

基于Kriging插值的连州市森林土壤有机碳含量的空间特征^{*}

程长福¹ 张志辉¹ 康 剑^{2,3} 丁晓纲²

(1. 广东省清远市龙坪林场, 广东 连州 513438; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520; 3. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650)

摘要 森林土壤有机碳是森林碳库的重要组成部分。研究通过大范围采集连州市森林土壤分层样本并测定有机碳含量, 通过空间分析方法, 进而揭示连州市林地土壤有机碳含量的空间分布格局特征。结果表明: 连州市森林土壤有机碳平均含量分别为 13.05 ± 7.01 g/kg (I-F-1), 11.81 ± 6.01 g/kg (I-F-2), 11.30 ± 5.86 g/kg (I-F-3)。土壤有机碳含量在垂直空间上随着土层的加深而降低, 但土层间差异不显著。在空间分布上, 有机碳含量在连州市东南部区域为高值区, 中北部为低值区域。这可能是地形、水系等原因造成的。

关键词 森林土壤; 有机碳; 空间分布; 分层

中图分类号: S714 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2022) 06-0046-04

Spatial Patterns of Forest Soil Organic Carbon Content in Lianzhou City

CHENG Changfu¹ ZHANG Zhihui¹ KANG Jian^{2,3} DING Xiaogang²

(1. Qingyuan Longping Forest Farm, Qingyuan, Guangdong 513438, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/ Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 3. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510650, China)

Abstract Forest soil organic carbon is an important part of the forest carbon pool. This study collected stratified forest soil samples and measured organic carbon content in a wide range of Lianzhou city, and then revealed the spatial distribution pattern of soil organic carbon content in Lianzhou city through the spatial analysis method. The results showed that the average content of forest soil organic carbon in Lianzhou was 13.05 ± 7.01 g/kg (I-F-1), 11.81 ± 6.01 g/kg (I-F-2), and 11.30 ± 5.86 g/kg (I-F-3), respectively. Soil organic carbon content in vertical space decreased with the deepening of the soil layer, but the difference between soil layers was not significant. In terms of spatial distribution, the content of organic carbon in the southeastern parts of Lianzhou is a high-value area, and the content of organic carbon in the central and northern part of Lianzhou is a low-value area. This may be due to terrain, water system, and other reasons. The results of this study are helpful in clearly understanding the forest soil site conditions in Lianzhou city and provide a basis for more reasonable forest cultivation.

Key words forest soil; organic carbon; spatial pattern; layered

^{*} 基金项目: 广东省林业科技计划项目 (2021-KYXM-13), 广东省省级财政专项资金“林地土壤调查”。

第一作者: 程长福 (1974—), 男, 工程师, 主要从事森林资源技术管理工作, E-mail: 506345185@qq.com。

通信作者: 丁晓纲 (1978—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事森林土壤研究, E-mail: 27267152@qq.com。

森林土壤是森林生态系统的基础，是动植物生存的必要条件^[1-3]。同时，森林土壤又是生态系统碳循环的重要环节，生物残体进入土壤，经过微生物等分解者分解，部分重新释放到大气中，一部分分解形成有机碳存储于土壤中^[4-5]。土壤是森林碳库的重要组成部分，对土壤肥力及碳循环有着重要的作用^[6-7]。因此，明确森林土壤有机碳的空间分布格局，有利于开展更具有针对性的森林经营管理措施。

本研究基于全域尺度的森林土壤样品分层采集，使得土壤更具有代表性。通过测定土壤有机碳含量，基于空间分析等手段，对连州市森林土壤有机碳含量进行分析研究，揭示连州市土壤有机碳的水平、垂直空间格局。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

连州市位于广东省西北部，小北江的上游。东南毗邻阳山县，西南连接连南县，西北与

湖南省蓝山、江华县相连，北与湖南省临武县交界，东北临湖南省宜章县境。其地理坐标为112°47′~112°07′E，24°37′~25°12′N。主峰天堂岭，海拔1 712 m。全市地貌类型以山地为主，气候属于中亚热带季风气候，年平均气温19.4℃，无霜期306 d，平均年总降雨量1 603 mm。全市有11个乡镇，人口53万，林地面积19.13万hm²（不含龙坪林场1.1万hm²），森林覆盖率68.21%，活立木蓄积量1 195.95万m³^[8]。

