



2023

清华大学地球系统科学系

研究导报

DEPARTMENT OF EARTH SYSTEM SCIENCE
TSINGHUA UNIVERSITY



观测 · 过程 · 模式 · 管理





CONTENTS



▶▶ 新年贺词

- 2 清华大学地球系统科学系二〇二三年新年贺词

▶▶ 地球系统观测

- 5 清华大学在地理信息领域首次主持制定的 ISO 国际标准正式发布
- 6 清华大学地学系俞乐课题组与李伟课题组合作揭示近年来东南亚油棕种植园扩张侵占碳密度较高的森林
- 7 清华大学地学系访问副教授谢尔盖课题组揭示未来全球火灾变化将通过增加陆地碳汇来减缓全球变暖
- 9 清华大学地学系俞乐课题组发文提出多时空尺度土地覆盖监测系统 FROM-GLC Plus
- 11 清华大学地学系俞乐课题组评述了全国土地调查结果对中国未来可持续土地利用的启示
- 12 清华大学地学系徐冰课题组发文揭示奥运会对城市绿地重塑的广泛影响
- 14 清华大学地学系徐冰课题组发布 2020 年中国海岸带 10 米土地覆盖遥感制图

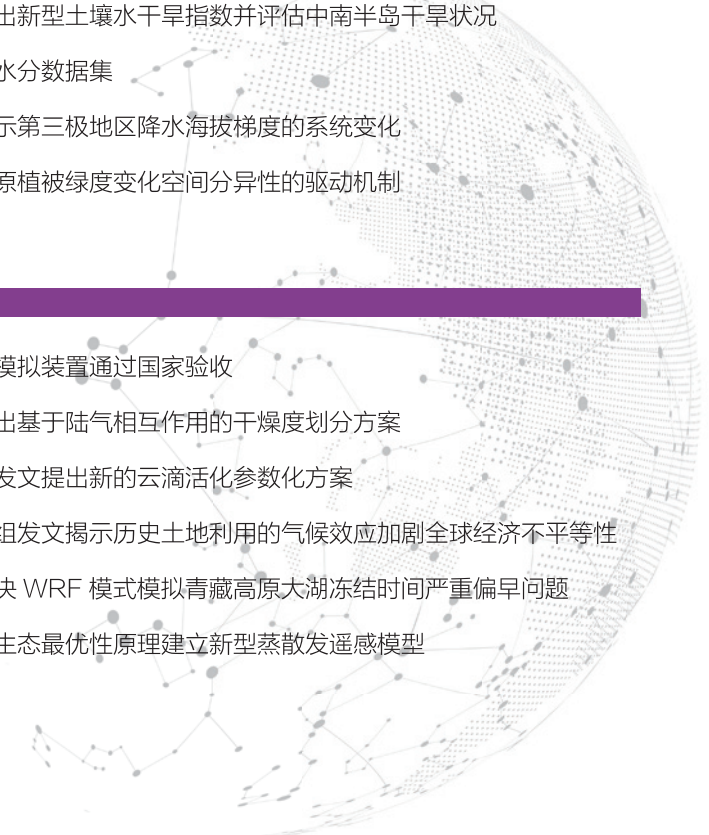
▶▶ 地球系统过程

- 15 清华大学地学系王勇课题组与合作者发文揭示季风前期印度黑碳和气候相互作用调控沙尘浓度

- 17 清华大学地学系王勇课题组发文揭示自适应对流方案在不同分辨率下保持小雨不变对气溶胶模拟的重要性
- 19 清华大学地球系统科学系林光辉课题组发文探讨红树林蓝碳全碳库定量估算新方法
- 21 清华大学地学系卢麾课题组发文提出新型土壤水干旱指数并评估中南半岛干旱状况
- 23 再次更新！全球长时序日尺度土壤水分数据集
- 24 清华大学地学系阳坤课题组发文揭示第三极地区降水海拔梯度的系统变化
- 25 清华地学系王焱课题组揭示青藏高原植被绿度变化空间分异性的驱动机制

▶▶ 地球系统模拟

- 28 清华大学参与共建的地球系统数值模拟装置通过国家验收
- 29 清华大学地学系卢麾课题组发文提出基于陆气相互作用的干燥度划分方案
- 32 清华大学地学系彭怡然研究组合作发文提出新的云滴活化参数化方案
- 33 清华大学地球系统科学系王勇课题组发文揭示历史土地利用的气候效应加剧全球经济不平等性
- 35 清华大学地学系阳坤课题组初步解决 WRF 模式模拟青藏高原大湖冻结时间严重偏早问题
- 36 地学系阳坤课题组结合陆面过程和生态最优性原理建立新型蒸散发遥感模型





CONTENTS



地球系统管理

- 38 清华大学地学系张强课题组和同丹课题组合作发文指出减污降碳协同是降低中国空气污染健康损失的必由之路
- 39 清华大学地学系关大博教授课题组合作发文揭示东非区域二氧化碳排放时空演进格局和驱动因素
- 41 清华大学地学系刘竹课题组发文探讨 2021 年全球碳排放变化
- 42 清华大学地学系关大博课题组构建全球新兴经济体全区域近实时投入产出模型 (EMERGING)
- 44 清华大学地学系张强课题组揭示中国清洁空气行动的碳减排协同效益
- 45 中国距离“双碳”目标还有多远? 38 城已达峰
- 46 清华大学地学系刘竹课题组揭示全球主要城市近实时日尺度碳排放
- 48 清华大学教授领衔国际研究团队提出全球气候变化减排新视角
- 50 《2022 柳叶刀人群健康与气候变化倒计时报告》发布会在京举行
- 53 清华大学蔡闰佳课题组发文揭示中国燃煤机组利用生物质掺烧及碳捕获与封存技术实现负碳排放潜力
- 55 清华地学系蔡闰佳课题组合作从劳动生产率角度揭示碳中和成本效益比的区域分异特征

建设与影响

- 57 清华大学地学系张强课题组成果入选“2021 年度中国生态环境十大科技进展”
- 58 喜报! 清华大学地学系“计算地球科学团队”荣获“清华大学先进集体”称号
- 59 清华大学地球系统科学系张强教授获 2022 年“科学探索奖”
- 60 清华大学地学系五人入选 2022 年度全球高被引科学家榜单
- 60 清华大学地学系同丹助理教授获第五届青橙奖
- 61 清华大学地学系刘竹副教授受邀担任前沿星球奖评委
- 62 《中国碳中和与清洁空气协同路径 (2022)》报告发布会顺利召开





清华大学地球系统科学系 二〇二三年新年贺词

尊敬的各位领导、专家、校友，老师们、同学们、朋友们：

律回春渐，新元肇启。值此 2023 年新年到来之际，我们谨向全系师生员工及家属、全球校友，向长期以来关心支持清华地学系发展的各级领导、兄弟院系、社会各界朋友致以崇高的敬意、诚挚的问候和新年的祝福！

在刚刚过去的 2022 年，我们深入学习贯彻党的二十大精神，深刻认识教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑，努力践行科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力，不断增强为推动绿色发展、促进人与自然和谐共生做贡献的能力。2022 年也是清华新百年第二个十年的新起点，学校召开了第十五次党员代表大会，绘就了在迈向世界一流大学前列关键时期高质量发展的美好蓝图。全系师生员工切实落实学校“十四五”和中长期发展目标，加快步伐，乘势而上，取得了令人欣喜的新成绩。

这一年，地学系服务国家实现“双碳”目标的重重大战略需求，在碳排放核算技术、减污降碳协同应对、气候变化与人类健康等方面进一步开展交叉学科联合攻关，持续推进地球系统观测、地球系统过程、地球系统模式和地球系统管理等各学科方向发展。清华地学系参与共建的地球系统数值模拟装置通过国家验收，为“大国重器”建设贡献了清华智慧。我们努力开辟地球系统科学发展新领域新赛道，不断塑造发展

新动能新优势，勇于把握发展新机遇新局面，加快建设清华风格、中国特色、世界一流地学学科。

在师资队伍建设方面，地学系围绕“十四五”人才工作总体目标，贯彻《清华大学关于新时代进一步实施人才强校核心战略的若干意见》，着力造就拔尖创新人才，解决人才工作中存在的问题与不足。白玉琪、黄小猛和蔡闻佳晋升特聘教授。林岩銮、俞乐入选国家人才项目。

在提高人才自主培养质量方面，地学系加强课程思政建设，进一步完善优化课程体系。完成生态学和大气科学两个学科合格性评估工作，申报并成功获批大气科学一级学科博士学位授权点。地球系统科学本科辅修专业获批，并于 2022 年秋季开始招生。研究生党支部充分发挥战斗堡垒作用，积极参与抗击新冠疫情志愿活动，地学系研团总支等集体获得战疫“清”年集体荣誉。2022 届毕业生岳思好获清华大学毕业生启航奖金奖，2018 级博士生任浙豪获清华大学蒋南翔奖学金、林枫辅导员奖荣誉，2021 级博士生周宇峰获清华大学“一二·九”辅导员奖荣誉。

这一年，地学系持续发挥在地球系统模式、大气化学与大气环境、天气气候等领域鲜明特色和显著优势，2022 年软科世界一流学科大气科学全球排名上升至 26 位；在 2023 年 US News 的大气和气象排名全球第 9 位。清华生态学科已在生态系统生态学、全球变化生态学、可持续发展生态学等领域形成了良好的学术声誉，在 2023 年 US News 环境 / 生态学

学科排名中清华名列全球第 4 位。

在科学研究产出方面，2022 年度地学系师生共发表 SCI 和 SSCI 论文 290 余篇。地学系关大博和蔡闻佳研究团队分别发布了《新兴经济体二氧化碳排放报告 2022》《柳叶刀倒计时人群健康与气候变化报告 2022》（全球报告和中国版报告）。张强、阳坤、关大博、刘竹和同丹老师入选 2022 年度科睿唯安“高被引科学家”。卢麾课题组“长时序地表土壤水分数据集”成果获 2021 年度十大最具价值共享开放遥感数据集奖项。张强课题组领衔完成的科研成果“大气污染时空变化驱动力研究”入选“2021 年度中国生态环境十大科技进展”。张强荣获 2022 年“科学探索奖”，同丹荣获第五届青橙奖。“计算地球科学团队”荣获 2021 年“清华大学先进集体”称号。刘竹受邀担任前沿星球奖评委。2022 年，地学系教师共获得 34 个纵向项目资助，包括 13 项国家自然科学基金项目课题，以及 7 项国家重点研发计划课题。代表性成果包括：

1. 为研究量化 2013 年《大气污染防治行动计划》实施以来中国清洁空气行动对全国碳排放的协同减排贡献，张强课题组回顾和梳理了中国清洁空气行动中落后产能淘汰、工业燃煤锅炉整治等五项协同减排措施，在自主研发的中国多尺度排放清单模型的基础上进一步构建措施级别协同减排效应评估技术，最终核算出清洁空气行动产生的碳减排协同效益。该成果近日以“2013-2020 年中国清洁空气行动的二氧化碳减排协同效益”为题在《自然·通讯》上发表。

2. 刘竹课题组利用研发的全球近实时碳排放数据库（Carbon Monitor），实现了全球碳排放量的近实时监测，更新了最新的全球剩余碳预算量。成果以“2021 年全球碳排放监测”为题在《自然综述：地球与环境》上发表。团队基于统计、遥感、观测等多源数据，构建了近实时人为源碳排放核算模型，量

化评估了全球电力、工业、交通、居民等多部门的日尺度碳排放变化，系统分析了新冠疫情第一年期间（2020 年）全球各国分部门逐日碳排放的变化特征。研究成果以“新冠疫情首年的全球日二氧化碳减排特征分析”为题，在线发表在《自然·地球科学》杂志上。课题组还分析了北京居民出行方式对不同年龄层和不同性别的健康协同效益。成果以“城市交通脱碳的协同效益的情景分析”为题发表在《柳叶刀·星球健康》期刊上。

3. 王勇联合国内外多个课题组，利用观测数据、长期再分析数据和气候模式模拟等研究手段，对印度季风前期的黑碳气溶胶如何通过与气候的相互作用来调控沙尘浓度并对季风降水影响展开了分析，并特别针对 2020 年 COVID-19 时期的情况进行了细致的机理分析。成果以“基于 COVID-19 揭示的印度地区黑碳 - 气候相互作用对沙尘的调控”为题，发表在《自然·通讯》上。课题组结合第六次耦合模式比较计划（CMIP6）多模式多集合的气候模拟试验和温度 - 经济评估模型，研究了自 1850 年以来的土地利用通过生物地球物理过程和生物地球化学过程对全球地表平均气温和逐日气温变率以及对全球经济的影响。成果以“历史土地利用的生物地球物理和生物地球化学效应对全球经济不平等的相反影响”为题，发表在《自然·通讯》上。

4. 俞乐和李伟课题组组织国内外合作，结合高分辨率生物量数据和油棕种植园面积变化数据集，估算了 2001-2015 年间油棕侵占森林造成的累积森林生物量损失，发现 2007 年之后油棕种植园扩张侵占了碳密度更高的森林。研究以“近年来油棕种植园扩张侵占了碳密度较高的森林”为题在《自然·可持续性》上发表。

5. 地学系访问副教授谢尔盖（Sergey Venevsky）和课题组博士毕业生、耶鲁大学博士后

武超联合中英美德和南非等国研究人员，利用集成了34个地球系统模式的大气-火灾-碳循环耦合模型，定量分析了历史和未来火灾动态变化对全球大气-碳循环的反馈作用。研究成果以“人类活动所导致的全球火灾减少通过增加陆地碳汇减缓全球变暖”为题在《美国国家科学院院刊》上发表。

6. 为评估气候治理政策与空气污染治理政策对保护人群健康的影响，张强和同丹课题组构建了18组不同力度的两种政策的组合情景。对各个情景下中国未来PM_{2.5}污染暴露水平变化的模拟与相关健康损失测算结果指出，减污降碳协同是降低中国空气污染健康损失的必由之路。该成果以“Role of climate goals and clean-air policies on reducing future air pollution deaths in China: a modelling study”为题在《柳叶刀·星球健康》上发表。

7. 蔡闻佳课题组联合国内外团队，量化评估了全球17个主要国家和地区实现碳中和目标所带来的减排成本，测算了降低高温相关的劳动生产率损失带来的减排效益，识别了成本效益相对关系与时空分布情况。该研究以“碳减排的劳动生产率及经济影响：建模研究和与成本效益分析”在《柳叶刀·星球健康》上发表。

在国际合作与交流方面，与世界气象组织初步达成战略合作意向。地学系与英国埃克塞特大学联合培养博士生项目持续推进。虽受疫情影响，2022年仍派出师生12人次参加国际会议和学术交流。继续开展“全球变化青年人才基金”评审工作，奖励从事全球变化与地球系统科学研究的中国优秀青年学生。

在实验室建设方面，地球系统数值模拟教育部重点实验室完成了换届，并开展了第十一届浪潮奖评选以及2022年度开放基金的发布等工作。东亚迁徙鸟类与栖息地生态学教育部野外科学观测研究站鄱阳湖基地揭牌，野外观测系统建设进入快车道。

2022年，地学系党委在学校党委的坚强领导下组建了防控疫情专项工作领导小组、疫情防控专项办公室，将疫情防控服务保障措施落实落细。在校内疫情形势严峻、原有保障体系受到严重冲击的关键时刻地学系抗疫突击队进驻学生宿舍，表现出清华地学人的勇毅和担当，实现了疫情防控不松懈、教学科研不停步、改革发展不放松。

饮水思源。我们深知，这些进步离不开徐冠华院士、郭华东院士等科学指导委员会成员、学校各级领导、兄弟院系以及社会各界同仁的鼎力支持！再次衷心感谢大家给予我们的厚爱和指导！希望继续得到大家更多的关怀和支持！

行稳致远，进而有为。回首来时路，我们御风以翔，破浪以飏；展望前行路，我们奋楫扬帆，踵事增华。2023年，清华地学系将继续夯实学科建设这一发展根基，坚持立德树人根本任务，着力提升高层次人才培养能力，把服务国家全球变化应对、“双碳”目标实现、以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴作为最高追求，在地球系统科学研究新兴领域和交叉学科研究方面书写更加美好的新篇章。

诚挚祝愿大家在新的一年里身体健康，阖家幸福，工作顺利！

清华大学地球系统科学系
2023年1月1日



清华大学在地理信息领域 首次主持制定的 ISO 国际标准正式发布

近日，国际标准化组织 (ISO) 正式发布了清华大学在地理信息领域首次主持制定的国际标准 ISO 19130-3。

地球系统科学系白玉琪研究员主持了《地理信息影像传感器的地理定位模型 第3部分：实现模式》(ISO/TS 19130-3:2022 Geographic information — Imagery sensor models for geopositioning — Part 3: Implementation schema) 国际标准的制定，来自中国、美国、加拿大、德国、法国的多位专家历时两年半共同完成该标准的研制任务，地球系统科学系2017级博士生金梦全程参与了标准研制工作。

长期以来，遥感影像地理定位过程采用的传感器模型没有标准的编码方案。因此，各类数据中心都只提供遥感影像，不能提供其地理定位过程的参数。遥感数据用户虽然能获得影像像素的空间位置，但无法了解其定位过程，难以判断其定位精度，也难以实现定量遥感数据产品的定位精度评价。传感器模型的编码方案是破解这一难题的重要方法。

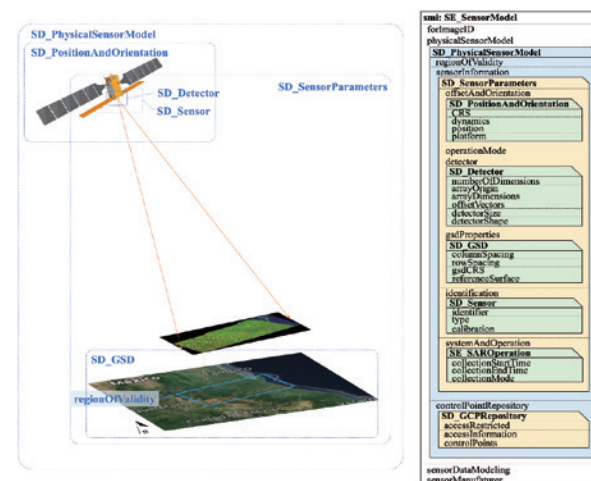
然而，目前 ISO 和开放地理空间信息联盟 (OGC) 各自提出的地理定位过程模型差异明显。ISO 19130-1 和 ISO 19130-2 提出了地理定位模型的概念定义，但没有编码方案。另一方面，OGC 从地理信息服务的角度提出

了地球观测传感网等系列标准，但缺乏对具体的成像方式和过程本身的描述。研究组从抽象程度、对象定义、属性设置等多个方面分析对比了已有模型，提出了模型拆解和映射的方法，实现了语义和语法相融合的具体方案，定义了84个类和377个参数的详细编码方案，涵盖了光学、合成孔径雷达 (SAR)、干涉合成孔径雷达 (InSAR)、激光雷达 (lidar)、声纳 (sonar) 等7大类被动观测和主动观测情形，适用于世界气象组织所统计的619种地球卫星观测传感器类型中的90%，也适用于大多数的航空传感器。

研究组进一步在 ISO 地理信息技术委员会 (TC 211) 中推进此项研究成果的标准规范研制工作，前后查阅了超过2500页相关的 ISO 和 OGC 标准文本，确保了标准文本和参考附录的科学性、系统性和精确性，最终完成了 ISO 19130-3 标准的制定工作。ISO 19130-3 标准解决了遥感影像地理定位模型编码方案长期缺失的难题，有助于多源遥感数据的精准快速融合和地理定位信息的可信度检验。该项标准增强了遥感影像地理定位信息处理的模块化和标准化的程度，提升了遥感地面系统软件的兼容性和健壮性。该项成果也为“可信遥感”和“对地观测可信互操作”的研究提供了技术支撑。

白玉琪研究员在主持该项国际标准研制期间，经过国家推荐、竞争性评选、委员会面试、成员国投票表决等环节，于2020年1月全票当选为 ISO/TC 211 信息团体工作组 (Information Community Working Group) 召集人，成为我国自1994年加入 ISO/TC 211 以来第一位担任工作组召集人的中国专家。

ISO 是一个独立的非政府组织，成立于1947年。它目前拥有来自165个成员 (包括国家和地区)。ISO 的战略目标是汇集专家，共享知识，并以自愿的和基于共识的方式制定国际标准，以持续地支持创新并为全球挑战提供解决方案。ISO/TC 211 成立于1994年，专注于地理信息领域的标准化工作。



清华大学地学系俞乐课题组与李伟课题组合作 揭示近年来东南亚油棕种植园扩张侵占碳密度较高的森林

近日，清华大学地学系俞乐课题组联合李伟课题组等国内外多个课题组，结合高分辨率生物量数据和油棕种植园面积变化数据集，估算了 2001-2015 年间油棕侵占森林造成的累积森林生物量损失，发现 2007 年之后油棕种植园扩张侵占了碳密度更高的森林。

油棕扩张是热带地区森林砍伐的重要驱动因素之一，对热带森林及其生态系统服务（如固碳能力）构成威胁。但是，油棕扩张侵占森林对区域碳储量的影响研究仍缺乏精细化的时空动态分析。现有研究主要依据野外观测获取

的生物量数据和油棕变化面积估算油棕扩张造成的区域碳储量变化，较少考虑空间上的差异。因此，对油棕扩张引起的生态系统碳储量变化的估算仍存在较大不确定性。

针对上述问题，课题组基于此前发表的马来西亚和印度尼西亚油棕种植园分布数据 (<https://www.earth-syst-sci-data.net/12/847/2020/essd-12-847-2020.html>)，结合 2010 年全球地上生物量数据 (GlobBiomass2010)，使用空间替代时间的研究方法，揭示了 2001-2015 年间马来西亚和印度尼西亚油棕侵占

森林引起的植被碳储量变化的时空分布，分析了油棕种植园规模与碳密度变化的关系。

2001-2015 年期间，研究区油棕向森林扩张造成了每年 $50.2 \pm 21.9 \text{ TgC}$ 的森林生物量损失 (图 1)。其中，大型工业油棕种植园的面积扩张及造成的碳损失总量最高。如果综合考虑油棕种植园扩张造成的森林生物量损失、油棕生长带来的生物量增加、油棕扩张造成的边缘森林的生物量减少以及扩张前后的土壤碳损失等多种因素，研究时间段内的总碳损失高达 $1063.7 \pm 409.6 \text{ TgC}$ 。2001-2015 年间，油棕种植园的土地利用转化来源更多来自次生林而非传统估算方法中使用的原生林。2007 年后，油棕种植园逐渐从侵占碳密度较低的森林转向侵占碳密度较高的森林。这种变化趋势在以小农为主的小型油棕种植园中最为明显 (图 1d)。

研究进一步分析了保护区内油棕扩张侵占森林的面积及相应的森林生物量损失，发现在印度尼西亚和马来西亚的 405 个保护区中，有 395 个保护区发生了油棕扩张侵占森林的现象。2001-2015 年间，保护区内的油棕种植面积持续增加 (从 0.03 增加到 0.12 百万公顷)，保护区内外油

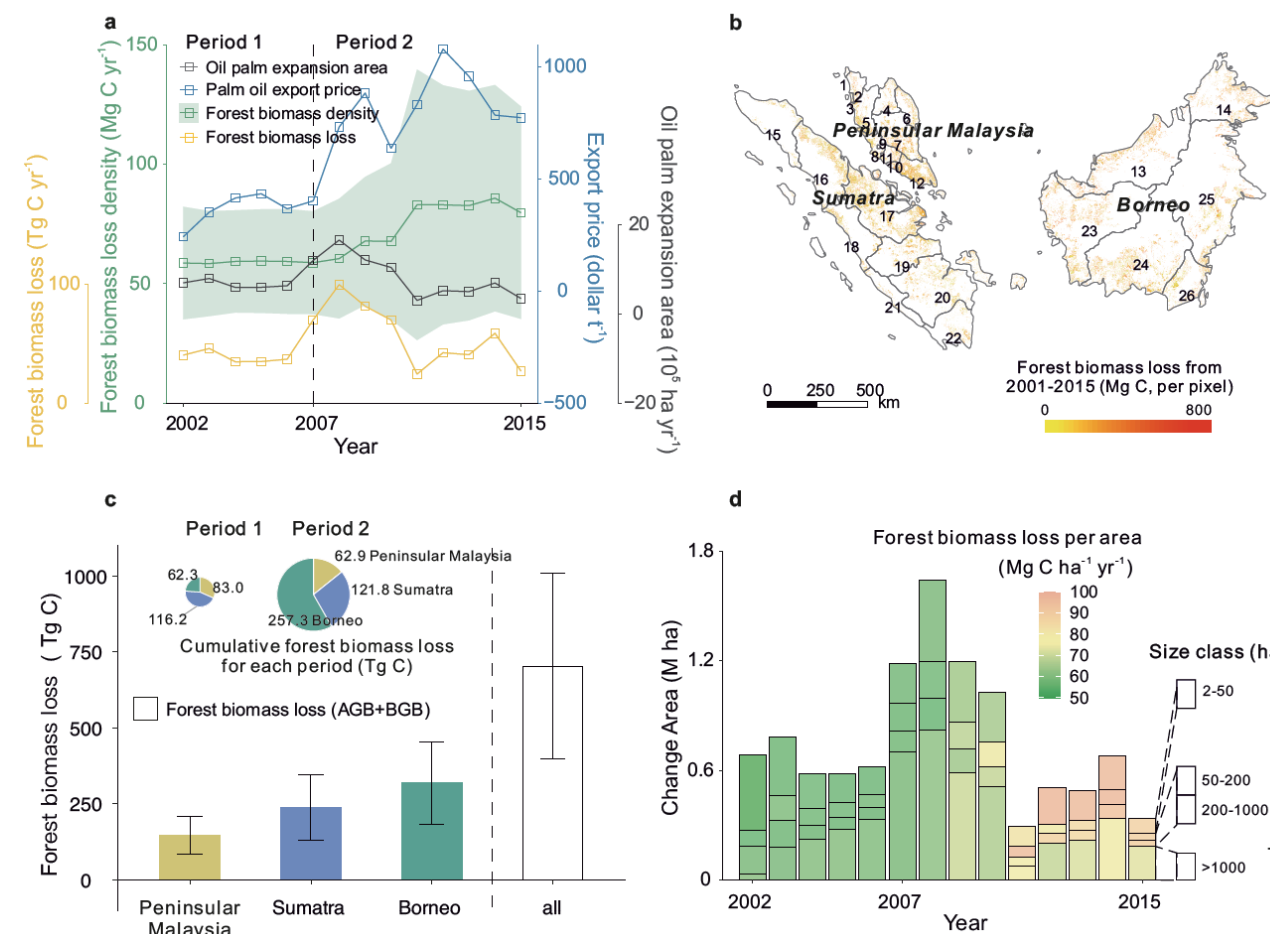
棕扩张造成的森林生物量损失比例从 0.7% 增加到 1.5%。

研究证实了油棕扩张在区域土地利用变化碳排放中的重要性。研究指出，决策者应当制定更有效的政策，以防止油棕扩张侵占高碳储量的森林或保护区。

上述研究以“近年来油棕种植园扩张侵占了碳密度较高的森林” (Recent expansion of oil palm plantations into carbon-rich forests) 为题，于 2022 年 4 月 14 日在《自然 - 可持续性》(Nature Sustainability) 期刊在线发表。

清华大学地学系毕业生徐伊迪为论文第一作者；清华大学地学系俞乐副教授和李伟副教授为论文共同通讯作者。合作者包括法国气候与环境科学实验室 (LSCE) 菲利普·西亚斯 (Philippe Ciais) 教授、伽马遥感公司的毛里齐奥·桑托罗 (Maurizio Santoro) 博士、马克斯 - 普朗克生物地球化学研究所杨卉博士和香港大学宫鹏教授。该研究得到了国家重点研发计划项目、清华大学自主科研计划以及国家重点科技基础设施项目的支持。

全文链接: <https://www.nature.com/articles/s41893-022-00872-1>



油棕种植园面积扩张造成的森林生物量损失。

清华大学地学系访问副教授谢尔盖课题组揭示 未来全球火灾变化将通过增加陆地碳汇来减缓全球变暖

作者 / 武超

火灾 (或野火) 是陆地生态系统重要的气候驱动干扰因子, 同时也受到人类活动的影响 (例如人为火源或灭火)。火灾释放的二氧化碳的时空变化影响全球碳循环并对气候系统产生反馈作用。然而, 我们对未来火灾活动的变化究竟会加剧还是减缓气候变化知之甚少。以往研究表明, 火灾 - 碳循环 (植被) - 气候耦合系统中涉及到两类反馈: 一方面, 气候变暖可能加剧未来火灾的发生, 火灾向大气中释放更多的二氧化碳, 从而加剧全球变暖, 形成火灾 - 碳循环 - 气候间的正反馈; 另一方面, 由于人类活动的影

响 (例如农田扩张、城市化等), 近期全球火灾呈下降趋势, 而减少的火灾一定程度上会通过增加陆地碳汇来减缓全球变暖的趋势, 形成负反馈过程。这两种相反的反馈机制在陆地生态系统中同时存在并呈现显著的区域差异, 其净影响可能随着未来气候和人类活动的变化而发生改变。因此, 在研究火灾变化所导致的全球气候 - 碳循环的反馈作用时, 需同时考虑以上两类反馈机制。

近日, 清华大学地球系统科学系 (以下简称地学系) 访问副教授谢尔盖 (Sergey Venevsky) 和课题组博士毕

业生、耶鲁大学博士后武超(现为犹他大学博士后)联合中、英、美、德和南非等国研究人员,利用集成了34个地球系统模式的气候-火灾-碳循环耦合模型,定量分析了历史和未来火灾动态变化对全球气候-碳循环的反馈作用。研究成果以“人类活动所导致的全球火灾减少通过增加陆地碳汇减缓全球变暖”(Reduced global fire activity due to human demography slows global warming by enhanced land carbon uptake)为题,在线发表于国际顶级杂志《美国国家科学院院刊》(Proceedings of the

