碳密度的降幅和不同海拔点之间的差异逐渐缩小.

3 讨论

3.1 庐山森林土壤有机碳的分布特征

森林土壤有机碳储量受到地表植被凋落物的矿化分解、转化累积与土壤呼吸释放过程的综合影响^[15].不同海拔梯度植被类型的分布不同,导致输入土壤的枯落物数量和特性存在一定差异.其中,温度和水分是土壤微生物活性的主要影响因子,影响着有机质分解和有机碳释放速率^[16].土壤有机碳含量随海拔的上升呈递增趋势(图1),主要是因为海拔上升导致温度下降,使土壤有机碳释放速率显著降低^[8, 17].本研究选择的南、北两条样带涵盖了庐山地区沿海拔梯度分布的典型森林植被类型,但南坡森林土壤有机碳的变化没有明显规律.海拔 470 m 处 0 ~ 10 cm 土层有机碳含量 ($28.36 \pm 1.32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和 870 m 处 0 ~ 30 cm 土层有机碳含量 ($22.61 \pm 5.73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 与朱晓芳等^[12] 研究结果相近,但海拔 1200 m 处表层土壤(0 ~ 30 cm)有机碳含量 ($26.33 \pm 10.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 显著低于后者 ($83.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$).庐山常绿阔叶林土壤有机碳含量水平高于湖南省会同常绿阔叶林^[18],但庐山海拔 470 m 处阔叶林 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土层有机碳含量分别处于 23.88 ~ 39.57 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 19.12 ~ 35.93 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,海拔 1000 ~ 1200 m 的黄山松林 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土层有机碳含量分别介于 30.89 ~ 42.09 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 24.44 ~ 33.69 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,皆

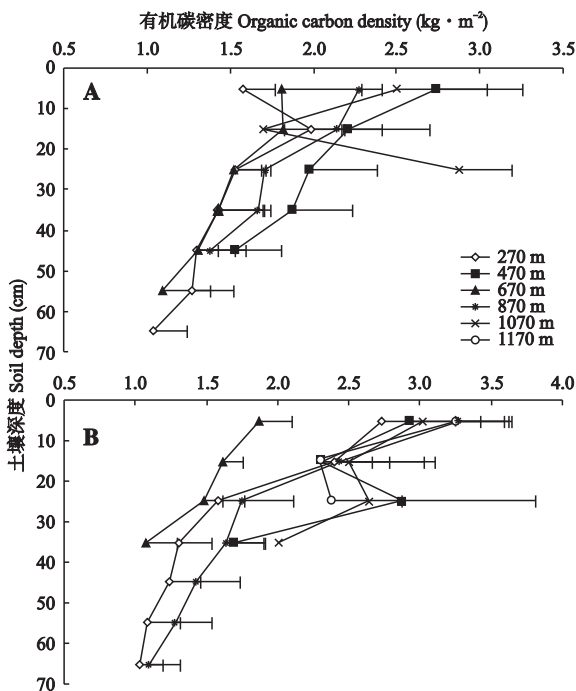


图2 庐山北坡(A)和南坡(B)不同土壤深度有机碳密度垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of soil organic carbon density along soil depth on northern (A) and southern (B) slopes of Lushan Mountains (mean \pm SD).

低于武夷山海拔 500 m 处的常绿阔叶林和 1200 m 处的针叶林土壤有机碳含量^[8]。除了纬度不同导致的温度差异外,土地利用方式与强度的变化也可能是影响森林土壤有机碳的重要原因。

随土层深度增加,土壤有机碳含量及其密度在剖面上的垂直分布呈递减趋势(图 1,表 2),主要因为地表植被枯枝落叶层是土壤有机碳的主要来源,而且土壤环境条件(温度、水分和养分)和微生物活性随土层加深而逐渐下降^[7]。庐山地区森林表层土壤(0~20 cm)有机碳密度(3.12~6.82 kg·m⁻²)处于袁芳等^[19]采用第 2 次土壤普查资料估算的江西全省土壤有机碳密度范围(2.66~6.88 kg·m⁻²)内,也处于亚热带常绿阔叶林(4.53±3.19 kg·m⁻²)和常绿-落叶阔叶混交林(6.68±3.76 kg·m⁻²)的波动范围内^[16,20]。表层土壤有机碳密度的变化较大,如北坡 270 m 处 10~20 cm 土层有机碳密度较高,南坡土壤有机碳密度的峰值出现于海拔 470 m 处的 20~30 cm 土层,可能是受到外界干扰和土壤理化性质的综合影响,导致土壤紧实度提高、容重增大,从而提高了土壤有机碳储量。

