

城市森林群落二次有机气溶胶生成的时序效应 及环境限制机制*

殷杉

(上海交通大学; 国家林草局上海城市森林生态系统国家定位观测研究站;

上海长三角区域生态环境变化与综合治理国家野外科学观测研究站)

摘 要: 城市植被排放的生物挥发性有机物(BVOCs)及其与城市人为污染物作用产生的二次有机气溶胶(SOA)是城市环境中重要的大气污染物, 对城市大气环境和城市居民健康产生显著影响。本研究通过在上海的两个森林长期观测样点进行的实地高频观测, 建立了典型城市地区气象因素与人为污染物的共同作用下 BVOCs 与 SOA 协同释放的限制性效应模型。现场实测结果表明, BVOCs 一般在夏季达到排放峰值 $5.68\text{--}6.30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右, 其中异戊二烯是夏季排放最显著的 BVOCs。研究将 BVOCs 与 SOA 短期变化模式划分为 4 个子序列, 发现高频监测下的子序列具有交替变化的现象, 即时序交替效应。时序交替效应导致了污染物不同时段具有不同关联关系, 白天时, BVOCs 是 SOA 的重要来源之一, 且与 O_3 存在负反馈关系。夜晚到清晨时, BVOCs 与 O_3 存在正平衡关系, 且 SOA 受风速或沉降作用影响, BVOCs 与 O_3 之间没有明显关系, 且 SOA 受温度或湿度影响。通过双重机器学习分离时序交替效应导致的混杂因素后进行周密的分析, 研究发现 BVOCs 生成 SOA 过程受到环境因素的协同影响, 称之为“限制性效应”。实证分析可知, 总体上每 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 城市 BVOCs 存在 $0.144\text{--}0.585\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 SOA 贡献, 但在 O_3 , NO_x 和 SO_2 等人为污染物共同存在的条件下, 可能额外增加 $0.072\text{--}0.491\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 SOA 的生成效应。虽然城市 BVOCs 会产生 SOA, 但长期来看城市森林存在负反馈调节以维持 SOA 污染相对稳定, 使得城市 BVOCs 导致的 SOA 的生成具有长期稳定性。在此基础上, 采用了 CAMS 的大气预报数据和双重机器学习方法, 评估了全球城市森林排放的 BVOCs 与人为污染物的协同污染, 在东亚和南亚、俄罗斯中西部、北美东北部、南美北部以及非洲中部的 $0\text{--}60$ 度纬度区域内, 由于城市森林排放的 BVOCs 与人为污染物共同作用, 带来了显著的 SOA 污染, 最高 SOA 生成效应可超过 $1.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。SOA 的生成效应与 SOA 浓度分布高度一致。全球变暖对 SOA 释放有一定影响, 持续高排放会导致 SOA 生成效应增强 $0.05\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。减排认为污染物能显著减弱 SOA 生成效应, 如果减排达到 90%, 全球平均的 SOA 生成效应将从 $0.46\mu\text{g}/\text{m}^3$ 减弱超过 75%, 降至 $0.09\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。因此, 控制人为污染物和减弱温室气体排放对控制颗粒物污染至关重要。

关键词: 生物挥发性有机物, 二次有机气溶胶, 城市森林, 因果推断, 双重机器学习, 全球尺度模拟, 高频检测

中图分类号 Q958.15; S154.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-7488 () -0000-00