National Academy of Sciences)。

该研究基于谢尔盖课题组2021年发表于《细胞》(Cell)姊妹刊《一个地球》(One Earth)(<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.002>)的研究框架,原模型得到了重新改进及校正。通过大量的全球尺度耦合模型模拟,将包含动态火灾过程的“标准”模拟试验与假想的全球“恒定”火和“无火”的模拟结果进行对比,并对其气候和人类活动所产生的火灾预估不确定性进行了定量分析。研究发现,与工业革命前全球火灾分布格局相比,

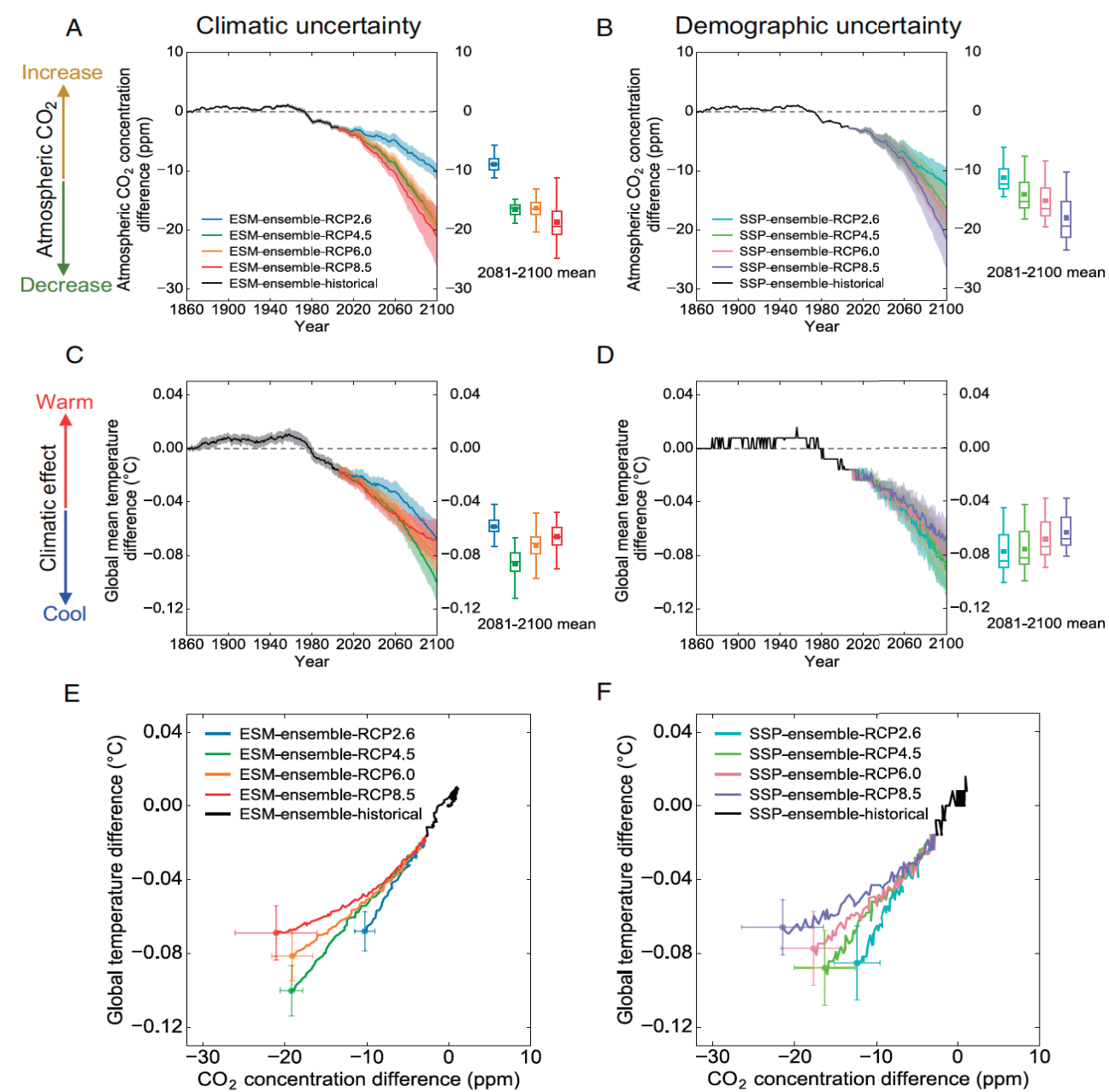
由于人类活动的影响,全球历史火灾呈现下降趋势。另外,很多未来情景预估火灾将继续减少。模型模拟结果表明,全球未来减少的火灾可能通过增加陆地碳汇而在一定程度上减缓全球变暖。到本世纪末减缓幅度最大为0.11摄氏度,相当于抵消当前5至10年全球人为二氧化碳排放量。同时,研究团队还发现,动态的火灾所导致的全球相对冷却效应在未来低排放情景下更为明显。

该研究强调人类活动(火源和灭火)与气候因素对火灾的影响同样重要,仅考虑气候变化对火灾的影响很可能无法全面预估未来火灾的动态变化。研究指出,火灾减少虽然有利于增加碳汇,但在制定未来保障人类福祉的政策时,也应考虑火灾减少的负面影响,包括火灾依赖生态系统(例如非洲热带稀树草原)中的生物多样性丧失以及局地重大火灾发生风险的增加。研究强调,因火灾活动减少带来的任何碳汇收益不应替代其他应对气候变化的行动,基于自然的气候解决方案(包括火灾管理)不能替代减排

来减缓全球变暖。

清华大学地学系2019届博士毕业生、耶鲁大学博士后(现为犹他大学博士后)武超为论文第一和通讯作者,英国埃克塞特大学生命与环境科学学院斯蒂芬·西奇(Stephen Sitch)教授、丽娜·梅尔卡多(Lina Mercado)副教授、英国生态与水文中心克里斯·亨廷福德(Chris Huntingford)教授,地学系访问副教授谢尔盖·维涅夫斯基(Sergey Venevsky),德国森肯伯格生物多样性与气候研究中心吉塔·拉斯洛普(Gitta Lasslop)博士、南非金山大学动物、植物与环境科学学院萨莉·阿奇博尔德(Sally Archibald)教授以及美国耶鲁大学生态与进化生物学系卡拉·斯塔弗(Carla Staver)副教授等为论文合作者。该研究得到了科技部重点研发计划、国家自然科学基金等项目支持。

全文链接: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2101186119>



动态火灾所导致的大气二氧化碳含量(A, B)及全球平均温度(C, D)的变化。E和F:全球平均温差对火灾碳排放变化引起的大气二氧化碳浓度差异的敏感性。

清华大学地学系俞乐课题组发文提出 多时空尺度土地覆盖监测系统 FROM-GLC Plus

作者/俞乐 杜贞容

在开展可持续发展研究决策、地球系统模式开发、资源管理、生态环境评价等工作中,离不开时空连续的高时效高精度全球土地覆盖数据作为基础数据。当前,土地覆盖制图数据在时空跨度、时空精细程度、快速变化监测能力等方面仍存在局限。近日,清华大学地学系俞乐课题组以宫鹏教授团队构建的FROM-GLC系统为基础,提出了多时空尺度土地覆盖监测系统FROM-GLC Plus(FGP)。

在时间更新频率方面,FGP系统可根据监测需求,开展逐年至逐日的灵活高频土地覆盖变化监测;在空间尺度方面,FGP系统可结合高空间分辨率遥感数据,利用超分辨率算法获取30米至米级/亚米级的土地覆盖制图产品(图1);此外,还能够结合国产高分系列卫星数据、Planet小卫星数据等开展灵活制图。目前,该系统生成的部分数

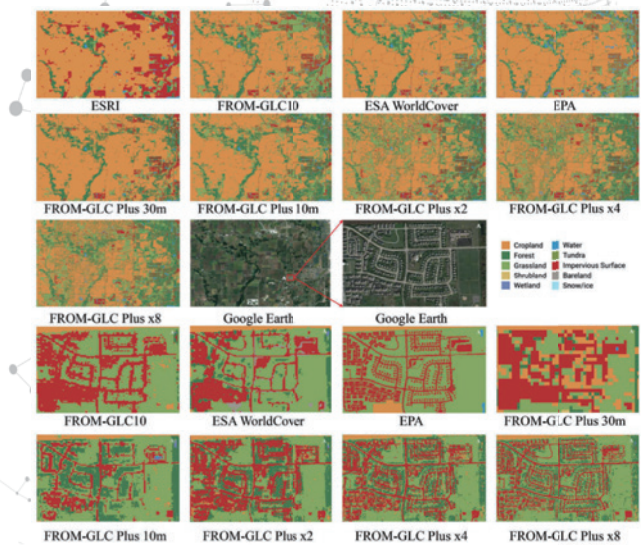


图1.FGP多空间分辨率土地覆盖制图(以美国芝加哥市为例)

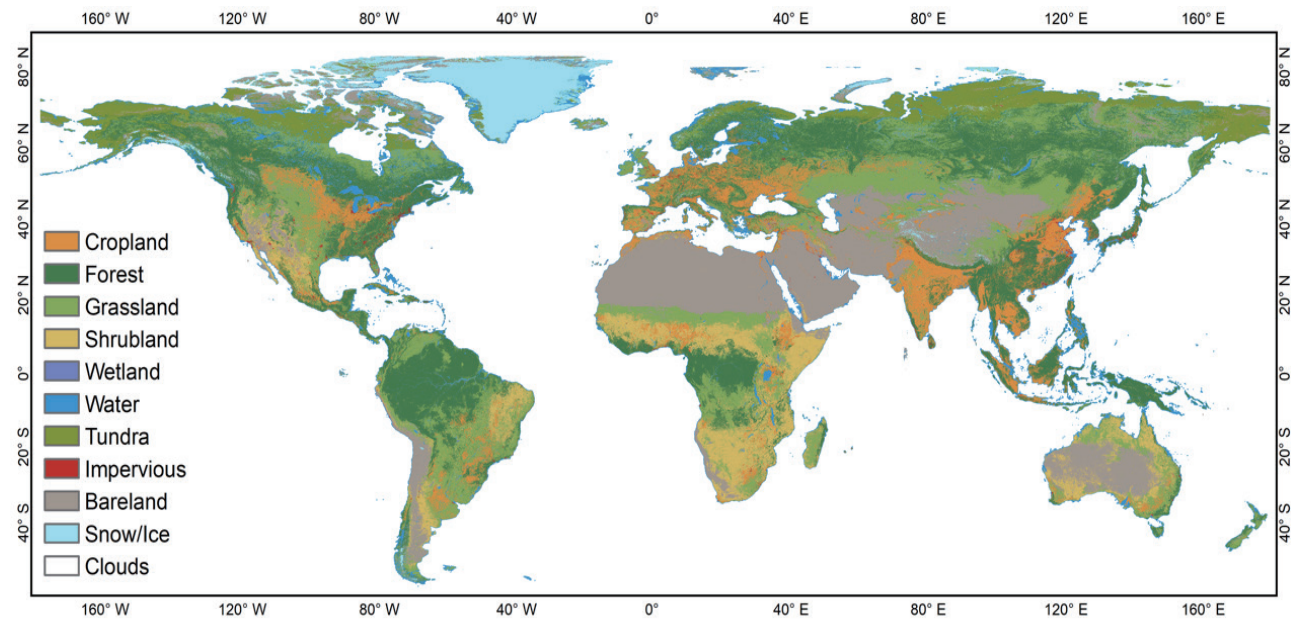


图 2.FGP 全球土地覆盖制图 (30 米, 2021 年)

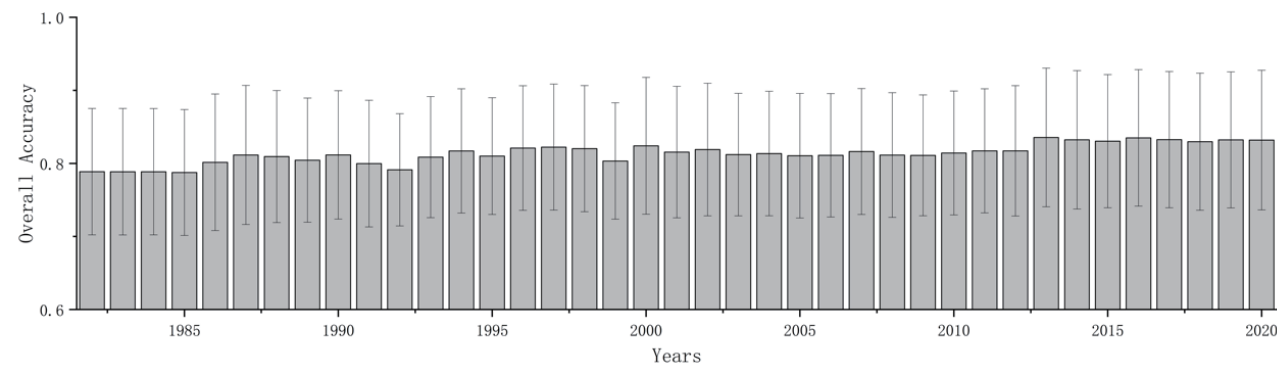


图 3.FGP 全球土地覆盖制图逐年精度 (30 米, 1982-2020 年)

据已被联合国粮农组织 (FAO) 应用于区域耕地监测和变化分析。

上述研究成果以“FROM-GLC Plus: toward near real-time and multi-resolution land cover mapping”为题, 发表于《地理信息科学与遥感》(GIScience & Remote Sensing) 期刊。

采用 FGP 系统初步完成的全球土地覆盖数据 (图 2) 具有较为稳定的分类精度 (图 3)。全球 1982 年以来的逐年 30 米土地覆盖数据将通过 FAO 数据管理系统 (FAO CKAN) 提供可视化地图服务。

清华大学地学系俞乐副教授为论文第一作者和通讯作者, 合作者包括清华大学地学系付昊桓教授团队、清华大

学计算机科学与技术系杨广文教授、联合国粮农组织郝鹏宇博士、中国科学院空天信息创新研究院仲波副研究员和彭代亮研究员、中国农业大学杨建宇教授、香港大学宫鹏教授。研究得到国家重点研发计划项目、清华大学自主科研项目和国家重大科技基础设施项目“地球系统数值模拟装置”支持。

全文链接: <https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2096184>

FROM-GLC Plus 全球 30 米逐年土地覆盖数据浏览链接: <https://leyu.users.earthengine.app/view/from-glc-plus>

清华大学地学系俞乐课题组评述了全国土地调查结果对中国未来可持续土地利用的启示

作者 / 陈鑫

中国开展的全国土地调查是一项重大的国情国力调查,其构建的土地利用数据库准确可靠,可满足在城市管理、耕地保护和环境治理等方面的工作需求。第三次全国国土调查 (以下简称三调) 主要数据成果已于 2021 年 8 月公布。为深入探讨中国土地可持续利用所面临的挑战,清华大学地学系俞乐副教授课题组回顾了世界主要发达国家 (英国、美国、澳大利亚、日本) 全国土地调查的历史与现状 (图 1); 梳理了中国三次土地调查在所用数据、核心调查技术、主要成果等方面的发展与差异; 利用发布的历次土地调查数据, 结合社会经济、遥感数据等辅助数据, 揭示了当前中国在土地利用方面存在的主要问题; 讨论了中国实现土地可持续利用目标所需开展的下一步工作; 并评估了卫星遥感技术及其衍生的土地覆盖产品在更好地支持未来国家土地调查方面的潜力。研究成果可为未来中国可持续土地利用提供重要参考, 相关成果以“Toward sustainable land use in China: A perspective on China’s national land surveys”为题, 在线发表于国际土地政策期刊《Land Use Policy》。

研究发现, 在上世纪三四十年代, 世界主要经济发达国家就已经开展了全国性土地资源调查。虽然中国全国土地调查起步较晚, 但是从一调到二调、再到三调, 在所用国产卫星数据占比、核心调查技术水平、主要成果精度等方面均有显著提升。对比二调和三调的主要数据成果, 结合其他辅助数据, 研究采用数据包络分析和土地覆盖转移矩阵等方法分析发现, 目前中国存在耕地萎缩、建设用地效率降低、生态修复项目瞄准效率有待提高等土地利用问题 (图 2)。针对以上问题, 研究为实现未来中国土地可持续利用目标提出了改进措施建议。最后, 研究对比发现 6 个卫星遥感土地覆盖产品与三调数据具有较好的拟合度, 说明卫星遥感技术在支持未来国家土地调查方面具有较大的潜力。

清华大学地学系博士后陈鑫为文章第一作者, 合作导师俞乐副教授为通讯作者。研究工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金委项目、中国博士后科学基金以及清华大学自主科研计划的支持。

论文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837722004550>

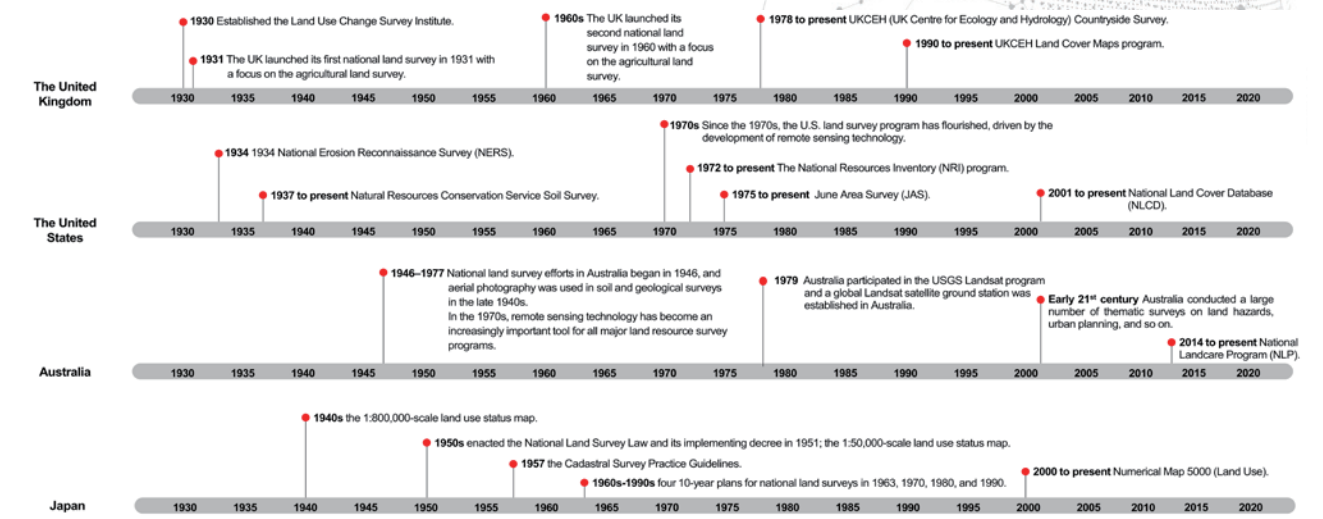


图 1. 世界主要发达国家土地调查总结

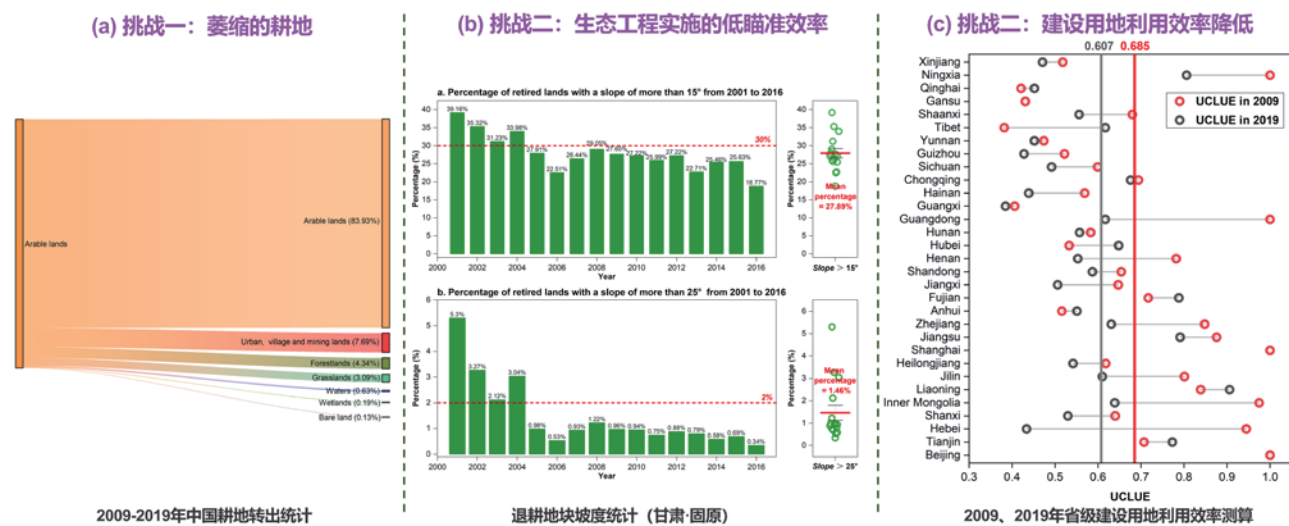


图 2. 当前中国在土地利用方面存在的主要问题

清华大学地学系徐冰课题组 发文揭示奥运会对城市绿地重塑的广泛影响

作者 / 屠滢

奥运会作为最重要的国际性体育赛事，已在过去几十年间彰显出巨大的政治、经济、社会与文化影响力，是促进东道主城市更新、改造、建设与发展的重要催化剂。城市绿地作为城市环境的重要组成部分，已被证明能够产生多种生态环境和健康福祉效应。然而，目前尚无全面分析奥运会对城市绿地影响的研究，人们对于此类盛会如何改变和作用城市绿色环境的过程与机理认识知之甚少。为回答这一科学问题，清华大学徐冰教授课题组领导的联合科研团队，利用长时序卫星遥感影像绘制了 1988-2016 年间全球八届夏季奥林匹克运动会主办城市的年度绿地分数，量化了奥运会前后城市绿地覆盖、绿地暴露和绿地景观的变化，并揭露两者间的潜在因果联系。研究结果揭示出奥运会在重塑城市绿地方面的广泛作用，对于未来绿色奥运议程的推进以及城市可持续发展目标的实现具有重要科学价值。相关成果近日以“Olympic effects on reshaping urban greenspace of host cities”为题，发表于国际城

市研究顶级期刊 Landscape and Urban Planning。

研究团队利用时间序列 Landsat 遥感影像和线性光谱解混模型生成研究区内 30 米空间分辨率的年度绿地分数图，从两个角度探讨奥运会对城市绿地的影响：（1）比较奥运会前后的绿地指标变化。通过结合其他地理空间数据集和多维度评估框架，核算了不同空间尺度下（即城市范围以及奥运场馆缓冲区内）绿地覆盖、绿地暴露、绿地景观的前后差异；（2）揭示奥运会举办与城市绿地覆盖变化之间的因果联系。使用了一个固定效应的双重差分（difference-in-differences，简称 DID）模型量化奥运会对城市变绿的直接贡献，并通过改变 DID 模型中事件发生作用的时间节点论证奥运会的长期动态影响；最后，基于显著性检验模型验证了结果的稳健性。研究的总体流程设计如图 1 所示。

研究结果表明，奥运会不仅促进了城市整体绿化覆盖的提高，而且增强了人群对周围绿色环境的暴露，其影响

程度在奥运场馆及相关缓冲区附近尤为显著（图 2）。以 2008 年北京奥运会为例，奥运场馆 5 公里缓冲区内绿地覆盖提升高达 $6.87\% \pm 2.12\%$ ，这主要得益于奥林匹克森林公园等大型城市绿色空间的建立（图 3）。

根据 DID 模型的估计，与奥运会直接相关的绿化改造和建设导致了城市范围内 3.41% 的绿地覆盖提升（ $P < 0.01$ ）。这一积极影响早在举办前的 6-7 年前（即申奥初期）就已经开始，并随着奥运会的临近而不断增强。

针对即将到来的 2024 年巴黎、2028 年洛杉矶以及 2032 年布里斯班夏季奥运会，本研究提出了四点启示与建议，以期实现更绿色和可持续奥运的长远目标：（1）充分考虑主办城市特点的适应性规划；（2）长期战略部署与定期监督机制；（3）绿地数量与质量的动态平衡；（4）城市更新与规划的全局努力。

清华大学地学系 2019 级博士研究生屠滢和香港大学建筑学院陈斌助理教授为论文共同第一作者；清华大学地学系徐冰教授和陈斌助理教授为论文共同通讯作者；清华大学地学系杨军教授为论文合作作者。本研究受到国家自然科学基金重大项目、清华-丰田联合研究等基金的支持。

论文链接：<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104615>

j.landurbplan.2022.104615

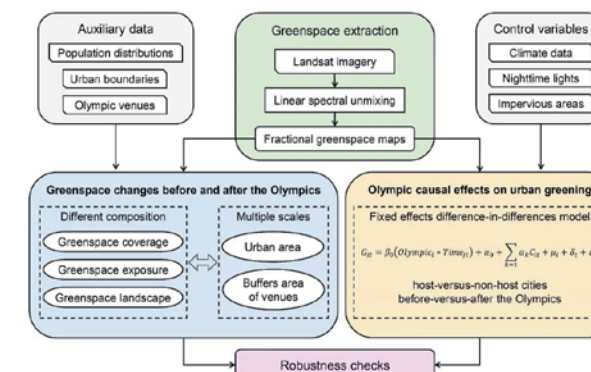


图 1. 研究流程图

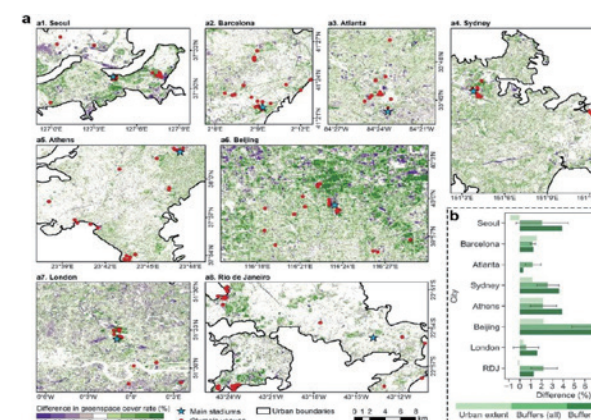


图 2. 奥运会举办前后主办城市的绿地覆盖率差异：(a) 空间分布模式，(b) 绝对变化量。

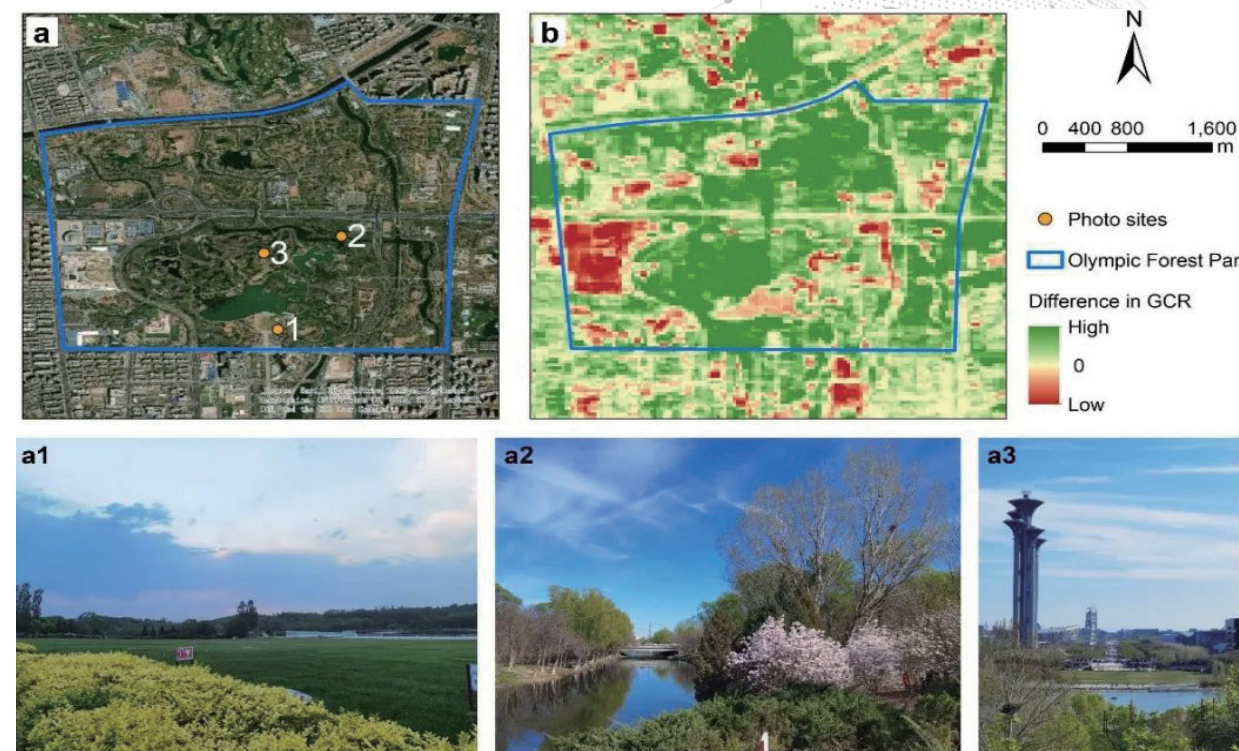


图 3. 奥运会促进城市变绿的典型示例 -- 北京奥林匹克森林公园

清华大学地学系徐冰课题组发布 2020 年中国海岸带 10 米土地覆盖遥感制图

作者 / 李森

岸带作为地球系统中陆地、海洋和大气强烈交互的过渡地带，是一个复杂、多样且高度动态变化的系统。它具有宝贵的生态系统服务价值，是全球经济引擎，但又同时面临着强烈的人类活动改造和气候变化等复合型威胁。土地利用 / 覆盖分类是研究海岸带动态变化过程、理解滨海社会 - 生态系统作用机制和支持可持续发展的重要基础。在中国，单一类型的滨海湿地专题制图产品难以满足陆海统筹发展的需要，而以往多类别大尺度海岸带土地覆盖遥感制图产品严重依赖人工目视解译，缺乏涵盖中国重要海岸带地物类型的标准化自动制图产品。

