

上海市绿地景观格局对 PM_{2.5} 浓度的影响研究

张泽楠

上海师范大学 环境与地理科学学院, 上海, 200030;

摘要: 随着中国近年来的快速城市化进程, 以 PM_{2.5} 为代表的大气污染加剧了对人体健康的危害, 目前已成为全球重大的公共卫生问题。相关研究表明, 城市绿地可以显著影响 PM_{2.5} 的扩散, 但绿地二维和三维景观格局与不同季节 PM_{2.5} 浓度之间的关系亟待开展深入研究。本文运用 GIS 空间分析、景观格局分析以及随机森林模型探索了 2020 年影响上海市建成区不同季节 PM_{2.5} 浓度的关键因子, 由此为上海市不同季节的绿地景观格局规划提供决策支持。

关键词: PM_{2.5}; 绿地景观格局; 随机森林模型

DOI:10. 69979/3041-0673. 25. 02. 069

在各类大气颗粒物中, PM_{2.5} 一直是造成城市雾霾污染、危害空气质量以及人体健康的主要大气污染物之一^[1]。作为我国城市主要环境问题的大气污染, 尤其是 PM_{2.5} 浓度过高问题给人类健康也带来了严重危害^[2-3]。因此, 如何有效降低各类大气污染物浓度已经成为我国城市亟待解决的重要科学问题^[4-6]。徐勇等基于 PM_{2.5} 数据和 MODIS NDVI 数据集探究了中国三大经济区 PM_{2.5} 空间聚集性与植被景观格局指数的相关性, 结果表明聚集度指数 (AI)、最大斑块指数 (LPI)、斑块形状指数 (LSI) 对 PM_{2.5} 浓度的空间集聚性具有显著影响^[7]。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

上海市具体的建成区范围包括黄浦区、静安区、虹口区、杨浦区、徐汇区、长宁区、普陀区和闵行区的全部区域以及浦东新区、宝山区、嘉定区、青浦区、松江区、奉贤区的部分区域。

1.2 数据来源

本文基于 Sentinel 数据和孙中昶团队自主生产的中国 433 个人口大于 30 万的城市建成区标准化数据集, 此数据集是全球首个参考联合国建成区标准制定的中国城市数据集^[8]。另外, 本文树木冠层高度数据使用的是 Nico Lang 团队绘制的 2020 年综合全球冠层高度图像, 数据地面采样距离为 10 米^[9]。本文选用的 PM_{2.5} 浓度数据集来自 China High PM_{2.5} 数据集^[10], 此数据集是中国高分辨率高质量近地表空气污染物数据集 (China High Air Pollutants, CHAP) 中 PM_{2.5} 数据集。

1.3 研究方法

1.3.1 景观指数选取

为了刻画树木的多维形态, 本文选取 12 个二维景观指数和 3 个三维景观指数, 包括景观百分比、最大斑块指数、斑块密度、边缘密度、斑块形状指数、平均斑块面积、平均周长面积比、平均斑块分维数、分离度指数、破碎度指数、聚集度指数、平均斑块形状指数、平均树木高度、平均树木高度标准差和树木体积。以往的研究表明, 这些绿地指标对大气污染物的分布有直接或间接的影响。

1.3.2 随机森林模型

随机森林 (Random Forest) 基本组成单元是决策树, 又称为分类回归树 (CART)。分类回归树的基本思想是一种二分递归分割方法, 在计算过程中充分利用二叉树, 在一定的分割规则下将当前样本集分割为两个子样本集, 使得生成的决策树的每个非叶节点都有两个分枝, 这个过程又在子样本集上重复进行, 直至不可再分为叶节点为止^[11]。

2 研究内容

2.1 上海市部分景观格局的空间异质性分析

我们利用 ArcGIS 10.6 版本的空间分析工具和空间数据管理工具以及 Fragstats 4.3 的景观格局计算方法, 计算上海市建成区范围内 1 公里网格分析单元内的 15 个二维、三维绿地景观指数, 部分景观指数在空间上的可视化如图 1 所示。