1.2 样品采集及有机碳测定

根据研究区植被、地形、气候特征等状况，连州市共采集182个样点，使得样点随机均匀分布在不同地形、地貌、水文、植被状况的区域，且对于土壤信息状况有一定的代表性。选择样点内挖剖面，每隔20 cm分层取样，共取3层分别为0~20 cm（I-F-1）、20~40 cm（I-F-2）、40~60 cm（I-F-3）。将分层采样的土壤带回实验室，风干、过筛后以便后续分析。后参照《土壤有机碳的测定重铬酸钾氧化-分光光度法》HJ 615-2011

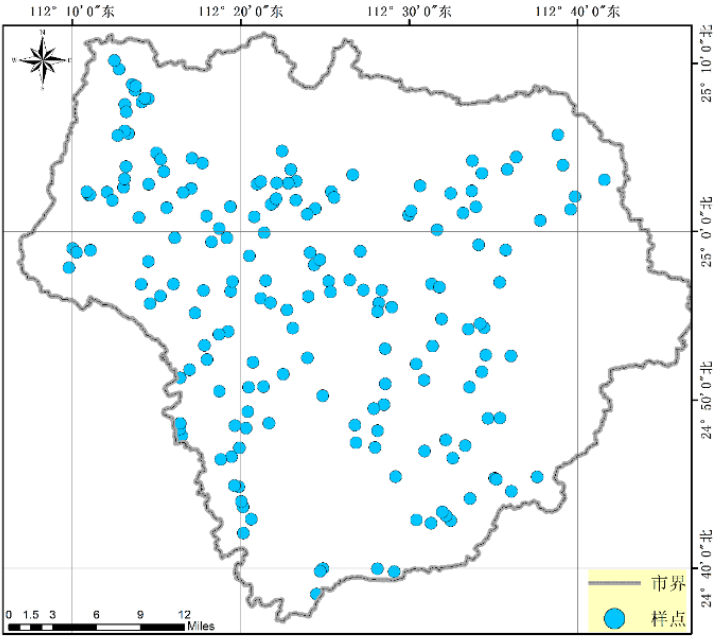


图 1 连州市林地土壤采样点分布
Fig. 1 Distribution of soil sampling sites in Lianzhou city

表 1 连州市森林土壤各层有机碳统计值

g/kg

Table 1 Statistical values of organic carbon in forest soil layers in Lianzhou city

项目 Item	I-F-1	I-F-2	I-F-3
平均 Average	13.05	11.81	11.30
标准差 Standard deviation	7.01	6.01	5.86
最小值 Minimum	4.25	3.49	3.19
最大值 Maximum	44.86	38.29	38.56

进行土壤有机碳含量测定^[9]。

1.3 数据分析

通过 Excel 对土壤养分含量进行描述性统计, 运用 R 进行数据分层差异分析。本研究运用 Arc-GIS 10.3 软件对土壤氮元素进行空间克里格插值 (Kriging), 进而分析连州市林地土壤有机碳空间分布特征。

2 结果与分析

2.1 连州市森林土壤各层有机碳含量统计分析

调查统计结果表明 (表 1), 连州市森林土壤中表层有机碳含量为 4.25~44.86 g/kg, 平均值为 13.05 ± 7.01 g/kg, 差别较大; 20~40 cm 的有机碳含量为 3.49~38.29 g/kg, 平均值为 11.81 ± 6.01 g/kg; 40~60 cm 的有机碳含量为 3.19~38.56 g/kg, 平均值为 11.30 ± 5.86 g/kg。整体来看, 按照土层从高到低, 有机碳含量依次减少。

2.2 不同土层土壤有机碳含量差异

结果显示 (图 2), I-F-1 层与 I-F-3 层之间土壤有机碳含量有显著差异 ($P < 0.05$), 其它土层之间没有显著差异。结果表明, 尽管随着土层深度的增加, 有机碳含量在减少, 但其减少幅度不明显, 土层间的差异不显著。

2.3 土壤有机碳各层含量空间分布特征

结果显示 (图 3), 连州市森林表层土有机碳含量空间差异显著, 市域内整体呈现南高北低的分布格局。在东南部区域出现高值区域, 最大值

44.86 g/kg, I-F-2 层土有机碳含量空间差异显著, 市域内整体呈现南高北低的分布格局。在东南部区域出现高值区域, 低值区域主要集中在中北地区。有机碳含量在第三层土壤中仍存在空间差异, 主要表现为东南部高, 其余区域中低水平的分布格局。从第一层到第三层, 高值区域的范围不断缩小。