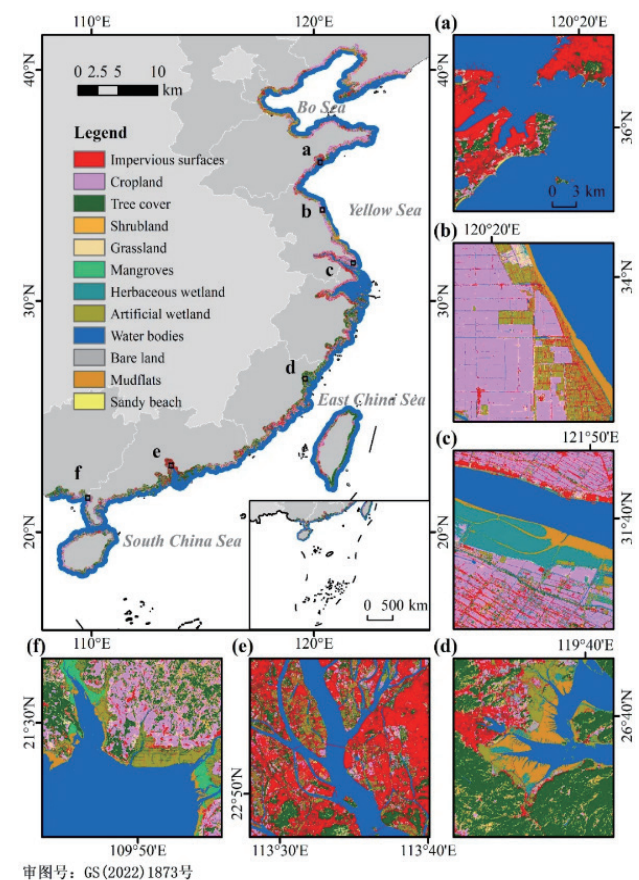
为解决上述问题，清华大学徐冰教授课题组领导的联合科研团队，以陆地海洋交互的海岸带地区为研究对象，开发并发布了涵盖 12 个滨海重要地物类型的 2020 年 10 米分辨率中国海岸带土地覆盖数据集，相关成果以“2020 年中国海岸带 10 米土地覆盖遥感制图” (The land-sea interface mapping: China's coastal land covers at 10 meters for 2020) 为题，发表在《Science Bulletin》上。

研究结合多套中国海岸带地区公开发表的遥感数据产品，首先建立了包含 12 个地物类型的中国海岸带土地覆盖样本库。随后，基于谷歌地球引擎 (Google Earth Engine, GEE) 平台，采用 2019-2021 年哨兵主被动遥感数据提取光谱特征和纹理特征，联合基于像素和面向对象的分类方法，构建了 2020 年 10 米中国海岸带土地覆盖数据集。

该数据产品精细刻画了中国海岸带土地覆盖空间格局，兼顾海域和陆域关键地物类型，制图结果总体分类精度达到 79.3%。在中国海岸带地区的分类体系设计和分类精度均优于其他同期高分辨率全球土地覆盖产品。同时，研究弥补了现有滨海湿地专题制图产品时空不一致、难以对标陆域产品的不足。本研究提出的采样策略和制图框架

可以推广到大尺度海岸带遥感制图中，研究产生的数据产品可为长期海岸带遥感动态监测提供支持，并为中国海岸带综合保护和规划提供科学支撑。

清华大学地学系博士生李森为论文第一作者，清华大学地学系徐冰教授和香港大学陈斌助理教授为论文共同通讯作者。合作者包括香港大学宫鹏教授和克里斯·韦伯斯特 (Chris Webster) 教授。本研究受到国家自然科学基金重大项目、清华 - 丰田联合研究等基金的支持。



2020 年中国海岸带土地覆盖制图

清华大学地学系王勇课题组与合作者发文揭示 季风前期印度黑碳和气候相互作用调控沙尘浓度

近日，清华大学地球系统科学系王勇副教授课题组联合美国德克萨斯农工大学刘小红教授课题组等国内外多个课题组，利用观测数据、长期再分析数据和气候模式模拟等研究手段，对印度季风前期的黑碳气溶胶如何通过气候的相互作用来调控沙尘浓度并对季风降水影响展开了分析，并特别针对 2020 年 COVID-19 时期的情况进行了细致的机理分析。

当前，印度作为全球空气污染热点区域，其黑碳气溶胶浓度远高于全球其他国家。不仅如此，由于其特殊的地貌特征和地理位置，印度地区存在非常严重的沙尘气溶胶

污染问题。由于季风降水对印度当地的农业生产和社会活动具有重要影响，因此在探究印度的污染和气候问题时，学者们特别关注印度夏季季风时期的情况。此前研究已证实，印度的黑碳和沙尘气溶胶对其季风前期和季风期的气候有重要影响。季风前期，大气中都会存在大量的黑碳和沙尘气溶胶。印度地区的黑碳一部分来自工业、能源、交通等部门的排放，另一部分来自秸秆焚烧过程；沙尘气溶胶则主要来自西北塔尔沙漠局地起沙过程以及撒哈拉和中东地区沙漠的沙尘远距离输送，受气候要素影响较大。这两种气溶胶对辐射都具有一定的吸收效应，调制大气和地

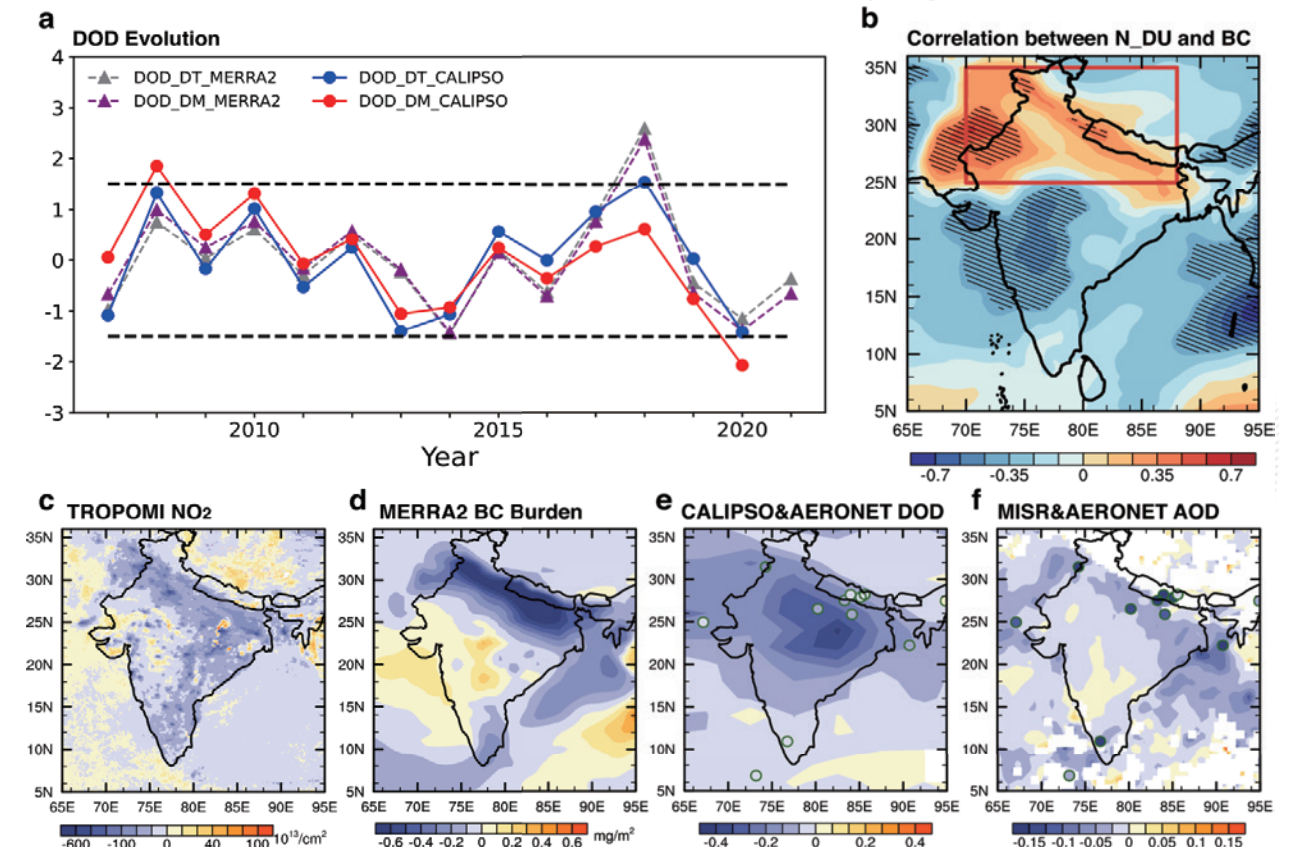


图 1. 季风前期 (4 - 5 月) 污染的相关情况。

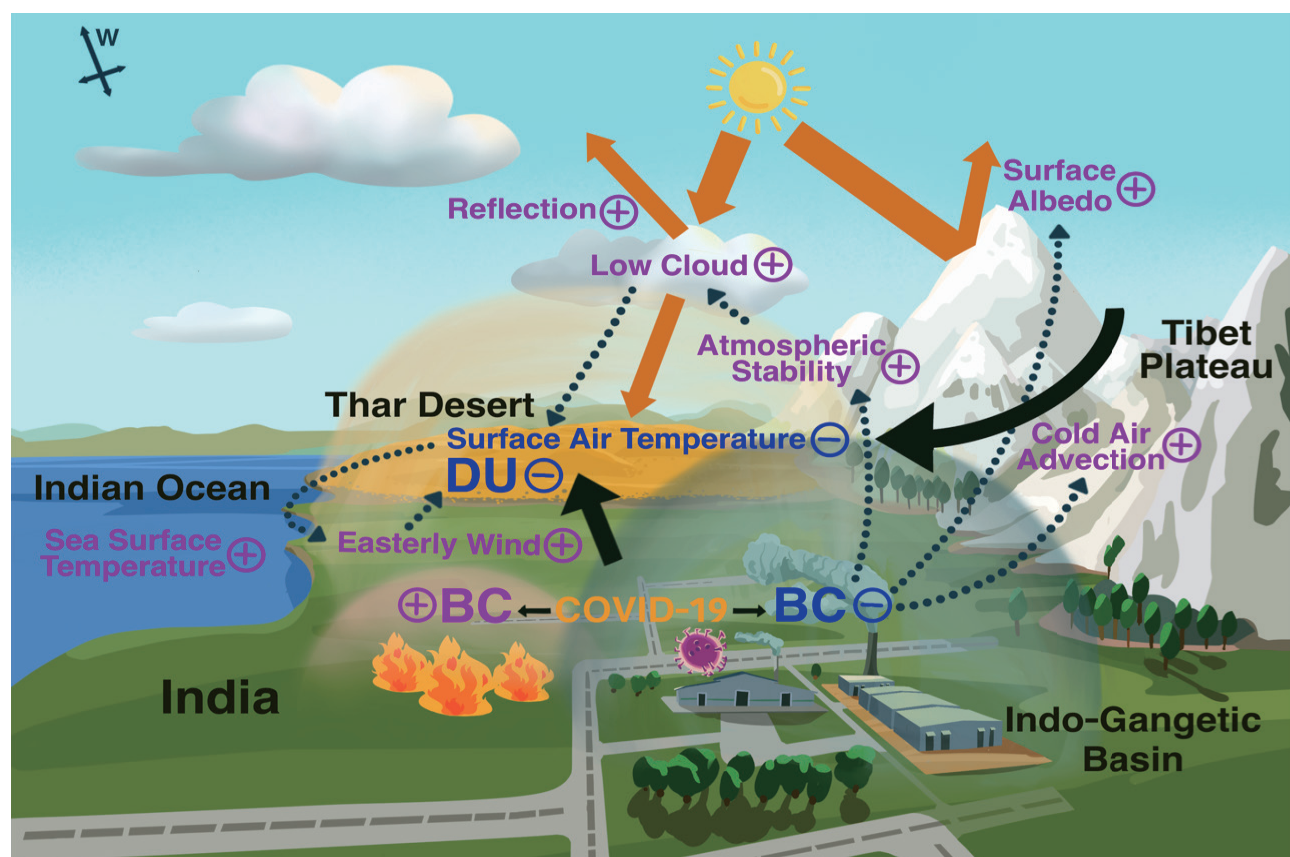


图 2. 黑碳 - 气候相互作用调控沙尘浓度机制。

表能量收支，并且通过沉降影响临近青藏高原和喜马拉雅山脉等地的积雪。此前的研究往往关注印度黑碳和沙尘的气候效应，而忽略了两者的可能通过气候效应存在协同变化，阻碍了对于控制印度地区污染情况的理解。因此，人为排放产生的黑碳能否通过与气候相互作用调控该地区的自然沙尘浓度，目前尚不清楚。

针对上述问题，研究组设计了从人为排放黑碳一气候响应一沙尘变化的研究路线。利用长期再分析资料，研究首次揭示了印度季风前期（4 - 5 月）沙尘与印度北部的黑碳呈现正相关关系，而与印度南部的黑碳呈现负相关关系（图 1b）。依据上述相关关系，研究组还发现，2020 年季风前期（4—5 月）印度的黑碳气溶胶配置（图 1d）正好对应着历史同期沙尘气溶胶浓度的最低值（图 1a&e）。

研究团队进一步利用观测、再分析资料和地球系统模式 CESM2 模拟，对 2020 年印度新冠肺炎疫情期间（4 - 5 月）的污染排放变化及其气候响应情况进行了针对性的机理分析（图 2）。由于疫情封锁政策，印度北部工业、

能源、交通等部门和大型农场秸秆燃烧排放的黑碳大量减少（图 1d），因此大大降低了大气短波加热率，同时增加了青藏高原地表反照率，降低印度北方大气温度并激发了下沉气流。另外，在印度南部，由于西北部大型农场停工，劳工南归导致南方个体农场秸秆燃烧排放的黑碳大量增加，加热局地大气。南部温暖空气被向南输送的印度北部青藏高原下沉堆积的冷空气强迫抬升，生成大量低云。地表冷却，产生异常高压，触发了东风异常。由此，减弱的西风减少了来自中东和撒哈拉沙漠的沙尘输送和印度当地塔尔沙漠的沙尘排放，使得新冠疫情肺炎疫情期间印度沙尘达到历史同期新低（图 1a&e）。同时期，印度北部黑碳和沙尘的减少也进一步延缓了之后印度夏季风的爆发。

基于上述成果以“基于 COVID-19 揭示的印度地区黑碳 - 气候相互作用对沙尘的调控”（Black Carbon - Climate Interactions Regulate Dust Burdens over India Revealed during COVID-19）为题，于 2022 年 4 月 5 日在《自然 - 通讯》（Nature Communications）期刊在线发表。

清华大学地学系 2020 级博士生魏麟懿和美国德克萨斯农工大学陆政博士为论文共同第一作者；清华大学地学系王勇副教授和美国德克萨斯农工大学刘小红教授为论文共同通讯作者。中国科学院大气物理研究所博士生王伟懿和吴成来副研究员、美国德克萨斯农工大学赵曦博士、美国加州大学洛杉矶分校的斯特凡·拉希米博士、清华大学

地学系博士生夏雯雯和南京大学蒋益荃副教授为论文合作作者。该研究得到了科技部重点研发项目和国家自然科学基金的支持。

全文链接：<https://www.nature.com/articles/s41467-022-29468-1>

清华大学地学系王勇课题组发文揭示 自适应对流方案在不同分辨率下保持小雨不变 对气溶胶模拟的重要性

作者 / 王勇 夏雯雯

近日，清华大学地球系统科学系王勇副教授课题组通过设计分辨率自适应对流参数化方案，研究其在全球气候模式（GCM）中对气溶胶模拟的影响，并进一步对影响机理进行了分析。

GCM 水平网格间距（分辨率）一般约为数百公里，由于对流云空间尺度远小于此网格间距（即次网格过程），GCM 无法在网格尺度上直接描述对流云特征和影响，这就需要次网格过程对流过程和网格尺度的气象要素进行联系，间接表达其特征和对网格尺度气象要素的影响（即对流参数化）。因此，总降水在 GCM 中由两个部分组成，

一种是网格尺度降水，另一种是由对流参数化方案形成的次网格降水，这二者都能对大气中的气溶胶进行湿清除。

随着计算能力的飞速发展，GCM 的水平网格间距越来越精细，可以达到约 10 公里或更高。在该网格间距情况下，尺度较大的对流云可以被解析。因此，高分辨率下模拟的对流降水应相对低分辨率情况下减少，网格尺度降水则相应的增加，而总降水基本保持不变。但是，目前国内外传统对流方案均不能模拟出对流降水随着分辨率提高而减少的现象。因此，需发展自动识别分辨率变化进而模拟对流发生相应变化的对流参数化方案（即自适应对流参数化方案）。在这一方案下，降水发生如前所述变化时，气溶胶模拟将如何响应？是否能保持不变使得模式保持协调？

针对上述问题，研究组在美国国家大气研究中心通用地球系统模式（NCAR CESM）的 Zhang-McFarlane 对流方案中应用一个逻辑算子，通过控制对流触发频率，改进了对流方案对模式水平分辨率的自适应性。为了排除不同分辨率对气溶胶模拟的影响，研究组将该方案应用到同一模式分辨率上，设计了对流相对于参照试验（CTRL）分别减少 20%、40%、60%、80% 的 4 组敏感试验（R20P、R40P、R60P、R80P），模拟不同分辨率下对流逐渐减

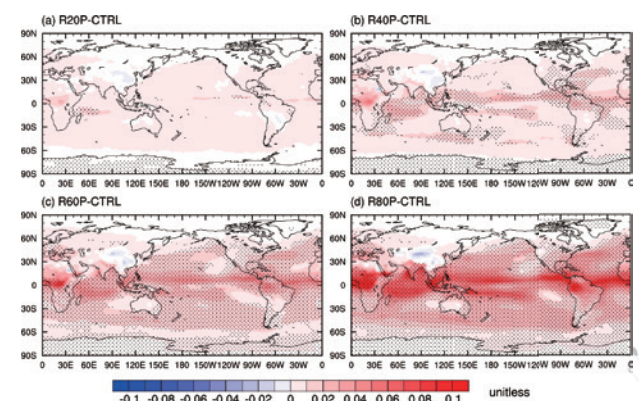


图 1. CTRL 和敏感试验在模拟年平均气溶胶光学厚度差异的全球分布（敏感性试验减去 CTRL）。



少的情况。结果表明，随着深对流减少，相比 CTRL 试验，敏感试验中模拟的气溶胶光学厚度几乎在全球范围内逐渐增加，在热带和亚热带地区（图 1）尤为显著。

结合课题组之前有关“小雨主导大气气溶胶长期湿沉降过程”（Wang, Xia et al., 2021; Wang, Xia, & Zhang, 2021）的研究，图 2 展示了敏感试验与 CTRL 试验中对流性小雨频率和网格尺度小雨频率的差异及其总和的全球分布。随着对流减少，热带和亚热带地区次网格对流性小雨频率逐渐减少。然而在热带地区，无论对流减少多少，网格尺度小雨频率相应的增加都很小。在 50oS 和 50oN（风暴轴所在位置）附近纬度地区，随着对流性小雨减少，网格尺度小雨频率增加较为明显。但是，对流性小雨频率的减少幅度仍然大于网格尺度小雨频率的增加幅度。这说明次网格对流性小雨产生效率高于网格尺度小雨

产生效率，对流减少使得气溶胶总湿清除量减少，进而导致气溶胶浓度上升。

该研究成果对未来全球气候模式发展具有重要指导意义。在研发分辨率自适应的对流参数化方案时，在模式不同水平分辨率下，除保持总降水量不变外，还需要保持小雨部分的降水量不变。这对于使用自适应对流参数化方案的模式在不同分辨率下保持模拟的气溶胶负荷不变至关重要。次网格对流性和网格尺度小雨的生成效率保持一致可能至少需要一个内在物理过程一致的降水参数化方案。

上述成果以“自适应对流方案背景下随着对流减弱气溶胶负荷的意外变化”（Unexpected Changes of Aerosol Burdens With Decreased Convection in the Context of Scale-Aware Convection Schemes）为题，于 2022 年 5 月 27 日在《地球物理研究快报》（Geophysical

Research Letters）期刊在线发表。

清华大学地学系 2018 级博士生夏雯雯为论文第一作者，清华大学地学系王勇副教授为论文通讯作者。清华大学地学系博士生崔泽宇、清华大学地学系卓越访问教授、中国科学院大气物理研究所研究员王斌等为论文合作作者。该研究得到了科技部重点研发项目和国家自然科学基金的支持。

论文链接：

Xia, W., Wang, Y., Zhang, G. J., Cui, Z., Wang, B., He, Y., & Wang, X. (2022). Unexpected changes of aerosol burdens with decreased convection in the context of scale-aware convection schemes. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL099008. <https://doi.org/10.1029/2022GL099008>

清华大学地球系统科学系林光辉课题组 发文探讨红树林蓝碳全碳库定量估算新方法

作者 / 孟宇辰 苟睿坤 林光辉

红树林作为重要的滨海“蓝碳”生态系统，具有强大的碳汇功能，在降低大气二氧化碳浓度、减缓全球气候变化等方面发挥着重要作用。从全球范围来看，红树林主要分布在热带与亚热带地区海岸带沿线，生境碎片化且分布不均匀，具有高度的空间异质性。

传统的碳库调查方式成本高、效率低，制约了长时间、大尺度区域开展红树林碳库分布的估算和监测，建立大尺

度区域及时准确估算红树林碳储量的方法至关重要。对此，研究组以中国红树林代表性分布区域海南岛作为案例研究地点（图 1），结合野外实地调查与遥感技术，改进了生态系统碳库估算方式。

基于林光辉课题组 2021 年在《碳平衡与管理》（Carbon Balance and Management）期刊上发表的研究成果，研究对红树林地上地下碳库部分关系进行了进一步挖掘和应用。通过结合野外样方调查和哨兵 2 号（Sentinel-2）高精度遥感影像，开发了红树林全碳库（包括地上、地下部碳库）的估算方法，定量估算了海南全岛的红树林现存蓝碳碳库，验证了该方法在区域尺度上分析格局的可行性。研究发现，目前海南全岛的红树林蓝碳碳库约为 70.3 万吨碳，其中地下部碳库占总碳的 75% 左右。在所有地级市中，海口市（东寨港红树林国家自然保护区所在地）、文昌市（清澜港省级红树林自然保护区所在地）的红树林不仅蓝碳密度最高（图 1），且占全岛蓝碳总量的比例也最高（分别为 43.3%、24.3%）。课题组研究了不同生物（植被群落多样性等）和非生物因素（土壤理化特征、气候因子等）对红树林碳库分布的驱动效应（图 2），探讨了未来在更大尺度空间中红树林蓝碳估算应用的改进

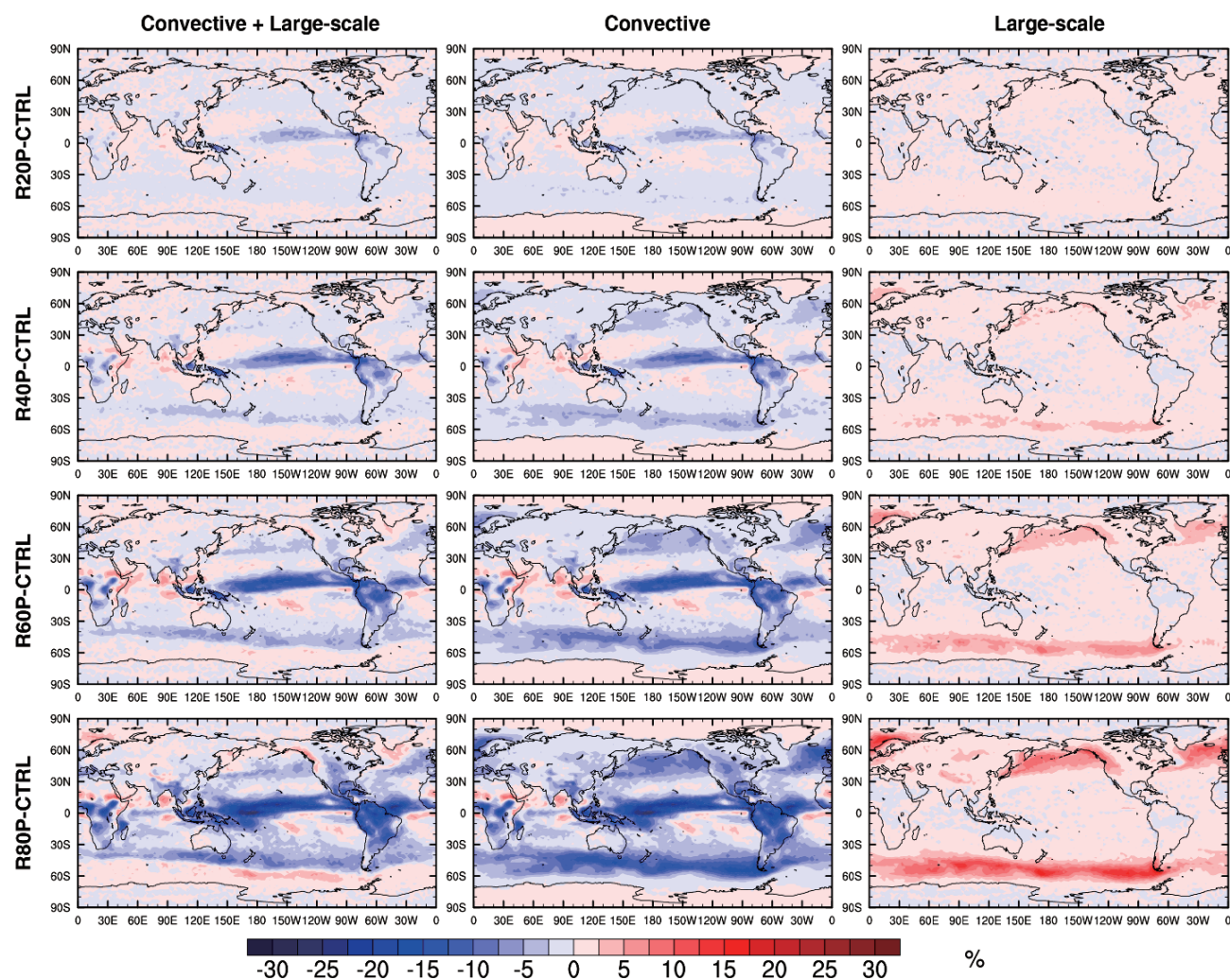


图 2. CTRL 和敏感性试验在模拟对流性小雨频率和层状云小雨频率的差异及其总和的全球分布（敏感性试验减去 CTRL）

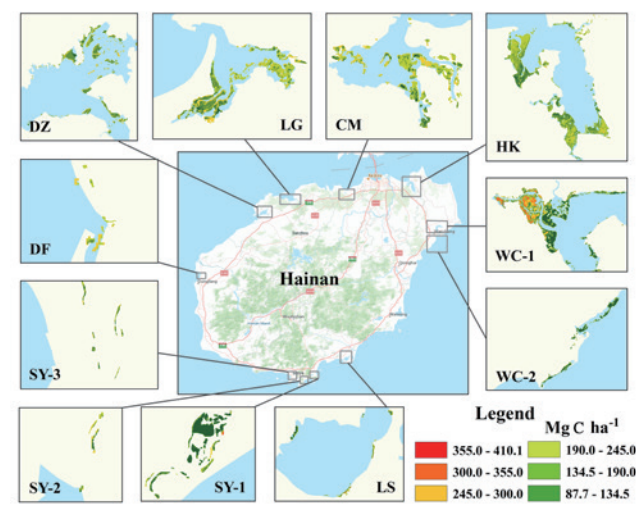


图 1. 海南岛红树林生态系统碳库分布

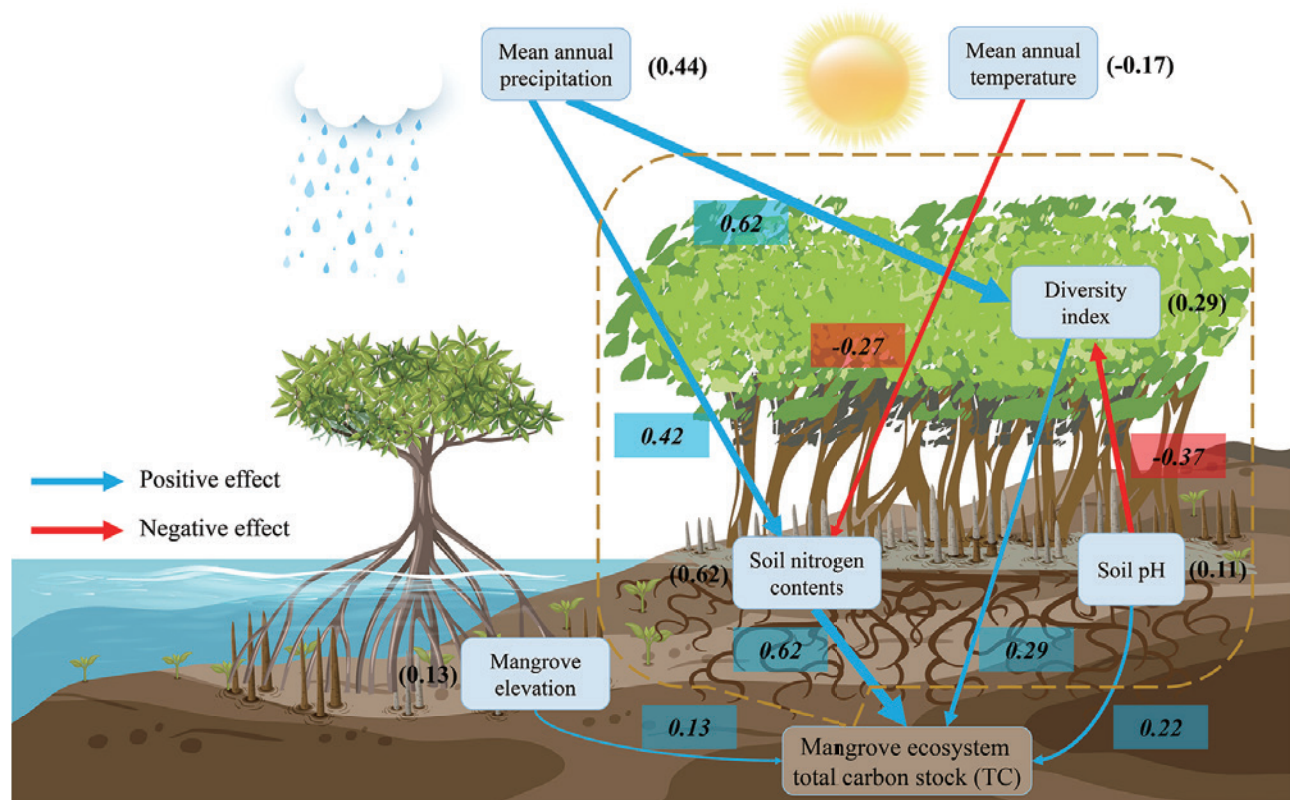


图2. 红树林生态系统总碳储量 (TC) 的结构方程模型 (SEM) 分析结果示意图

潜力。

基于高精度卫星遥感影像, 研究组研发的红树林蓝碳全碳储量的新方法可为区域或全球尺度量化、监测和计量红树林蓝碳潜力提供参考, 也可以更好地指导旨在提高蓝碳碳汇的红树林恢复和修复工程, 服务于地方、国家和全球的红树林湿地保护与恢复。

