

# 从“日尺度”到“小时尺度”，精细认知“热”

■本报记者 朱汉斌

白天烈日灼人、夜晚闷热难眠，全球变暖正用日常体感细化人们对“热”的认知。长期以来，我们习惯用“今天最高气温多少度”来衡量一天的热度，但一项近日发表于《自然·气候变化》的研究表明，只看每日的气温高低，可能错过近三成的极端高温暴露。

“我们提出小时尺度极端高温的识别方法，突破了传统日尺度高温指标在时间上的分辨局限，定量揭示了被日尺度指标长期忽视的极端高温特征。”论文通讯作者、中山大学教授刘小平对《中国科学报》表示，在此基础上，团队进一步系统刻画了全球不同收入水平地区、不同年代出生人群高温暴露的双重不平格局，为全球高温风险精细化防控与气候公平治理提供了关键科学支撑。

审稿人评价，该研究是“极端高温研究的重要突破”，“为理解持续气候变化背景下极端高温的演变规律提供了极具价值的见解，对气候适应规划工作具备重要参考意义，有望推动学界对热胁迫风险的认知”。

## 为什么“日尺度”不够用了

论文第一作者、中山大学副教授廖威林指出，长期以来，学界与公众对极端高温的识别普遍依赖日平均气温、日最高气温和日最低气温等“日尺度”指标。这类指标虽便于统计和传播，却天然存在局限：既抹平了一天内的温度波动，无法呈现高温的日内演化特征，也会遗漏非高温日中的短时极端高温及夜间持续高温等特殊过程。日尺度指标本质上是一种“降维”处理，把 24 小时内不断变化的温

度压缩成几个数字，而人体对气温的感知和适应却每时每刻都在发生。

“因此，我们需要在更精细的时间尺度上刻画高温过程，才能更准确地认识高温天气下人体动态的热健康负担。”廖威林说。

随着小时尺度气象观测与模拟数据的可用性不断提升，研究团队将日尺度高温识别方法推广到小时尺度——为每个小时划定对应的高温阈值，从而精细刻画逐小时的高温动态。具体做法是，基于历史参考期（如 1981 至 2010 年）逐小时的温度序列，分别计算每个小时的温度分布，取第 90 百分位数作为该小时的极端高温阈值。这样，一天 24 小时就有 24 个不同的阈值，可以精准判断某一时刻的气温是否达到历史同期极端水平。

结果令人警醒。全球夏季小时极端高温已呈现广泛且显著的增长态势，且夜间增速整体快于白天。在高排放情景下，到本世纪末，全球夏季小时极端高温频次将增至当前的 4.5 倍。这意味着，未来人们在夏季将越来越多地遭遇“每时每刻都是极端炎热”的天气状态，而不仅仅是白天多几个高温日。

论文第一作者、中山大学硕士研究生张泓宗告诉《中国科学报》，当观测精度从“天”细化到“小时”，许多被传统统计掩盖的高温细节逐渐浮出水面。

研究数据显示，全球约 28% 的小时极端高温发生在传统定义的“非高温日”。换句话说，在近三成极端高温时长里，人们实际正处于达到历史同期极端标准的高温环境中，但由于当天未被判定为高温日，这部分高温暴露便处于统计与防护的双重盲区。

从空间和时段分布看，这类被遗漏的高温主要集中在热带地区，且大多发生在夜间，对健康的潜在威胁更容易被忽视。因为夜间高温会干扰睡眠、加重心血管负荷，而人们通常不会像白天那样主动、及时地采取降温措施。

而在高温日，极端高温的持续时长悄然拉长。当前全球平均每个高温日的高温时长约为 16 小时，占全天的 2/3。但研究发现，未来高温日内的小时高温增长速度显著快于高温日数量的增长速度。这意味着，即便同样是高温日，未来高温状态的时长将比现在更长，“频率”和“耐力”都在同步增强。