3 讨论与结论

研究结果显示, 连州市土壤有机碳在水平和垂直尺度均存在明显的空间差异。随着土层的加深, 有机碳含量降低, 这一结果与类似研究的结果相一致^[10-11]。随着土层的加深, 土壤有机质的输入量、积累量不断减少, 再加上氧气含量的降低, 有机质分解减缓, 因此, 有机碳含量较低^[12-13]。而表层土可以更快的接收来自森林的凋落产物, 在水分、氧气充足的条件下, 微生物活性增强, 分解产量增加^[14]。

从水平层面看, 有机碳分布显示明显的北低南高分布格局。可能是因为连州市北部主要分布连江及其支流, 土壤含水率较高。有研究表明, 土壤含水率与土壤有机碳含量密切相关, 高含水率土壤不利于有机碳存储^[15-16]。而连州市南部, 尤其是东南地区, 是龙坪林场所在区域, 林场林分密度大, 且山地较多, 森林生物量丰富, 有机碳的来源更为广泛。

综上所述, 连州市森林土壤有机碳含量在空

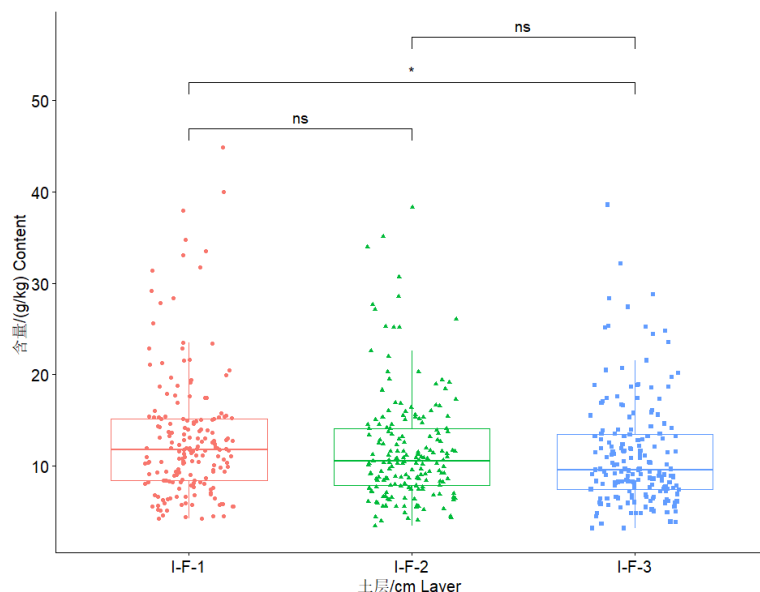
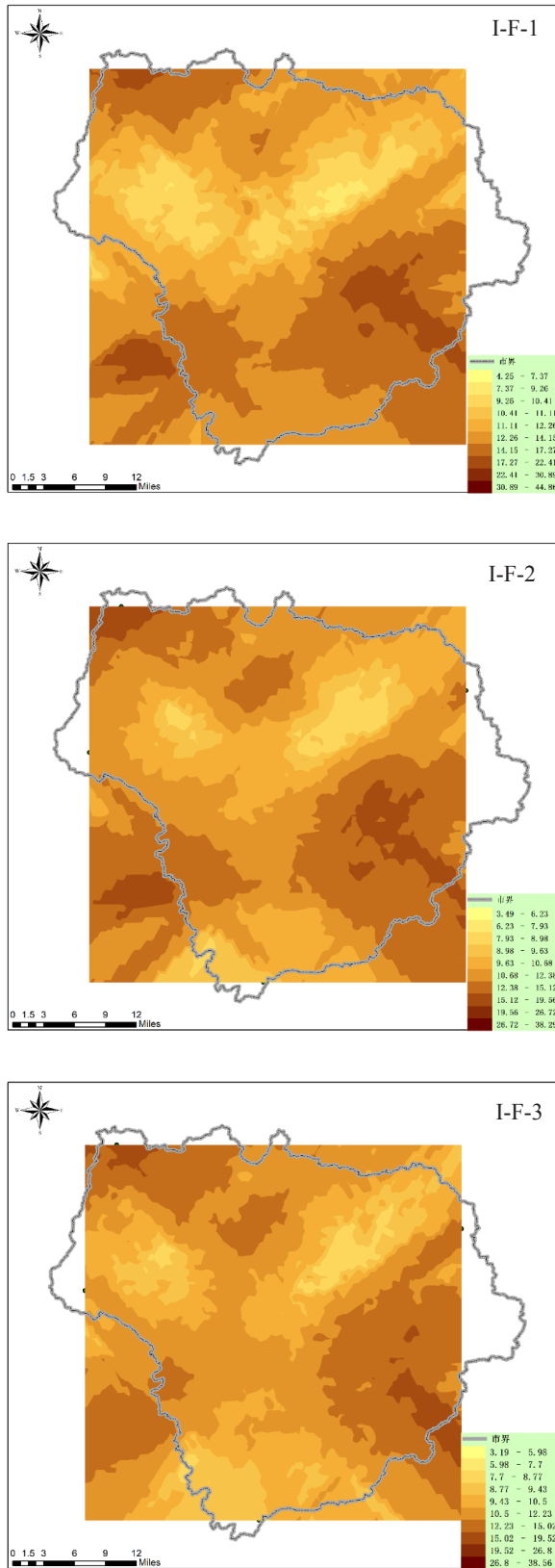