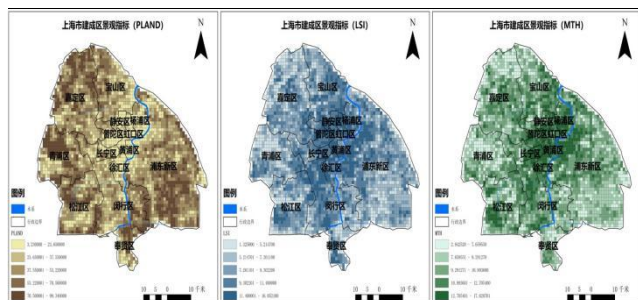


图 1 上海市部分二、三维绿地景观指数的空间示意

PLAND（景观百分比）呈现出东西高中间低的分布趋势，其中青浦区、嘉定区、松江区以及浦东新区的绿地景观百分比较高，而中心城区的绿地景观百分比相对较低。原因是上海市为我国经济第一城，中心城区建筑覆盖率、人口密度高，而距中心城区较远的青浦区等为上海市重要的生态保护区域。因此，黄浦江两岸的中心区域绿地景观的覆盖率较低，青浦区等区的绿地覆盖率较高。

LSI（斑块形状指数）在中心城区较高，中心城区外围的 LSI 较低。中心城区人口密度大，城市绿地受人类活动干扰较为严重，因此中心城区绿地形状较为复杂，破碎度较高，而中心城区外围人口密度相对较少，人类活动干扰少，LSI 相对较低。

MTH（平均树高）同样呈现出中心高，外围低的特点，由此可知，上海市建成区范围内，中心区域的绿地平均高度较高，周边地区绿地的平均高度相对较低。由此可知，上海市建成区范围内，中心区域的绿地平均高度较高，周边地区绿地的平均高度相对较低。原因是城市中心地区汽车尾气等排放气体遇到阳光相互作用形成臭氧，臭氧又被风吹到了外围地区，城市里的臭氧不断形成，又不断被化解，但是同样的空气进入农村后，大气里臭氧的高含量能保持较长的时间，因此农村地区的树木就会接触到更多的累积的臭氧，绿地在进行光合作用时，空气和土壤里过多的臭氧，会抑制植物的正常生长。

2.2 上海市绿地景观格局对不同季节 $PM_{2.5}$ 浓度的相对重要性

本文通过随机森林模型分析对城市二维和三维绿地景观指数和不同季节 $PM_{2.5}$ 浓度之间的关系进行分析，随机森林模型结果如图 2 所示。

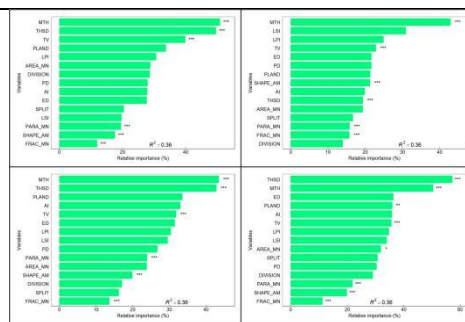


图 2 上海市不同季节各景观因子的相对贡献率

在春季，三维景观指标 MTH（平均树高）、THSD（平均树高标准差）、TV（树木体积）的相对贡献率最高。由此我们发现，影响上海市建成区范围内春季 $PM_{2.5}$ 浓度的关键因子是 MTH（平均树高）、THSD（平均树高标准差）、TV（树木体积）。

在夏季，三维景观指标 MTH（平均树高）的相对贡献率最高，而二维景观指标 LSI（斑块形状指数）、LPI（最大斑块指数）次之。因此，影响上海市建成区范围内夏季 $PM_{2.5}$ 浓度的关键因子是 MTH（平均树高）、LSI（斑块形状指数）、LPI（最大斑块指数）。

