

兴国县森林土壤有机碳库及其 与环境因子的关系

程先富^{1,2}, 史学正², 于东升², 潘贤章²

(1. 安徽师范大学地理系, 芜湖 241000; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要: 确定土壤有机碳的储量、空间分布, 对土壤碳循环的研究具有重要意义。根据江西兴国县 84 个样点和 50 个剖面的采样数据、土壤有机质含量, 统计土壤各类型分布面积, 估算了土壤有机碳库。研究表明, 兴国县森林土壤有机碳在 20cm 深度内总量为 $559.38 \times 10^4 \text{t}$, 平均有机碳密度为 2.47 kgC/m^2 , 在 100cm 深度内总量为 $1437.19 \times 10^4 \text{t}$, 平均有机碳密度为 6.36 kgC/m^2 。其分布特征是: 西北部和东北部高, 中部和西南部低。土壤有机碳含量深受母岩、植被和地形影响, 在表层 (0~20cm), 坡向和有机碳含量呈显著正相关关系; 海拔与有机碳含量呈极显著正相关关系; 在剖面 (0~100cm), 海拔和有机碳含量的相关关系达极显著水平, 有机碳含量与坡向、坡度之间无明显的相关关系。

关键词: 森林土壤; 土壤有机碳; 环境因子; 江西兴国县

中图分类号: S714.2; X144 **文章编号:** 1000-0585(2004)02-0211-07

碳是自然界中与人类生存密切相关的最重要的物质之一, 它在水圈、气圈和生物圈中动态循环。全球约有 1500G 碳 (深度为 1m) 是以有机质的形态存储于地球土壤中^[1,2], 土壤有机碳的积累和分解, 制约着土壤有机碳的变化, 一方面直接影响全球的碳平衡, 另一方面也影响了土壤肥力和植物生长, 从而间接影响陆地生物碳库。大气中 CO_2 浓度的升高和全球气候变暖是当今全球环境研究中的热点问题^[3]。人们普遍认为大气中 CO_2 浓度的不断升高是人类活动引起的, 特别是燃烧化石燃料。但土壤中的碳量不仅是碳生物地球化学循环中的重要碳库, 同时也是巨大的有机碳库^[4,5]。土壤有机碳的变化可由土壤发生、土地利用和气候变化等引起。世界各国的土壤有机碳储量研究一般按植被类型、土壤类型、生命带或碳循环模型而统计出, 即通过土壤剖面的数据, 计算每种生态系统和土壤类型的有机碳密度的分布 (每个表面单元中的碳质量)。全球范围有机碳量的估计比较粗略^[2], 但是, 再细分到更详细的范围, 地形和土壤因素, 尤其是土壤类型^[6~9]变得十分重要。

土壤有机碳具有较大的空间变异性, 特别是某个生态系统或土壤类型, 人类活动深刻影响土壤的碳库。土壤有机碳和控制其分解的环境, 例如: 温度、实际蒸发量等的统计关系的建立, 可用来估计区域土壤有机碳库^[4,5,10,11]; 粘土矿物^[12,13]、土壤质地^[14,15]等和土壤有机碳具有较好的关系。除此之外, 生产力^[5]、土壤湿度^[11,15]、pH 值^[16]等和土壤有机碳的关系也较为密切。

收稿日期: 2003-05-08; 修订日期: 2003-09-05

基金项目: 国家重点基础研究规划项目 (G1999011810) 和国家自然科学基金项目 (49971039)

作者简介: 程先富 (1967-), 男, 安徽合肥人, 副教授, 博士生。主要从事土壤资源与遥感信息系统的研究与教学工作。E-mail: xianfucheng@sina.com.cn

我们的研究有两个目的：一是对江西兴国县的森林土壤的碳量（土壤深度 0~20cm, 0~100cm）给出区域估计；二是利用植被和地形的有关数据，探讨它们和有机碳密度之间的关系。