土壤容重可以反映土壤紧实度、土壤质地和有机质状况,而土壤 pH 值是影响土壤理化性质的重要指标,影响着土壤微生物活性及各种元素的形态、有效性和迁移转化^[14]。方运霆等^[11]根据鼎湖山永久性森林样地土壤剖面的实测资料研究发现,土壤有机碳含量与土壤容重具有显著的负相关关系。李忠等^[21]研究表明,随着土壤 pH 值下降,土壤有机碳储量增加。本研究结果表明,不同坡向土壤有机碳含量与土壤容重和 pH 值的关联特征不同,北坡土壤有机碳与土壤容重和 pH 值存在显著的负相关关系,南坡则没有相关关系(图 3)。

由于植被类型分类和计算方法的不同,在估算我国森林土壤有机碳密度时存在较大差异^[11,22]。本研究根据实测数据计算的庐山地区北坡土壤有机碳密度在 7.07~10.34 kg·m⁻²,南坡为 6.03~12.89 kg·m⁻²,其中杉木林(6.03~11.37 kg·m⁻²)和阔叶林(8.98~12.89 kg·m⁻²)土壤有机碳密度低于纬度相近的浙江玲珑山杉木林(12.57±6.85 kg·m⁻³)和阔叶林土壤(15.42±10.80 kg·m⁻³),而且黄山松林土壤有机碳密度(7.07~7.90 kg·m⁻³)显著低于河南鸡公山黄山松林土壤(30.12±22.76 kg·m⁻³)^[10]。虽然实测资料的样本数不足以完全涵盖土壤有机碳的空间异质性,但基本反映了本地区森林土壤有机碳沿海拔梯度的

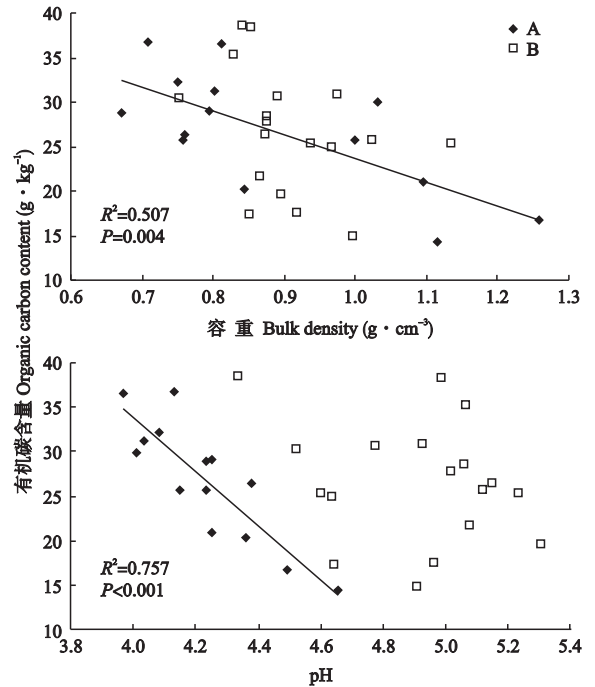


图 3 庐山北坡(A)和南坡(B)土壤有机碳含量与容重和 pH 值的关系

Fig. 3 Relationships of soil organic carbon content to soil bulk density and pH value along altitudinal gradient on northern (A) and southern slopes (B) of Lushan Mountains.

