

清远市针叶林土壤磷元素及空间分布研究^{*}

邓智文 丁晓纲 李莹莹 齐 也
王 洋 孙冬晓 张中瑞

(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)

摘要 以清远市针叶林为研究对象, 通过专题布点和空间分层抽样的方法布设样点, 基于样点调查数据, 分析了土壤磷元素及空间分布特征。结果表明: 0~60 cm 土壤全磷均值含量在 311.66~315.08 mg/kg 之间, 显著高于 60~80 cm (153.33 mg/kg) 土壤全磷均值含量, 0~60 cm 土层的变异系数分别为 46.34%、47.74%、46.95%, 属于中等程度变异。研究区针叶林分土壤全磷含量在空间分布上存在明显的差异, 在垂直水平表现出随着土层深度的增加而降低的规律, 在水平方向上呈现出从东部分别向西北、南部方向递减的变化趋势。

关键词 清远市; 针叶林; 土壤磷元素; 空间分布

中图分类号: S714.5 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2022) 05-0001-05

Study on Soil Phosphorus Elements and Spatial Distribution of Coniferous Forests in Qingyuan City

DENG Zhiwen DING Xiaogang LI Yingying QI Ye
WANG Yang SUN Dongxiao ZHANG Zhongrui

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract The soil total phosphorus (TP) content and spatial distribution characteristics of the coniferous forest in the study region were examined using survey data from the sample points. The results showed that the mean TP content of soil in the 0-60 cm layer ranged from 311.66 to 315.08 mg/kg, which was significantly higher than the mean TP content of soil in the 60-80 cm (153.33 mg/kg) soil layer, the coefficients of variation in the 0-60 cm layer were 46.34%, 47.74%, and 46.95%, which were moderate variability. There were obvious differences in the spatial distribution of soil TP content in coniferous forest stands in the study area, which indicated a pattern of decreasing with increasing soil depth at the vertical level and a trend of decreasing in the horizontal direction from the east to the northwest and south, respectively.

Key words Qingyuan city; coniferous forest; soil phosphorus; spatial distribution

^{*} 基金项目: 广东省生态林业建设项目“林地土壤调查”。

第一作者: 邓智文 (1993—), 男, 在读博士, 研究方向为森林培育, E-mail: dengzhiwen509@163.com。

通信作者: 张中瑞 (1987—), 男, 高级工程师, 主要从事森林土壤研究, E-mail: zhangzhongrui126@126.com。

森林是陆地生态系统的主体,土壤是森林生态系统中物质循环和能量流动的重要组成部分^[1]。土壤磷作为植物获取磷元素的唯一来源,它是组成植物体许多化合物的重要成分,在植物体生长和代谢过程中发挥着至关重要的作用^[2-3]。土壤环境中低水平的磷含量会影响树木对土壤营养吸收和储存^[4],尤其是亚热带森林土壤严重缺磷,极大地限制了林木的生长发育和生产力^[5]。我国南方红壤区水热资源丰富,生态系统的物质循环和能量循环活跃,林业生产潜力巨大。然而,湿润多雨的气候使得南方地区土壤淋溶强,盐基饱和度低,极易造成土壤中磷的固定与失活^[6],大大降低了土壤磷的利用效率。因此,兼顾生态环境、维持并尽可能提高土壤肥力和保证林业生产的前提下,经济施肥和精准施肥已成为我国林业可持续发展的重要研究内容^[7]。

土壤特性的空间变异性是指一个质地视为均一的区域内,在同一时间,不同点的土壤特性存在着的明显差异性^[8]。研究表明,由于气候、母质、植被、地形及人类活动等因素的综合作用,土壤养分存在高度的空间变异^[9]。了解和掌握区域尺度森林土壤养分含量的空间分布特征,是实现区域森林土壤养分综合管理的基础,同时也是

精准林业发展的理论基础,对区域森林土壤资源利用和区域生态环境保护具有重要意义。本研究以广东省清远市杉木 *Cunninghamia lanceolata* 及针叶林为研究对象,通过实地调查,充分获取研究区土壤样点属性数据,分析其土壤全磷含量,揭示研究区针叶林土壤全磷的空间分布规律,为森林土壤养分管理和森林土壤质量评价提供依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