1 材料与方方法

1.1 研究区概况

兴国县 (26°03' N~26°42' N, 115°01' E~115°51' E) 位于江西省南部, 海拔 130 m~1200 m。林地总面积 2260 km², 在气候区划上, 属亚热带季风湿润气候, 平均年降雨量 1500 mm, 多集中在 4~6 月, 占全年降雨量的 50% 以上, 年均气温为 18.9℃, 1 月 (最冷月) 平均气温 3.4℃, 7 月 (最热月) 平均气温 34.4℃, 全年日均温 10℃, 积温 6029.9℃, 无霜期 280~300 天。主要地貌类型有河谷冲积平原、红土岗地、红色砂砾岩和紫色页岩丘陵、花岗岩和变质岩山地等。本区处中亚热带常绿阔叶林生物气候带, 主要的土壤类型为红壤, 但因地形、母质等成土条件较为复杂, 而致除红壤外, 还有黄壤、紫色土等土类分布。经过 20 多年的综合治理, 全县植被的覆盖率得到大大提高, 达到 60% 以上。

1.2 样品采集与分析

2001 年 12 月上旬, 在兴国县林地布置 84 个样点, 其中剖面 50 个, 在每个样点中又以对角线方式设置 5 个点, 采集 0~20cm 的表层样, 混合成一个样, 装于采集袋中, 剖面按发生层次采样, 所有样品均带回实验室, 分出杂物, 风干, 磨碎, 过 1 mm 筛 (分析测量时根据测定指标再过不同规格的筛), 分别装于广口瓶中, 待测。

有机质的测定^[17]: 称取过 0.25mm 筛的土样 0.1000g 于硬质试管, 加入 10 ml 0.4N K₂CrO₇, 加入 10ml 浓硫酸, 然后在 170~180℃ 的石蜡中油浴 5min, 冷却, 转移, 滴定。

容重采用环刀法^[18]。

每个样点用 GPS 精确定位, 并记录海拔高度 (m) 和坡向 (顺时针), 坡向被分为 8 个等级, 1 表示方位 157.5°~202.5°, 2 表示 112.5°~157.5°, 3 表示 202.5°~247.5°, 4 表示 67.5°~112.5°, 5 表示 247.5°~292.5°, 6 表示 22.5°~67.5°, 7 表示 292.5°~337.5°, 8 表示 337.5°~360° 和 0°~22.5°。

1.3 计算方法

土壤有机碳密度不仅是统计土壤有机碳储量的主要参数, 其本身也是一项反映土壤特性的重要指标, 它由土壤有机碳含量、砾石 (粒径 > 2mm) 含量和容重所共同确定。对于具有一定剖面深度 D (cm) 的土壤而言, 其有机碳密度 SOC (kgC/m²) 的计算公式^[19,20]如下:

$$SOC = \sum_{i=1}^n D_i \times \rho_i \times C_i \times (1 - \rho_{s_i}) / 10$$

式中: n 为土层数, C_i 为不同土层土壤有机碳的含量 (%), ρ_i 为土壤容重 (g/cm³), ρ_{s_i} 为 > 2mm 砾石含量 (体积 %), D_i 为不同土层的厚度 (cm)。

土壤有机碳储量先以亚类的各土属面积为权, 求土属的有机碳密度的加权平均值, 即亚类的土壤有机碳密度, 然后根据亚类面积, 计算出本亚类的土壤有机碳储量。其计算公式:

$$M = \sum_{i=1}^n T_i \times A_i$$

式中: M 为土壤有机碳总量, A_i 是某土壤亚类的面积, T_i 是该亚类的平均有机碳密度, 即单位面积 1 m 深土体所含土壤有机碳质量, n 为土壤亚类数 ($i = 1, 2, \dots, n$)。

2 结果与讨论

2.1 土壤有机碳密度和储量

兴国县的红壤中, 发育程度低的红壤亚类, 土壤剖面深度较浅, 自然植被常常遭受破坏, 土壤侵蚀作用增强, 导致土壤有机碳含量下降, 其剖面密度最低 (表 1)。从剖面 (0 ~ 100cm) 和表层 (0 ~ 20cm) 平均土壤有机碳密度上来看, 由紫色土 红壤 棕红壤 黄红壤 黄壤, 依次减少。黄壤的有机碳密度最高, 在剖面 (0 ~ 100cm) 和表层 (0 ~ 20cm) 中分别为 5.52 kgC/m² 和 13.60 kgC/m²; 紫色土的有机碳密度最低, 分别为 2.21 kgC/m² 和 3.12 kgC/m²。在 20cm 厚度内土壤有机碳总量为 559.38 × 10⁴ t, 平均有机碳密度为 2.47kgC/m²。在 1m 厚度内土壤有机碳总量为 1437.19 × 10⁴ t, 平均有机碳密度为 6.36kgC/m², 低于全国的平均有机碳密度 10.53 kgC/m² [21]。