## 全球小时高温暴露的双重不平等

按照高排放情景预估，到本世纪末，全球近九成陆地区域每个高温日内的高温时长都将持续 20 小时以上；单日 24 小时全时段极端高温的“全天候高温日”将从当前年均 2.91 天大幅增至 40.04 天。届时，“从早到晚、整夜不退热”将成为许多地区夏季的常态。这种全天候的热胁迫，不仅考验人体的生理耐受极限，也对能源供应、公共卫生和劳动生产力提出前所未有的挑战。

论文通讯作者、中山大学教授罗明指出，极端高温是全人类共同面对的气候考验，但高温事件的时空分布差异塑造了不平等的高温适应与应对格局。研究的核心亮点之一正是在空间和时间两个维度上揭示了全球小时高温暴露的“双重不平等”。

第一重是空间上的区域不平等。研究测

算，中低收入国家承载了全球当前及未来超过 3/4 的小时高温暴露，是高温风险的主要承受者。这些地区大多位于热带、亚热带，气候本底炎热，又普遍缺乏足够的高温防护设施与医疗资源，面对高温的脆弱性更显著。

第二重是时间上的代际不平等。为衡量不同出生世代的高温不平等性，研究团队引入“终身高温暴露”概念，即一个人在预期寿命内累计经历的小时极端高温总量。对比数据显示，在高排放情景下，2023 年出生人群的终身小时高温暴露量，在高收入国家约为 1981 年出生人群的 2.8 倍，而在低收入国家高达 5.4 倍。

这组数据背后是沉重的气候公平现实：收入水平越低的国家，年轻一代面临的终身高温负担越沉重。这些地区对历史碳排放的贡献最少，其后代却要承担最剧烈的气候变化代价，且代际风险差距仍在持续扩大。

## 小时尺度更“贴近人体”

“这项研究不仅揭示了现象，还验证了一个关键问题，即小时尺度的高温评估是否比日尺度更能反映高温对人体的真实威胁。”罗明说。

通过比对全球高温归因死亡数据，研究证实，相比传统日尺度指标，小时高温暴露与高温相关死亡率的相关性更高，在低纬度国家这一优势尤为明显。原因不难理解，人体对高温的生理反应是分钟级、小时级的，而非“日均”的。一段持续 4 小时的夜间高温对人体的心血管负担，可能远非一个“日平均温度偏高”标签所能描述。因此，小时尺度的评估将为高温健康防护提供更可靠的科学依据。