清远市位于广东省的中北部、北江中下游、南岭山脉南侧与珠江三角洲的结合带上。全境位于北纬 23°26'56"~25°11'40"、东经 111°55'17"~113°55'34" 之间,属亚热带季风气候,年平均气温在 18.9~22 °C 之间,雨水资源丰富,平均年降水量在 1 631.4~2 149.3 mm。清远市地势西北高东南低,主要由石灰岩、红色砂砾岩、石英砂岩、花岗岩四大系列岩构成。清远市地形复杂,山峦起伏连绵,形成多种土壤结合,主要的土壤类型有山地黄壤、红壤、赤红壤、红色石灰土、黑色石灰土、碱性紫色土、冲积砂土等,山地黄壤主要分布在海拔 600~1 500 m 以上的山地。市境内林木种类繁多,用材植物近 200 种,以杉、松、

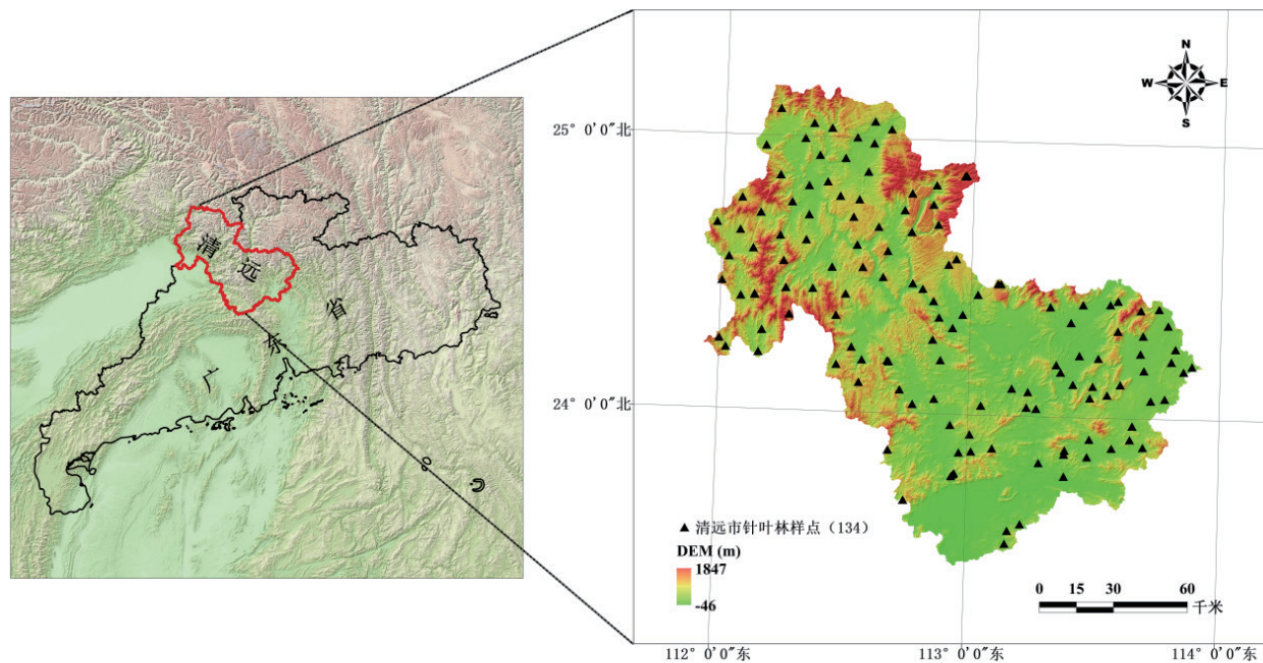


图 1 研究区样点分布

Fig. 1 Distribution of sample sites in the study area

阔叶林和针叶林等为主。

1.2 样地设置

本研究基于森林资源二类调查数据,筛选出研究区范围内森林类型为针叶林的地籍小班,通过无人机航拍测绘及高分辨率 DEM 衍生数据提取,生成研究区土壤调查抽样网络,然后根据研究区植被、地形、气候特征等状况,采用专题布点和空间随机布点相结合的方式,确定土壤样点布设位置(图 1),共计 134 个样点。

1.3 样点调查与样品采集

依据研究区的针叶林小班图和布设样点地理坐标,借助 GPS 找到样点区域(样点坐标半径 100 m 内),选择符合样点布设要求且具有代表性的区域随机挖掘 3 个土壤剖面(长 1.2~1.5 m,宽 0.8~1.0 m,高 1.0 m),剖面间距大于 10 m,从上往下每间隔 20 cm 采集土样,分别采集 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 土层样品,将每个样点 3 个剖面同层土壤混合成一个样品,每份土样约 500 g 放入无菌密封袋中带回实验室用于测定土壤全磷(TP)含量^[10]。