表 1 兴国县森林土壤有机碳密度与储量

Tab.1 Organic carbon density of forest soil and reserve in Xingguo county

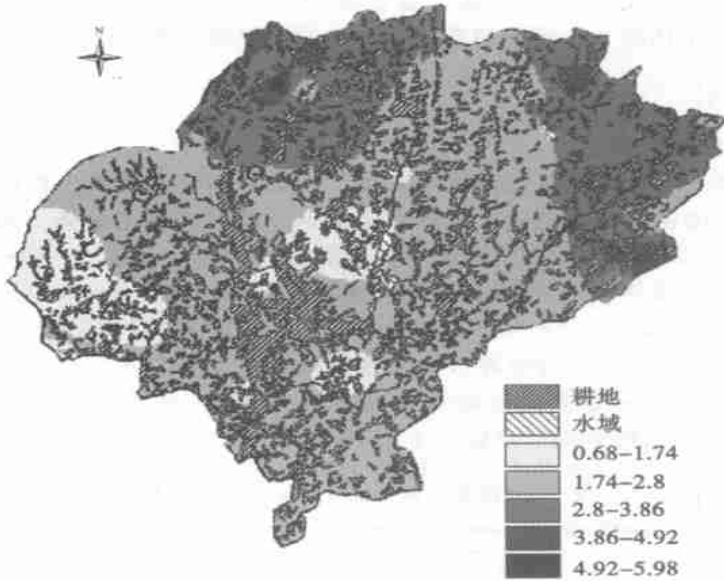
| 土类 Soil order | 亚类 Soil suborder | 面积 Area (km ²) | 有机碳密度 SOC density (kgC/m ²) | | 有机碳储量 SOC reserve (10 ⁴ t) | |
|------------------|---------------------|----------------------------------|--|-----------|--|-----------|
| | | | 0 ~ 20cm | 0 ~ 100cm | 0 ~ 20cm | 0 ~ 100cm |
| 红壤 | | 2167.15 | | | 523.89 | 1360.91 |
| | 红壤 | 1130.54 | 2.40 | 6.08 | 271.33 | 687.37 |
| | 棕红壤 | 546.92 | 2.29 | 6.37 | 125.24 | 348.39 |
| | 黄红壤 | 489.69 | 2.60 | 6.64 | 127.32 | 325.15 |
| 黄壤 | | 45.07 | | | 24.88 | 61.30 |
| | 黄壤 | 45.07 | 5.52 | 13.60 | 24.88 | 61.30 |
| 紫色土 | | 48.02 | | | 10.61 | 14.98 |
| | 紫色土 | 48.02 | 2.21 | 3.12 | 10.61 | 14.98 |
| 总计 | | 2260.24 | 2.47 | 6.36 | 559.38 | 1437.19 |

图 1 显示土壤有机碳密度在深度 0 ~ 20 cm 和 0 ~ 100 cm 中的分布, 图中表明: 土壤有机碳密度在表层和 1m 厚度内的分布特征是, 东北部和西北部高, 中部和西南部低。这主要是因为研究区东、北、西三面为群山, 海拔较高, 温度低, 湿度大, 水分充足, 土壤腐殖质分解速率低, 有机质积累速率高, 因而有机质大量积累, 土壤有机碳密度较高。中部和西南部多为低缓的山丘, 山丘多由花岗岩组成, 因侵蚀强烈, 风化成秃顶, 是水土流失的严重地区, 植被覆被度低, 海拔低, 温度高, 土壤腐殖质分解较快, 故土壤有机碳密度较低。