刘小平指出，该研究从小时尺度刷新了对极端高温风险的认知，也为气候适应与公平治理带来多重现实启示。

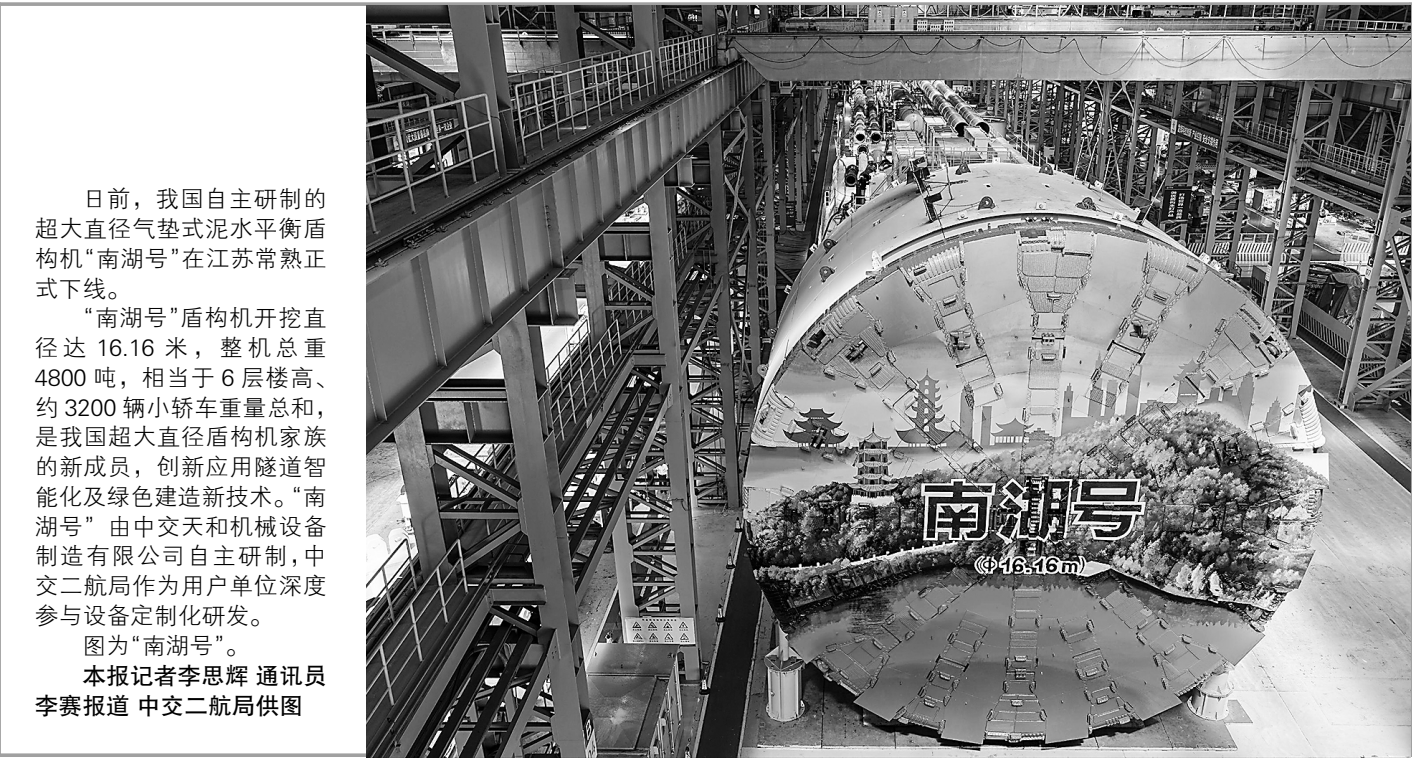
其一，高温预警系统亟须向精细化升级。现有基于日尺度气温的预警难以覆盖夜间高温、非高温日短时高温等风险场景。未来应推动小时级高温预报与预警落地，重点关注夜间持续高温对人体热恢复的损害，加强清晨、夜间等防护薄弱时段的风险预警。

其二，气候公平应落实到更精细的风险维度。针对低收入国家“排放贡献小、热风险负担重”的现实，国际气候治理与适应相关资金支持需进一步向低收入热带国家倾斜，提升其高温防护与公共卫生应对能力。

其三，研究仍需深化。后续研究团队将进一步探讨短时极端高温的形成物理机制，拓展研究的季节覆盖范围，重点关注春秋过渡季的高温风险特征，同时逐步构建日尺度与小时尺度耦合的高温风险评估体系，为全球气候适应治理提供更全面的科学支撑。

随着气候变化脚步的加快，精细化认知不再是学术试验品，而是生存的必需品。这项研究提醒人们，对抗高温，首先要学会精确地看见高温。而这只是一个开始。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41558-026-02724-8>



日前，我国自主研发的超大直径气垫式泥水平衡盾构机“南湖号”在江苏常熟正式下线。

“南湖号”盾构机开挖直径达 16.16 米，整机总重 4800 吨，相当于 6 层楼高、约 3200 辆小轿车重量总和，是我国超大直径盾构机家族的新成员，创新应用隧道智能化及绿色建造新技术。“南湖号”由中交天和机械装备制造有限公司自主研发，中交二航局作为用户单位深度参与设备定制化研发。

图为“南湖号”。

本报记者李思辉 通讯员李赛报道 中交二航局供图

# 如何拯救湿地公园里“淹死”的乔木

■董树斌

日前，正是北京林木繁盛的季节，但北京金盏淀湿地公园的游客发现，岸边成片的杨树、槐树和银杏非但没有如期抽枝展叶，反而枝条枯槁、树皮剥落。

湿地公园本该是水草丰茂、生机盎然之地，为何反而成了乔木的“坟场”？在反复踏勘与生理学检测后，结论逐渐清晰——这些乔木是被过高水位和长期浸泡“淹死”的。换句话说，它们是被水“憋”断了气。