近日, 研究成果以“中国海南岛红树林碳储量空间分布格局及驱动因素” (Spatial patterns and driving factors of carbon stocks in mangrove forests on Hainan Island, China) 为题, 在线发表于生态学经典期刊 Global Ecology and Biogeography (《全球生态学与地理学》)。清华大学地学系 2017 级博士生孟宇辰、2019 级博士生荀睿坤为论文共同第一作者; 清华大学地学系林光辉教授为通讯作者。哈佛大学 David Moreno-Mateos 和 Charles C. Davis 教授、清华大学深圳国际研究生院朱小山副研究员、香港大学张鸿生助理教授, 以及参与科研的柏建坤博士、宛罗马博士、博士研究生宋姗姗等为论文合作作者。该研究得到了国家重点研发计划项目、

国家自然科学基金及深圳市高校稳定支持重点项目等资助。

论文链接:

Meng, Y., Gou, R., Bai, J., Moreno-Mateos, D., Davis, C. C., Wan, L., Song, S., Zhang, H., Zhu, X., & Lin, G. (2022). Spatial patterns and driving factors of carbon stocks in mangrove forests on Hainan Island, China. *Global Ecology and Biogeography*, 00, 1 - 15. <https://doi.org/10.1111/geb.13549>

清华大学地学系卢麾课题组发文提出 新型土壤水干旱指数并评估中南半岛干旱状况

作者 / 黎一杉

中南半岛位于中国和南亚次大陆之间, 是“一带一路”海上丝绸之路建设的关键区域。该地区属典型热带季风气候, 近年来受气候变化影响, 干旱、洪涝等自然灾害频发。同时, 由于该地区地表覆盖和地形地貌情况复杂, 实测数据相对缺乏, 观测站点分布极为不均, 由此导致该地区的干旱监测和研究都存在很大困难。为弥补实测数据缺乏等缺陷, 清华大学地学系卢麾副教授课题组基于遥感土壤水数据, 开发出一套 8 天尺度土壤水干旱指标 (Soil moisture drought Eight Day index, 以下简称 SED), 并利用该指标对中南半岛的干旱状况进行了系统性评估。

上述研究成果以“基于卫星遥感的东南亚大陆气象和农业干旱评估” (Satellite-Based Assessment of Meteorological and Agricultural Drought in Mainland Southeast Asia) 为题, 近日发表于《应用地球观测和遥感选刊》(IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing) 上。该论文提出了一套基于遥感土壤水数据的干旱监测指标。该指标可以摆脱传统干旱指数依赖长时间历史数据的掣肘, 仅利用遥感观测数据即可进行大尺度、高时间分辨率的土壤水干旱状况评估。该指标的提出对于快速监测农业干旱、大范围评估干旱灾害均具有指导意义。

研究首先对比了传统气象干旱监测方法 (SPI) 和 SED 干旱监测方法在研究区域干旱面积的时间序列分布和空间变化情况。研究发现 SPI 和 SED 均能够较好地反映研究区域干旱的周期性变化, 但 SED 能够在时间和空间两个尺度更精准地反映干旱的发生、发展和结束。从图 1 和图 2 中可以看出, SPI 和 SED 检测到 2016 年的干旱事件均是从研究区域中部开始形成, 并逐渐向西南部发展, 最后在西部沿海处消退, SED 更好地揭示了该次干旱事件干旱中心的迁移情况, 且在夏季季风引发降水后, SED 能够更快速地反映出干旱的变化情况。

研究进一步分析了 SED 指数的特性。首先, SED 相较于 SPI 能够更有效地反映降水对干旱带来的影响。图 3 显示在 2016 年干旱事件中 3 个点位 SPI、SED 和降水的时间变化序列, 可以看出, 随着干旱的逐渐加重, SED 能够较好地反映出降水持续不足导致的干旱加重, 以及降水补充带来的干旱快速消退, 而 SPI 由于其计算机理是基于历史数据反映相对干旱程度, 难以真实反映降水变化所带来的干旱状况变化。

其次, SED 还能够反映湿润地区对干旱事件的“抵抗”。图 4 显示出围绕洞里萨湖划分的两个区域干旱事件的时间

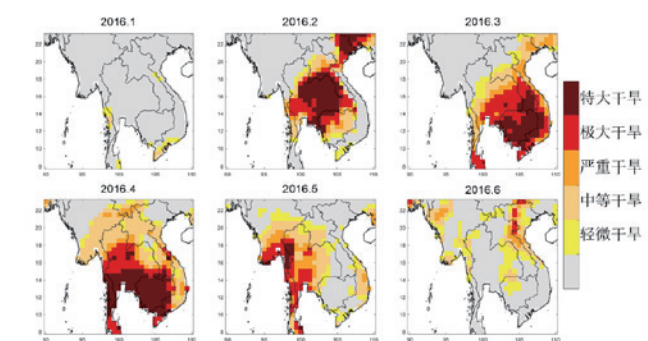


图 1. SPI 对 2016 年春季干旱的检测结果

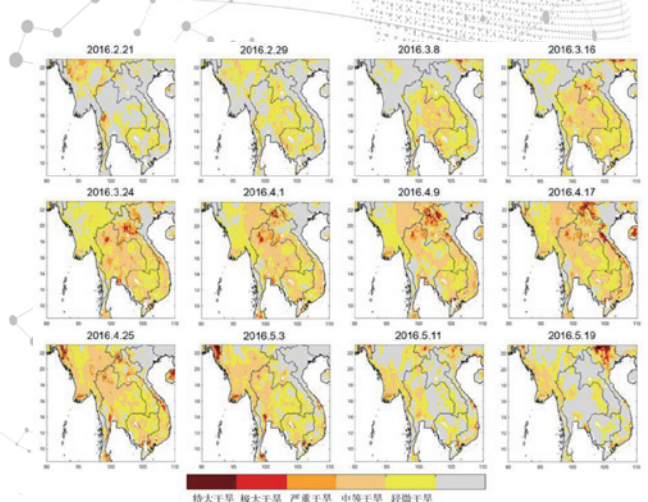


图 2. SED 对 2016 年春季干旱的检测结果

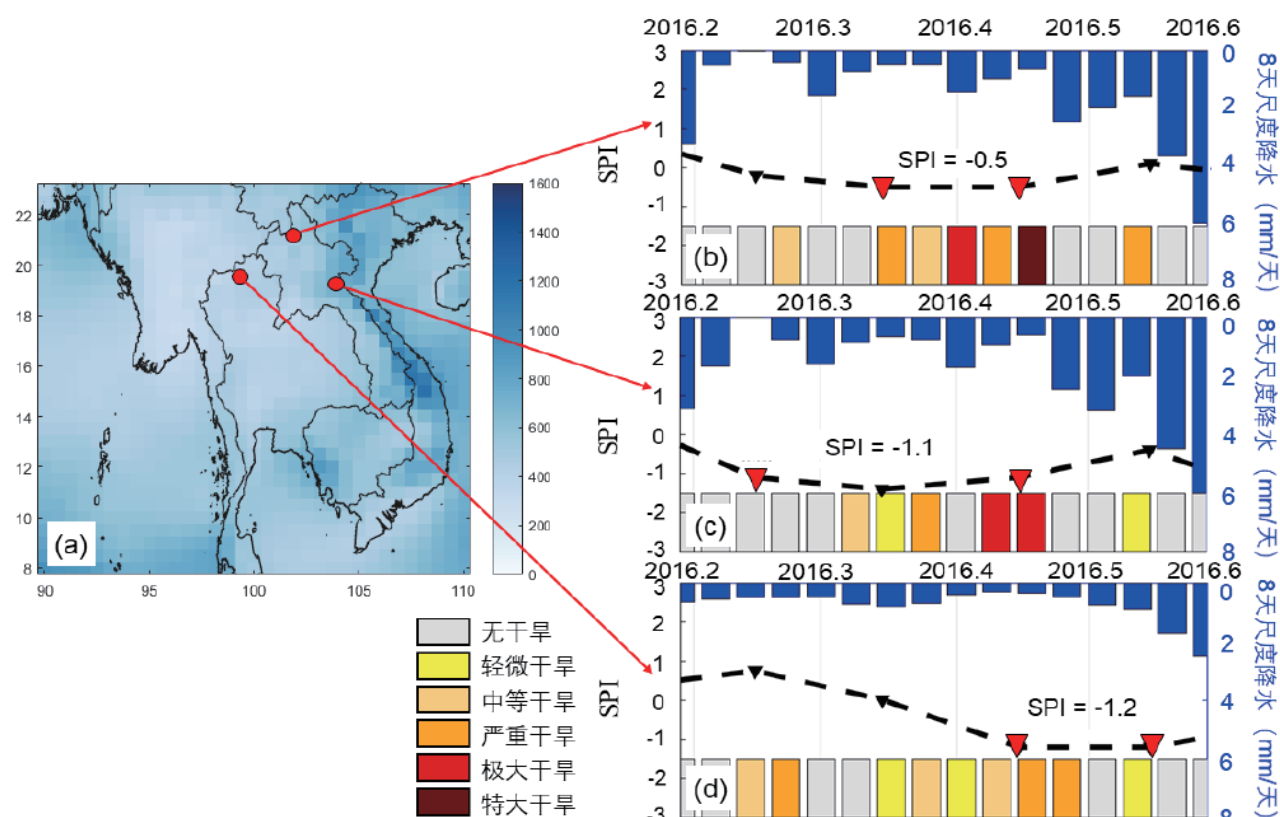


图3.SPI与SED基于案例的对比结果

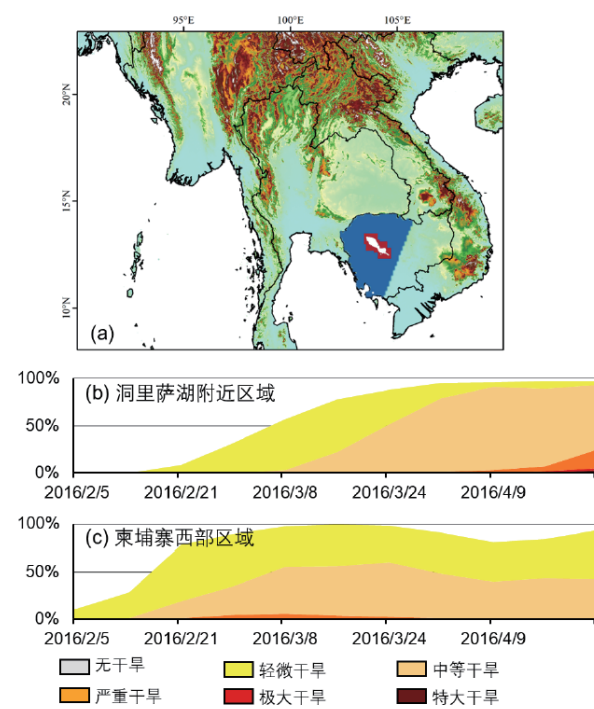


图4.SED定量反映出湿润地区对干旱的“抵抗”效应

序列情况（洞里萨湖位于柬埔寨西部，是东南亚最大的淡水湖，湖周边区域水系发达），通过SED的干旱时间序列图可以看出，干旱来临时，洞里萨湖周边区域（图4（a）红色区域）干旱事件发生明显较柬埔寨西部其他区域（图4（a）蓝色区域）滞后，SED指数真实地反映出了湖泊及周边水系持水能力对干旱事件的“抵抗”。

SED的以上特性能够使其可靠地对干旱事件进行快速监测，反映出基于土壤水分变化的真实干旱情况，能够支持研究者和政策制定者在缺少实测数据的地区进行大范围、高精度的干旱状况评估，对未来气候变化情景下极端干旱事件的科学研究和抗旱减灾均有重要意义。

清华大学地学系博士生黎一杉为该论文的第一作者，地学系卢麾副教授为论文的通讯作者，合作者来自清华大学、麻省理工学院、重庆市生态环境局、长江勘测规划设计研究院等单位。本研究得到了国家重点研发计划（2017YFA0603703）和第二次青藏高原科考（2019QZKK0206）等项目的支持。

全文链接：<https://ieeexplore.ieee.org/document/9829261>

再次更新！全球长时序日尺度土壤水分数据集

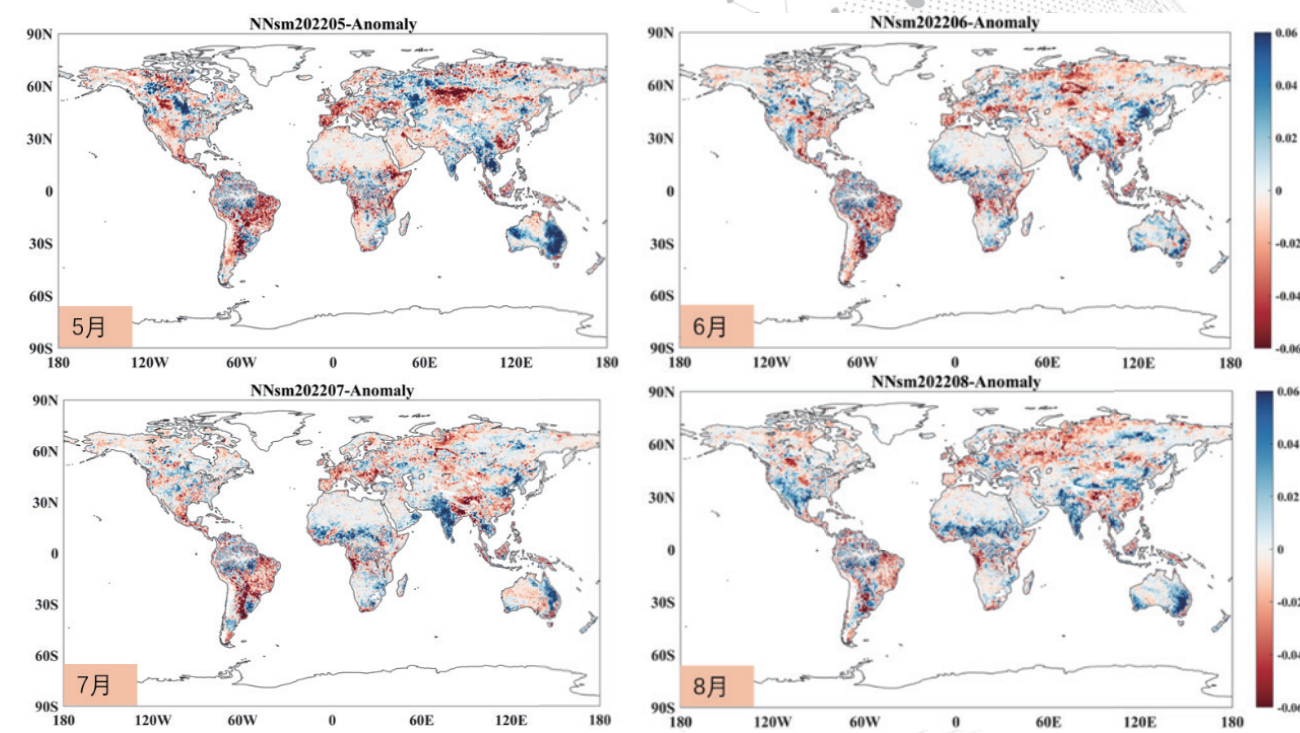
作者 / 姚盼盼 卢麾

近日，为及时共享全球土壤水分监测数据，在国家青藏高原科学数据中心 (<https://data.tpdc.ac.cn>) 发布的《基于 AMSR-E 和 AMSR2 数据的全球长时序日尺度土壤水分数据集》已更新至 2022 年 8 月 31 日。该产品以 AMSR-E/AMSR2 亮温为基础，采用完全国产化的自主算法，在逐日尺度反演全球地表土壤水分，其精度与 SMAP 土壤水分产品相当，且该产品具有长时序和高时空一致性的地表土壤水分信息。

土壤水分连接陆气之间的水热交换过程，是地球系统过程的重要参数，精准的土壤水分信息在农业干旱监测、洪水预报预警以及农作物产量预估等方面都有重要作用。全球气候变暖背景下极端天气气候事件增多，我国南方在 5 月和 6 月经历多次区域性暴雨，之后又在 7 月至 8 月经历大范围高温热浪事件，而本数据集能够及时监测今年夏

季高温干旱事件对土壤水分的影响（如下图所示）。此外，SMAP 卫星在 2019 年 6 月 - 7 月和 2022 年 8 月初相继出现数据产品缺失，而本数据集能够对 SMAP 数据产品缺失提供很好的补充。本数据集目前时间覆盖 20 年，未来将基于 AMSR2 的在轨观测以及即将发射的 AMSR3 观测持续更新，保持自 2002 年以来的全球连续观测数据，可供感兴趣的研究者和政策决策者使用，为气候极端事件、趋势分析和年代际变化等长时序研究提供支持。

该数据集由清华大学地球系统科学系卢麾副教授（通讯作者）和中国科学院空天信息创新研究院姚盼盼博士（第一作者）联合麻省理工学院的科研人员在《Scientific Data》(IF= 8.501) 上以数据论文形式于 2021 年初发布，获得高度关注和大量下载（浏览 10000 余次，下载 1000 余次），该工作受到“第二次青藏高原综合科学考察研究”国家专项和国家重点研发计划项目课题“全球海-陆-气-



2022 年 5-8 月全球地表土壤水分月均值距平

冰水循环耦合模式研发及极端水文事件归因”等项目支持。

文章信息: Yao, P.P., Lu, H., Shi, J.C., Zhao, T.J., Yang K., Cosh, M.H., Gianotti, D.J.S., & Entekhabi, D. (2021). A long term global daily soil moisture dataset derived from AMSR-E and AMSR2 (2002-2019). Scientific Data, 8, 143 (2021).

数据信息: 姚盼盼, 卢麾. (2020). 基于 AMSR-E

和 AMSR2 数据的全球长时序日尺度土壤水分数据集 (2002-2022). 国家青藏高原科学数据中心, DOI: 10.11888/Soil.tpd.c.270960. CSTR: 18406.11.Soil.tpd.c.270960.

数据链接: <https://data.tpd.c.ac.cn/zh-hans/data/c26201fc-526c-465d-bae7-5f02fa49d738>

清华大学地学系阳坤课题组发文揭示第三极地区降水海拔梯度的系统变化

作者 / 姜尧志

在地形复杂的第三极地区, 降水呈现出高度的空间变异性, 而已有雨量站点多位于低海拔的河谷地区, 因此, 如何利用低海拔的降水观测获取高海拔的降水资料是理解高山区冰雪水文过程的关键。鉴于此, 清华大学地学系阳坤教授课题组基于高分辨率大气模拟降水数据量化了整个第三极地区的降水海拔梯度特征, 并阐明了降水海拔梯度与气象条件的关系。相关研究近日以“Characterizing basin-scale precipitation gradients in the Third Pole region using a high-resolution atmospheric simulation-based dataset”为题发表在 Hydrology and Earth System Sciences 上。

研究首先利用多个地面观测站网对基于高分辨率大气模拟的降水数据 (ERA5_CNN) 进行了验证, 发现 ERA5_CNN 较主流降水数据 IMERG V6 和 HAR V2 能更好地反映降水随海拔的变化特征。在此基础上, 研究获取了第三极地区 300 多个子流域的降水海拔梯度 (图 1)。结果显示, 就年平均降水而言, 第三极地区大部分子流域降水随海拔升高而增加, 但是在喜马拉雅山脉、横断山区的部分区域, 降水随海拔升高而减少。降水海拔梯度较大的区域主要分布在第三极地区腹地的羌塘高原和柴达木盆地。该结果为第三极地区降水插值提供了重要基础数据。

此外, 研究进一步分析了降水海拔梯度与气象条件的

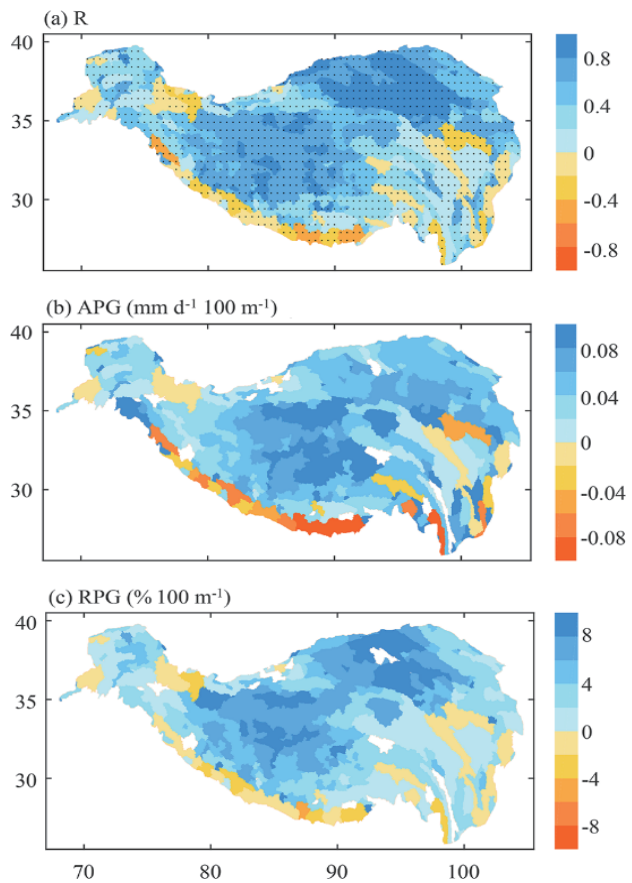


图 1. 第三极地区各子流域 (a) 年降水量与海拔的相关系数、(b) 年降水量绝对海拔梯度 (APG) 和 (c) 年降水量相对海拔梯度 (RPG, 绝对海拔梯度与流域平均降水的比值) 的空间分布。

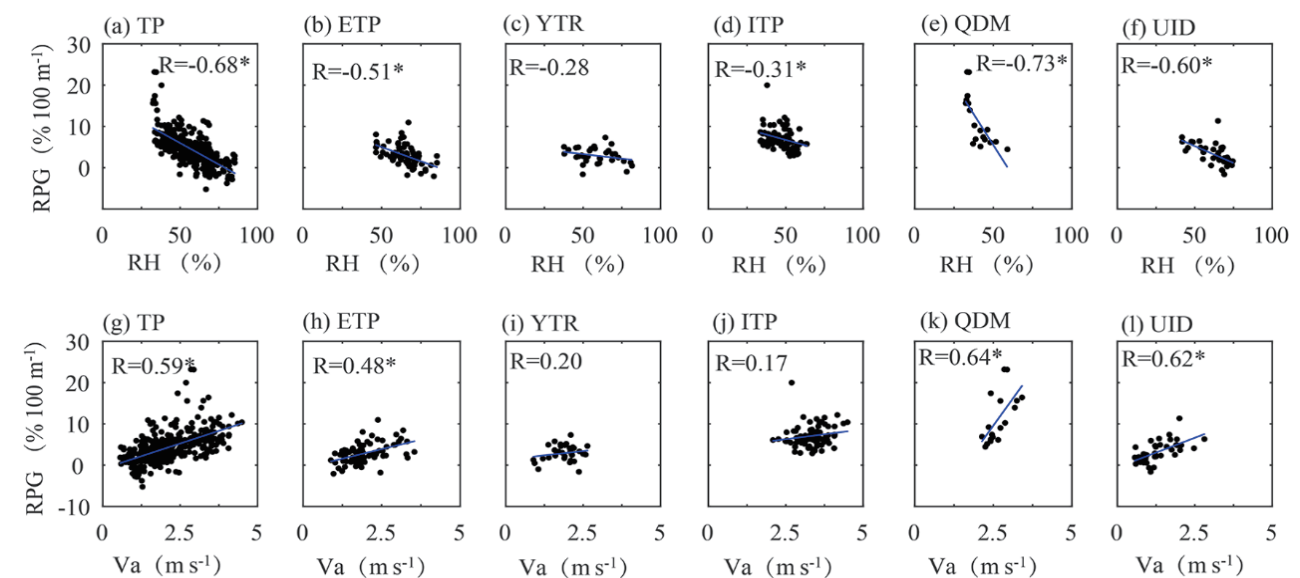


图 2. 降水海拔梯度与近地面相对湿度呈负相关 (a-f), 与风速呈正相关 (g-l)。其中 TP 代表整个第三极地区、ETP 代表第三极地区东部、YTR 代表雅鲁藏布江流域、ITP 代表羌塘地区、QDM 代表柴达木盆地、UID 代表印度河上游地区。

关系, 发现降水的海拔梯度与相对湿度呈现负相关关系, 而与风速呈现出正相关关系 (图 2), 即在干燥和大风条件下, 海拔越高, 降水越大。该发现可为经验性地调整降水海拔梯度提供依据。

清华大学地学系博士后姜尧志为该文第一作者, 合作导师阳坤教授为通讯作者, 文章合作者来自清华大学地学系、中国科学院青藏高原研究所、中国长江三峡集团有限

公司和中国科学院地理科学与资源研究所。该研究工作得到了中国科学院战略先导计划项目 (XDA2006010201)、国家自然科学基金委青年项目 (41905087) 和“青藏高原地球系统基础科学中心项目” (41988101) 的支持。

论文链接: <https://hess.copernicus.org/articles/26/4587/2022/>

清华地学系王焱课题组揭示青藏高原植被绿度变化空间分异性的驱动机制

作者 / 朱子琪

全球气候变暖和大气中的二氧化碳浓度增加导致了植被绿度的普遍升高。然而近期研究表明, 全球变绿的趋势正在减缓, 而背后的驱动机制尚不清楚。青藏高原对气候变化尤为敏感, 是探究气候对植被生长影响机制的天然试验场。近几十年来, 受多重环境因素的影响, 青藏高原的植被生长特征已发生显著变化。不同环境因子对植被生长的影响错综复杂, 气候变化驱动青藏高原植被绿度变化的

内在机制仍待进一步研究。

近日, 清华大学地球系统科学系王焱副教授课题组结合长时间序列多源卫星遥感数据与气象信息, 分析了 1982-2016 年间青藏高原植被绿度响应气候变化的时空格局。研究发现, 在整个高原面上, 虽然光温、水湿等气候因子发生了相对均一的变化, 但最大植被绿度变化趋势却呈现出明显的空间分异 (图 1)。在北部地区, 植被显