图 2 连州市森林土壤不同土层有机碳含量差异

Fig. 2 Difference of organic carbon content in different soil layers of forest soil in Lianzhou city



注：单位为 g/kg。Note: the units are g/kg.

图 3 连州市森林土层有机碳空间分布特征

Fig. 3 Spatial distribution characteristics of organic carbon in the forest soil layer of Lianzhou city

间上存在明显差异，随着土层的加深，土壤有机碳含量降低。连州市东南部是有机碳的高值区域，中北部地区含量较低。

参考文献

- [1] 王志康.秦岭森林土壤热水溶有机碳的分布特征及矿化机理[D].杨凌:西北农林科技大学, 2021.
- [2] 王春玲.鼎湖山粘细菌与噬几丁质属细菌资源多样性与捕食机制[D].广州:华南农业大学, 2019.
- [3] 刘逸菲, 鲁绍伟, 赵娜, 等.森林影响降水水质研究概述[J].世界林业研究, 2021, 34(5): 14-19.
- [4] 苏卓侠, 苏冰倩, 上官周平.植物凋落物分解对土壤有机碳稳定性影响的研究进展[J].水土保持研究, 2022, 29(2): 406-413.
- [5] 王清奎, 田鹏, 孙兆林, 等.森林土壤有机质研究的现状与挑战[J].生态学杂志, 2020, 39(11): 3829-3843.
- [6] 周红, 何欢, 秋新选, 等.云南省森林土壤腐殖质组成及特性研究[J].林业调查规划, 2019, 44(5): 117-124.
- [7] 吴玥, 赵盼盼, 林开森, 等.戴云山黄山松林土壤碳组分的海拔变化特征及影响因素[J].生态学报, 2020, 40(16): 5761-5770.
- [8] 温带娣, 陈志明.广东连州木兰科植物资源综述[J].安徽农业科学, 2017, 45(6): 8-9.
- [9] 环境保护部.土壤 有机碳的测定 重铬酸钾氧化-分光光度法: HJ 615-2011[S].北京: 中国标准出版社.2011.
- [10] 张中瑞, 丁晓纲, 齐也, 等.韩江流域森林土壤有机碳养分特征及分布格局[J].林业与环境科学, 2022, 38(4): 18-22.
- [11] 齐也, 丁晓纲, 王洋, 等.西江下游流域森林土壤有机碳空间分布特征[J].林业与环境科学, 2022, 38(4): 33-37.
- [12] 苏天燕, 贾碧莹, 胡云龙, 等.地下水位埋深对沙质草地典型植物群落土壤环境因子和根系生物量的影响[J].草业科学, 2021, 38(9): 1694-1705.
- [13] 刘进, 李娟, 龙健, 等.西南喀斯特区土壤生态化学计量与酶活性的海拔特征[J].森林与环境学报, 2022, 42(2): 113-122.
- [14] 郭娜.增温增雨对短花针茅荒漠草原生态系统碳收支过程的影响[D].呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [15] 王经波, 郑利林, 郭宇菲, 等.鄱阳湖湿地土壤有机碳空间分布及其影响因素[J].长江流域资源与环境, 2022, 31(4): 915-926.
- [16] 张光德, 赵传燕, 戎战磊, 等.祁连山中部不同植被类型土壤生态化学计量特征研究[J].兰州大学学报(自然科学版), 2019, 55(4): 533-540.