## “缺氧浩劫”是如何造成的

金盏淀湿地公园地处永定河冲积扇前沿，地下水位较浅，加之近年生态补水与雨洪调蓄工程，园内常年积水区扩大，地表淤积时间显著延长。原本设计为“林水相融”的景观带，如今却出现了“枯木带”。杨树、槐树、银杏、油松、白皮松……这些均是华北平原常见的乡土或引进造林树种，却表现出相似症状：叶片黄化、萎蔫，即便在春季也难返青；枝条顶端枯萎，形成“干梢”；根系变黑、腐烂，丧失抓地力，大树容易被风吹倒；树干基部出现流胶、裂缝，并伴有异味气体冒出。

园林养护人员曾尝试排水、修剪、打药，但收效甚微。真正的原因在地面之下，根系正经历着一场看不见的“缺氧浩劫”。

植物根系是高度耗能的活性器官。当土壤孔隙被水完全填充，氧气扩散速度骤降为空气的万分之一。这种缺氧环境对绝大多数旱生或中生木本植物而言，无异于生理绝境。在正常有氧条件下，根系细胞通过线粒体氧化磷酸化，将葡萄糖彻底分解为二氧化碳和水，并释放大量三磷酸腺苷。一旦缺氧，根系被迫启动无氧呼吸途径——乙醇发酵或乳酸发酵。

这一代谢“应急方案”不仅每分子葡萄糖仅净产两个三磷酸腺苷（仅为有氧呼吸的 1/20 至 1/18），还会产生乙醇、乙醛、乳酸等对细胞具有直接毒性的中间产物。这

些毒素在根细胞内积累，破坏膜脂双分子层，使蛋白质变性，导致根尖分生组织坏死，吸收根大量脱落。因此也可以说，水淹之下的树是被毒死的。

有氧呼吸每摩尔葡萄糖产生约 32 摩尔三磷酸腺苷，而无氧呼吸仅有 2 摩尔。能量供应的断崖式下跌，直接冲击根系主动运输能力。一旦能量告急，根系无法维持细胞内外的离子浓度梯度，导致钾离子外渗、钠离子和钙离子失衡，渗透压调节失灵，即便土壤中水分充沛，也无法被根系有效带入体内。于是出现一个反常识的景象：树体“生理干旱”——明明脚下有水，却渴死在水中。

长期淹水还引发根际微环境剧变。厌氧微生物大量繁殖，分解有机物产生硫化氢、甲烷、丁酸等有毒还原性物质。更致命的是，在强还原条件下，土壤中铁、锰等金属元素被还原为可溶性的低价态离子（亚铁离子、二价锰离子）。根系被动吸收这些过量重金属离子后，细胞内亚铁离子与过氧化氢反应，生成强氧化性的羟自由基，攻击植物的脱氧核糖核酸和膜脂，加速细胞衰老与死亡。

“自身毒素 + 能量枯竭 + 外源毒物”三重打击，最终使根系失去吸收功能，整株植物在数周至数月内不可逆地衰亡。

## 湿地公园不能强行填充为“水上森林”

并非所有树木都如此“怕水”。在植物进化史上，水淹生境催生了一批“湿生高手”，垂柳、枫杨、池杉、水松等具备通气组织，能将氧气从地上部分运输至根部，同时根系具有较高的酚脱氢酶活性，能快速代谢无氧呼吸产物。

然而，槐树、杨树、银杏、松树属于耐涝性中等或较弱的类别，适应排水良好、通气疏松的土壤环境。它们的根系缺乏通气组织，木质部导管对气泡栓塞敏感，淹水后形成层活动迅速减弱，初皮部运输受阻。尤其是银杏作为古老的裸子植物，其根系对缺氧极其敏感，水



湿地中的乔木因缺氧死亡。

董树斌 / 摄

淹超过 72 小时即出现不可逆损伤。

这一事件绝非孤例。近年来，全国各地湿地公园建设如火如荼，却普遍存在“绿化思维”惯性——片面追求绿量、林冠线和乔灌木结构，将本应属于河漫滩、浅水区的生态位强行填充为“水上森林”。这是对人居美学的一厢情愿，也是对植物生理规律的无视。