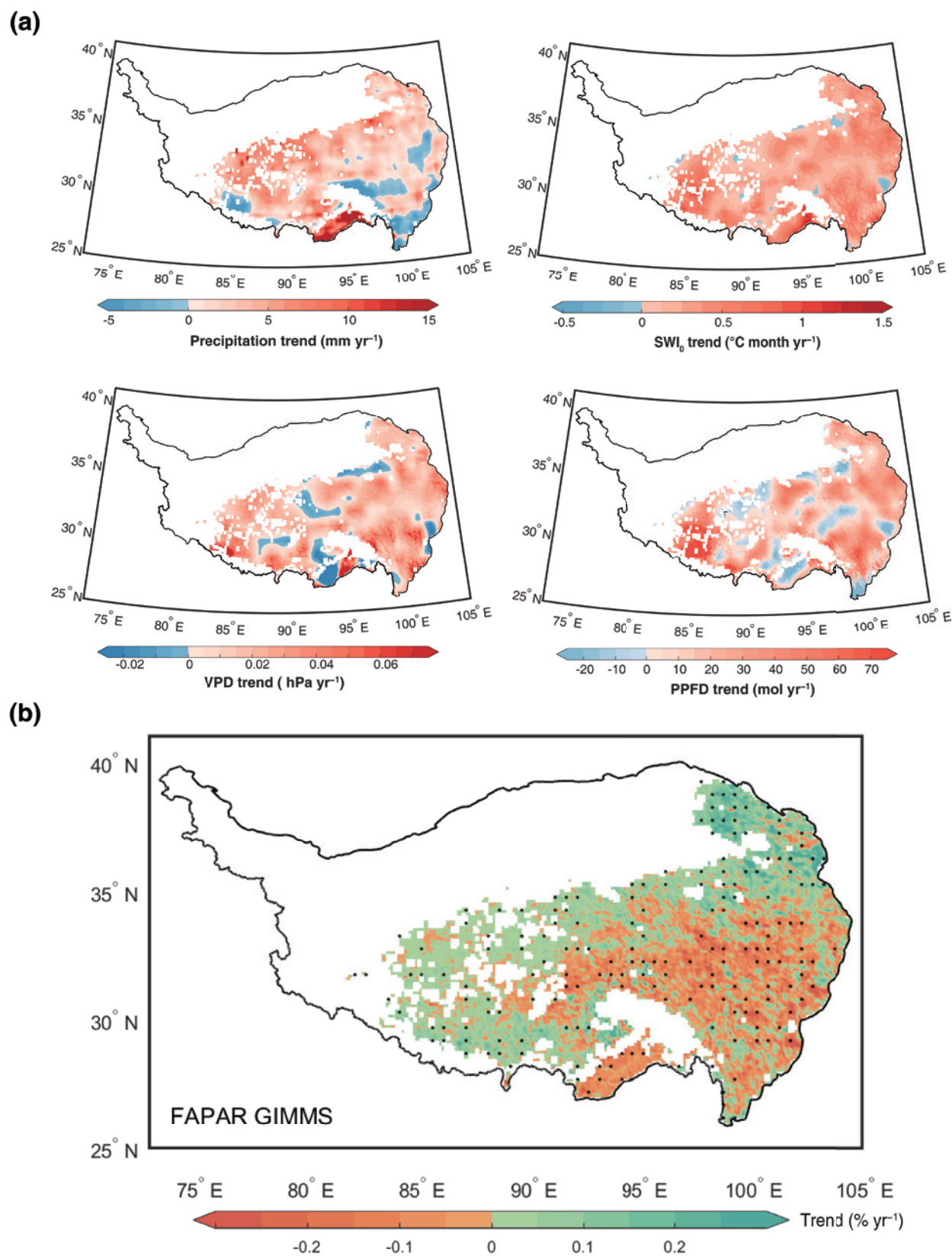


图 1. 青藏高原气候要素和植被最大绿度变化的空间格局

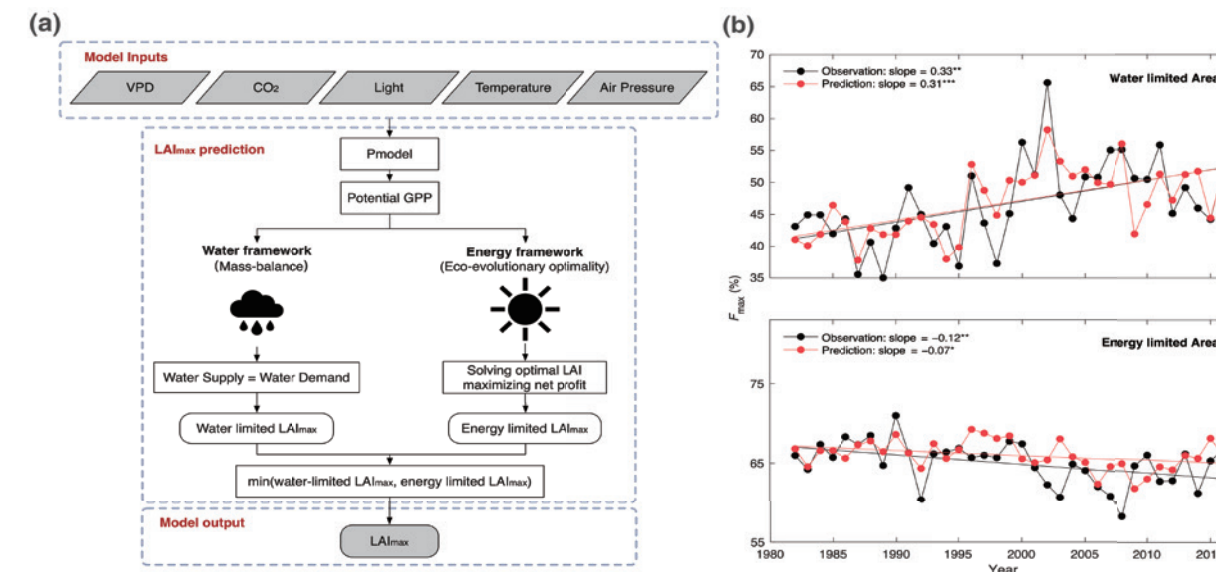


图 2. (a) 水量平衡约束下的最大叶面积指数预测方案; (b) 青藏高原植被绿度年际变化趋势的卫星观测及模型预测结果

著变绿; 而在中部和东南部地区, 植被绿度却呈现出下降的趋势。为对该现象进行解释和归因, 课题组在生态演化最优性原理基础上引入水量平衡约束, 开发了简洁的叶面积指数模型。该模型不仅有效预测了最大植被绿度的空间分布, 而且定量预测了青藏高原最大植被绿度的年际变化趋势及其响应气候要素变化的敏感性, 为揭示青藏高原植被绿度变化空间分异性的驱动机制提供了科学工具(图 2)。该成果以“Optimality principles explaining divergent responses of alpine vegetation to environmental change”为题, 发表在国际学术期刊 *Global Change Biology* 上。

研究团队利用该模型解耦了多重环境因子对植被绿度变化的贡献度, 探究了青藏高原植被绿度变化的驱动机制。结果显示, 不断上升的大气二氧化碳浓度提高了植被对光能和水分的利用效率, 促进了青藏高原植被的生长。在该效应的基础上, 水分进一步主导了西北部干旱地区植被绿度的变化, 使得该区域植被随着降水的增加整体变绿; 而在相对湿润地区, 温度和空气干燥度则是影响植被生长的主要因素。升温 and 空气干燥度的增加引起了植被向地下分配的生物量增加, 进而提升了单位叶片构建的碳成本, 不利于该区域植被冠层的生长(图 3)。与此同时, 观测和模型预测结果均显示, 过去近几十年间, 青藏高原植被生长响应降水和温度的敏感性均有所下降, 观测降幅分别为 0.00054 % mm⁻¹ yr⁻¹ 和 0.10 % SWI⁻¹

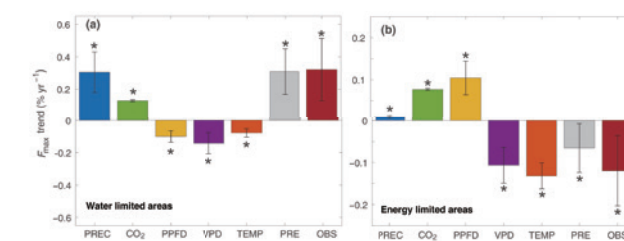


图 3. 多重环境因子对青藏高原最大植被绿度变化的贡献

yr⁻¹, 与预测结果一致 (0.00057 % mm⁻¹ yr⁻¹ 和 0.06 % SWI⁻¹yr⁻¹)。这说明水分对高原植被生长的限制能力将随降水量的增加逐步减弱, 而升温带来大气干燥度增加和地上地下碳分配的调整则可能削弱植被冠层的生长。

清华大学地球系统科学系博士研究生朱子琪为论文第一作者, 王焱副教授为论文通讯作者。博士乔圣超、博士后谭深和清华大学杰出访问教授 Sandy P. Harrison 和 I. Colin Prentice 为论文的共同作者。该研究得到了国家自然科学基金项目 (32022052、91837312、31971495) 和清华自主科研计划 (20223080041) 等项目的资助。

全文链接:

Zhu, Z., Wang, H., Harrison, S. P., Prentice, I. C., Qiao, S., & Tan, S. (2022). Optimality principles explaining divergent responses of alpine vegetation to environmental change. *Global Change Biology*, 00, 1 - 17. <https://doi.org/10.1111/gcb.16459>

清华大学参与共建的地球系统数值模拟装置通过国家验收

作者 / 黄小猛 林琳

近日，国家“十二五”重大科技基础设施项目“地球系统数值模拟装置”顺利通过国家验收，正式开放运行。

地球系统数值模拟装置是怀柔综合性国家科学中心首个正式运行的国家重大科技基础设施。地球系统数值模拟装置以地球系统各圈层数值模拟软件为核心，开展了软、硬件协同设计，规模和综合技术水平位于世界前列。通过项目建设，建成了“模式、计算、数据”三位一体的、专用地球系统数值模拟装置，具备了对地球系统全圈层复杂过程在中尺度上的定量描述与模拟能力，推动了地球系统科学不同学科之间的学科交叉与融合。装置的法人单位为中国科学院大气物理研究所，清华大学为共建单位。

地球系统模式数值模拟装置共包含五个系统：系统一地球系统模式数值模拟系统、系统二区域高精度环境模拟系统、系统三超级模拟支撑与管理系统、系统四支撑数据库和资料同化及可视化系统和系统五面向地球系统的高性能计算系统。清华大学负责了三个系统中的5个建设任务，具体包括：系统二的区域高精度长期气候变化风险模拟分系统、系统二的中国和全球主要农产区粮食作物旱灾模拟



分系统、系统三超级模拟支撑与管理系统、系统五的高速互联网项目 IVI 翻译及网管分系统、以及系统五的城域高速互联网。

区域高精度长期气候变化风险模拟分系统实现了气候变化模拟和预估数据从全球百公里分辨率到区域 3 公里的统计降尺度能力，基于高性能地球数值模拟装置，采取任意区域切割和多核并行计算等措施，解决了高精度统计降尺度运行效率偏低的问题，将统计降尺度运行速度提升 5-7 倍。

中国和全球主要农产区粮食作物旱灾模拟分系统实现了全球近实时农业土地利用监测、全球粮食作物动态模

拟与逐日产量预报等功能。数据产品被联合国粮农组织（FAO）等国内外机构广泛使用，并支撑了科技部国家遥感中心《全球生态环境遥感监测年度报告》等。

超级模拟支撑与管理系统由清华大学负责整体设计与研制，该系统具备面向底层的代码开发移植、调试调优和计算环境优化的支撑功能，以及面向用户的模式试验、评估与调优的管理功能。研发的耦合器 C-Coupler2 功能优于欧美国家耦合器。在整个地球系统数值模拟装置中，超级模拟支撑与管理系统可灵活高效支持地球系统模式的设计、开发、调试验证、发布和应用的全流程研发过程。航

天宏图信息技术股份有限公司承担了项目的总装集成任务。

高速互联网项目 IVI 翻译及网管分系统和城域高速互联网针对目前大量超算软件系统仍然是 IPv4 的现状，率先提出已成为 IETF 互联网国际标准的无状态 IPv4/IPv6 翻译过渡技术（IVI），研制完成成为超算系统定制的 IPv4/IPv6 互联互通服务器集群系统，支持通过 IPv6 的 IPv4 专网服务，支持 IPv4 和 IPv6 应用的互联互通。

在大装置建设中，清华大学充分发挥地球系统科学、计算机科学与技术等多学科交叉优势，厚积薄发，为“大国重器”建设贡献了清华智慧。

清华大学地学系卢麾课题组发文提出基于陆气相互作用的干燥度划分方案

作者 / 何晴

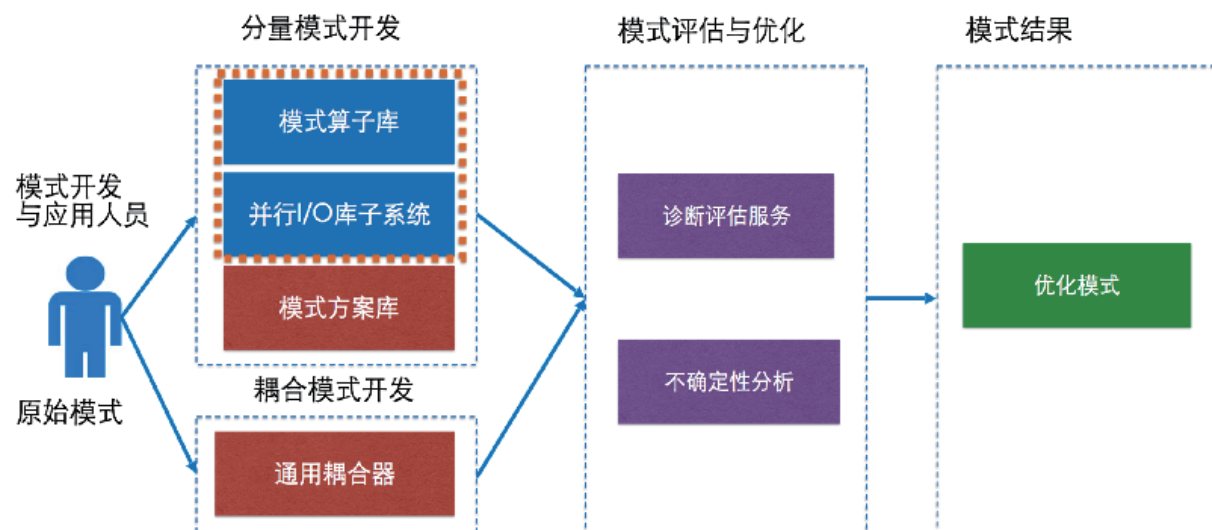
干燥度指数作为衡量一个地区干湿程度的指标，也是全球变化研究中经常涉及的气候指标之一。在传统的计算中，AI 指的是多年平均降水量与净辐射之比，但这一计算方法未能充分考虑陆地表面的空间差异特征（例如土壤质地和地形地貌）。为更好地反映这一影响，卢麾课题组发现，利用高时空分辨率遥感数据刻画的蒸散发 - 土壤水耦合机制可以弥补这一不足。课题组利用自身研发的长时序日尺度地表土壤水分数据集和基于地表通量平衡理论估算的蒸散发方法，分析了中国和美国区域的蒸散发 - 土壤水耦合强度（ $\Delta Corr$ ），提出了新的地表干燥度分类方案。

近日，清华大学地学系卢麾副教授课题组在《环境研究快报》（Environmental Research Letters）上发表题为“基于地表能量分配机制的干旱度划分简单框架”（A Simple Framework to Characterize Land Aridity Based on Energy Partitioning Regimes）的研究论文，基于遥感观测数据和蒸散发 - 土壤水耦合机制，提出了一种考虑了下垫面能量和水量分配过程的地表干燥程度分类方案。该方案考虑了陆表的空间异质性，拓展了干燥程度

划分的空间和时间变异性，可为研究区域的气候变化、人类生产活动以及制定相关的区域防灾减灾措施提供指导。

研究首先对比了传统 AI 和蒸散发 - 土壤水耦合机制的空间分布图。从图 1 可以看出，AI 和蒸散发 - 土壤水耦合机制在总体的空间分布格局上是较为相似的。这意味着蒸散发 - 土壤水耦合机制和 AI 能够反映相同的地表水收支信息，即长期平均的总量信息。然而二者对局地特征的表现差异十分明显，例如在中国云南和美国南部的一些区域，当 AI 表征的地表水分情况较为湿润的时候，蒸散发 - 土壤水耦合机制却表现出相反的结果。这说明二者反映的信息不同。研究通过对八个样本对进行归因分析表明，使用蒸散发 - 土壤水耦合机制能够更好地反映下垫面空间异质性的影响（图 2）。

基于以上分析，研究提出了基于蒸散发 - 土壤水耦合机制的双级地表干燥度划分方案（图 3）。其中，一级分类反映的是与 AI 相同的信息，即由蒸散发的能量 / 水量限制机制决定的地表湿润（W）和干燥（D）的条件。同时，由于 $\Delta Corr$ 与 AI 反映的不同信息是由下垫面空间异质性



超级模拟支撑与管理流程图

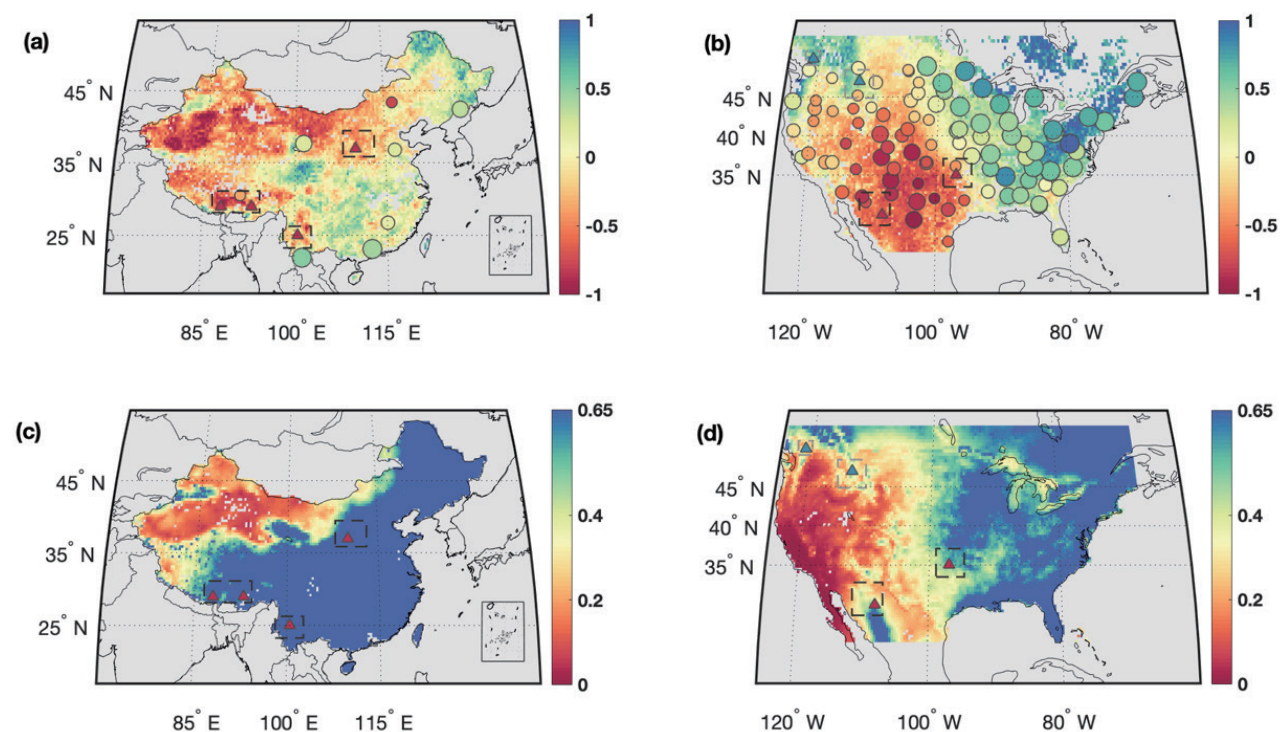


图 1. 蒸散发 - 土壤水耦合强度 (a-b: $\Delta Corr > 0$ 时代蒸散发受能量限制, 反之受水分控制, 同时 $\Delta Corr$ 绝对值越大, 蒸散发 - 土壤水耦合强度越高) 和干燥度指数 AI (c-d) 在两个研究区域的空间分布图。图中字母为研究中选取分析样本的标注。

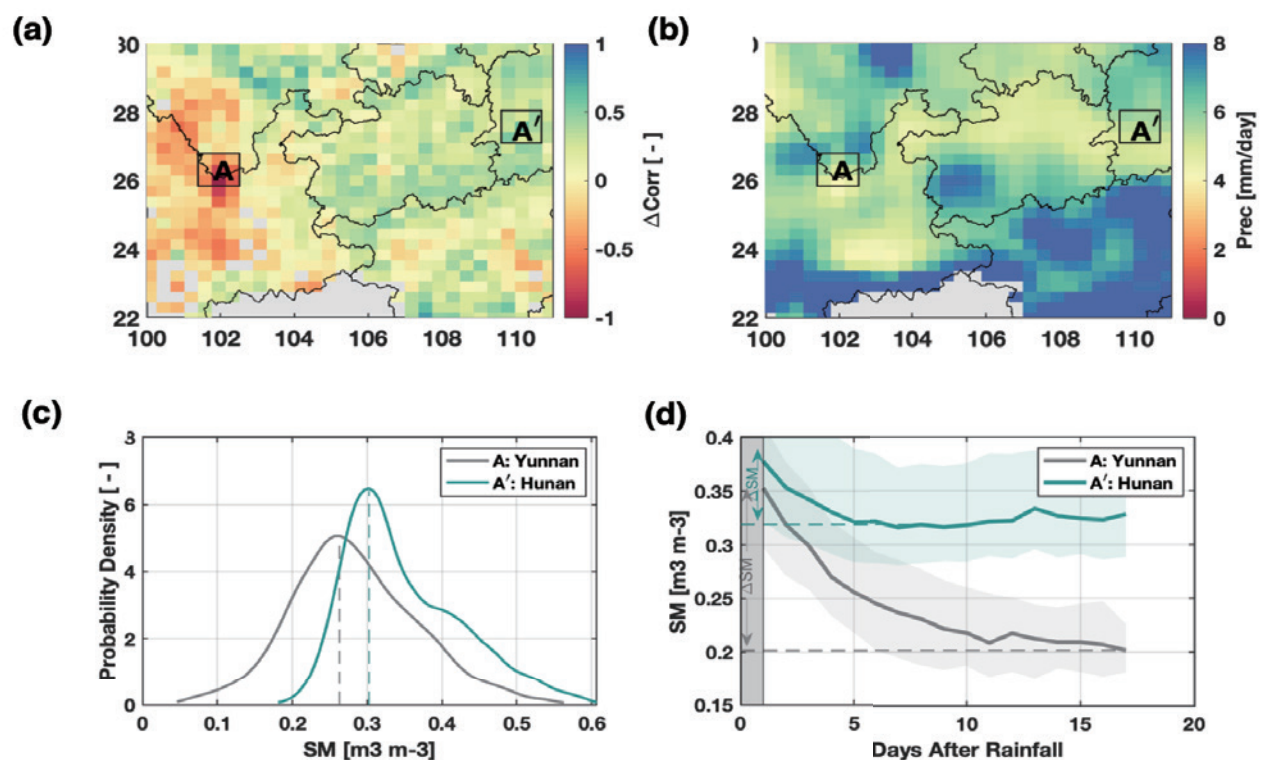


图 2. 位于中国云南的样本 A 和位于中国湖南的样本 A' 的蒸散发 - 土壤水耦合强度 (图 a) 和 AI 空间分布图 (图 b), 以及二者的土壤水分概率密度曲线 (图 c) 和土壤水退水曲线 (图 d) 示意图。样本 A 和 A' 具有相近的降水量, 却表现出了相反的蒸散发机制。这可能是由于样本 A 所在的云贵高原地区分布着较多的喀斯特地貌, 到达地表的降水下渗到深层土壤中的速率较快, 因此表层的土壤水分含量较为干燥。

First Tier (Background mean state)	Criterion	Second Tier (Variability)	Criterion
W	$\Delta Corr_{i,j} > 0$	Wh	$\Delta Corr_{i,j} > Q_w 75$
		Wm	$Q_w 75 < \Delta Corr_{i,j} < Q_w 75$
		Wl	$\Delta Corr_{i,j} < Q_w 25$
D	$\Delta Corr_{i,j} < 0$	Dh	$\Delta Corr_{i,j} > Q_d 75$
		Dm	$Q_d 75 < \Delta Corr_{i,j} < Q_d 75$
		Dl	$\Delta Corr_{i,j} < Q_d 25$

图 3. 基于蒸散发 - 土壤水耦合机制的干燥度划分方案。W 代表长期平均为湿润型的气候, D 代表干燥型的气候。Q_w75 和 Q_w25 代表蒸散发 - 土壤水作用强度 $\Delta Corr$ 的在 75 和 25 百分位数, ij 代表网格行列标号。

和陆气交互作用引起的, 这意味着对蒸散发 - 土壤水耦合强度进行分类能够对极端天气气候事件具有指示意义。因此, 在二级分类中, 当耦合强度大于 75 百分位时, 意味着此地区发生极端天气气候事件的风险较高 (h), 而低于 25 百分位时则风险较低 (l)。

图 4 展示了分别使用 AI 指数和蒸散发 - 土壤水耦合机制的干燥度分类图。可以看到, 相比于基于 AI 的分类来说, 新的指标对极端天气气候事件常发的区域 (例如美国南部和中国云南等地) 具有较好的指示意义。

相比于传统的干燥度指数 AI 来说, 此研究提出的基于蒸散发 - 土壤水耦合机制的划分框架更能反映由下垫面空间异质性和陆气相互作用引起的地表水收支情况。此外, 本研究提出的划分框架以相对较短的时间尺度 (即每天) 定义地表干燥程度, 更能反映强烈的陆气耦合所引起的极端事件 (骤旱、热浪等), 因为这些事件往往发生在相对较短的时间段内。因此, 此研究重新定义的地表干燥度分级图 -- 包括了短期地表水和能量的变化信息 -- 可为传统的基于干燥指数 AI 的气候分类图提供重要的补充信息, 以解决人类面临的与水安全、生态安全和气象灾害有关的环境挑战。

清华大学地学系博士生何婧为该论文的第一作者, 地学系卢麾副教授为论文的通讯作者。合作者包括清华大学地学系阳坤教授, 美国西北太平洋国家实验室 L. Ruby

Leung 院士, 加州大学圣地亚哥分校潘铭教授, 中国科学院青藏高原研究所何杰博士以及中国科学院空天信息研究院姚盼盼助理研究员。本研究得到了国家重点研发计划项目 (2017YFA0603703) 和第二次青藏高原科考项目 (2019QZKK0206) 的支持。

论文链接:

He, Q., Lu, H.*, Yang, K., Leung, L.R., Pan, M., He, J., Yao, P., 2022. A simple framework to characterize land aridity based on surface energy partitioning regimes. Environ. Res. Lett. 17, 034008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac50d4>

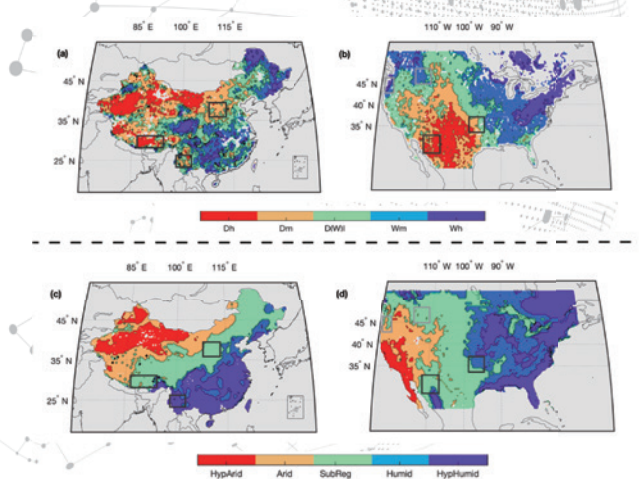


图 4. 基于蒸散发 - 土壤水作用机制 (图 a 和 b) 和 AI (图 c 和 d) 的干燥度区划图。图中黑色和灰色框代表分析样本所处位置。

清华大学地学系彭怡然研究组合作发文提出新的云滴活化参数化方案

作者 / 彭怡然 王恒琪

政府间气候变化专门委员会第六次评估报告指出，气溶胶-云相互作用在气溶胶气候效应中起主导作用，同时也是当前气候模拟不确定性的主要来源之一。气溶胶-云相互作用的不确定性在很大程度上与气溶胶形成云滴的活化过程有关。由于该过程受到多个变量的非线性复杂影响，因此气候模式中需要对其计算进行准确的参数化处理。而当前模式普遍使用的是高度简化近似的活化过程计算方案，这些方案的不确定性普遍较大。

清华大学地学系彭怡然副教授研究组针对目前云滴活化计算方案存在的问题，联合加拿大气候模拟与分析中心提出了“基于准静态近似方法求解云滴增长方程”的云滴活化方案（简称 QDGE 方案），并利用高精度数值求解活化过程的气块模型以及全球多区域飞机观测数据对该方案的计算效果进行了评估。该研究成果近期以“使用陆地和海洋飞机观测数据评估用于气候模式中的 QDGE 云滴活化方案”（Evaluation of a Quasi-steady state approximation of the cloud Droplet Growth Equation (QDGE) scheme for aerosol activation in global models using multiple aircraft data over both continental and marine environments）为题，发表在地学领域国际高水平期刊《地球科学模式发展》（Geoscientific Model Development）上。

QDGE 方案的计算原理及流程如图 1 所示。该方案考虑了垂直方向上次网格尺度的变化，在每个次网格内采用云水质量和湿静能守恒的假设，通过迭代求解和提前给定的查找表，计算次网格内的过饱和度 S ；继而根据垂直方向上过饱和度的变化求得大尺度网格内的最大过饱和度 S_{max} ，据此对气溶胶粒径谱进行截断和积分后，即得到可活化的总云滴数浓度 N_{CCN} 。

与传统的参数化方案相比，由于考虑了次网格尺度的变化，QDGE 方案显著提高了计算精度。研究组以高精度数值求解活化过程的气块模型结果为参考值进行对比发现，在不同气溶胶类型和垂直速度条件下，QDGE 方案的计算结果与气块模型（Parcel Model）结果的偏差均在 0.18% 以下（如图 2 所示），相比于传统参数化方案的偏差减小了一个量级，显著提升了活化过程的计算精度。

此外，本研究还使用全球不同区域（中国、加拿大、智利和巴西，分别代表城市、海岸、海洋和清洁大陆的不同气溶胶类型和气象条件）飞机观测的微小物理数据对 QDGE 方案的计算效果进行了评估。结果表明，QDGE 方案能够有效模拟不同气溶胶类型和不同气象条件下的活化过程，计算得到的云滴数浓度相对误差全部在 26% 以下，有效提升了云滴活化方案的普适性和准确性。