1.4 数据处理

采用 SPSS 22.0 统计软件对土壤全磷含量做描述性统计和正态分布检验,利用 ArcGis 10.7 软件对土壤全磷含量的空间分布做克里金空间插值分析^[11-13],并生成土壤全磷含量空间分布特征图。

2 结果与分析

2.1 描述性统计

研究区针叶林土壤全磷含量的描述性统计结果如表 1 所示。研究区 0~80 cm 深度 TP 的均值分布范围在 153.33~315.08 mg/kg 之间,表现为

随着土层深度的增加,TP 呈逐级递减的垂直分布规律。D4 的 TP 含量显著低于 D1、D2、D3 的 TP 含量($P<0.05$)。参照全国第二次土壤普查养分的分级标准,D1、D2、D3 的 TP 含量处于低水平,D4 处于极低水平。各样点的 TP 含量分布在 80.67~1 003.33 mg/kg 之间,养分等级处于 I 级(极高)~VI 级(极低)范围;D1、D2、D3 土层 TP 含量的变异系数均表现为中等程度变异,D4 的变异系数达到 108.07%,属于强变异程度,各样点间 TP 含量的离散程度较高,说明研究区针叶林分 TP 含量可能存在空间异质性。将 4 个土层的样点数据经过对数转换后,符合正态分布,因此,可采用空间插值法,进一步探究研究区针叶林分 TP 的空间分布特征。

2.2 土壤全磷含量空间分布

研究区针叶林分 TP 含量主要呈斑块状分布,在空间分布上存在一定的差异性(图 2)。参照全国第二次土壤普查养分的分级标准,将各土层 TP 含量分为高值区(IV 级)、中值区(V 级)和低值区(VI 级)。总体表现为东部最高(高值区),西部、北部和中部较低(中值区),南部、东北部最低(低值区),呈现从东部分别向西北、南部方向递减的变化趋势。其中,D1 层的 TP 含量高值区(397.35~2 686.24 mg/kg)主要分布在东部、中西部和北部地区;中值区(208.06~397.35 mg/kg)的分布范围较广,除南部、东南部和东北部地区以外均有分布;低值区(92.87~208.06 mg/kg)主要分布在南部、东南部地区。呈现出中部高,东南部和西北部低的分布格局。D2 层 TP 含量高值区(380.73~660.64 mg/kg)的分布面积较小,主要分布在东部和中西部地区;中值区

表 1 研究区针叶林分 TP 含量描述性统计特征

Table 1 Descriptive statistical characteristics of TP content of coniferous forest in the study area

土壤指标 Soil index	最小值/(mg/kg) Minimum value	最大值/(mg/kg) Maximum value	平均值/(mg/kg) Mean value	标准差/(mg/kg) Standard deviation	变异系数/% CV
TP_D1	92.87	966.67	315.08A	145.99	46.34
TP_D2	85.73	932.33	311.82A	148.87	47.74
TP_D3	80.67	993.00	311.66A	146.33	46.95
TP_D4	71.40	1 003.33	153.33B	165.70	108.07

注:表中不同大写字母的数据表示不同土层间具有显著差异($P<0.05$)。TP:土壤全磷含量;D1:0~20 cm 土层,D2:20~40 cm 土层,D3:40~60 cm 土层,D4:60~80 cm 土层。

