

城市绿化背后，暗藏空气质量隐忧

■本报记者 朱汉斌

“要想环境好，就要多种树”是一种普遍的观念，可一项近日发表于《科学进展》的研究提醒，高温天气下，部分城市树木释放的气体正为臭氧污染提供原料。

这项研究由暨南大学教授袁斌、邵敏团队联合国内外多家合作单位历时 6 年完成。他们在北京核心城区架起一套“呼吸监测器”，分析直接观测数据后得出一个意外结论——北京夏季的高温天里，城市绿化排放已经成为臭氧污染最重要的影响因素之一。影响其大小的关键不在于种了多少树，而在于种了什么树。

“就城市植被排放及其空气质量效应而言，种什么树和种多少树同样重要。”论文共同通讯作者袁斌告诉《中国科学报》。

该研究填补了城市植物排放长期缺少直接观测证据的空白。审稿人评价称，该研究“从北京的直接观测出发，将分析拓展至全球 20 多个城市，及时揭示了气候变暖和城市持续扩绿背景下树种选择的重要性”，“具有跨学科价值，有望对城市空气质量、城市生态和绿化规划等多个领域产生影响”。

树木排放也可能给城市空气污染“添把火”

树木能遮阴降温、吸收二氧化碳，改善景观，长期以来被视为改善城市环境的“优等生”。然而，树木也会释放挥发性有机物（VOCs），这些物质在阳光和氮氧化物共同作用下参与大气化学反应，促进地表臭氧生成。地表臭氧会刺激人体呼吸系统，损害植被，是当前全球许多大城市的主要空气污染物之一。

在气候变暖背景下，城市树木排放问题正受到更多关注。高温会增强植物 VOCs 释放，而城市热岛效应和日益频繁的热浪可能进一步放大这种影响。但到目前为止，城市植被究竟向大气排放了多少 VOCs，这些排放对城市空气质量的影响程度如何，仍缺少来自真实城市环境直接观测数据的验证和约束。

研究城市空气污染物，通常做法是测量

空气中的污染物浓度。但浓度只是一个结果，它只能反映某时刻空气里有多少污染物。这些污染物可能来自本地，也可能从别处输送而来。无论来自哪里，它们都会受气象条件和大气化学反应的持续影响。尤其是一些化学性质活泼的 VOCs，进入空气 1 个小时甚至几分钟就可能被消耗殆尽。仅靠浓度观测，很难反推出它们真正排放了多少、来自哪里。

“为了真正搞清楚城市向大气‘排放了什么、排了多少’，我们需要一种更直接的方法。”论文第一作者、暨南大学博士生何贤俊对《中国科学报》表示。

给城市戴上“呼吸监测器”

2021 年 5 月至 7 月，研究团队在北京核心城区的北京气象铁塔上利用高时间分辨率化学电离质谱仪和涡度协方差技术，开展了城市 VOCs 通量观测。

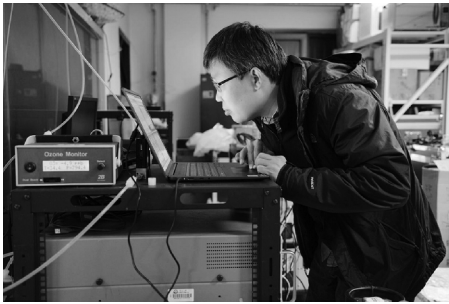
“这相当于给城市戴上了一个‘呼吸监测器’，能够直接测量城市地表向大气释放了哪些 VOCs，释放速度有多快。”何贤俊表示，这类观测技术门槛极高，全球应用案例寥寥。团队耗时数年攻克了观测平台选址与搭建、长距离管路采样、高频数据处理等一系列技术难题。

“我们最初关注的重点，是交通尾气、溶剂使用和餐饮油烟等人为排放源。然而，通量观测数据却把一个原本被我们视为‘配角’的来源推到了台前——城市树木。”何贤俊说。

数据显示，观测期间，植物来源的 VOCs 只占排放通量的 10% 左右。但令人意外的是，这 10% 的排放贡献了 VOCs 总反应活性的一半以上。

排放通量是指排放了多少，反应活性是指这些排放进入大气后推动臭氧生成的潜力。植物排放的主要成分是异戊二烯——这种反应活性极强的 VOCs 在大气中的寿命往往只有几个小时。它就像一种化学火药，虽然量不大，威力却惊人。

“这个出乎意料的发现彻底改变了研究的走向。”何贤俊表示。



在北京外场观测期间，袁斌调试仪器。
研究团队供图

高温是“放大器”，越热越活跃

研究发现，温度是这场化学反应的“放大器”。

当气温从 20℃ 升至 35℃ 时，植物来源 VOCs 的反应活性通量增加了约 700%，在总反应活性中的占比从 21% 升至 74%。凉爽天气下，树木排放的 VOCs 还不成气候；热浪来袭时，偏偏是臭氧最容易超标的时段，树木的化学输出会急剧攀升。