变化特征。

3.2 庐山森林土壤有机碳密度的变异

森林生态系统土壤有机碳库的变化主要取决于植被凋落物归还量和土壤有机碳的积累与释放过程^[22]。对森林土壤有机碳变异源的分析表明,坡向和海拔明显影响着森林土壤有机碳密度(表 3)。一般来说,海拔与土壤有机碳密度呈正相关关系^[16],土壤有机碳密度表现出一定的垂直地带性^[7],低海拔土壤有机碳密度较小,主要是因为低海拔温度较高,导致土壤有机质的分解速率加快^[8],促进了有机碳的释放过程。南坡土壤(0~40 cm)有机碳密度高于北坡,说明南坡土壤有机碳的积累速率大于北坡,可能是南坡植被系统生物量较高,返还土壤的凋落物量和土壤腐殖化速率比土壤有机碳释放造成的损失更大^[23],从而有利于碳的积累。其机理性问题尚需进一步研究。海拔和坡向可以综合体现环境变量,一方面通过植被类型和植被生产力的变化影响着输入土壤的有机物质的质和量,另一方面又通过温度和水分等生态因子的变化影响着土壤有机质的分解转化和腐殖化过程^[17]。森林土壤地表枯落物腐殖质化过程和有机碳释放过程受到多种因素的综合影响。这也是现阶段研究土壤碳库动态变化的热点之一^[2]。

表3 森林土壤有机碳密度的变异分析
Table 3 Analysis of variances of organic carbon density from forest soils in Lushan Mountain

项目 Item	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	F	P
坡向 Slope aspect	4.607	1	4.607	13.076	<0.001
海拔 Altitude	10.240	5	2.048	6.730	<0.001
土层 Soil layer	5.757	4	2.878	8.378	<0.001
合计 Total	37.021	93			

在影响森林土壤地表枯落物的腐殖质化过程和土壤碳转化和积累过程的诸多因素中^[24],除自然环境因素(如温度和水分)与生物因素(如植被类型和土壤生物学特性)外,人类对森林资源的开发模式,以及土地利用方式的改变均对土壤有机碳库有较大影响^[2,10,19],如自然森林被破坏后所形成的次生林的固碳能力降低^[25].庐山地区森林土壤土层较薄(26.3~71.2 cm),表层积累的有机碳比重较高且变异较大,如庐山地区森林土壤0~10 cm和0~20 cm土层有机碳密度分别占土壤有机碳密度平均值的27.6%(15.6%~41.1%)和50.5%(35.2%~70.0%),高于鼎湖山保护区森林土壤相应土层的碳贡献率(分别为26.1%和45.7%)^[11].这说明人类不合理的干扰活动不仅容易造成庐山地区水土流失,也加速了土壤有机碳的释放^[2].

与我国东部亚热带地区相同森林植被类型的土壤有机碳水平相比,庐山森林土壤有机碳密度总体偏低.海拔和坡向是影响土壤有机碳储量的重要因素,北坡森林土壤有机碳密度随海拔升高呈逐渐增加趋势,而南坡土壤有机碳密度并未随海拔的变化呈明显的地带性分布规律,而且在土壤剖面垂直分布的变异也较大.今后的研究中,应对土地利用强度进行量化,探讨植被类型转换和凋落物质量对土壤有机碳的影响.

参考文献

- [1] Fang J-Y (方精云), Chen A-P (陈安平). Dynamic forest biomass carbon pools in China and their significance. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 2001, **43** (9): 967-973 (in Chinese)
- [2] Wei H-D (蔚海东), Ma X-Q (马祥庆), Liu A-Q (刘爱琴), et al. Review on carbon cycle of forest ecosystem. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2007, **15**(2): 188-192 (in Chinese)
- [3] Fang J-Y (方精云), Liu G-H (刘国华), Xu S-L (徐嵩龄). Biomass and net production of forest vegetation