2.2 土壤有机碳和环境因子的关系

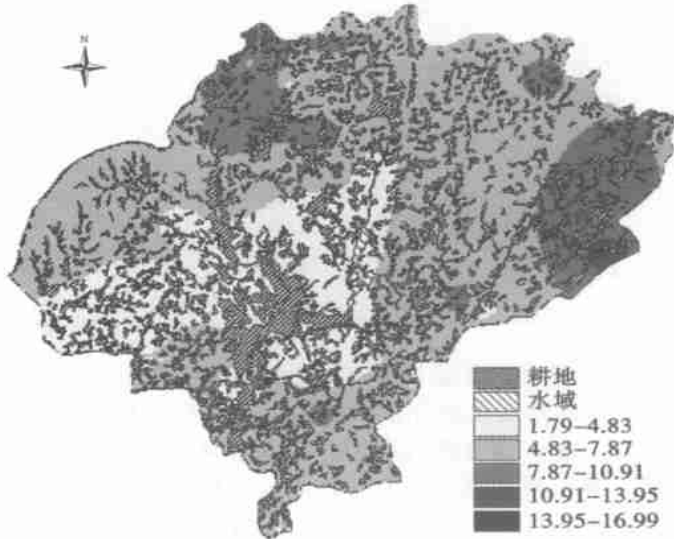
2.2.1 不同母岩发育的土壤中有有机碳的含量

图 2 说明, 不同母岩上发育的土壤有机碳含量有一定的差别。在表层 (0 ~ 20cm), 由石灰岩、千枚岩、花岗岩、红粘土到红砂岩, 土壤有机碳含量依次减少。石灰岩上发育的土壤中有有机碳含量最高, 为 17.92g/kg, 红砂岩上最低, 为 6.11g/kg。在深度 0 ~ 100cm



a. 0~20cm 土壤有机碳密度

a. 0~20cm 土壤有机碳密度



b. 0~100cm 土壤有机碳密度

b. 0~100cm 土壤有机碳密度

图 1 兴国县森林土壤有机碳密度 (kgC/m²) 空间分布

Fig. 1 The spatial distribution of organic carbon density (kgC/m²) in forest soil of Xingguo county 内, 土壤有机碳含量依次增加的顺序为: 红粘土、红砂岩、花岗岩、千枚岩和石灰岩, 含量最高为 9.25g/kg, 最低为 3.72g/kg.

2.2.2 不同植被下土壤有机碳的含量

图 3 表明: 植被对土壤有机碳的含量有较大影响。在 0~20cm 深度内, 土壤有机碳含

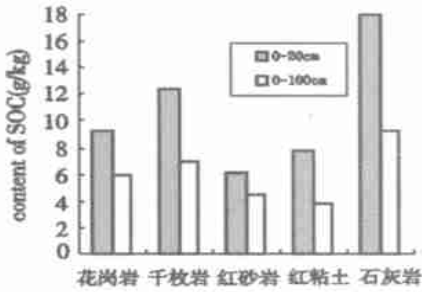


图2 不同母岩发育的土壤中有有机碳的含量

Fig.2 The content of soil organic carbon in soil of different parent rocks

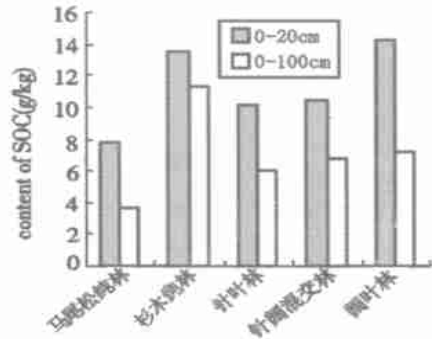


图3 不同植被下土壤有机碳的含量

Fig.3 The content of soil organic carbon in different vegetations

量由马尾松纯林、针叶林、针阔混交林、杉木纯林到阔叶林，依次增加，马尾松纯林下土壤有机碳含量最低，为 7.71g/ kg；阔叶林下最高，为 14.19g/ kg。在 0~100cm 深度内，土壤有机碳含量依次增加的顺序为：马尾松纯林、针叶林、针阔混交林、阔叶林到杉木纯林，变幅为 3.65g/ kg ~ 11.28g/ kg。土壤有机碳含量在杉木纯林下高，在马尾松纯林下低的原因是：在丘陵地带，只有稀疏的马尾松，长势差，植被的覆盖差，水土流失严重，土壤有机质流失量大。而杉木林为人工林，多分布在沟谷和坡脚，地势较低，土壤养分保蓄较好，同时因其靠近居民点，受人为干扰活动的影响较大，所以杉木林下土壤的有机碳含量较高。