这种温度响应直接反映在臭氧生成上。基于大气三维模型的估算显示，北京城区的城市绿化排放可使该区域日最高 1 小时臭氧浓度平均增加约 13ppb（十亿分之一）。

模型结果显示，在计入城市绿化排放的情况下，32℃ 以上高温天的臭氧超标概率达到 67%。城市热岛效应还会进一步放大这种影响——北京城区约 0.8℃ 的热岛增温，能让峰值臭氧增加约 6.8%。气候变暖意味着更多高温天，更多高温天意味着树木释放更多活性 VOCs，更多活性 VOCs 意味着更多臭氧，连锁效应可能进一步加大城市臭氧治理压力。

北京并不是中国绿化率最高的城市，为什么树木排放的影响这么强？

“我们将北京的观测结果与已有的全球城市数据进行横向比较，发现北京的植被异戊二烯标准化排放强度位于其中的最高水平，接近温带森林的观测水平。”袁斌说。

实际上，北京人为源排放相关的 VOCs

国内首部天然缪子技术系统性著作正式出版

本报讯（记者叶满山）近日，兰州大学稀有同位素前沿科学中心教授刘志毅团队编著的《天然缪子技术及其应用》（上、下册）由科学出版社正式出版。

该书共 4 篇 12 章，是国内首部系统阐述天然缪子技术基础理论与工程应用的著作，填补了国内该领域系统性著作的出版空白，集中反映了兰州大学在天然缪子技术基础研究、工程应用和技术体系建设方面的长期积累。

天然缪子主要由初级宇宙线进入大气后与原子核相互作用并经次级粒子衰变产生。利用天然缪子作为“射线源”，可在不破坏目标结构的前提下，对矿山、隧道、大坝、文物等对象进行非侵入式透视，具有无需人工辐射源、穿透能力强、非接触、适合长期观测等独特优势。

该著作的出版为天然缪子技术相关课程建设、研究生培养、科研训练和工程应用提供了较为系统的教学与参考材料，将进一步推动相关领域交叉型人才培养和技术应用。



近日，由中国科学技术馆与泰国国家科技馆共同建设的“倾听科学空间”在泰国国家科技展上正式亮相，吸引了众多观众参观。

“倾听科学空间”整体规划面积约 500 平方米，融合科学展示、互动体验与文化交流于一体。空间设置了互动展教具体验区、科学教育活动区等功能区域，配备展教资源，可灵活组织青少年开展互动体验活动，并支持科学课程、小组讨论、直播互动等多种教育形式。

科技展结束后，“倾听科学空间”将永久落户泰国国家科技馆。据悉，“倾听科学空间”是中国科学技术馆发起的海外科普合作品牌，2025 年 11 月首个“倾听科学空间”在南非落成开放。这是该品牌在海外落成的第二个项目。

本报记者高雅丽报道
中国科学技术馆供图

用科学智慧、科技力量，加快国家水网建设

■王明钦

《国家水网建设规划纲要》明确提出，到 2035 年基本形成国家水网总体格局，构建“系统完备、安全可靠、集约高效、绿色智能、循环通畅、调控有序”的水网体系。这意味着我国治水思路正从局部工程治理转向全流域、全链条、全生命周期的系统重构。

国家水网是以自然河湖为基础，引调排水工程为通道、调蓄工程为结点、智慧调控为手段，集水资源优化配置、流域防洪减灾、水生态系统保护等功能于一体的综合体系，也是与自然、人工、技术与制度深度融合的复杂巨系统。以系统科学智慧考察新时期水水关系，以智能科学技术优化水资源调配，是加快国家水网建设的必然选择。

当前，国家水网建设进入加速期，但多重深层制约逐步显现。

其一，土地红线形成刚性约束。大批骨干输水渠道、调蓄水库、枢纽泵站不可避免地占用土地，然而水利工程在规划、选址、建设及审批过程中，必须严格遵循土地红线管控要求，实现水利建设与耕地保护、生态保护的协同发展。在永久基本农田实行特殊保护的红线下，项目选址必然受限。

其二，城市内涝治理面临科技与经济双重挑战。城镇化使得城市下垫面持续硬化，导致原本可自然入渗的雨水大量转化为管网径流，全国每年平均有约 20% 的城市发生不同程度内涝。老城区排水系统建设年代早、设计标准低，地下空间密布各类管线，地

