



## 物理学院张霖研究员等指出农业土壤氮氧化物排放对我国大气臭氧污染治理提出新挑战

2021/08/26 信息来源：物理学院  
编辑：山石 |

北京大学物理学院大气与海洋科学系张霖研究员课题组与环境科学与工程学院张远航院士等合作研究，指出我国华北平原夏季大量土壤氮氧化物排放降低了人为减排对控制臭氧污染的有效性，并导致一种“惩罚效应”，为我国大气臭氧污染治理带来新挑战。相关成果2021年8月18日在线发表于《自然·通讯》(Nature Communications)。

近地面臭氧作为一种主要大气污染物，危害人体健康和植被，并显著影响大气氧化性。我国正面临着日益严峻的臭氧污染形势。全球监测数据表明，当前我国华北平原夏季臭氧浓度和健康暴露水平显著高于其他北半球中纬度城市地区。尽管2013年我国实施《大气污染防治行动计划》以来，大幅减少了氮氧化物(臭氧主要前体物)等污染物的人为排放，并有效控制了细颗粒物(PM2.5)污染，但华北平原夏季大气臭氧浓度在2013—2019年期间仍以每年超过3 ppbv的速率增长，是全球近十年臭氧增长最快的区域。

北京大学物理学院大气与海洋科学系张霖研究员课题组与环境科学与工程学院张远航院士等合作研究，指出我国华北平原夏季存在大量土壤氮氧化物排放，抑制了大气臭氧污染对于人为化石燃料燃烧所引起的氮氧化物排放的敏感性，从而降低了人为减排对控制臭氧污染的有效性，导致一种“惩罚效应”，这就要求额外的人为减排力度，给我国臭氧治理提出了新挑战。

近地面臭氧主要是由氮氧化物、挥发性有机物、一氧化碳等在光照条件下通过二次化学反应生成的。华北平原是我国氮氧化物人为排放(主要来自能源工业、交通和居民生活等)最活跃的地区;与此同时，由于密集的农业活动，含氮化肥施用和大气氮沉降过程将氮素输入到土壤中，在一定气象条件下，土壤微生物的硝化/反硝化过程也将重新向大气排放氮氧化物。土壤氮氧化物排放模型测算结果表明，华北平原夏季土壤氮氧化物排放量可达该地区人为氮氧化物排放量的20%，其中由农业化肥施用所导致的土壤氮氧化物排放量约占60%。这一工业和农业来源氮氧化物排放叠加的特征与日本、韩国、美国西部及欧洲中部等国家和地区的臭氧污染热点区域显著不同。土壤氮氧化物排放源在当前我国臭氧污染治理策略设计中尚未被充分考虑，在众多应用于我国臭氧源解析和减排情景模拟的空气质量模型中也一直被忽略。

联合研究团队使用GEOS-Chem大气化学数值模型，借助高性能计算平台描述大气污染物的排放、化学、沉降和传输过程，重现了我国华北平原夏季臭氧污染的时空分布特征(图1a,b)，并分解出人为排放对臭氧污染的贡献值，该指标可以用来衡量通过人为污染物减排所能达到的最大臭氧浓度下降值。研究发现，该指标在存在土壤氮氧化物排放(现实情景，图1c)时为21 ppbv，较不存在土壤氮氧化物排放时的31 ppbv(图1d)低30%左右;这不仅意味着华北平原土壤氮氧化物的存在大大削弱了采取减排措施可以达到的臭氧治理效果，也体现出华北平原工业和农业来源氮氧化物在臭氧化学形成中的相互竞争效应(二者在此前的臭氧研究中并没有被认识到)。

最新

- 20 2021.11 全面从严以述促度考核工作
- 20 2021.11 北京大学-剑桥大
- 19 2021.11 劳动最光荣 奋斗最光荣 北京市技能大赛中获
- 19 2021.11 北京大学访问讲席 教育部部长怀进鹏
- 19 2021.11 北京大学人民医院 习党的十九届六中

专题



学习贯彻党的十九届六中

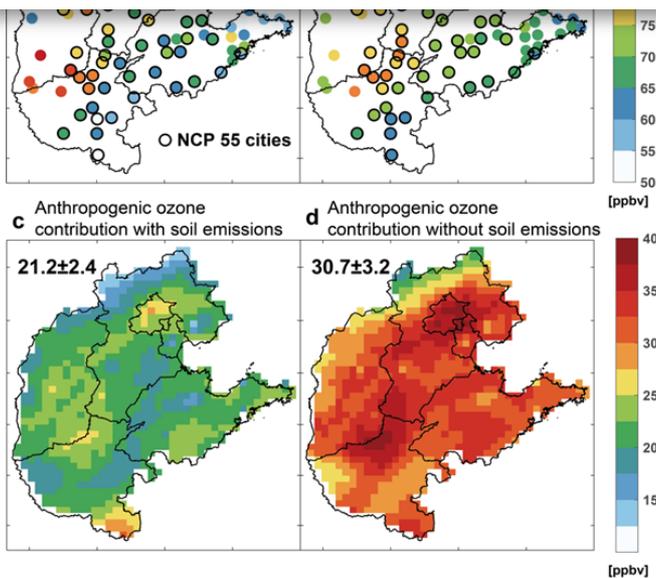


图1. 土壤氮氧化物排放对华北平原夏季近地面臭氧污染人为源贡献估算的影响：(a)和(b)分别展示了2017年7月华北平原城市站点观测和模拟的月均最大臭氧8h浓度值的空间分布；(c)和(d)分别展示了在有/无土壤氮氧化物排放的情景下通过数值模型计算的人为排放源所致臭氧贡献值