- in China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1996, **16** (5): 497-508 (in Chinese)
- [4] Xu X-L (徐新良), Cao M-K (曹明奎), Li K-R (李克让). Temporal-spatial dynamics of carbon storage of forest vegetation in China. *Progress in Geography* (地理科学进展), 2007, **26**(6): 1-10 (in Chinese)
- [5] Xie G-W (谢国文), Liu Y-X (刘月秀). Diversity of wild ornamental plant resource on Lushan Mountain. *Journal of South Agricultural University* (华南农业大学学报), 2004, **25**(3): 39-42 (in Chinese)
- [6] Zhao G-C (赵桂丛), Cheng Y (程岩). Vegetation and soil in Lushan Mountain. *Journal of Dandong Teachers College* (丹东师专学报), 1997, **19**(3): 53-55 (in Chinese)
- [7] Xu X (徐侠), Chen Y-Q (陈月琴), Wang J-S (汪家社), et al. Variations of soil labile organic carbon along an altitude gradient in Wuyi Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19** (3): 539-544 (in Chinese)
- [8] Shi Z (施政), Wang J-S (汪家社), He R (何容), et al. Soil respiration and its regulating factor along an elevation gradient in Wuyi Mountain of Southeast China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2008, **27**(4): 563-568 (in Chinese)
- [9] Ouyang X-J (欧阳学军), Zhou G-Y (周国逸), Wei S-G (魏识广), et al. Soil organic carbon and nitrogen mineralization along a successional gradient in Southern China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(8): 1688-1694 (in Chinese)
- [10] Zhang C (张城), Wang S-Q (王绍强), Yu G-R (于贵瑞), et al. Soil organic carbon storage in typical forestland in East China. *Resources Science* (资源科学), 2006, **28**(2): 97-103 (in Chinese)
- [11] Fang Y-T (方运霆), Mo J-M (莫江明), Brown S, et al. Storage and distribution of soil organic carbon in Dinghushan Biosphere Reserve. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, **24**(1): 135-142 (in Chinese)
- [12] Zhu X-F (朱晓芳), Guan X-Q (关雪晴), Fu J-Y (付晶莹). Research on the factor affecting the content of total nitrogen in soil. *Journal of Anhui Agriculture Sciences* (安徽农业科学), 2008, **36**(16): 6868-6869 (in Chinese)
- [13] Du Y-X (杜有新), Zhang Q-S (张青松), Pang H-D (庞宏东), et al. Early adaptability of Eastern Asian and Northern American disjunction distribution species. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2009, **18**(3): 990-995 (in Chinese)
- [14] Lu R-K (鲁如坤). Soil and Agro-Chemical Analytical Methods. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000 (in Chinese)

- [15] Quideau SA, Chadwick OA, Trumbore SE, *et al.* Vegetation control on soil organic matter dynamics. *Organic Geochemistry*, 2001, **32**: 247–252
- [16] Xie X-L (解宪丽), Sun B (孙波), Zhou H-Z (周慧珍), *et al.* Soil carbon stocks and their influencing factors under native vegetations in China. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2004, **41**(5): 687–699 (in Chinese)
- [17] Zhang P (张鹏), Zhang T (张涛), Chen N-L (陈年来). Vertical distribution patterns of soil organic carbon and total nitrogen and related affecting factors along northern slope of Qilian Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(3): 518–524 (in Chinese)
- [18] Wang Q-K (王清奎), Wang S-L (汪思龙), Feng Z-W (冯宗炜). Comparison of active soil organic carbon pool between Chinese fir plantations and evergreen broadleaved forests. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 2006, **28**(5): 1–6 (in Chinese)
- [19] Yuan F (袁芳), Zhao X-M (赵小敏), Le L-H (乐丽红), *et al.* Organic carbon reserves of topsoil and spatial distribution in Jiangxi province. *Ecology and Environment* (生态环境), 2008, **17**(1): 268–272 (in Chinese)
- [20] Li K-R (李克让), Wang S-Q (王绍强), Cao M-K (曹明奎). Vegetation and soil carbon storage in China. *Science in China Series D* (中国科学·D辑), 2003, **33**(1): 72–80 (in Chinese)
- [21] Li Z (李忠), Sun B (孙波), Lin X-X (林心雄). Density of soil organic carbon and the factors controlling its turnover in East China. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 2001, **21**(4): 301–307 (in Chinese)
- [22] Lü C-Q (吕超群), Sun S-C (孙书存). A review on the distribution patterns of carbon density in terrestrial ecosystems. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2004, **28**(5): 692–703 (in Chinese)
- [23] Li Z-A (李志安), Zou B (邹碧), Ding Y-Z (丁永祯), *et al.* Key factors of forest litter decomposition and research progress. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2004, **23**(6): 77–83 (in Chinese)
- [24] Zhou J-F (周剑芬), Guan D-S (管东生). Change in the use of forest land and its impact on the carbon cycling. *Ecology and Environment* (生态环境), 2004, **13**(4): 674–676 (in Chinese)
- [25] Zhou G-S (周广胜), Wang Y-H (王玉辉), Jiang Y-L (蒋延龄), *et al.* Conversion of terrestrial ecosystems and carbon cycling. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2002, **26**(2): 250–254 (in Chinese)

作者简介 杜有新,男,1965年生,博士,研究员.主要从事植被恢复与植物引种驯化研究,发表论文20余篇. E-mail: yxdu2005@yahoo.com.cn

责任编辑 李凤琴