面建筑密集，大范围开挖改造既不经济，也难以实施。排水防涝工程属纯公益性工程，投资大、收益少，长期依赖财政投入，资金缺口大。传统“快排快泄”模式已走到尽头。

其三，流域管理与行政区划分割。水流是流动、连续、不可分割的，但流域的管理体制和立法体制，在地方上却是分块的。由于各地方是相对独立的利益主体，导致上下游、左右岸、干支流之间缺乏协调，水资源调配与洪水蓄泄难以达到系统最优，甚至出现“上游喝饱、下游喊渴”“汛期拼命排、旱季无水抽”的悖论。因此，跨地流域治理成为当下的一个难点和痛点。

这些问题的本质，是水与土、局部与整体、快排与蓄用关系的失衡。在资源环境硬约束下，单靠增建工程、扩张占地已难以维系，必须以科学智慧重塑人水关系，以科技力量突破物理空间和传统模式的限制。

中国治水史是一部在实践中不断发现规律、运用规律的历史。从都江堰到黄河，从红旗渠到南水北调，中国治水史反复证明，只有把科学智慧与奋斗精神结合起来，尊重规律与发挥主观能动性结合起来，才能走好治水兴水之路。站在新的历史起点上，要破解土地红线、城市内涝、流域分割等突出矛盾，就要发扬这种把科学智慧与科技力量紧密结合的传统。现代科技理论的发展，特别是系统科学、信息科学、人工智能（AI）与生态科学的交叉融合，为水网

建设提供了新的工具和路径。具体可从以下三个维度发力。

第一，以“AI+ 遥感”实现科学布局，化解水利建设与耕地红线矛盾。传统水利工程多呈“宽渠大库”形态，一条骨干渠道连同堤防、管护带，占地可达数十米宽，与沿线永久基本农田高度重叠。破题之道在于将“节水、复合、隐匿、增值”理念贯穿规划、设计、施工全周期，让水利设施既服务于水，又兼顾于农，甚至再造优质耕地。依托 AI 超大算力和国土空间规划“一张图”，整合高分辨率遥感影像、国土调查矢量数据、地形坡度和耕地质量等级等多源基础数据，运用地理信息系统多因子叠加分析和 AI 路径优化算法，在流域尺度自动生成多组工程选线方案，筛选出占地最少、切割耕地最小的优选路径。同时，水利与自然资源部门通过大数据系统共享信息，打破“数据孤岛”，实现水网建设与耕地保护协同的闭环处置机制。

第二，以深层排水隧道与多功能调蓄空间，打造立体蓄排体系。城市内涝的本质是短历时强降雨而出排水系统承载力，而外河水位高企导致顶托壅水。必须建立“源头削峰—管网通畅—深层调蓄—强排入河—流域错峰”的全链条韧性体系。深层排水隧道是国际大城市应对内涝的有效手段，其布置在岩层或深层土体中，直径可达数十余米，平时作为初期雨水调蓄池，暴雨时快速分流入隧，将超标雨洪输送至下游大型调蓄

池或污水处理厂，经深度处理后排放或回用。地上空间则建设多功能调蓄设施，学校操场、公园绿地、停车场平时满足市民活动需求，汛期前置封闭成为临时滞蓄空间，地下与浅层管网及深隧联通，形成“地表—浅层—深层”三级蓄排格。

第三，以数字孪生赋能现代水网，实现跨区域智能调配。当前水网运行中，“信息孤岛”和“决策碎片化”并存，流域机构、省市部门难以实现全流域水量、水质、水生态、洪水、干旱等多目标协同，必须运用系统科学思维和智能科学技术，把江、河、湖、库、闸、泵、泵联通成为“一盘棋”。一方面，树立洪水资源化理念，将洪水和汛末尾水作为宝贵淡水资源。比如，在河口建设挡潮闸和泵站群，既防海潮倒灌，又利用潮差引江纳水入沿海河网，补给平原水库和地下水漏斗区，实现江—海—湖—库的环流互通。另一方面，以数字孪生流域为基础，通过激光扫描、无人机航测等获取高精度三维地形数据，整合水文、气象、墒情、取水、工程运行等天空地水一体化感知数据，搭建全国统一的水网调度智能平台。将防洪排涝、水资源调配、水生态保护等约束嵌入调度模型，动态调整闸坝运行，使全国江海湖泊“一盘棋”从蓝图变为实时响应、精确到立方米级的智慧调控。

（作者系河南大学教授、黄河文明与可持续发展研究中心研究员）

发现·进展

中国科学技术大学等

研制冷原子共磁力仪

本报讯（记者王敏）中国科学技术大学与合肥国家实验室教授卢征天、研究员夏添等人，利用光学量子调控方法成功研制出冷原子共磁力仪。他们将两种铯原子同位素共同囚禁在同一光阱中，同步测量其自旋进动，获得了超过 3 万的磁场噪声抑制因子，进而建立了一种具有微米尺度空间分辨率的自旋传感平台，为研究与自旋相关的短程相互作用提供了新途径。近日，相关研究成果发表于《自然—光子学》。