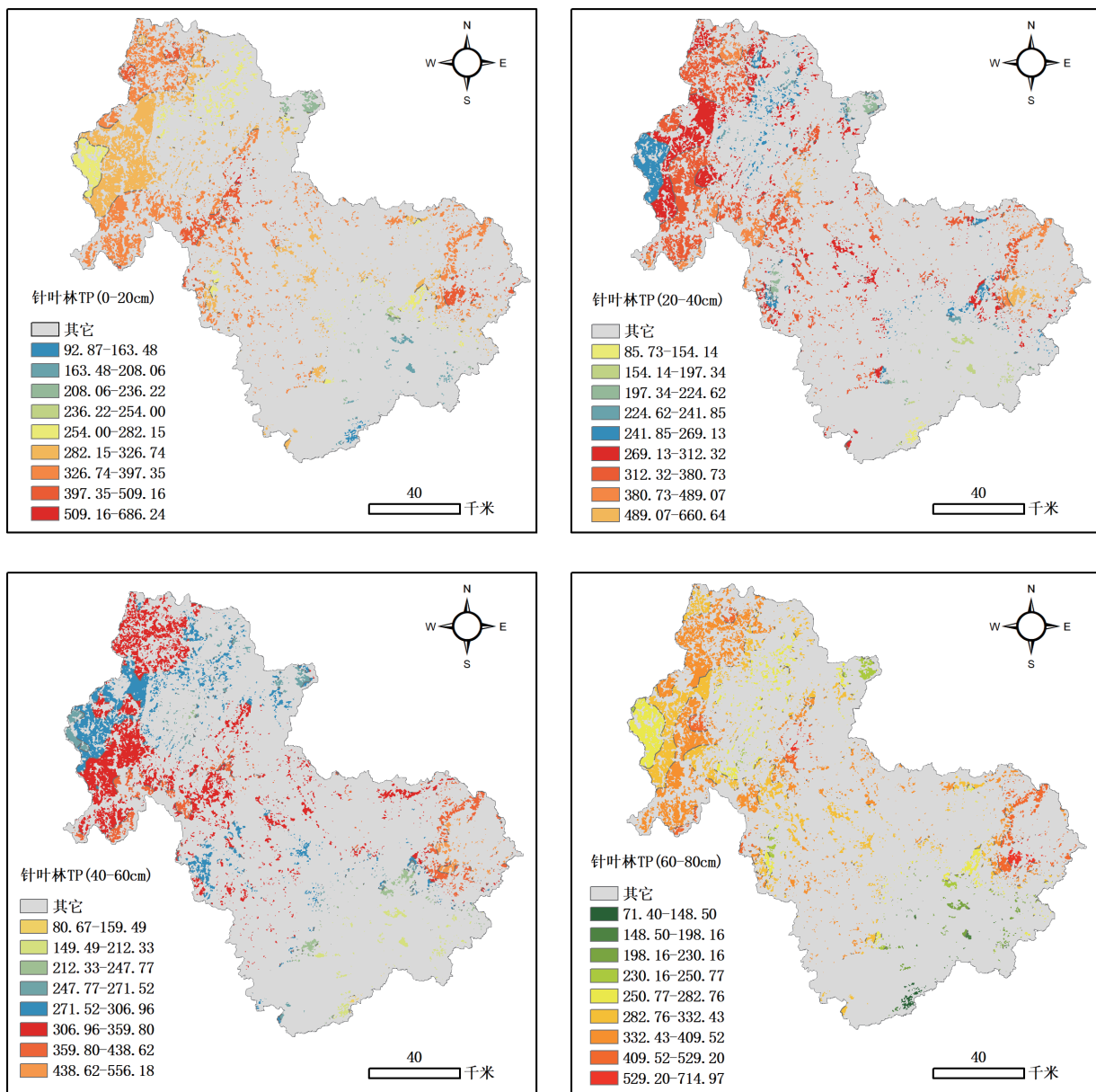
Note: data with different capital letters in the table indicate significant differences between different soil layers ($P<0.05$). TP: total soil nitrogen content; D1: 0-20 cm soil layer, D2: 20-40 cm soil layer, D3: 40-60 cm soil layer, D4: 60-80 cm soil layer.

(197.34~380.73 mg/kg) 分布面积较大, 主要分布在西部、北部和中部地区; 低值区 (85.73~197.34 mg/kg) 主要分布在南部、东北部地区。呈现出中部高, 并以此为中心向东南递减, 向西北部递减后又增加。D3 层的 TP 含量主要处于中值区 (212.33~438.62 mg/kg) 范围, 在西部、北部、中部和东部地区; 低值区 (80.67~212.33 mg/kg) 主要分布在南部地区; 高值区 (438.62~556.18 mg/kg) 主要分布在东部地区。D4 层 TP 含量高值区 (409.52~714.97 mg/kg) 主要分布在东部地区; 中值区 (198.16~409.52 mg/kg) 分布范围较广, 主要

分布在西部、北部、中部和东南部地区; 低值区 (71.40~198.16 mg/kg) 主要分布在南部、东北部和东南部。

3 结论与讨论

清远市针叶林不同土层间土壤 TP 的均值分布在 153.33~315.08 mg/kg 之间, 参照全国第二次土壤普查养分的分级标准, 处于“低-极低”之间, 土壤 TP 养分处于缺乏状态。研究结果表明, 在垂直方向上, 土层越深, 土壤 TP 含量越低, 这与朱琪^[14]关于北亚热带不同林分类型的研究结果相一



注: 图中单位是 mg/kg。Note: the units are mg/kg.