清华大学地学系博士生王恒琪为论文的第一作者，

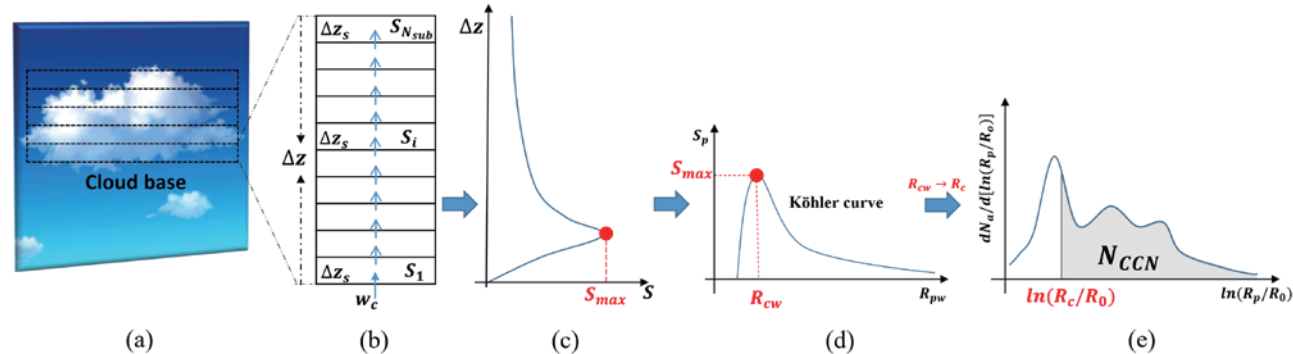


图 1. QDGE 活化方案的计算原理和流程图

地学系彭怡然副教授和加拿大气候模拟与分析中心的 Knut von Salzen 研究员为论文的共同通讯作者，北京人工影响天气办公室的高级工程师杨燕、周嵬和赵德龙为论文合作者。该研究得到了国家科技部重点研发项目（No.2017YFC1501404）和国家自然科学基金（No.42175096, No.41775137 和 No.71690243）的支持。

全文链接: <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2949-2022>

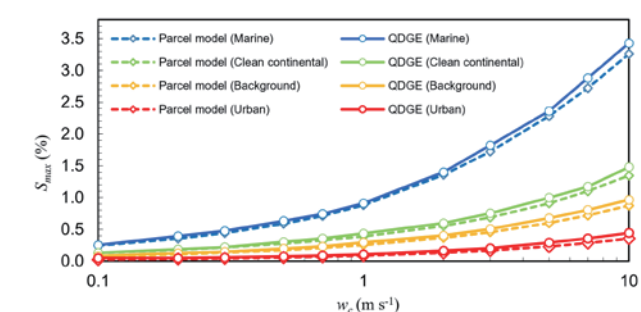


图 2. QDGE 方案（实线）计算的最大过饱和度与气块模型（虚线）高精度数值解的对比。

清华大学地球系统科学系王勇课题组发文揭示历史土地利用的气候效应加剧全球经济不平等性

作者 / 刘妹 王勇

近日，清华大学地球系统科学系王勇副教授课题组结合第六次耦合模式比较计划（CMIP6）多模式多集合的气候模拟实验和温度-经济评估模型，研究了自 1850 年以来的历史土地利用通过生物地球物理过程和生物地球化学过程对全球地表平均气温和逐日气温变率的影响，并进一步分析了其对全球经济的影响。

气候变化影响农业产量、能源供给、劳动生产以及人体健康等方面，进而影响宏观经济发展。此前观测研究证实，当一个国家的平均气温处于最佳温度范围时，人均 GDP 增长率最大；过高或过低的气温都不适宜经济发展。已有研究分析证实，温室气体和人为气溶胶排放会改变年平均温度进而影响全球经济。除了温室气体和人为气溶胶排放，由于人类日益增长的衣食住行需求，大范围的自然植被开垦为耕地、牧场及城市等人类用地，土地利用/覆盖变化（LULCC）也是人类活动影响气候变化的重要途径之一。土地利用既能产生生物地球物理效应（改变地表反照率、波文比等），又能产生生物地球化学效应（造成温室气体排放等），并且其生物地球物理效应又随扰动

的地表类型和纬度不同而不同。因此，历史土地利用对全球气温、经济的影响仍不清楚。

针对上述问题，研究组设计了历史土地利用—气温响应—经济影响的研究路线。通过 CMIP6 气候模拟实验，发现历史土地利用的生物地球物理效应使得全球大部分地区温度下降（尤其是北半球中高纬度地区），而生物地球化学效应会造成全球范围的温度升高。在全球大部分地区，土地利用的生物地球化学效应在两者综合效应中占主导地位，使得这些地区年平均温度升高（图 1a），因此气候炎热的发展中国家的经济发展会受其负面影响，但对于气候寒冷的发达国家的经济发展却是利好。这样不同的经济影响加剧了全球经济不平等性（图 1）。另外，研究发现，土地利用的综合效应增加了发展中国家极端温度事件发生的次数，却减少了发达国家的极端温度事件发生次数，这也进一步加剧了全球经济不平等性。（图 2）。

研究评估了历史土地利用的气候效应造成的经济影响，对未来土地利用的合理规划、气候变化减缓政策的制定具有重要的指导意义。

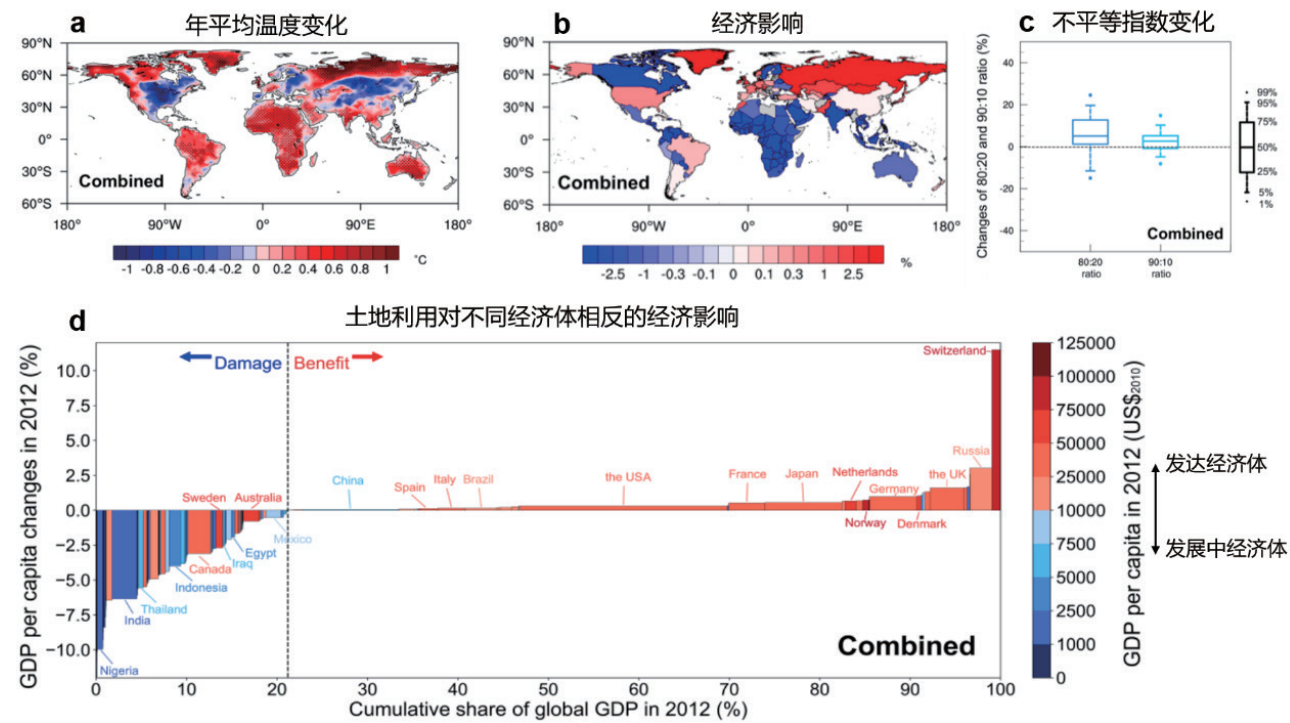


图1 历史土地利用的综合效应（物理 + 化学）通过影响年平均气温对全球经济的影响。

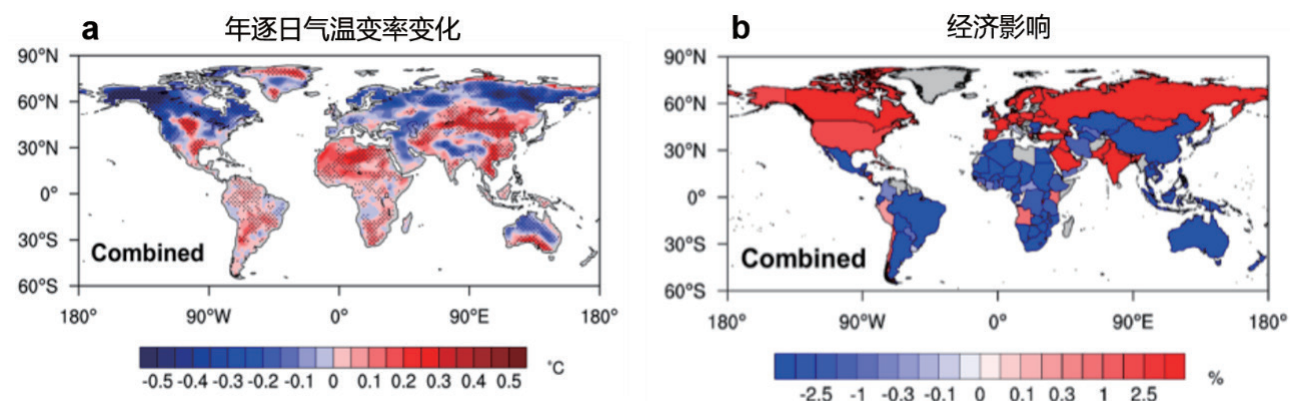


图2. 历史土地利用的综合效应（物理 + 化学）通过影响年逐日气温变率对全球经济的影响。

上述成果以“历史土地利用的生物地球物理和生物地球化学效应对全球经济不平等的相反影响” (Contrasting Influences of Biogeophysical and Biogeochemical Impacts of Historical Land Use on Global Economic Inequality) 为题, 于2022年5月5日在《自然-通讯》(Nature Communications) 期刊在线发表。

清华大学地学系2019级博士生刘姝为论文第一作者, 清华大学地学系王勇副教授为论文通讯作者。清华大学地

学系博士生魏麟懿, 清华大学地学系卓越访问教授、中国科学院大气物理研究所研究员王斌和清华大学地学系俞乐副教授等为论文合作者, 该研究得到了科技部重点研发项目和国家自然科学基金的支持。

全文链接:

<https://www.nature.com/articles/s41467-022-30145-6>

清华大学地学系阳坤课题组初步解决 WRF 模式模拟青藏高原大湖冻结时间严重偏早问题

作者 / 马小刚

青藏高原的湖泊面积超过我国湖泊总面积的50%以上, 在高原湖泊面积不断增加的背景下, 湖泊对局地天气和气候的影响受到越来越多的关注。湖泊冻结后会大幅度削弱湖水与大气的热交换, 导致湖面气温剧降。但目前模式模拟的湖泊冻结日期严重偏早(多达1~2个月), 仅依靠极其有限的高原湖泊观测数据难以解决这一问题。清华大学地学系阳坤教授课题组在改进湖-气耦合模式参数化方案的基础上, 直接在湖泊-大气耦合框架下实现了对青藏高原湖泊热力状态和湖泊冻结时间的合理模拟, 厘清了湖泊表面水热交换和内部热力过程的相对贡献。相关研究近日以“Importance of Parameterizing Lake Surface and Internal Thermal Processes in WRF for Simulating Freeze Onset of an Alpine Deep Lake” 为题发表在 Journal of Geophysical Research: Atmospheres 上。

研究以西藏自治区第二大湖泊—纳木错为对象, 首先评估了湖-气耦合模式 WRF-Lake 对高原湖泊热力状态的模拟能力。湖温廓线观测表明, 夏季湖泊表层能量能够传输到深层(图1b), 湖泊直至1月10日左右才冻结(图2a)。然而, 模拟的湖水温度偏低(图1c), 早在11月13日湖泊开始结冰(图2a), 表明模式中湖泊表层的能量难以下传, 而湖-气交换过强。

为解决这些问题, 研究针对湖泊放热和储热阶段, 在模式中分离了湖泊表面水热交换和内部热力过程的影响。在放热阶段(11月至冻结日), 湖水完全混合, 湖泊热状况与内部热力参数无关, 主要取决于表面水热交换。为此研究引入中科院青藏高原研究所马耀明研究员课题组根据野外观测发展的湖表水热交换参数化方案。储热阶段(6-10月), 湖水的热力分层状况取决于内部过程参数(湖水消光系数和湖水密度最大时对应的温度)。这些参数值来自

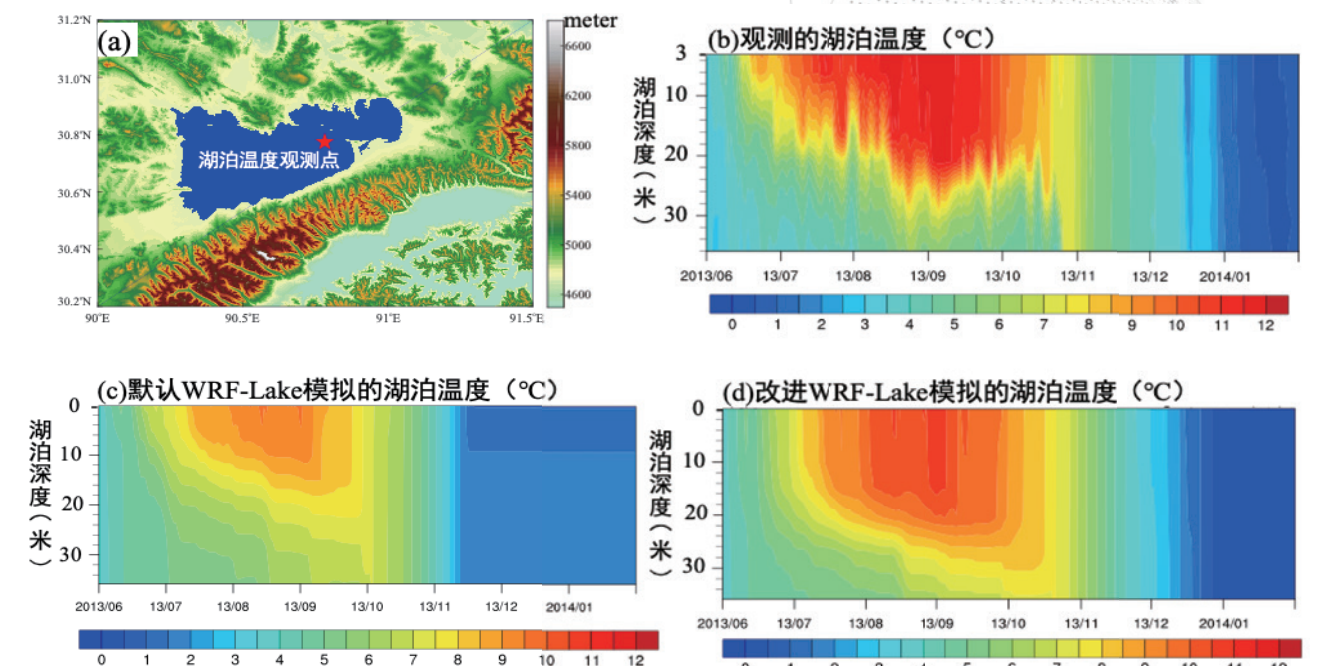


图1. 纳木错 (a) 地理位置, 颜色表示高程, 红色五角形代表湖泊温度观测位置; (b) 观测的湖泊温度的季节变化; (c) 默认 WRF-Lake 模拟的湖泊温度的季节变化; (d) 改进 WRF-Lake 后模拟的湖泊温度的季节变化

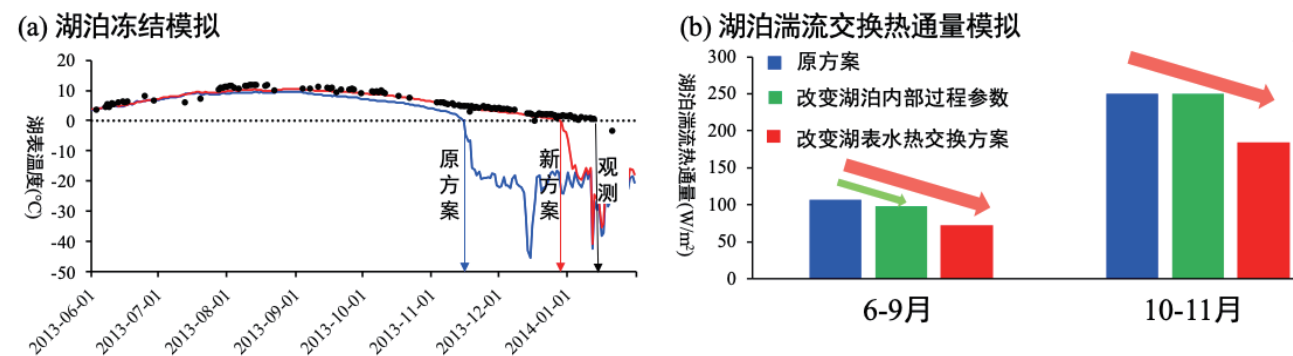


图2 (a) 纳木错的观测与模拟的冻结时间对比; (b) 湖泊内部过程参数和湖表水热交换方案在不同阶段的湖泊湍流交换热通量变化 (根据论文, 图片作适当修改)

中科院青藏高原研究所朱立平研究员课题组的野外观测。针对对湖泊放热和储热两个阶段的改进引入耦合模式后, 模拟的湖水温度 (图 1d) 和湖泊结冰时间明显接近观测值 (图 2a), 表明 WRF-Lake 对湖泊热力状态的模拟能力得到显著提高。

研究进一步通过敏感性数值实验揭示了高原湖泊表面水热交换和内部热力过程对湖泊冻结日期模拟的相对重要性。引入湖表水热交换参数化的新方案后, 大大削弱初夏至秋末湖泊湍流热通量释放 (图 2b), 从而显著推迟了湖泊结冰时间。而湖泊内部过程参数观测值的引入主要减弱了 6-9 月的湖泊热通量释放 (图 2b), 但其影响相对较小。因此, 湖表水热交换方案在湖-气相互作用模拟中扮演着更重要的角色。

由于湖泊与陆地截然不同的水热特性使得湖面与陆面的气象条件存在很大差异, 如果使用湖岸观测的气象数据驱动湖泊模式, 模拟结果可能具有很大的不确定性, 对物理过程的理解造成偏差。因此, 本研究选择直接在湖-气耦合框架下开展分析。

清华大学地学系博士后马小刚为文章第一作者, 合作导师阳坤教授为通讯作者, 文章合作者来自清华大学地学系、中国科学院青藏高原研究所和西藏大学。研究工作得到了国家自然科学基金委项目 (41975125 和 41701041) 以及“青藏高原地球系统基础科学中心项目” (41988101) 的支持。

论文链接: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2022JD036759>

地学系阳坤课题组结合陆面过程和生态最优性原理建立新型蒸散发遥感模型

作者 / 邹宓君

地表蒸散发是能量、水分和碳循环的联系纽带。蒸散发遥感模型是目前获取蒸散发空间分布的主要手段, 但这些模型往往难以区分植被冠层和土壤对蒸散发的贡献, 且输入的植被功能型参数过多, 导致其估算不确定性大。针对上述问题, 清华大学地学系阳坤教授研究组通过结合生态最优性原理和陆面模型方案, 开发了具有普适性的植被蒸腾模块和能分离遥感热信息的模块, 构建了机理性强、

率定参数少的双源蒸散发模型 (EEOET)。

现有的蒸散发遥感模型从核心变量的角度可以分为基于地表温度和气孔阻抗两类: 前者避免了对土壤蒸发阻抗和气孔阻抗等复杂参数的计算, 但由输入数据和参数化带来的误差都被归结到了蒸散发上, 且这类模型通常需要利用多角度遥感观测来分离热信息, 适用性受到限制; 后者从机理上表达了气象条件、植被特征和土壤水分胁迫的影

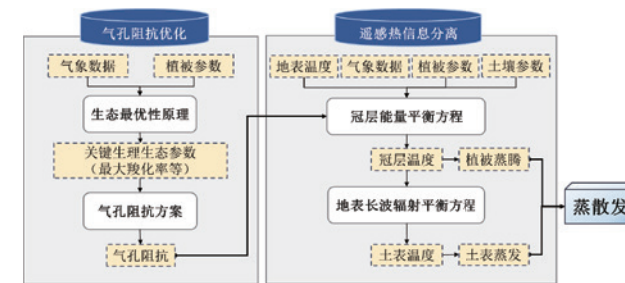


图 1. 基于生态最优性原理的蒸散发模型 (EEOET) 基本原理。

响, 但其中依赖于植被类型的参数过多导致阻抗计算的不确定性增加。

区别于以往模型, EEOET 使用遥感的地表温度作为输入, 并计算蒸散发中的阻抗参数 (如图 1)。研究引入了由清华大学王焱教授开发的以生态最优性原理为基础的生理生态参数估算方案, 估算最大羧化率, 避免了使用根据植被功能型指定的参数, 大幅度减少了气孔阻抗计算的参数。此外, 陆面过程模型 Noah-MP 的能量平衡和碳水耦合方案, 可以在计算气孔阻抗的同时分配冠层和土壤之间的能量。

研究在全球 74 个 FLUXNET 站点上对 EEOET 模型进行了评估, 并与两个典型的蒸散发模型的结果进行了比较 (图 2)。结果表明, EEOET 模型对不同的下垫面均能提供合理的蒸散发估算, 无需校准就能达到与包含更多待率定参数或更多经验过程的模型相当的精度。研究进一步讨论了生态最优性原理的有效性 (图 3)。结果显示, 以陆面模型中的能量平衡和碳水耦合方案为框架, 使用查找表计算植被蒸腾就能提供较合理的蒸散发估算。而使用生态最优性原理优化气孔阻抗方案后, 蒸散发的估算效果得到进一步改进。因此, 引入生态最优性原理不仅减少了与植被功能型相关的参数数量, 还提高了模型的估算精度。

该模型的主要特点在于: (1) 采用了陆面模式的能量分配方案, 能从单一的地表温度中得到冠层温度和土壤表面温度; 同时, 相较于把蒸散发当作余项求解的方式, EEOET 通过迭代同时求解多个能量组分, 因此对输入数据误差的敏感性较低。(2) 利用了生态最优性原理将模型中的待率定参数减少到 2 个以内, 降低了由参数率定带来的不确定性。此外, EEOET 模型考虑了植被对气候环境变化的适应, 因此适合构建反映气候变化影响的蒸散发数据产品。

相关研究近日以“Integrating eco-evolutionary

optimality principle and land processes for evapotranspiration estimation” 为题发表于 Journal of Hydrology。清华大学地学系博士后邹宓君为文章的第一作者, 合作导师阳坤教授为通讯作者, 合作作者来自于清华大学地学系和西南大学地科院。本研究得到国家自然科学基金 (42105122) 以及青藏高原地球系统基础科学中心 (41988101) 的支持。

文章信息: Zou, M., Yang, K., Lu, H., Ren, Y., Sun, J., Wang, H., Tan, S., and Zhao, L., 2022: Integrating eco-evolutionary optimality principle and land processes for evapotranspiration estimation. Journal of Hydrology, 128855.

论文链接: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169422014251>

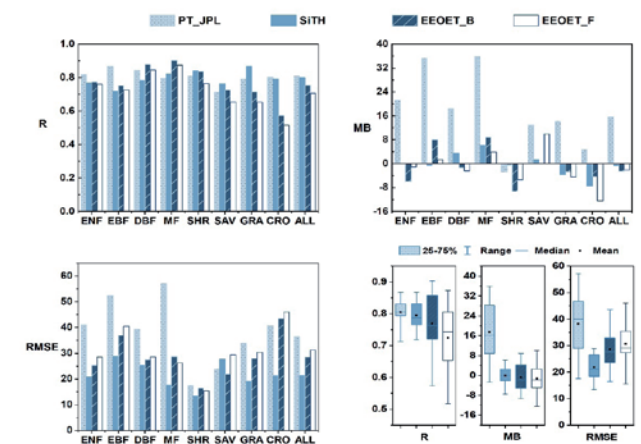


图 2. EEOET、PT-JPL (浅蓝色) 和 SITH (蓝色) 模型在不同下垫面的验证效果的对比 (单位: W/m^2)。EEOET 模型提供了 Ball-Berry 方法和菲克定律两种选项来计算气孔阻抗, 对应的验证结果分别用 EEOET_B (深蓝色) 和 EEOET_F (白色) 来表示。ALL 表示所有站点统计值的平均结果。

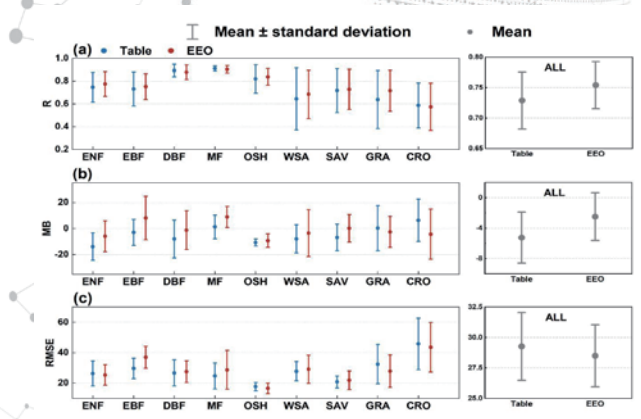


图 3. 引入生态最优性原理前 (蓝) 后 (红) 的模型估算效果对比。右侧表示站点平均结果。Table: 使用原始 Noah-MP 查找表计算 GPP; EEO: 使用生态最优性原理计算 GPP。

清华大学地学系张强课题组和同丹课题组合作发文指出 减污降碳协同是降低中国空气污染健康损失的必由之路

当前，大气 PM_{2.5} 污染导致我国每年超过 100 万人过早死亡，对人群健康造成严重威胁。由于大气污染物与二氧化碳同根同源，均主要来自化石燃料的燃烧和利用过程。因此，除聚焦于“减污”的空气污染末端治理措施外，致力于“降碳”的气候治理政策也能够减少大气污染物排放，进而带来空气质量改善和健康效益。目前，已有很多研究测算了中国未来不同政策情景下的大气污染变化及环境健康效益，其中包括当前和未来大气污染防治政策的健康效益，以及各类气候治理政策情景的协同健康效益等。然而，单纯依靠气候治理政策或末端治理政策能否持续改善空气质量并保护人群健康，在未来人口老龄化对空气质量提出更高要求的趋势下，到底实施何种力度的政策才能减少空气污染带来的健康损失，依然是一个未知的问题。

针对上述问题，清华大学地学系张强教授课题组和同丹助理教授课题组基于自主研发的中国未来排放动态评估模型（Dynamic Projection model for Emissions in China, 简称 DPEC），构建了从弱到强的 6 种气候治理政策情景（4.5 度温升情景、参考情景、保守政策情景、国家自主贡献目标情景、2 度温升情景和 1.5 度温升情景）和 3 种末端治理政策情景（基准年治理水平情景、当前治理技术情景和强化治理情景），并通过正交组合构建了包含 18 个情景的减污降碳政策情景矩阵。在此基础上，进一步耦合大气化学模型和健康效应模型，实现了对各类减污降碳路径下未来中国空气质量变化和健康影响的全面评估。

上述研究以“Role of climate goals and clean-air policies on reducing future air pollution deaths in China: a modelling study”为题在《柳叶刀·星球健康》（The Lancet Planetary Health）在线发表。基于自主研发的排放预测模型，研究团队构建了 18 组不同力度的

气候治理政策和空气污染治理政策组合情景。模拟了各个情景下中国未来 PM_{2.5} 污染暴露水平变化，并测算了相关健康损失，指出减污降碳协同是降低中国空气污染健康损失的必由之路。

研究表明，单独实施气候治理政策或末端治理政策均能够推动空气质量进一步改善。在全部 18 个情景中，除了由基准年污染治理水平情景与不同气候治理情景组合而成的 4 个情景之外，其余 14 个情景下 2015–2030 年间的 PM_{2.5} 污染暴露水平都出现明显下降（降幅 >5%）。而在 2030–2050 年间，全部 18 个情景下的 PM_{2.5} 污染暴露水平都明显下降，降幅在 8.2%–54.8% 之间。在最严格的气候治理和污染治理政策协同情景下（1.5 度温升叠加强化末端治理），2050 年全国人口加权 PM_{2.5} 浓度降至 9.0 微克/立方米，达到世界卫生组织第四阶段目标。

然而，由于未来人口老龄化背景下人群对空气污染

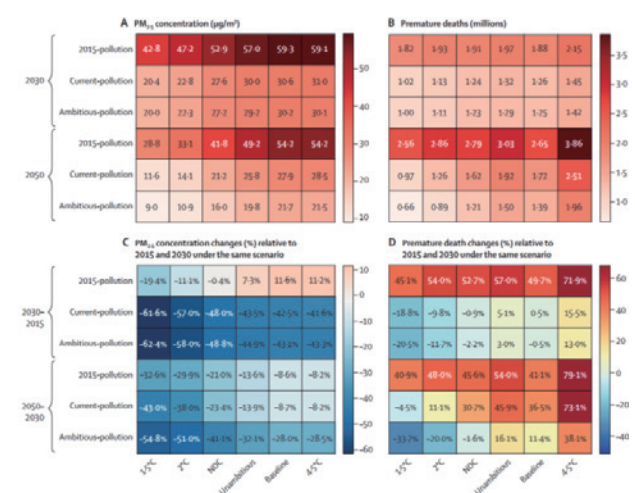


图 1 2030 和 2050 年不同情景组合下 PM_{2.5} 污染暴露与过早死亡变化。(A) 人口加权 PM_{2.5} 浓度；(B) PM_{2.5} 暴露相关过早死亡；(C) 人口加权 PM_{2.5} 浓度在 2015–2030 及 2030–2050 年的变化比例；(D) PM_{2.5} 暴露相关过早死亡在 2015–2030 及 2030–2050 年的变化比例。

的脆弱性逐步增加，空气质量改善并不一定能够降低空气污染健康损失，持续保护人民群众健康。从保护健康的视角来看，大多数情景下空气质量的改善无法抵消老龄化的负面影响。2015–2030 年间仅有 4 个严格的减污降碳协同情景能够显著减少 PM_{2.5} 污染相关过早死亡（降幅 >5%）；而只有最严格的 2 个减污降碳协同情景（2 度温升叠加强化末端治理和 1.5 度温升叠加强化末端治理）能够显著减少 2030–2050 年间的 PM_{2.5} 污染健康损失。