在秋季，随机森林分析法呈现出来的结果是 MTH（平均树高）和 THSD（平均树高标准差）相对贡献率最高，其次是二维景观指标 PLAND（景观百分比）。因此，影响上海市建成区范围内秋季 $PM_{2.5}$ 浓度的关键因子是 MTH（平均树高）、THSD（平均树高标准差）、PLAND（景观百分比）。

在冬季，相对贡献率最高的是 THSD（平均树高标准差）、MTH（平均树高），其次相对贡献率较高的二维景观指标是 ED（边缘密度）。因此，影响上海市建成区范围内冬季 $PM_{2.5}$ 浓度的关键因子是 THSD（平均树高标准差）、MTH（平均树高）、ED（边缘密度）。

总体来看，三维指标对 $PM_{2.5}$ 浓度的相对贡献率在不同季节都相对较高，其中 MTH（平均树高）在春、夏、秋三个季节均保持最高的相对贡献率，在冬季的相对贡献率也较高。

3 结论

本文基于 2020 年上海市 $PM_{2.5}$ 浓度分布数据、城市绿地分布以及冠层高度数据，运用 GIS 空间分析、随机森林模型等研究方法，量化了上海市绿地二维和三维格局与不同季节的 $PM_{2.5}$ 浓度的关系。结果表明，三维绿地景观格局对 $PM_{2.5}$ 浓度的影响大于二维绿地景观格局。因此，在各个季节 $PM_{2.5}$ 的治理中，应更加关注三维绿地格

局,包括平均树木高度、平均树高标准差、树木体积等三维绿地景观指标。

参考文献

- [1] 谢志祥, 秦耀辰, 李亚男, 等. 基于 $PM_{2.5}$ 的中国雾霾灾害风险评价[J]. 环境科学学报, 2017, 37(12): 4503-4510.
- [2] 桑晨, 贺颖倩, 贾佳, 等. $PM_{2.5}$ 及其组分短期暴露对空腹血糖和血脂的影响[J/OL]. 中国环境科学, 1-9[2025-01-08].
- [3] 张开月, 李小琴, 夏俊鹏, 等. 大气 $PM_{2.5}$ 暴露对居民超额死亡的风险评估[J]. 预防医学, 2024, 36(11).
- [4] Wang SH, Wu GH, Du ZC, et al. The causal links between long-term exposure to major $PM_{2.5}$ components and the burden of tuberculosis in China[J]. Sci Total Environ, 2023, 870: 161745.
- [5] Cao YY, Sun T, Wang ZP, et al. Association between one-year exposure to air pollution and the prevalence of pulmonary nodules in China [J]. J Breath Res, 2023, 17 (3) :10.
- [6] Benka-Coker W, Hoskovec L, Severson R, et al. The joint effect of ambient air pollution a

nd agricultural pesticide exposures on lung function among children with asthma [J]. Environmental Research, 2020, 190: 109903.

- [7] 徐勇, 李欣怡, 黄雯婷, 郭振东, 盘钰春, 郑志威, 戴强玉. 2000—2020 年中国典型经济区 $PM_{2.5}$ 时空变化及其与植被景观格局的关系[J]. 环境科学, 2023, 44(04): 1852-1864.

- [8] 孙中昶, 孙洁, 郭华东等. 中国城市 2020 年建成区数据集[DS/OL]. V1. Science Data Bank, 2021[2024-07-25].

- [9] Lang N, Jetz W, Schindler K, et al. A high-resolution canopy height model of the Earth [J]. Nature Ecology & Evolution, 2022, 7: 1778 - 1789.

- [10] Wei J, Li Z, Cribb M, Huang W, Xue W, Sun L, Guo J, Peng Y, Li J. Improved 1 km resolution $PM_{2.5}$ estimates across China using enhanced space-time extremely randomized trees. Atmospheric Chemistry and Physics, 20(6), 3273-3289.

- [11] 师彦文, 王宏杰. 基于新型不纯度度量的代价敏感随机森林分类器[J]. 计算机科学, 2017, 44(S2): 98-101.