真正的湿地核心功能在于水文调节、水质净化和生物多样性维持，而这些功能更多依赖挺水植物、浮叶植物和沉水植物，而非木本植物。盲目种植乔木，不仅养护成本高昂，且一旦死亡，腐烂的根系还会污染水体，释放有机物和病原菌，造成二次生态风险。

## 如何拯救金盏淀枯树林

基于金盏淀现状，笔者提出以下分层对策，既尊重科学，也兼顾景观需求。

首先要紧急清理、断舍离、控病源。立即清除所有已确认死亡或濒临死亡的乔木，连同腐烂根系一并挖除，并对土壤进行翻晒或换填，降低厌氧菌负载。对尚存活力的树木，开凿深 20 至 40 厘米的放射状排水沟，人工加速落干，并施以过氧化钙颗粒，释放缓释

氧，缓解根际缺氧。

其次是分区栽植，以水定树、以地选种。远离常水位线（距水面 ≥ 5 米，高差 > 1.5 米），可保留耐旱或中性树种，如国槐、白蜡、栎树，但需控制密度，避免过度荫蔽。在间歇涝渍区（季节性淹水 < 30 天），选择耐湿乔木，如垂柳、旱柳、枫杨、榆树，它们可在短暂淹水下存活；同时搭配柽柳、紫穗槐等灌木。在常年水线边缘（淹没期 > 3 个月），彻底放弃乔木，回归湿生草本群落。推荐种植芦苇、香蒲、水葱、鸢尾、千屈菜、泽泻等本土湿生物种。它们根系通气发达，能净化水质，并为鸟类、两栖类提供栖息场所，生态效益更佳。

最后在湿地关键节点设置地下水自动监测仪，实时掌握水位波动，建立“水位—树种—生长量”数据库。当连续 7 天水位超过特定树种耐受阈值时，启动临时强排或人工补气措施。每年冬季枯水期进行底泥疏浚，减少有机物累积，从根源降低厌氧风险。

金盏淀的枯树告诉我们，湿地公园生态绿化不直接等于种树，更不等于把陆地风景照搬到水里。湿地有湿地的特征，那是芦苇摇曳、蛙鸣阵阵、水鸟掠过……

（作者系北京林业大学副教授）

## 发现·进展

西安交通大学第二附属医院

# 找到糖尿病“伤心”的关键原因

本报讯（记者李媛）西安交通大学第二附属医院教授丁铭恪课题组首次揭示高血糖诱导的内皮细胞代谢记忆，通过细胞外小囊泡（sEV）miRNA 的持续释放，驱动糖尿病心脏病不可逆进展，为破解“血糖控制好却仍发生心衰”的临床困境提供了答案。相关成果近日发表于《细胞·代谢》。

糖尿病是心力衰竭的重要危险因素，这种现象可能与“代谢记忆”效应相关，即高血糖引发的病理改变在血糖正常化后仍持续存在。研究团队发现，糖尿病即使使后期血糖恢复正常，其内皮细胞仍会通过“代谢记忆”持续分泌富含 miR-15-16 簇的 sEV，激活 FoxO1 信号通路，导致心肌细胞凋亡和心脏功能恶化。

上述主要结论在糖尿病心衰患者中得到证实。团队通过对糖尿病患者及健康志愿者血浆 sEV 的检测发现，左心室射血分数（LVEF）低于 50% 的糖尿病患者血浆 sEV 中 miR-15-16 水平显著升高，与 LVEF 呈显著负相关，而与血糖及糖化血红蛋白无显著相关性，表明糖尿病患者血浆 sEV miR-15-16 水平与心脏功能障碍独立相关，且不受血糖控制影响。

研究强调了糖尿病降糖治疗时间窗口的重要性。早期强化控糖或抑制 O-GlcNAc 修饰可有效阻断代谢记忆，而晚期干预因信号环路已固化难以逆转损伤，这解释了为何部分血糖控制良好的糖尿病患者心衰风险仍明显升高。该研究拓展了“代谢记忆”的理论框架——从传统的表观遗传调控延伸至蛋白翻译后修饰与细胞间通信，揭示了 sEV miR-15-16 作为跨组织代谢记忆载体的生物学功能，为开发“代谢记忆擦除”的新型疗法奠定基础。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2025.03.006>