研究通过组合不同强度的气候治理和空气污染治理政策，构建了减污降碳协同减排情景矩阵，全面评估了各种可能的减排路径下中国未来空气质量变化和健康影响，指出只有协同实施最严格的气候治理和污染治理政策才能持续保护人民群众健康。研究从健康的角度强调了人口老龄化背景下减污降碳协同治理的重要性，指出应以保护健康作为气候变化与空气污染协同治理的出发点，推动减污降碳协同增效。研究成果为我国碳达峰、碳中和背景下制定减污降碳协同治理路线图提供了科学依据，并为其他面临

类似气候和环境问题的发展中国家制定协同治理策略提供了有益参考。

清华大学地系博士生刘洋和助理教授同丹为论文共同第一作者，张强教授为论文通讯作者。论文合作作者包括清华大学地球系统科学系程静博士、美国加州大学欧文分校 Steven J. Davis 教授、美国西北太平洋国家实验室全球变化研究所余莎博士和 Brinda Yarlagadda 博士、美国马里兰大学全球可持续发展中心 Leon E. Clarke 教授、英属哥伦比亚大学人口和公共卫生学院 Michael Brauer 教授、美国波士顿健康影响研究所 Aaron J. Cohen 教授、复旦大学公共卫生学院阚海东教授和北京大学医学部公共卫生学院薛涛副研究员。研究得到国家自然科学基金委的支持。

论文链接：

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542519621003260>

清华大学地学系关大博教授课题组合作发文 揭示东非区域二氧化碳排放时空演进格局和驱动因素

作者 / 孙艺达

为应对气候变化，国际社会历来高度关注包括欧盟和美国在内的发达经济体以及中国和印度等人口大国的二氧化碳排放问题，并实施了一系列的减排政策，但却缺少对欠发达地区气候治理现状的关注。目前，越来越多的发达国家已经或即将实现碳达峰。以东非地区为代表的大部分“最不发达国家”（Least developed countries），虽然已经做出自主减排承诺，但受制于数据基础薄弱，难以制定合理的减排政策。科学详实的碳排放清单是制定减排政策的基础，碳数据建设对于欠发达国家的可持续发展和全球碳中和路径规划具有重大意义。

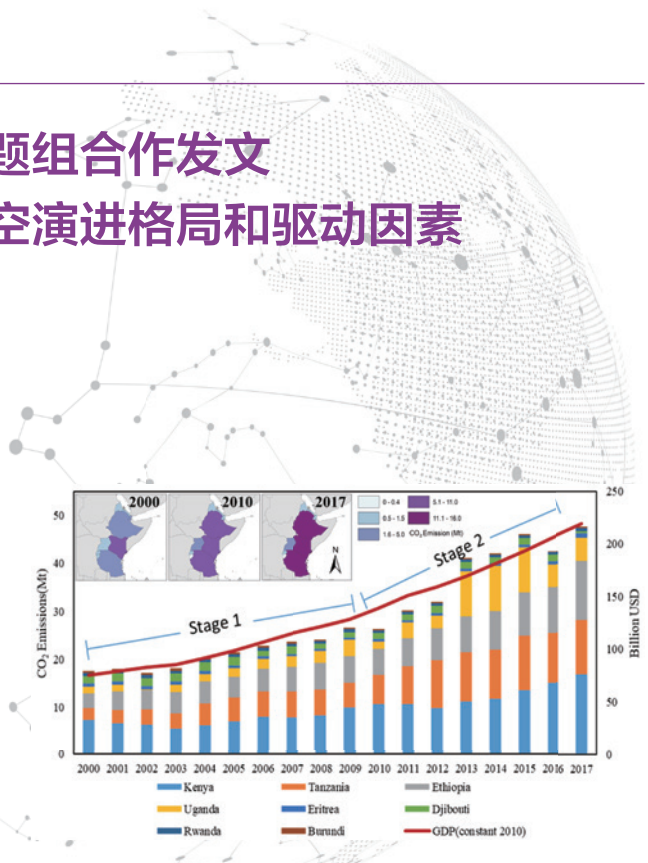


图 1.2000 年至 2017 年东非地区的二氧化碳排放的时空演进趋势

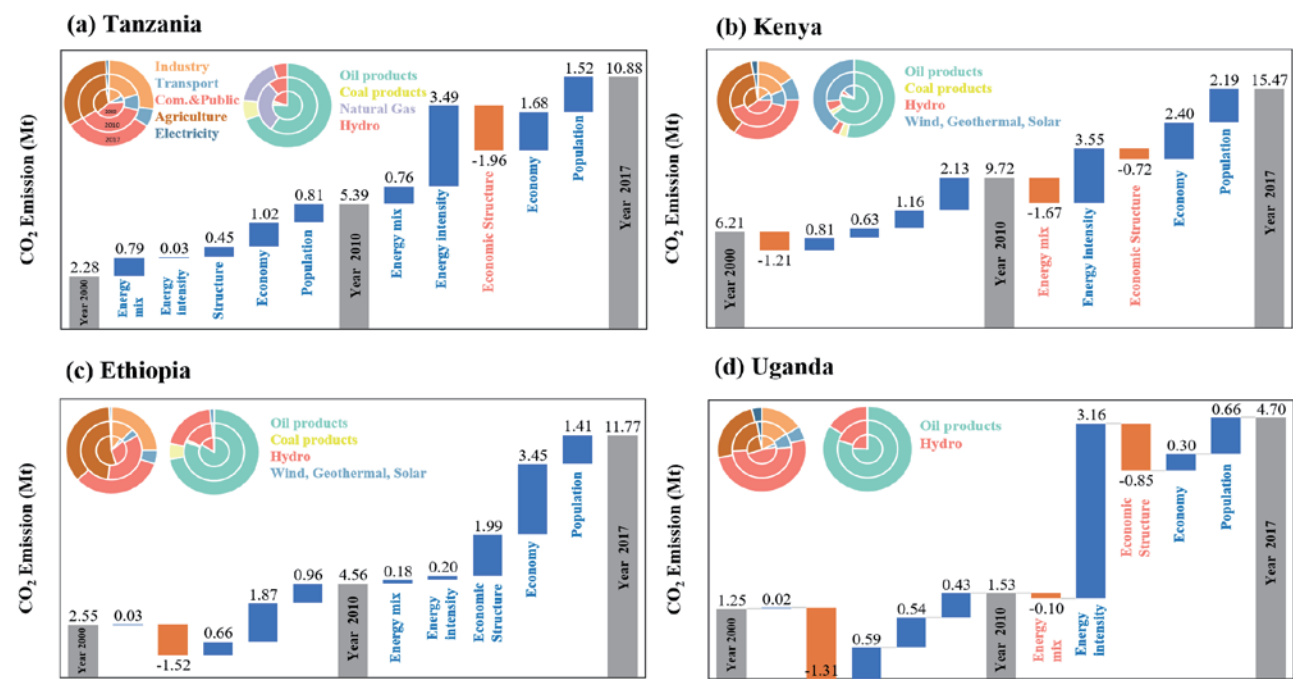


图 2.2000-2017 年东非四大高排放经济体的排放增长驱动因素以及产业、能源结构演变

针对上述问题，清华大学地学系关大博教授课题组联合国内外多个研究团队，结合多源数据，首次在区域尺度上建立了东非八个国家的长时间序列、45 部门的二氧化碳排放清单，并在此基础上深入探讨碳排放增长驱动因素。该研究填补了 IEA、EDGAR 等国际主流能源数据机构针对欠发达地区的碳数据空白，揭示了以东非为代表的经济崛起中欠发达经济体碳排放增长的模式和减排路径。研究成果以“Emission accounting and drivers in East African countries”为题在能源、环境领域国际主流期刊 Applied Energy 上在线发表。

研究表明，2000 年至 2017 年，东非地区的二氧化碳排放量以年均 6.03% 的速度高速增长，从 2000 年的 1760 万吨增长到 2017 年的 4760 万吨，并呈现出以 2010 年为转折点的“两阶段指数式增长”模式。同时，该地区经济快速增长，GDP 年均增长率为 6.45%，表明排放与经济增长挂钩。自 2010 年以来，该地区进行的大规模基础设施建设和工业化显著提升了排放增长速度。这意味着如果不大幅调整能源结构并深度优化能源效率，未来东非国家单位 GDP 的增长将以更高的排放量为代价。

研究通过两阶段 LMDI 分解发现，2000 至 2017 年，东非因经济和人口增长分别导致了 1300 万吨和 1100 万吨的排放增长。2010 年后，区域经济发展过程中，交通、

建筑、非金属制造等行业能源强度明显提高，成为排放增长的重要驱动因素，导致 980 万吨的排放增长。虽然东非地区的能源结构普遍改善，水电、地热装机容量稳步上升，风电光伏的使用实现了从无到有的突破，但由于对石油和煤炭的需求不断增长，清洁能源开发减少的排放几乎被抵消，使能源结构成为减少排放的弱推动力（减排 144 万吨），远远不足以抵消东非经济活动和人口增长对总排放增长的压力。

本研究提出，欠发达经济体往往面临经济发展（脱贫）与减排的双重挑战，减排政策应更多着力于提高能源效率和优化能源结构，而非限制产业增长。各国政府应充分利用本国特色的可再生能源禀赋，提高外国投资在清洁能源开发支出中的比例，并根据国情发展特色商品农业和林业，实现就业、减排和经济增长的协同效应。

清华大学地学系博士生孙艺达为论文第一作者，英国伯明翰大学单钰理副教授为通讯作者。其他合作者包括清华大学关大博教授，清华大学博士生崔璨；伦敦大学学院博士生赵伟辰；上海财经大学博士生王道平；南京大学张振克教授；南京大学本科生郝琦。研究得到了国家自然科学基金（No.41921005）的支持。

论文链接：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261922002525>

清华大学地学系刘竹课题组发文探讨 2021 年全球碳排放变化

作者 / 孙艺达

根据政府间气候变化专门委员会（IPCC）的最新评估报告，要将本世纪末的升温目标控制在《巴黎协定》制定的 1.5°C 或 2°C，从 2020 年初起全球剩余碳预算分别仅剩 4000 亿吨和 11500 亿吨二氧化碳（基于 67% 的可能性区间）。清华大学地球系统科学系（以下简称“地学系”）刘竹课题组利用研发的全球近实时碳排放数据库（Carbon Monitor），实现了全球碳排放量的近实时监测，更新了最新的全球剩余碳预算量。最新数据显示，2021 年全球碳排放量达到 34.9 亿吨二氧化碳，相比 2020 年增长 4.8%，消耗了 8.7%（1.5°C 情景）或 3%（2°C 情景）的全球剩余碳预算。该结果表明，如继续保持现有排放水平，1.5°C

和 2°C 升温目标下的全球剩余碳预算将分别在 9.5 年和 31 年内被用完。

这一成果近日以“2021 年全球碳排放监测”（Monitoring global carbon emissions in 2021）为题在《自然综述：地球与环境》（Nature Reviews: Earth & Environment）发表，论文发布了基于全球近实时碳数据测算的 2021 年全球碳排放最新变化，更新了《巴黎协定》升温目标下的全球碳预算。

文章指出，全球碳排放量在 2020 年出现大幅下降（-5.7%），而这一数字在 2021 年出现反弹。另外有研究指出全球甲烷排在 2020 年下降 5.7% 后，在 2021

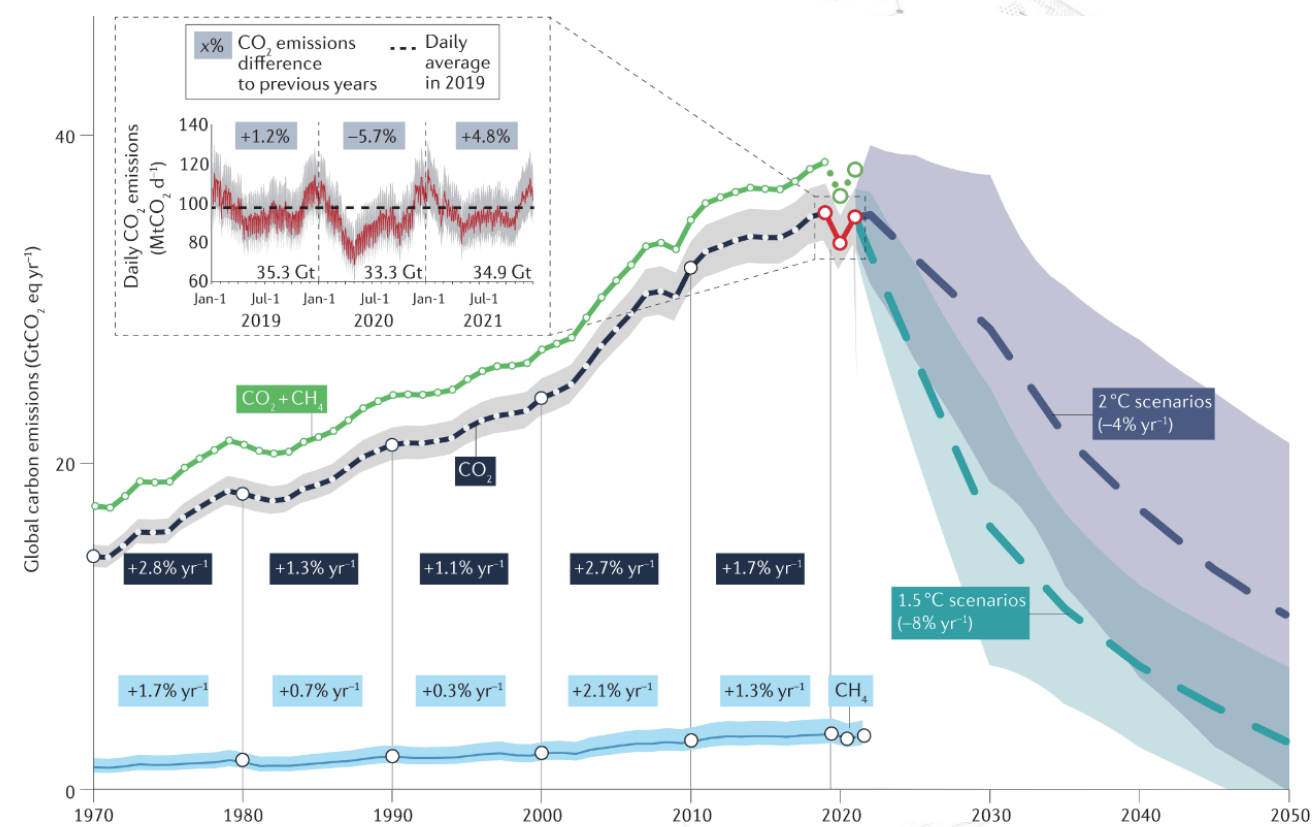


图 1. 全球二氧化碳排放和甲烷排放变化趋势

年也反弹了 3.7%。虽然全球主要国家已陆续宣布各自的碳中和目标，但近实时数据表明，当前全球的减排幅度和措施距离实现《巴黎协定》的目标相去甚远。各国需要更积极的减排行动，并加强对碳排放的持续监测、记录和评估。

清华大学地学系刘竹副教授为文章第一作者兼通讯作者。文章合作者包括清华大学地学系 2019 级博士研究生邓铸、美国加州大学欧文分校史蒂文·戴维斯 (Steven J. Davis) 教授、法国凯罗斯公司 (Kayros) 的克莱门特·吉隆 (Clement Giron) 和法国气候与环境科学实验室菲利普·西亚斯 (Philippe Ciais) 教授。

文章链接: <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00285-w>

相关信息:

[1] 全球近实时碳排放数据库 <https://carbonmonitor.org/>

[2] Liu, Z., Ciais, P., Deng, Z., Lei, R., Davis, S.J., Feng, S., Zheng, B., Cui, D., Dou, X., Zhu, B.,

Guo, R., Ke, P., Sun, T., Lu, C., He, P., Wang, Y., Yue, X., Wang, Y., Lei, Y., Zhou, H., Cai, Z., Wu, Y., Guo, R., Han, T., Xue, J., Boucher, O., Boucher, E., Chevallier, F., Tanaka, K., Wei, Y., Zhong, H., Kang, C., Zhang, N., Chen, B., Xi, F., Liu, M., Bréon, F.-M., Lu, Y., Zhang, Q., Guan, D., Gong, P., Kammen, D.M., He, K., Schellnhuber, H.J., 2020. Near-real-time monitoring of global CO2 emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic. *Nature Communications* 11, 5172.

[3] Liu, Z., Ciais, P., Deng, Z., Davis, S.J., Zheng, B., Wang, Y., Cui, D., Zhu, B., Dou, X., Ke, P., Sun, T., Guo, R., Zhong, H., Boucher, O., Bréon, F.-M., Lu, C., Guo, R., Xue, J., Boucher, E., Tanaka, K., Chevallier, F., 2020. Carbon Monitor, a near-real-time daily dataset of global CO2 emission from fossil fuel and cement production. *Scientific Data* 7, 392.

清华大学地学系关大博课题组构建全球新兴经济体全区域近实时投入产出模型 (EMERGING)

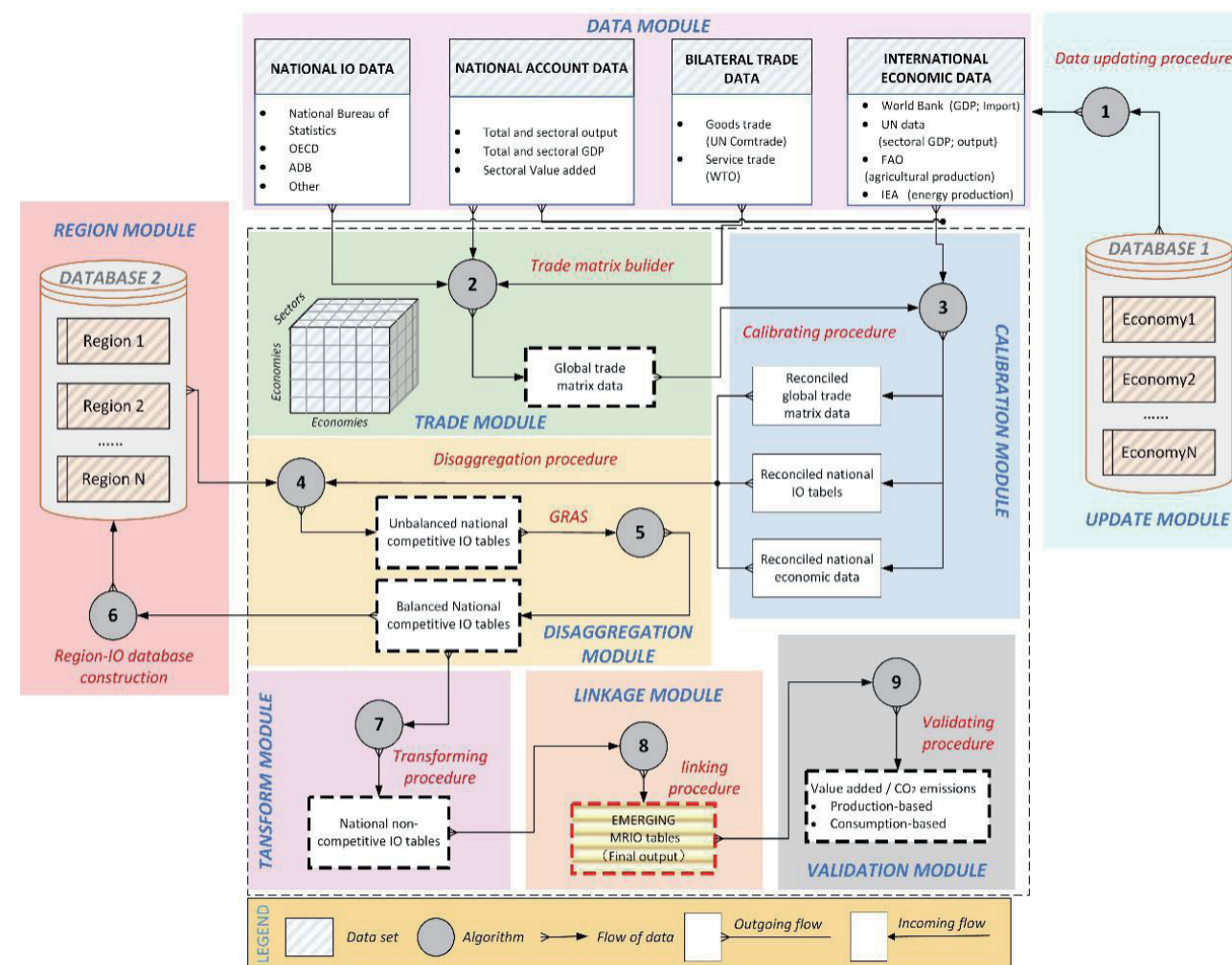
作者 / 霍靖雯

随着全球化的进程不断发展，新兴经济体在全球经济供应链中发挥着越来越重要的作用。面对严峻的气候变化问题，新兴经济体如何实现绿色低碳以及可持续发展成为未来实现全球碳中和目标的重中之重。

由于宏观社会经济数据可获得性差、收集困难，目前已有的多区域投入产出 (MRIO) 数据库中新兴经济体的数据信息在国家和部门层面不够详尽，阻碍了 MRIO 模型分析新兴经济体在全球供应链中的历史发展模式以及未来发展路径的能力。

针对上述问题，清华大学地学系关大博教授研究组联

合伦敦大学学院、挪威科技大学、格罗宁根大学和上海财经大学等多家机构学者，创新多源数据融合方法，构建了模块化的全球全区域投入产出模型编制框架 (EMERGING MRIO)。EMERGING MRIO 是由中国学者领衔研发、具备完全自主知识产权、聚焦于新兴经济体的全球全区域投入产出数据库。与现有数据库相比，EMERGING 数据库具有以下 5 个特点：1. 国家分辨率高。全面覆盖了全球所有经济体的经济与贸易信息；2. 行业分辨率高。全面反应制造业及服务业供应链的结构变化特征；3. 时间覆盖范围广。覆盖了 2010 年以来的多个历史年份；4. 近实时



EMERGING 模型构成框架

更新。能够反映最新的贸易变化及政策影响；5. 采用模块化编译流程。各个模块之间互不影响，减少了各步骤之间的耦合过程，提高了编译效率。该数据库目前已经编制完成 2010 年、2015-2019 年全球 245 个经济体、135 个部门的全区域投入产出表。模型与数据库编译的方法论成果近期以“Full-scale, near real-time multi-regional input-output table for the global emerging economies (EMERGING)”为题为在 *Journal of Industrial Ecology* 在线发表。同时，相关数据已在 CEADs 网站上公开免费发布。(<https://www.ceads.net/>)

清华大学地学系博士生霍靖雯及伦敦大学学院陈佩佩博士生为论文共同第一作者，清华大学关大博教授、伦敦大学学院孟靖副教授为论文的共同通讯作者。合作者包括挪威科技大学郑赫然博士和格罗宁根大学 Klaus Hubacek

教授。本研究得到国家自然科学基金 (72140001 和 41921005) 的资助。

文章链接:

Huo, J., Chen, P., Hubacek, K., Zheng, H., Meng, J., & Guan, D. (2022). Full-scale, near real-time multi-regional input-output table for the global emerging economies (EMERGING). *Journal of Industrial Ecology*, 1 - 15. <https://doi.org/10.1111/jiec.13264>

清华大学地学系张强课题组揭示 中国清洁空气行动的碳减排协同效益

作者 / 张强

应对气候变化的措施能够有效改善空气质量已是共识，而大气污染物与温室气体同根同源，近年来中国实施的清洁空气措施推动了大气污染物大幅减排，其对气候变化的影响也受到广泛关注。清洁空气行动影响气候变化的相关研究主要关注空气污染引起的辐射反馈变化等气候因素，目前仅有个别研究测算了重点区域实施清洁空气行动带来的碳协同减排效益，尚未有研究量化 2013 年《大气污染防治行动计划》实施以来中国清洁空气行动对全国碳排放的协同减排贡献，并从措施角度进行深入分析。

针对这一问题，清华大学地球系统科学系（以下简称“地学系”）张强课题组回顾和梳理了中国清洁空气中落后产能淘汰、工业燃煤锅炉整治、民用散煤清洁化替代、“散乱污”整治以及淘汰黄标车及老旧车辆等五项协同减排措施，在自主研发的中国多尺度排放清单模型的基础上进一步构建措施级别协同减排效应评估技术，并根据各省实际落实情况量化了各项协同减排措施带来的能源供应和消费结构变化，最终核算出清洁空气行动产生的碳减排协同效益。这一成果近日以“2013–2020 年中国清洁空气行动的二氧化碳减排协同效益（Co-benefits of CO₂ emission reduction from China’s clean air actions during 2013–2020）”为题在《自然·通讯》（Nature Communications）在线发表。

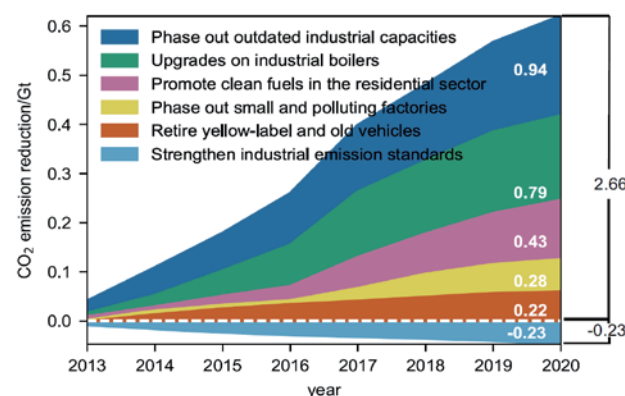
研究显示，中国清洁空气行动中涉及控制能源消费总量、调整能源结构和提升能源效率的相关措施，通过淘汰或升级低能效、高污染的落后燃烧设施促进了中国能源系统的转型，减少了化石燃料消耗，产生了显著的碳协同减排效益。2013–2020 年间，实施中国清洁空气行动措施带来的二氧化碳协同减排量远超安装污染末端治理装置导致的额外二氧化碳排放量，实现累计净协同减排量 24.3 亿吨，超过了同期中国二氧化碳排放量的累计增长量（20.3 亿吨），带来了可观的气候效益。

研究指出，中国清洁空气行动推动了清洁高效的能源设施取代低效、高碳能源设施的进程，加速了能效提升、能源结构转型和产业结构转型。通过实施清洁空气行动，2013–2020 年间累计节能 10.6 亿吨标准煤，减排二氧化碳 24.3 亿吨，占该时间段内中国累计碳排放量的 3.1%；其中 2020 年节能 2.47 亿吨标准煤，减排二氧化碳 5.7 亿吨，占当年全国碳排放总量的 5.5%。这一协同减排经验同时也为面临空气污染问题的发展中国家提供了可能的向低碳发展路径转型的过渡方案。未来中国仍需要进一步优化能源体系和经济结构以推动碳达峰碳中和目标实现，而减排政策设计时应当重点关注具有显著碳协同减排效益的相关措施。

清华大学环境学院博士生施沁人和清华大学深圳国际研究生院助理教授郑博为论文共同第一作者，清华大学地学系张强教授为论文通讯作者。来自生态环境部环境规划院、清华大学地学系和环境学院的多位专家学者参与了该项研究。研究得到国家自然科学基金委和能源基金会的支持。

论文链接：

<https://www.nature.com/articles/s41467-022-32656-8>



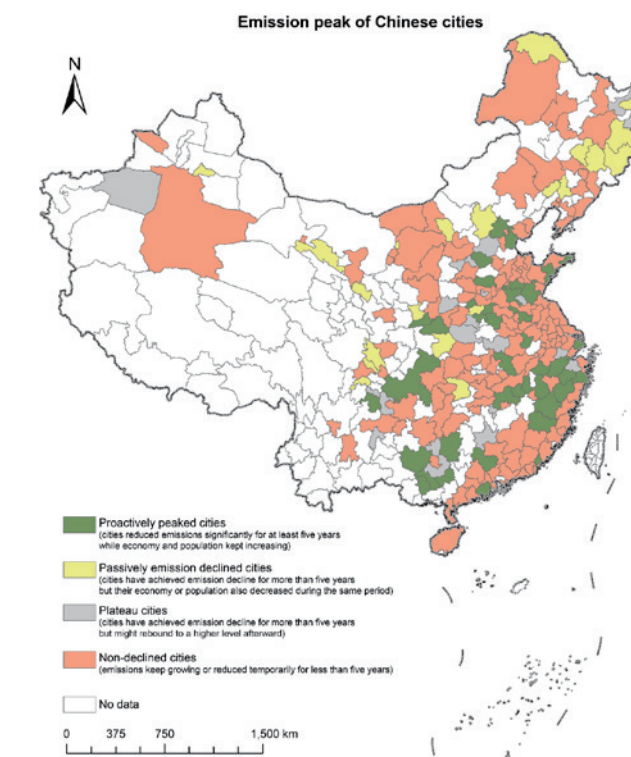
中国清洁空气行动中五项协同措施在 2013–2020 年间产生的二氧化碳协同减排量

中国距离“双碳”目标还有多远？ 38 城已达峰

作者 / 关大博

中国在推进全球气候变化应对过程中扮演着重要角色，而以城市为单元的碳排放趋势和达峰模式研究可为中国碳排放达峰目标的实现与低碳转型路线的落地提供科技支撑。由清华大学地球系统科学系关大博教授主导的中国碳核算数据库（CEADs）国际研究团队历时五年编制了 2001–2019 年中国 287 个地级及以上城市二氧化碳排放清单，清单涵盖 47 个社会经济部门、17 种化石燃料燃烧和水泥生产过程相关排放，覆盖了中国 98% 以上的人口、99% 以上的 GDP 和 97% 以上的二氧化碳排放量。研究采用政府间气候变化专门委员会（IPCC）推荐的二氧化碳排放核算方法，涵盖了城市行政边界内人类社会经济活动引发的所有直接碳排放。核算中采用的化石燃料排放因子是通过调研中国四千余座国有煤矿获取，相较于以往研究，该清单的准确性得到进一步提升。成果近期以“City-level emission peak and drivers in China”为题，近日发表在《科学通报》（Science Bulletin）杂志上。

