

---

# 全球污染物如何随气候变奏？

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40656.html>

**本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！**

全球污染物如何随气候变奏？。空气的味道随四季流转而悄然变化——冬晨常弥漫着略带刺鼻的燃烧源气息，夏午则常见一层淡蓝色光雾悬于天际。这些感官差异并非偶然，而是全球大气污染物浓度在地球公转驱动及气候系统反馈作用下，呈现出的周期性化学演变。

近日，中国科学院华南植物园研究员王法明团队在《环境污染》发表研究，首次基于连续72个月的卫星遥感观测，在全球尺度上系统解析了二氧化氮、臭氧、一氧化碳、二氧化硫和甲醛五种关键污染物随季节与气象条件的耦合规律。

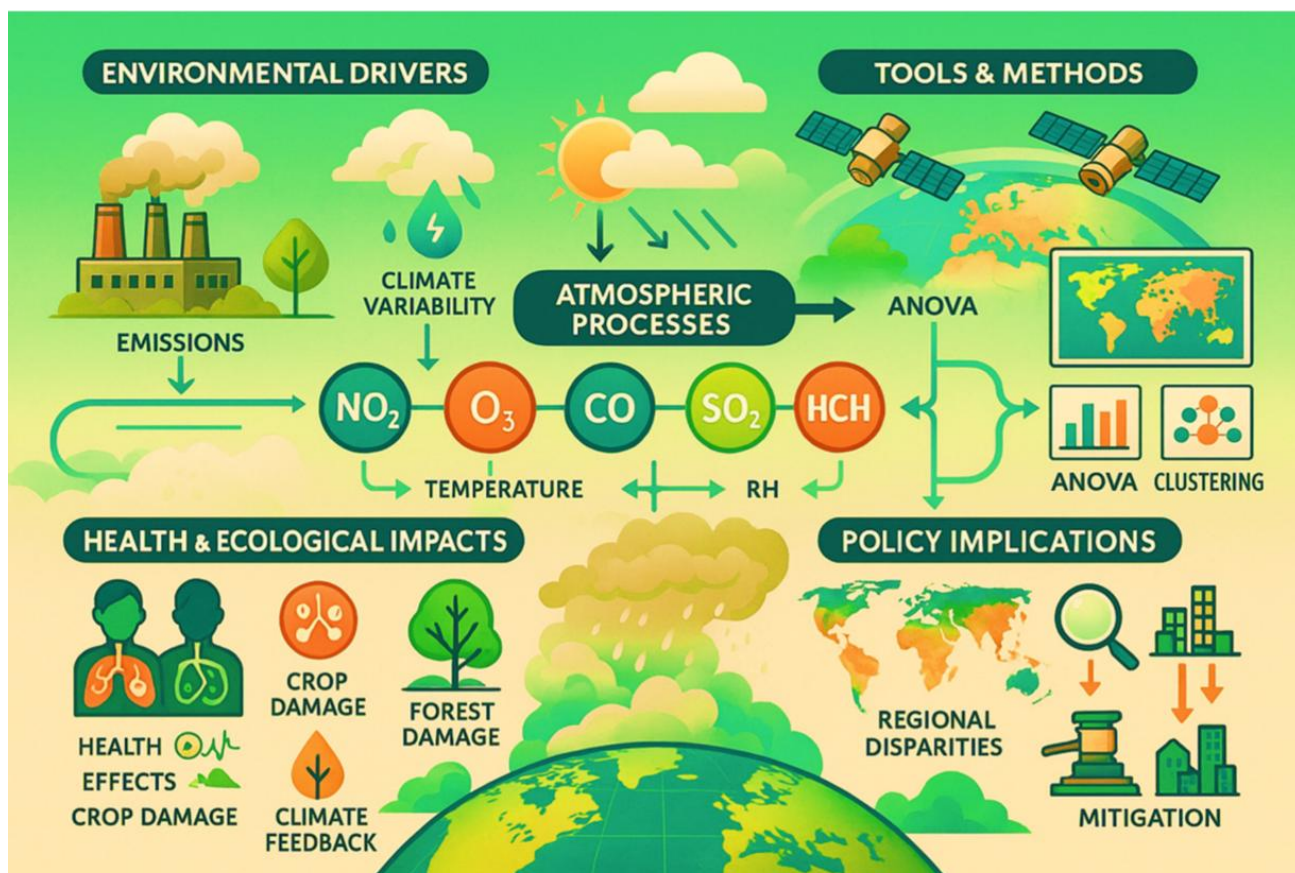
论文通讯作者王法明对《中国科学报》表示，该研究整合卫星遥感与气象再分析数据，系统刻画了全球多种大气污染物的季节变化、空间分区及2019-2024年的近期演变趋势，为气候变化背景下制定区域化、季节适应性空气质量管理策略提供了科学依据。

## 五大污染物各有时节

空气污染关乎全球公共健康、生态安全和可持续发展。二氧化氮、臭氧、一氧化碳、二氧化硫和甲醛来源各异，其生成、传输与清除过程同时受人为排放和气象条件的双重调控。

论文第一作者、中国科学院华南植物园博士后Muhammad Naveed指出，以往研究多聚焦于单一污染物或局部区域，缺乏在统一方法框架下对全球多污染物季节性协同变化及其气象驱动机制的系统评估。

在国家重点研发计划、国家自然科学基金等项目资助下，研究团队整合2019-2024年Sentinel-5P TR OPOMI卫星产品与ERA5-Land气象再分析资料，分析了上述五种污染物及温度、降水、相对湿度和风速等关键气象因子。