2.2.3 土壤有机碳含量与地形因子的关系

土壤有机碳含量和地形变量之间存在着显著相关关系。表 2 表明，在表层(0~20cm)，土壤有机碳含量和坡向、海拔之间存在着显著相关关系。坡向和有机碳含量的相关关系达显著水平，呈显著正相关关系；海拔和有机碳含量的相关关系达极显著水平，呈极显著正相关关系。即随着海拔的增加，有机碳含量不断增高；坡向越朝北，有机碳含量越高。有机碳含量和坡度的关系明显。剖面(0~100cm)，海拔和有机碳含量的相关关系达极显著水平，呈极显著正相关关系，有机碳含量和坡向、坡度之间无明显的相关关系。这是因为坡向朝南，气温较高，蒸发量比较大，土壤湿度较小，有机质的分解率较大，土壤有机碳含量较低；而高海拔区，气温较低，蒸发量较小，植被较好，湿度较大，有机质分解缓慢，土壤有机碳含量较高。但在剖面上，由于受植被的影响相对较弱，受母质影响较大，从而使有机碳含量和坡向的关系不明显。

表 2 土壤有机碳和地形变量的相关矩阵

Tab.2 Correlation matrix for soil organic carbon and topographic variables

| | 0~20cm (n=84) | | | 0~100cm (n=50) | | |
|-----|----------------|---------|-----------|----------------|--------|-----------|
| | 有机碳 | 坡向 | 海拔 | 有机碳 | 坡向 | 海拔 |
| | Organic carbon | aspect | elevation | Organic carbon | aspect | elevation |
| 有机碳 | 1.000 | | | 1.000 | | |
| 坡向 | 0.215 * | 1.000 | | -0.023 | 1.000 | |
| 海拔 | 0.456 ** | 0.231 * | 1.000 | 0.690 ** | -0.110 | 1.000 |

** P<0.01 极显著水平 Level of very significance; * P<0.05 显著水平 Level of very significance

3 结 论

兴国县森林土壤有机碳密度在 0~20cm 深度内变幅为 2.21~5.52 kgC/m², 平均有机碳密度为 2.47 kgC/m², 土壤有机碳总量为 559.38 ×10⁴t; 在 0~100cm 深度内变幅为 3.12~13.60 kgC/m², 平均有机碳密度为 6.36 kgC/m², 土壤有机碳总量为 1437.19 ×10⁴t。土壤有机碳密度在表层和 1m 厚度内的分布特征是, 东北部和西北部高, 中部和西南部低。

土壤有机碳含量与环境因子间关系密切, 母岩和植被对其有较大影响。土壤有机碳含量与地形变量之间存在着显著相关关系。在表层 (0~20cm), 坡向和有机碳含量的相关关系呈显著正相关; 海拔和有机碳含量的相关关系呈极显著正相关。在剖面 (0~100cm), 只有海拔和有机碳含量的相关关系达极显著水平, 呈极显著正相关关系, 有机碳含量和坡向、坡度之间无明显的相关关系。

参考文献:

- [1] Eswaran H, Van den Berg E, Reich P. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci Soc Am J*, 1993, **57**: 192~194.
- [2] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, *et al.* Soil carbon pools and life zones. *Nature*, 1982, **298**: 156~159.
- [3] 陶波, 葛全胜, 李克让, 等. 陆地生态系统碳循环研究进展. *地理研究*, 2001, **20**(5): 564~575.
- [4] Burke I C, Yonker C M, Parton W J, *et al.* Texture, climate and cultivation effects on soil organic matter content in US grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, **53**: 800~805.
- [5] Liski J, Westman C J. Carbon storage in forest soil of Finland. 2. Size and regional patterns. *Biogeochemistry*, 1996, **36**: 261~274.
- [6] 金峰, 杨浩, 赵其国. 土壤有机碳储量及影响因素研究进展. *土壤*, 2000, (1): 11~17.
- [7] 李忠, 孙波, 林心雄. 我国东部土壤有机的密度及转化的控制因素. *地理科学* **21**(4): 301~307.
- [8] 金峰, 杨浩, 蔡祖聪, 等. 土壤有机碳密度及储量的统计研究. *土壤学报*, 2001, **38**(4): 522~529.
- [9] 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算. *地理研究* **18**(4): 349~356.
- [10] Grigal D F & Ohmann L F. Carbon storage in upland forests of the Lake States. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, **56**: 935~943.
- [11] Homann P S, Sollins P, Chappell H N, *et al.* Soil organic carbon in a mountainous forested region: Relation to site characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1995, **59**: 1468~1475.
- [12] Parfitt R L, Theng B K G, Whitton J S *et al.* Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, 1996, **75**: 1~12.
- [13] Torn M S, Trumbore S E, Chadwick O A, *et al.* Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature*, 1997, **389**: 170~173.
- [14] Arrouyas D, Vion I, Kicin J L. Spatial analysis and modeling of topsoil carbon storage in temperate forest humic loamy soils of France. *Soil Sci.*, 1995, **159**: 191~198.
- [15] Davidson E A. Spatial covariation of soil organic carbon, clay content, and drainage class at a regional scale. *Landscape Ecol.*, 1995, **10**: 349~362.
- [16] Hanawalt R B, Whittaker R H. Altitudinally coordinated patterns of soils and vegetation in the San Jacinto Mountains, California. *Soil Sci.*, 1976, **121**: 114~124.
- [17] Nelson D W, Sommers L E. A rapid and accurate method for estimating organic carbon in soil. *Proceedings of the Indiana Academy of Science*, 1975, **84**: 456~462.
- [18] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996. 5~6.
- [19] Batjes N H, Dijkshoorn J A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *Geoderma*, 1999, **89**: 273~286.
- [20] Falloon P D, Smith P, Smith J U, *et al.* Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases. *Biol Fertil Soils*, 1998, **27**: 236~241.
- [21] 周成虎, 周启鸣, 王绍强. 中国土壤有机碳库空间分布的分析与估算. *Ambio*, 2003, **32**(1): 6~12.

Organic carbon pool of forest soil and its relationship to environment factors in Xingguo county of Jiangxi province

CHENG Xian-fu^{1,2}, SHI Xue-zheng², YU Dong-sheng², PAN Xian-zhang²

(1. Geography Department, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China;

2. Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China)

Abstract: Soil organic carbon is the main part of terrestrial carbon pool. It plays an important role in terrestrial carbon cycle and is one of the important components in the research of global change, so it is important for soil carbon cycle to ascertain soil organic carbon reserves and spatial distribution in soil carbon cycle research. This paper adopted the soil distribution areas, sampling data and soil organic contents from 84 samples and 50 profiles to estimate soil carbon pool in Xingguo county of Jiangxi province. The calculation results show that parent material has influence on contents of soil organic carbon, soil derived from lime rock has higher levels of organic carbon (17.92 g/kg) in surface layer (0-20 cm), soil derived from red sandstone has lower levels of organic carbon (6.11 g/kg); and contents of soil organic carbon increased in turn from red clay, red sandstone, granitic, phyllite to lime rock. The contents of soil organic carbon vary greatly under different vegetation types. Soil under pin (*Pinus massoniana*) has lower levels of organic carbon, but soil under fir (*Cunninghamia lanceolata*) or broad-leaved forest has higher levels of organic carbon. The total amount of soil organic carbon is about 559.38×10^4 t and organic carbon density is about 2.47 kgC/m² in depth of 20cm, the total amount of soil organic carbon is about 1437.19×10^4 t and organic carbon density is about 6.36 kgC/m² in depth of 100cm. The distribution of soil organic carbon density is high in the northwest and northeast but low in the middle and southwest in Xingguo county. Soil organic carbon and topographic variables have correlations. In topsoil (0-20cm), the correlations of aspect and the content of soil organic carbon is positively significant while that of elevation and the content of soil organic carbon is highly significant. In profile (0-100cm), the correlation of elevation and the content of soil organic carbon is significant while the content of soil organic carbon and aspect and slope grade have no obvious correlations.

Key words: forest soil; soil organic carbon; environment factors; Xingguo county of Jiangxi province