图 2 研究区针叶林分 TP 含量空间插值分布

Fig. 2 Spatially interpolated distribution of TP content in coniferous forest in the study area

致。此外, 研究区针叶林 TP 含量在水平方向上存在空间异质性, 呈现出从东部分别向西北、南部方向递减的变化趋势。由图 1 可知, 该研究区的高海拔区主要分布在北部和西部, 与土壤 TP 中值区的空间分布特征相同, 高值区主要分布在东部低海拔地区。苏松锦等^[15] 研究结果表明, 地形是影响土壤全磷在分布上产生异质性的的重要因素。赵青等^[16] 研究认为, 地形因子会导致该地区的水热分布差异, 进而造成土壤属性空间异质性。清远市位于我国南部低山丘陵区, 降水量大, 海拔较高的地方受水流的侵蚀作用较强, 导致土壤强淋溶, 降低了土壤中磷的质量分数^[17]。表层土壤中的磷来源于凋落物的分解^[18], 随着海拔的升高, 温度降低, 影响了凋落物的分解速率, 进一步减少了土壤中磷的输入^[19]。研究区的土壤 TP 含量在南部较低, 这可能与人为干扰强度大有关^[20], 南部地区靠近珠江三角洲地区, 城镇化发展较快, 人为活动密集。张倩等^[21] 研究发现土壤磷素含量与土壤有机质含量有关, 可以通过增施有机肥, 改善该地区森林土壤养分环境, 提高针叶林对磷素的吸收。

参考文献

- [1] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J]. 土壤学报, 2004(1): 35-43.
- [2] 王文蕾, 王旭, 朱美玲, 等. 海南吊罗山自然保护区土壤磷研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 273-277.
- [3] 王庆仁, 李继云, 李振声. 高效利用土壤磷素的植物营养学研究[J]. 生态学报, 1999(3): 129-133.
- [4] 白翠霞. 北京八达岭森林土壤磷素研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [5] ZENG YELIN, FANG XI, XIANG WENHUA, et al. Stoichiometric and nutrient resorption characteristics of dominant tree species in subtropical Chinese forests[J]. Ecology and evolution, 2017, 7(24): 11033-11043.
- [6] 赵其国, 黄国勤, 马艳芹. 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7615-7622.
- [7] 张勇, 陈效民, 杜臻杰, 等. 典型红壤区田间尺度下土壤养分和水分的空间变异研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 7-12.
- [8] 张淑娟, 何勇, 方慧. 基于GPS和GIS的田间土壤特性空间变异的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 2 (19): 39-44.
- [9] 姜秋香, 付强, 王子龙. 空间变异理论在土壤特性分析中的应用研究进展[J]. 水土保持研究, 2008(1): 250-253.
- [10] 国家林业局. 森林土壤磷的测定: LY/T 1232-2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [11] 陈利娜, 李小川, 丁晓纲, 等. 基于地统计学与GIS技术的森林土壤养分空间变异性研究[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(5): 14-21.
- [12] 郑妍, 江瑶, 孙冬晓, 等. 华南沿海地区林地土壤养分空间异质性研究[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(6): 110-114.
- [13] 张宏帅, 朱高龙, 吴家煜, 等. 基于BP神经网络与Kriging结合的土壤有机质空间分布模拟: 以福建省华安县为例[J]. 亚热带农业研究, 2021, 17(1): 40-47.
- [14] 朱琪. 北亚热带不同林分类型土壤、细根及凋落物的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- [15] 苏松锦, 刘金福, 何中声, 等. 格氏栲天然林土壤养分空间异质性[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5673-5682.
- [16] 赵青, 刘爽, 陈凯, 等. 武夷山自然保护区不同海拔甜槠天然林土壤有机碳变化特征及影响因素[J]. 生态学报, 2021, 41(13): 5328-5339.
- [17] 杨家慧, 谭伟, 冯艳. 马尾松人工林土壤养分空间分布特征及其与地形因子的相关性分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(4): 23-29.
- [18] 刘丛强. 生物地球化学过程与地表物质循环: 西南喀斯特土壤-植被系统生源要素循环[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [19] 杜芳芳, 童根平, 郭瑞, 等. 浙江亚热带自然保护区土壤养分空间异质性及影响因素[J/OL]. 浙江农林大学学报: 1-10 [2022-10-16]. <http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-ZJLX20220913001.htm>.
- [20] 刘世全, 高丽丽, 蒲玉琳, 等. 西藏土壤磷素和钾素养分状况及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2005(1): 75-78; 88.
- [21] 张倩, 韩贵琳, 柳满, 等. 贵州普定喀斯特关键带土壤磷分布特征及其控制因素[J]. 生态学杂志, 2019, 38(2): 321-328.