全球空气污染季节性、气象驱动、生态健康影响及政策响应的研究框架示意图。研究团队供图

我们采用单因素方差分析、季节性Mann-Kendall趋势检验、Sen斜率估计、像元尺度相关分析和K-means聚类等方法，建立了涵盖季节差异识别、近期趋势检测、多污染物空间分区及气象关联分析的综合技术框架。王法明说。

研究结果表明，五种污染物均呈现显著季节性波动。南亚和东亚冬季二氧化氮浓度较其他季节最高可增约40%，综合反映了冬季燃煤供暖等能源消耗增加、大气边界层降低及水平扩散减弱的叠加效应。中纬度地区夏季臭氧浓度最高可升约35%，高温和强太阳辐射显著加速了氮氧化物与挥发性有机物间的光化学反应，促进臭氧生成。

非洲、亚马逊流域及南美其他生物质燃烧活跃区的一氧化碳峰值浓度可超过背景水平两倍以上，甲醛高值区则与热带天然植被排放及生物质燃烧区域高度重合。二氧化氮和二氧化硫的高值中心集中于东亚、南亚、欧洲和北美的城市群、工业区及能源基地，呈现出明确的人为源主导特征。

### 气候变暖或加剧光化学污染风险

季节性Mann-Kendall趋势分析显示，2019-2024年全球二氧化氮、甲醛、臭氧及气温均呈统计显著上升态势，其中甲醛增幅最为突出；一氧化碳和二氧化硫则未呈现全球一致变化，区域差异显著。

温度与臭氧和二氧化氮分别呈较强正相关，相关系数（ $r$ ）为0.52和0.68，表明升温可能通过加速前体物转化、增强光化学反应速率及改变边界层垂直混合，加剧部分地区臭氧及二次污染风险。相比之下，降水、相对湿度和风速总体上对一次污染物具有抑制效应——降水通过湿沉降有效清

---

除可溶性气体与气溶胶，较大风速利于污染物的水平输送与稀释。二氧化硫与温度和降水均呈较强负相关，进一步印证了暖湿环境下氧化转化和湿清除效率的提高。

研究人员据此强调，空气污染并非仅由排放总量决定，气候与天气条件同样是调控污染风险的重要因子。持续升温可能强化臭氧等光化学污染，而降水、湿度及风场变化则会以不同方式影响一次污染物的积累、输送与清除过程。

该研究还捕捉到2020年新冠疫情管控期间的大气响应。在主要管控月份，西欧大部分地区二氧化氮柱浓度下降约20%-30%，北美东部下降约15%-25%，南亚和东亚部分地区下降约15%-35%，部分城市与工业区降幅超过40%。疫情后多区域二氧化氮出现恢复性上升，反映了交通、工业生产和社会经济活动恢复对大气成分的快速影响。上述结果表明，卫星观测不仅能够识别持续性排放变化，亦可捕捉重大社会经济事件引发的短期大气扰动。

与此同时，欧洲和东亚部分地区二氧化氮和二氧化硫呈现长期下降趋势，与电力、工业和交通部门持续推行的末端治理政策成效一致，验证了针对重点行业实施减排措施可产生可监测的空气质量改善效果。

### 为气候敏感型治理提供科学支撑

鉴于不同区域在能源结构、发展阶段、污染来源及气候背景方面差异显著，研究指出全球空气污染治理不宜采取单一模式，而应依据区域特征和季节规律，因地制宜、因季施策。所建立的诊断框架可服务于污染季节预测、风险预警、重点区域识别和精准减排，尤其对地面监测网络稀疏地区具有重要补充价值。

研究团队同时指出，6年观测序列更适于识别近期方向性变化，尚不足以完全外推至长期气候趋势；卫星反演的整层大气柱浓度也需审慎对应近地面人群实际暴露水平。未来需进一步融合地面监测、区域观测试验、排放清单与大气化学传输模型，延长观测时间序列，并发展基于机器学习的多源数据融合方法，以提升全球空气质量评估与预测的可靠性。

审稿人认为，将连续6年的全球Sentinel-5P卫星观测与气象数据相结合，并在统一分析框架下比较五种主要空气污染物的季节动态，体现了较强的创新性和全球视野。同时建议进一步细化数据质量控制与统计分析过程，谨慎解释短期趋势，补充研究局限，并加强对气象驱动机制、新冠疫情管控影响及成果应用价值的讨论。

研究团队据此对数据筛选、统计检验、趋势表述和不确定性分析进行了系统完善，使研究结论更加严谨、完整，也进一步突出了其对区域化、季节适应性空气质量治理的现实意义。

研究人员指出，该研究将多污染物卫星观测、气象再分析与统计聚类方法统一起来，形成了一套具有可重复性和可迁移性的全球空气污染诊断框架。研究结果可服务于污染季节预测、风险预警、重点区域识别和精准减排，有助于提升地面监测网络不足地区的空气质量评估能力。

守护蓝天，不仅在于管好烟囱和排气管，更在于深刻理解气候系统对污染物的调节机制。王法明表示，该研究不仅提供了一套可迁移、可复制的全球污染诊断工具，更提醒我们——在气候变化背景下，治污必须‘读懂’季节的语言。未来，融合卫星、地面监测与人工智能的预测系统，有望推动空气污染治理从被动应对向主动预警转变。（来源：中国科学报 朱汉斌）

---

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2026.127728>

作者：王法明等 来源：《环境污染》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发