对这种竞争效应进行量化的结果呈现出存在土壤氮氧化物排放时臭氧对于人为氮氧化物减排的响应明显小于不存在土壤氮氧化物时的情景（图2）；这说明，土壤氮氧化物的存在使得大气臭氧化学生成对人为氮氧化物更加不敏感。当人为氮氧化物排放完全去除时，华北平原土壤氮氧化物生成的大气臭氧浓度将从现实情景的2.9 ppbv增加到15 ppbv，大大抵消了氮氧化物人为减排带来的臭氧减少。换句话说，当使用空气质量数值模型对臭氧进行减排效果评估时，忽略土壤氮氧化物排放所得的减排效率将会显著过高。

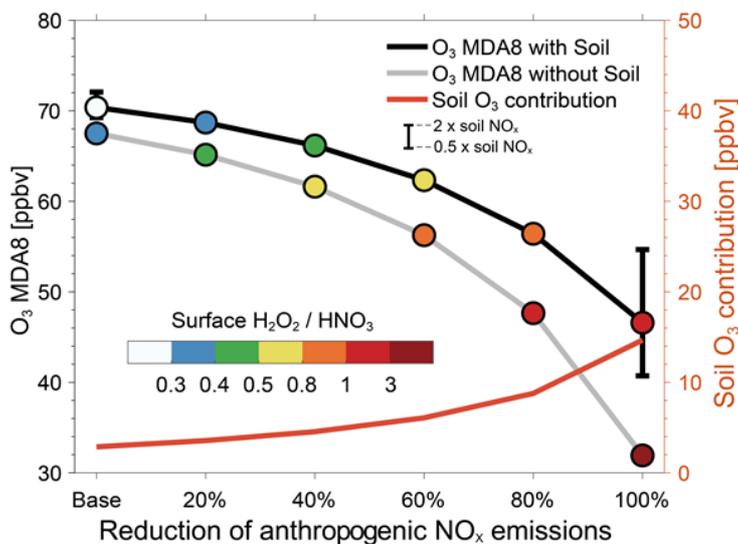


图2. 土壤氮氧化物排放抑制了大气臭氧对人为氮氧化物排放的敏感性：黑线和灰线分别代表空气质量数值模型在有/无土壤氮氧化物排放情景下，华北平原臭氧浓度对人为氮氧化物排放下降20%~100%的响应（左轴）；红线表示土壤氮氧化物排放在不同人为排放情景下对大气臭氧生成的贡献，即黑线和灰线之差（右轴）

因此，土壤氮氧化物排放的存在将导致一种“惩罚效应”，即为实现一定臭氧控制目标所要求的额外的人为氮氧化物减排量。研究显示，若将2017年7月现实情景中华北平原的臭氧浓度降低5 ppbv，该效应为13%（单独减排人为氮氧化物）或4%（同步减排氮氧化物、挥发性有机物和一氧化碳）；在更严格的臭氧控制目标（如将臭氧浓度



成。施用高氮化肥是保障粮食安全的必要途径，因此土壤氮氧化物的排放并不能简单地削减，这就需要安全我们进一步加强人为氮氧化物的减排，或者实施对氮氧化物和挥发性有机物的协同减排，以实现臭氧污染治理。另一方面，如果能够提高氮肥施用效率控制土壤氮氧化物排放，将对保障空气质量、人类健康、食品安全，减缓气候变化和保护生物多样性等产生多重效益，也有助于提高当前减排措施对臭氧污染防治的成效。

相关研究成果以“农业土壤氮氧化物排在华北平原臭氧污染防治中被低估的作用” ([The underappreciated role of agricultural soil nitrogen oxide emissions in ozone pollution regulation in North China](#)) 为题，2021年8月18日在线发表于《自然·通讯》(Nature Communications)；物理学院2019届博士生卢骁(现为中山大学大气科学学院副教授)为第一作者，张霖研究员和张远航院士为共同通讯作者，物理学院博士研究生叶兴沛(2020级)、周密(2016级)也参与了主要研究工作。其他合作者包括北京大学物理学院林金泰研究员课题组、城市与环境学院周丰研究员及来自中国海洋大学、清华大学、华东师范大学、香港浸会大学、美国哈佛大学、法国气候与环境科学实验室(LSCE)等国内外高校和科研机构的科研人员。

上述研究工作得到国家重点研发计划和国家自然科学基金资助。

转载本网文章请注明出处