中国科学院合肥物质科学研究院

# 揭示乳腺癌化疗疲劳早期神经影像特征

本报讯（记者王敏）中国科学院合肥物质科学研究院健康与医学技术研究所 / 合肥肿瘤医院医学影像中心研究员李海团队通过前瞻性纵向磁共振成像，观察乳腺癌患者辅助化疗最初两个周期内的疲劳、情绪健康及大脑皮层结构变化，为理解癌症相关性疲劳早期发生的神经 - 情绪关联提供了新的影像学证据。相关成果日前发表于《癌症》。

癌症相关性疲劳是乳腺癌患者化疗期间常见且负担较重的症状。研究团队纳入完成纵向随访和影像质量控制的 61 例乳腺癌患者及 41 名健康女性对照，分别在辅助化疗开始前和完成两个化疗周期后进行评估。研究融合了 3.0T 脑磁共振成像、疲劳与生活质量量表、抑郁和焦虑症状评定及客观认知筛查，并重点开展 3 方面分析。

结果显示，达到预设临床显著疲劳标准的乳腺癌患者比例由化疗前的 29.5% 上升至两个化疗周期后的 70.5%，而健康对照在两个时间点均未达到该标准。化疗早期，患者的疲劳、抑郁和焦虑症状总体加重，主观情绪健康和躯体健康状况也出现下降；客观认知筛查评分未显示显著的纵向变化或组别与时间交互效应。这提示，早期疲劳进展与情绪和生活质量变化同步出现，但尚不能据此将其简单归因于基础认知功能下降。

影像学分析发现，乳腺癌患者在化疗早期已出现多个皮层区域的微观结构变化，部分脑区同时伴有皮层厚度、平均曲率或局部脑回指数改变。进一步分析显示，左侧峡部扣带回皮层平均弥散率下降幅度越大，患者疲劳加重和主观情绪健康恶化越明显。

该研究将乳腺癌化疗相关脑改变的观察窗口前移至治疗初始阶段，提示皮层微观结构变化可能在完成两个化疗周期时即可被检测，并与疲劳及情绪健康变化相关。研究结果为进一步认识癌症相关性疲劳的“脑结构 - 情绪体验 - 疲劳症状”关联提供了新视角，也提示临床在化疗早期同步关注疲劳程度与情绪健康的重要性。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/cnrc.70558>

中国农业科学院茶叶研究所

# 揭示绿茶香气形成机制

本报讯（记者李晨）近日，中国农业科学院茶叶研究所团队揭示了“中茶 302”烘青绿茶二元关键嗅感物质的感知交互规律与分子预测机制，为阐明绿茶香气形成机理、精准调控茶叶香气品质提供理论支撑。相关成果在线发表于《前沿研究杂志》。

研究在前期工作基础上，整合风味稀释因子、香气强度值、等浓度香气强度评分等量化指标，结合香气缺失与添加试验，筛选得到 7 种关键“中茶 302”烘青绿茶风味特征的关键嗅感物质。研究人员进一步系统评价了 21 组二元香气混合物的感知交互作用，并基于真实茶叶基质开展感官验证，克服传统水相模拟体系偏差。

结果显示，水相体系中观测到的多数香气协同效应，在茶叶基质中往往弱化成为加成效应甚至完全消失。仅有香叶醇 + 水杨酸甲酯（加成作用）、香叶醇 + 反式 β-紫罗兰酮（掩盖作用）两组香气组合的交互模式在不同介质中保持稳定。研究证实，水杨酸甲酯与香叶醇能够协同结合 OR1G1 嗅觉受体介导香气识别，反式 β-紫罗兰酮则依靠空间位阻发挥香气掩盖作用。

研究表明，绿茶关键香气物质主要通过加成、掩盖两类方式发生互作，配体与嗅觉受体结合模式的差异是香气感知分化的核心原因，茶叶基质可显著调控香气交互行为。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1016/j.jare.2026.07.031>