原子自旋传感器广泛应用于精密测量与量子信息科学。在这项工作中，研究团队将铯 -171 与铯 -173 两种同位素共同囚禁在一维光晶格中，构建了基于纯核自旋的冷原子共磁力仪。要在冷原子系统中实现长时间自旋相干，关键挑战是抑制光晶格中光频移引起的退相干效应。对于铯 -171 同位素，自旋 1/2 的结构使其天然不受张量光频移影响；对于高自旋的铯 -173 同位素，研究团队利用薛定谔自旋磁态，使其进动频率对张量光频移不敏感。团队此前已利用这一方法解决了高自旋体系的张量光频移退相干问题。

研究团队进一步发现了残余张量光频移与塞曼效应耦合产生的系统效应，利用二阶微扰理论对其作出解释，并通过实验实现校正。结合矢量和张量光频移的控制，研究团队开展了双同位素同步拉姆齐干涉测量，实现长达 60 秒的自旋相干时间，并获得超过 3 万的磁场噪声抑制因子，同时精确测定了铯 -171 与铯 -173 同位素的核磁矩比值。

作为一种全新的自旋传感平台，冷原子共磁力仪为量子增强精密测量、超越标准模型的新物理研究开辟了新路径。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41566-026-01982-4>

广东省科学院测试分析研究所等

新策略实现硝酸盐高选择性还原为氮气

本报讯（记者朱汉斌）广东省科学院测试分析研究所（中国广州分析测试中心）副研究员成晖联合广州大学、安阳工学院等单位研究人员，提出光诱导工作态电子富集策略，成功构筑铜诱导电子重构界面（ER-Au），实现了硝酸盐向惰性氮气的高选择性电催化转化。相关成果近日发表于《德国应用化学》。

硝酸盐是水体中常见的含氮污染物，其过量累积对水生态环境和人体健康构成威胁。电催化硝酸盐还原有条件温和、过程可控、装置紧凑等优势，但反应过程中通常易生成氨、亚硝酸盐等可溶性含氮产物。就水体净化目标而言，将硝酸盐高选择性转化为环境无害的氮气，仍面临氮 - 氮偶联与连续加氢路径之间的竞争挑战。

针对上述问题，研究团队成功构建了 ER-Au 催化剂。铜原子的引入打破了金层原有的均一配位环境，形成了具备金 - 铜邻近点、低配位金位点及局部应变区域的可极化界面，为光照和阴极偏压下的界面电荷重分布奠定了结构基础。

该研究发现，在 660 纳米光照条件下，ER-Au 呈现显著的富电子工作态，驱动 NO 相关中间体由加氢路径转向氮 - 氮偶联路径。在 pH 值为 1 的酸性电解液中，硝酸盐还原为氮气的法拉第效率达到 90.84%。原位和准原位表征结果显示，高氮气选择性主要源于富电子界面对中间体后续转化路径的调控，而非简单富集含氮中间体。

该研究揭示了工作态电子富集驱动氮 - 氮偶联及氮气选择性生成的机制，为酸性条件下硝酸盐深度净化及终点选择性电催化界面设计提供了新思路。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/anie.7025212>

中国农业科学院郑州果树研究所

找到黄色甜樱桃果实在光照下泛红晕的原因



本报讯（记者李晨）中国农业科学院郑州果树研究所副研究员齐希梁、研究员李明等研究人员通过全基因组重测序和比较转录组分析，在甜樱桃 3 号染色体上鉴定出一个关键转录因子 PavMYB75L，发现它是调控黄底红晕型甜樱桃果实施色的核心因子。近日，相关研究成果发表于《植物杂志》。

甜樱桃是蔷薇科李属中极具经济价值的核果类果树，果实着色情况不仅是衡量成熟度和品质的关键外观指标，还直接影响消费者的购买意愿。

在甜樱桃果实颜色红、黄、黄底红晕 3 种表型中，黄底红晕型表现出极为特殊的光响应着色特征：果实表皮仅在光感知区域积累花青素呈现红斑，而背光区保持固有黄色。这种由光照驱动的局部“上色”现象的上游光信号传导机制，以及植物激素茉莉酸在该过程中的调控角色，目前仍缺乏分子水平证据。

研究揭示，PavMYB75L 是调控黄底红晕型甜樱桃果实施色的核心因子，其蛋白稳定性受 E3 泛素连接酶 PavCOP1 在黑暗条件下的负向调节。在光照和茉莉酸信号诱导下，光响应因子 PavHYH 和茉莉酸响应转录因子 PavMYC2 可直接激活 PavMYB75L 的表达，且光信号因子 PavPIF3 能与两者互作以增强这种激活作用。

该研究为解析蔷薇科果实施色的复杂调控网络提供了基因资源和新视角。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1111/tbj.71084>