研究表明，中国 287 个地级及以上城市在能源和经济结构、排放模式和碳排放达峰状态呈现出显著的差异。研究团队基于多条件函数、曼-肯德尔法（Mann-Kendall, MK）趋势检验、以及碳排放与社会发展指标（经济发展水平和人口规模）的脱钩关系，识别了中国城市的排放达峰状态。结果显示（如图），截至 2019 年，中国已有 38 个地级及以上城市实现了碳排放主动达峰（排放连续五年以上呈现显著下降趋势，且保持经济/人口稳定增长，以下称主动达峰城市），21 个地级及以上城市出现了排放的被动下降（排放持续下降，但未与经济/人口发展脱钩，以下称被动下降城市），20 个地级及以上城市处于排放平台期（碳排放量下降超过五年但呈现反弹趋势，以下称平台期城市），139 个地级及以上城市仍未达峰（排放持续增长或短期下降未超过五年，以下称未达峰城市）。驱动因素分析结果表明，38 个主动达峰城市排放下降的主要



中国地级及以上城市碳排放达峰状态

驱动力是能源利用效率提高和能源结构优化，而 21 个被动下降城市的减排在一定程度上是因经济衰退或人口流失所致。

研究认为，城市的减排目标不能采用“一刀切”的减排政策，需综合考量城市资源禀赋、工业化水平、社会经济特征和发展目标等因素。被动下降城市应剖析排放量下降的原因，在“双碳”目标背景下，抓住产业创新和绿色投资机遇，瞄准经济复苏和碳减排双重目标，实现碳减排与经济发展全面脱钩；主动达峰城市则应进一步探寻保持碳排放下降趋势的策略，为未达峰城市提供成功经验。该研究可为不同类型城市的碳排放达峰目标的兑现与低碳转型路线的落地提供支撑。

中国碳核算数据库 (CEADs) 研究团队伯明翰大学单钰理副教授为论文第一作者, 清华大学地球系统科学系关大博教授为论文通讯作者。

中国地级及以上城市最新的碳排放清单已在 CEADs 数据库网站 (<https://ceads.net/data/city/>) 免费发布, 可用于科学研究、政策制定及其他非商业用途, 使用时请引用本文及其他相关论文。详情欢迎咨询 CEADs 团队: 单钰理 shanyuli@outlook.com; 关大博 guandabo@hotmail.com

1. Shan et al. City-level emission peak and drivers in China (2022) Science Bulletin.
2. Shan et al. City-level climate change

mitigation in China (2018) Science Advances

3. Shan et al. Methodology and applications of city level CO₂ emission accounts in China. (2017) Journal of Cleaner Production

4. Shan et al. An emissions-socioeconomic inventory of Chinese cities (2019) Scientific Data

原文信息:

Shan, Y., et al. (2022) City-level emission peak and drivers in China, Science Bulletin. DOI: 10.1016/j.scib.2022.08.024

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095927322003838>

清华大学地学系刘竹课题组 揭示全球主要城市近实时日尺度碳排放

作者 / 刘竹 霍达

据统计,全球60%以上的化石能源碳排放来自于城市。城市中的温室气体减排是实现“碳中和”目标的关键所在。及时、详细的城市碳排放量化评估可以为制定高效的减排政策提供依据,但由于城市尺度的能源消费统计数据难以获取,大多数碳排放的量化评估都在国家尺度上展开,很难聚焦到单个城市。此外,大多数碳排放报告通常至少滞后一年或以上发布,限制了城市尺度减排政策的制定。

近日,清华大学地球系统科学系(以下简称地学系)刘竹副教授团队联合多国研究人员,基于统计、遥感、观测等多源数据,构建了全球城市日尺度的近实时人为源碳排放数据,量化评估了全球主要城市的电力、工业、交通、居民等多部门的日尺度碳排放变化。研究成果以“城市碳监测-全球1500个城市近实时每日二氧化碳排放”(Carbon Monitor Cities: near-real-time daily estimates of CO₂ emissions from 1500 cities

worldwide)为题,在线发表于《科学数据》(Scientific Data)期刊。

研究按照城市的行政区(GADM)和功能性城区(FUA)划分全球每日二氧化碳排放,结合城市当地数据,如日气温、航班起降情况、车流量等数据,分部门校正城市尺度排放,从而解决空间降尺度导致的偏差。最后,将得到的结果与其他已发布数据集(CEADs、MEIC、Vulcan和CDP等)进行比较验证及不确定性评估。

近实时日尺度城市碳排放数据覆盖46个国家的1500个主要城市(图1),将定期更新并持续优化方法,并结合地面基站观测数据提高城市数据的精度。成果可以为研究各城市碳排放,以及城市发展的相互关系和变化规律提供数据支撑。

清华大学地学系水木学者博士后霍达为文章第一作者,清华大学地学系刘竹副教授为文章通讯作者。合作者

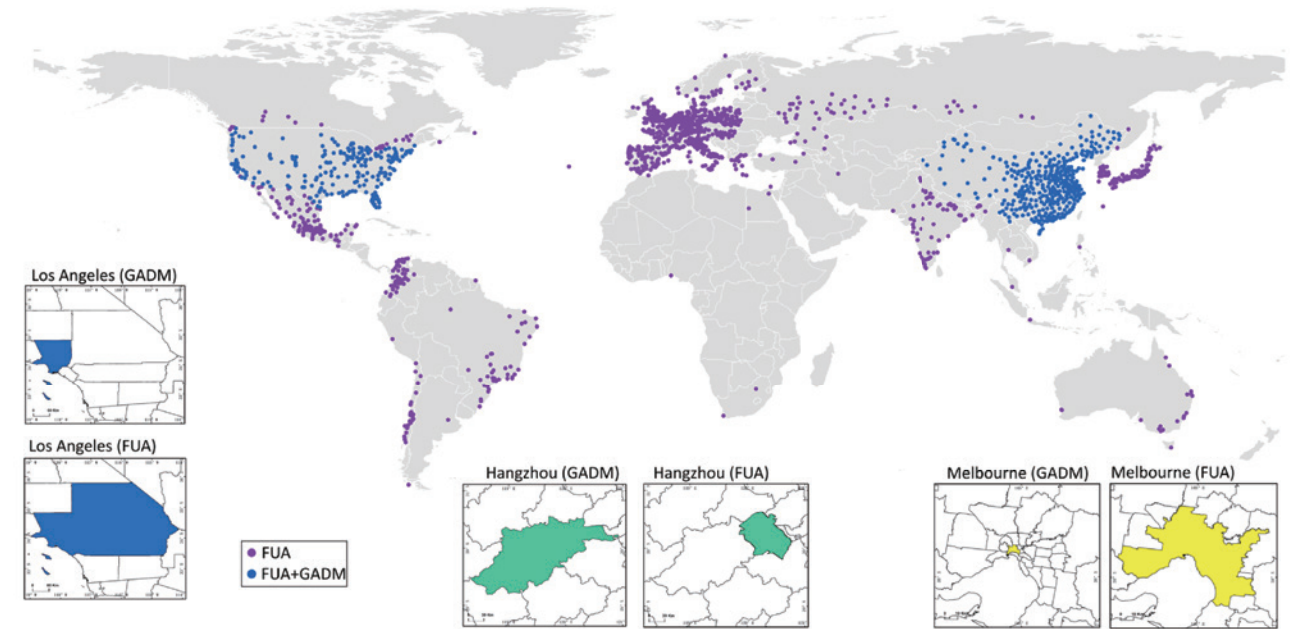


图1. Carbon Monitor Cities 包含的城市分布地图以及不同国家城市的行政区和功能性城区的比较。

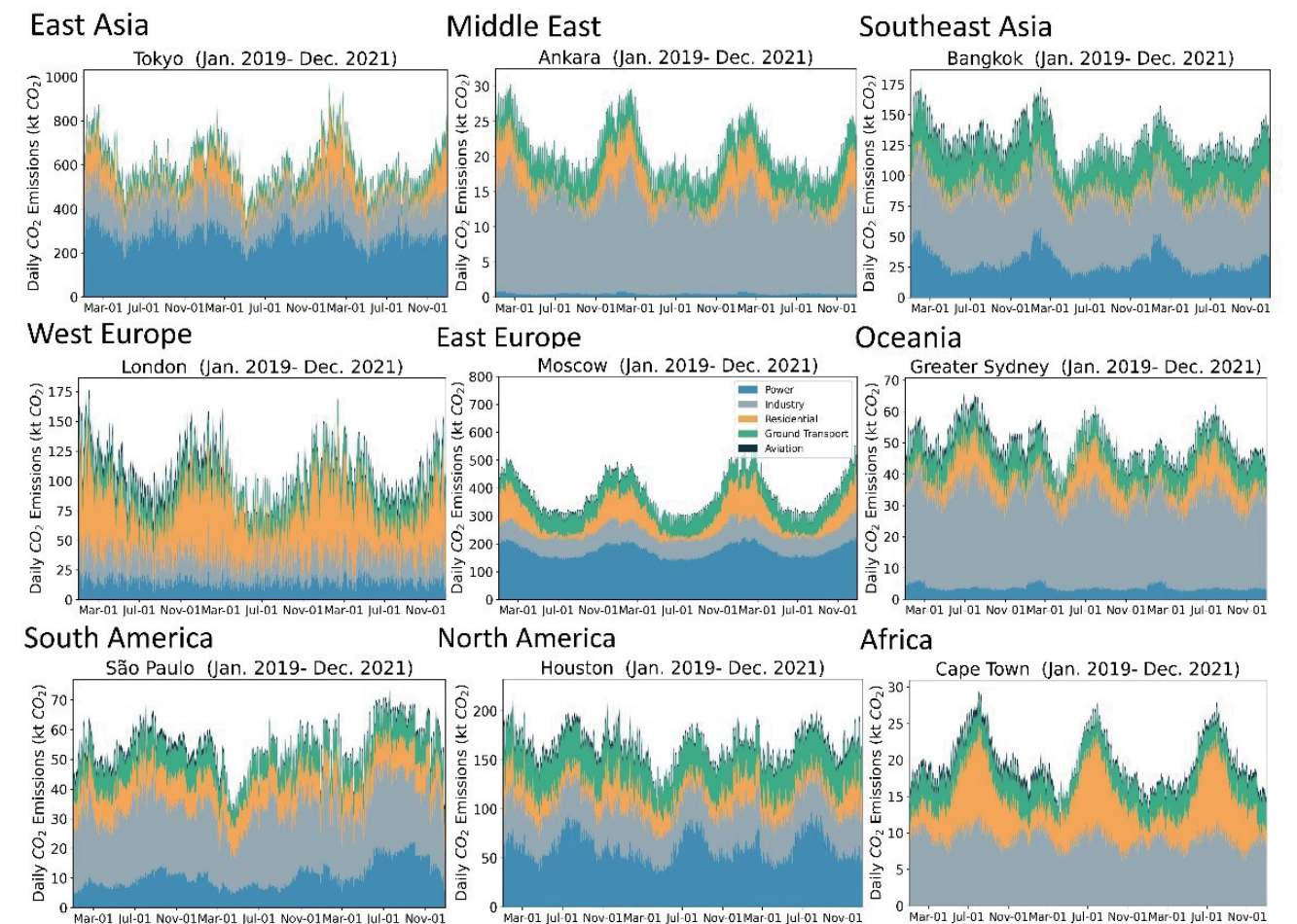


图2. 基于 Carbon Monitor Cities 数据库的世界不同地区城市(功能城区)的每日近实时分部门二氧化碳排放。

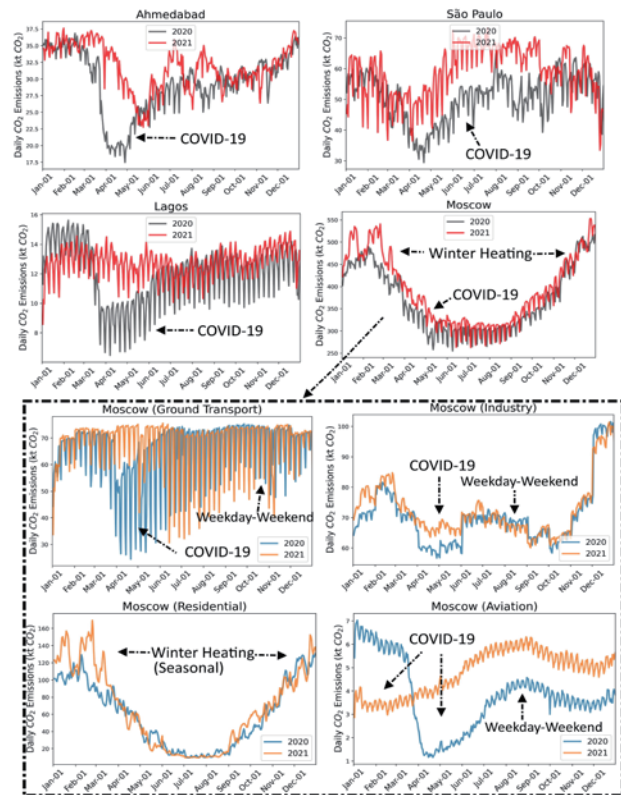


图 3. Carbon Monitor Cities 反映突发事件如新冠疫情对不同城市的影响。

包括中、英、美、法等多位研究人员。该研究得到国家自然科学基金、求是基金会等项目支持。相关研究数据发布于 Carbon Monitor Cities 网站 (<https://cities.carbonmonitor.org/>)。

全文链接:

清华大学教授领衔国际研究团队提出全球气候变化减排新视角

作者 / 崔璨

化石燃料产生的二氧化碳排放（以下简称“碳排放”）是全球变暖的主要原因之一。以往政府和学界主要关注拥有庞大经济和人口规模的排放大国，而相对忽略了诸多中小新型经济体的碳排放问题。近日，清华大学地球系统科

<https://www.nature.com/articles/s41597-022-01657-z>

相关论文:

1. Huo, D., Huang, X., Dou, X. et al., & Liu, Z., Carbon Monitor Cities near-real-time daily estimates of CO₂ emissions from 1500 cities worldwide. *Sci Data* 9, 533 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01657-z>
2. Liu, Z., Ciais, P., Deng, Z. et al. Carbon Monitor, a near-real-time daily dataset of global CO₂ emission from fossil fuel and cement production. *Sci Data* 7, 392 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00708-7>
3. Dou, X. et al. Near-real-time global gridded daily CO₂ emissions. *The Innovation* 3, 100182, (2022). <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100182>
4. Liu, Z. Near-real-time methodology for assessing global carbon emissions. *Chinese Science Bulletin*, (2022) <https://doi.org/10.1360/TB-2022-0494>

相关数据库:

Carbon Monitor Cities: <https://cities.carbonmonitor.org/>

Carbon Monitor: <https://carbonmonitor.org/>

CEADs: <https://www.ceads.net.cn/>

MEIC: <http://meicmodel.org/>

学教授关大博带领的国际团队发布的《新兴经济体二氧化碳排放报告 2022》和最新研究成果提出了全球气候变化减排新观点，即中小型新兴排放经济体（以下简称“新兴排放经济体”）将是全球未来二氧化碳排放的主力军，



曾嵘视频致辞



罗勇视频致辞

而发达国家应为其未来发展腾挪碳排放空间。

10月25日上午，《新兴经济体二氧化碳排放报告 2022》发布会在北京举行。清华大学副校长曾嵘，中国工程院院士、清华大学碳中和研究院院长贺克斌，清华大学地球系统科学系主任罗勇参会并致辞。

曾嵘在致辞中表示，气候变化是人类面临的全球性重大挑战之一，在党的二十大报告中，习近平总书记指出，要积极稳妥推进碳达峰、碳中和，加快规划建设新型能源体系，积极参与应对气候变化全球治理。关大博教授团队带领的中国碳核算数据团队致力于建设中国及全球多尺度碳排放清单数据库，希望中国碳核算数据库团队勇于打破学科边界和壁垒，实现不同知识体系的融合，为发展中国家明晰碳排放现状、科学设计碳减排路径提供强有力的科学支撑。

罗勇在致辞中表示，在全球气候治理的新格局下，二氧化碳排放核算成为准确掌握未来排放趋势、有效开展各项减排工作、促进经济社会绿色转型以及加强应对气候变化国际合作的基础。自去年以来发布的系列《新兴经济体二氧化碳排放报告》，可以为新兴经济体国家自身低碳发展规划提供细致而连续的数据参考，并为全球气候变化减缓目标的实现，尤其是气候行动领域的南南合作提供支撑，

提升新兴经济体在全球减排行动中的话语权。

发布会上，关大博对《新兴经济体二氧化碳排放报告 2022》进行了解读。他表示，在全球气候治理的新格局下，碳排放核算成为准确掌握排放变化趋势、加强应对气候变化国际合作的基础。此前，新兴经济体普遍面临二氧化碳排放核算方法不一、尺度不完善等问题，因此，团队通过“数据众筹”的方式，采用国际权威核算方法，构建统一、透明、科学的核算体系，编制了全球 50 个新兴经济体的二氧化碳排放清单，从能源及排放部门来源、地区分布等角度对排放进行了深入介绍和分析，揭示了新兴经济体的二氧化碳排放特征。

此外，关大博还分享了团队基于新兴经济体碳排放清单数据库的最新研究成果。研究发现，2010-2018 年间，有 50 多个新兴排放经济体年排放增幅高于全球平均水平，虽然绝大多数经济体排放量不足全球总排放的 1%，但整体排放总量却是印度的 1.6 倍。而这些国家未来的工业化进程所驱动的基础设施建设将导致碳排放持续增长，这无疑对本世纪末升温控制在 1.5 摄氏度内的目标提出了严峻的挑战。围绕“升温控制目标下谁来减排”的问题，研究团队发现，如果要实现全球 1.5 度的温控目标，且保证新兴排放经济体有足够的碳排放空间，其他国家则需每年减少 7.2% 的碳排放，然而在 2010-2018 年间，欧盟和美国的碳排放年均下降速率分别仅为 1.4% 和 0.9%。因此，这就对以欧美为主的发达国家减排提出了更加紧迫的要求。一方面，发达国家应向新兴排放经济体提供经济和技术支持；另一方面则需强化自身减排目标，尽早实现负排放，为新兴排放经济体腾挪排放空间，并在此基础上建立以“共识和诚信”为核心的全球气候变化谈判基石。



关大博做报告



贺克斌做点评



李善同做点评

上述研究成果为“一带一路”沿线国家碳排放数据体系建设提供了科技支撑，同时也有助于推动气候变化领域的南南合作，助力新兴经济体绿色低碳转型，在全球治理格局中发挥积极作用，协同实现全球净零碳目标。

《2022 柳叶刀人群健康与气候变化倒计时报告》 发布会在京举行

作者 / 崔璨

10月30日，《2022 柳叶刀人群健康与气候变化倒计时报告》发布会在北京举行。清华大学副校长曾嵘教授，“柳叶刀倒计时”共同主席、香港大学副校长宫鹏教授，《柳叶刀》杂志亚洲区执行主编 Helena Wang 女士，柳

贺克斌在点评中提到，碳核算数据库采用独特的“数据众筹”的形式，通过构建完整、统一和可比较的体系，搜集了50个国家和47行业的下沉到区域的数据，质量非常高，发挥的作用很大。贺克斌表示，从减碳到降污，需要有像中国碳核算数据团队这样的组织来一起做，为全球应对气候变化，实现联合国SDG可持续发展目标完成共同但有区别的责任，发挥数据库更大的作用。

国务院发展中心研究员李善同表示，积极稳妥地推进碳达峰、碳中和，特别要完善碳排放核算和积极参与应对气候变化的全球治理，碳排放数据库的工作在这一过程中特别重要和必要。从全球发展的角度来看，新兴经济体也是备受关注的一方面，所以该项工作具有一定的前瞻性。

北京大学陶澍院士表示，关大博带领的研究团队着眼于碳排放领域长期被忽视的新兴经济体，建立了历史碳排放数据库，并对其未来碳排放的变化提出了科学的趋势预判，深化了对全球气候变化减排内涵的解读。他认为，这项工作将启发人们更多地关注新兴排放经济体的减排工作，同时也揭示了发达国家在应对全球气候变化过程中所扮演的重要角色，即不仅要尊重中小发展中国家的发展权，给予其减排的技术和资金援助，其自身还需优先实现碳减排目标。

关大博在总结发言时表示，未来的报告中还会增加更多的发展中国家经济体，并持续传递中国碳核算数据库“共享共建”的理念，为新兴经济体或者发展中国家未来气候政策的数据提供支撑和保障。

叶刀倒计时全球执行主席 Marina Romanello 博士在线致辞。北京理工大学张弛教授，清华大学地球系统科学系（以下简称“地学系”）张诗卉助理研究员、蔡闻佳副教授对报告进行解读。清华大学理学院副院长、地学系主任罗勇



曾嵘在线致辞

教授主持会议。

曾嵘在致辞中表示，为应对气候变化对人群健康的重大挑战，揭示气候变化对人群健康产生的影响，寻找协同解决气候问题和公共卫生问题的方案，清华大学地学系领衔国内外多家顶尖机构编写并发布2022年度《柳叶刀人群健康与气候变化倒计时报告》。这是对刚刚结束的中国共产党第二十次全国代表大会上习近平总书记强调的“推进健康中国建设，把保障人民健康放在优先发展的战略位置”“推进美丽中国建设”“应对气候变化”等重要指示精神的落实。

曾嵘指出，自2020年以来，每年发布的中国版《柳叶刀倒计时报告》持续追踪气候变化及其应对行动对中国人群健康的影响，推动了多项气候变化相关国家战略政策的实质性进展。今年的报告发布会将进一步将视野从中国拓展至亚洲其他地区，体现了清华人在推动人类命运共同体建设、增进全人类健康福祉方面的责任与担当。

宫鹏回顾了十年来清华大学与《柳叶刀》的合作历程。他表示，《柳叶刀气候变化与人群健康倒计时报告》这种国际合作模式，不仅促进了很多年轻学者的学术成长，也对本地区相关学科的发展起到了很好的带动作用。

Helena Wang 在致辞中肯定了清华大学地学系以及柳叶刀倒计时亚洲中心取得的学术成果，而且对通过《柳叶刀》平台在全球范围内取得良好的传播效果表示赞赏。她表示，《柳叶刀》一直非常重视和中国学者的紧密合作，希望未来能够与中国科学家共同努力，为包括中国在内的全球人群健康事业做出贡献。

Marina Romanello 指出，全世界正面临着多种复合型危机，气候变化加剧了当前面临的挑战。她建议，为了保护人群健康必须减少化石燃料的使用，并采取适应气候

变化的行动。

从去年的甘肃白银马拉松事件、河南郑州720暴雨，再到今年备受关注的极端高温和干旱，气候变化和极端天气气候事件对人群健康的影响毋庸置疑，而且没有一个国家能在气候变化的健康影响面前独善其身。应对气候危机，与我们每一个人息息相关。

为持续追踪全球气候变化态势，深入探讨目前亚洲和中国面临的气候与健康问题，为早日协同实现气候与健康方面的双重目标提供政策建议，今年的发布会同时发布了两个重磅报告——《全球柳叶刀倒计时人群健康与气候变化报告2022》（以下简称“全球报告”）和《中国版柳叶刀倒计时人群健康与气候变化报告2022》（以下简称“中国报告”）。其中，中国报告由设在清华大学地学系的柳叶刀倒计时亚洲区域中心领衔撰写，来自国内外23个主要机构的73位专家共同完成。

考虑到亚洲是世界上人口密度最高、受气候变化影响最大的区域，在本次发布会上清华大学地学系助理研究员张诗卉介绍了全球报告核心结论对亚洲的启示。报告指出，中国和周边亚洲国家的气候健康风险增长迅速。以气候敏感性传染病为例，与历史基线期（1950-1964年）相比，亚洲国家的登革热气候传播适宜性增长显著，在全球增长率排名前20的国家中亚洲国家占15个。报告建议，清洁



宫鹏在线致辞



Helena Wang 在线致辞

能源转型不仅能够直接减少气候风险，也能通过提升空气质量、降低人畜共患病风险等多种途径改善人群健康。中国推广电动汽车的举措就是重要且有效的实践。从2019年到2020年，全球电动汽车销量增长了一倍以上，其中中国的电动汽车销量占全球的12%。

与2020年发布的首部《中国版柳叶刀倒计时报告》不同，今年的中国报告不仅改进了许多评估指标，并增加了两个新指标，即热和体育运动，以及海平面上升的人口暴露。

迫在眉睫：气候变化持续威胁中国居民的健康

蔡闻佳在介绍中国报告中提到，中国是全球气候变化的敏感区和影响显著区，气候变化带来的威胁正在快速增加，气候变化对公众健康造成的威胁亦尤为突出。报告指出，与1986-2005年的平均值相比，2021年中国人平均多经历了7.85个热浪天，安全户外活动的时间缩短了48.2%；潜在的劳动时间减少了7.1%，野火暴露增加了62.7%。与历史基线时期相比，中国居民的健康受极端降雨量和登革热疾病的影响在过去十年中呈现上升趋势。



蔡闻佳在线作报告

当务之急：老年人的健康更应受到关注

在极端高温条件下，不同年龄群体受环境影响的程度是不同的。随着年龄的增长，老年人（尤指65岁以上）自身的体温调节能力也在不断衰退，在面对持续的高温天气时，这种衰退带来的不利影响尤其明显。报告指出，65岁以上人群比其他年龄段的人群更容易遭受气候变化的健康风险。2021年热相关死亡中有76.0%为65岁及以上老人。2020年老年人占中国总人口的13.5%，预计到2050年这一比例将增加到26.1%，超过大多数发达国家当前的比例。报告建议，鉴于老年人口对气候变化的脆弱性，应采取有效措施以更好地守护他们的健康安全。

任重道远：行动已开始但需继续加强

近两年来，政府部门重视气候变化与健康问题。在2022年发布的《国家适应气候变化战略2035》中，我国首次将“减少气候变化的健康风险”纳入“健康中国”行动的工作重点。这些进展与2021年发布的中国报告中提出的政策建议相呼应。同时，今年的报告显示，从2020年到2021年，中国学者发表的与气候和健康相关的文章，以及媒体对于气候和健康的相关报道数量，分别增长了14.2%和2.8倍。在应对新冠肺炎疫情的过程中，中国大多数省份的监测、预备和应对公共卫生紧急情况的能力也有所提高。

实现双赢：积极应对气候变化有利于人群健康和绿色可持续发展

积极推动适应和减缓气候变化行动，既可以降低未来气候风险，有效保护民众免受气候变化的健康威胁，又可以促进社会经济高质量发展，走向绿色复苏之路。报告提出以下五点建议：一是加强政府各部门对适应问题的重视，加快对气候可恢复能力的投资；二是制定专门的健康适应气候国家规划；三是在卫生政策中优先考虑气候变化，并

特别关注弱势人群；四是加快退煤步伐，将健康因素纳入中国实现碳中和的路径设计；五是通过市场机制促进低碳经济，鼓励更多的可再生能源发电和消费，以加强中国在全球低碳产业中的主导作用和能源安全。

发布会上，中国疾病预防控制中心环境所环境健康风险评估室主任李涪涪、湖北省应对气候变化专家委员会委员刘敏、马来西亚登嘉楼大学环境生物技术教授 Meisam Tabatabaei、野生救援北京代表处首席代表余冲、北京大学体育教研部教授、中国探险协会秘书长张锐等与会嘉宾围绕极端天气气候事件、公众户外活动的健康等问题展开讨论并回答观众提问。

罗勇在总结发言中向《2022 柳叶刀人群健康与气候变化倒计时报告》的作者团队表示热烈的祝贺和诚挚的谢意。期待报告的发布可以促进学术界、决策者和公众之间的对话交流，提升全社会应对气候变化健康风险的行动力



罗勇总结发言

度，为中国乃至全球应对气候变化与可持续发展重大问题的解决方案贡献智慧。同时，他也感谢多媒体平台的广泛关注，希望将报告及其发布会打造成全面梳理中国气候变化与人群健康相互关联的科学传播品牌。让我们共同努力，以今天的气候行动助力自己和子孙的健康老龄化，共创气候变化应对和人群健康双赢的未来。



清华大学蔡闻佳课题组发文揭示中国燃煤机组利用生物质掺烧及碳捕获与封存技术实现负碳排放潜力

作者 / 汪蕊

中国的煤电机组低碳转型是实现巴黎协定1.5度温控目标以及碳中和目标的关键，生物质掺烧并耦合碳捕集与封存技术（Biomass and Coal co-firing Power unit with Carbon Capture and Storage, 下文简称BCP-CCS）作为一项重要的负碳排放技术，可能带来新思路。由于生物质具有二氧化碳吸收和燃料替代的作用，同时碳捕集与封存技术可吸收煤电机组的终端排放，该技术可避免煤电强制淘汰的副作用，甚至有望帮助电力部门实现负碳排放（除了自身减排外，还可移除空气中的二氧化碳）。

11月3日，清华大学地学系副教授蔡闻佳课题组在《环境科学与技术》（Environmental Science & Technology）在线发表题为“Alternative Pathway to Phase Down Coal Power and Achieve Negative

Emission in China”的研究，探究了中国燃煤机组通过生物质掺烧及碳捕获与封存技术实现负碳排放的潜力。

该研究首先对中国可持续利用及开发的生物质资源潜力进行了评估，并基于中国4536个燃煤机组的空间位置、装机容量、投产年份等信息，以及碳捕集与封存的空间位置，完成了在不同的混燃比例需求下生物质源-燃煤机组-碳封存汇的空间匹配。随后，该研究构建了BCP-CCS技术在全生命周期下二氧化碳排放及度电发电成本的综合评估框架。该研究充分考虑了燃煤机组的空间异质性特征，在一厂一策的模拟评估基础上，探究了中国电力部门潜在的负碳排放潜力并讨论了关键影响因素。

研究结果显示，在生物质资源充足（农林剩余物及边际土地上种植能源作物），混燃技术取得重大突破（0%、

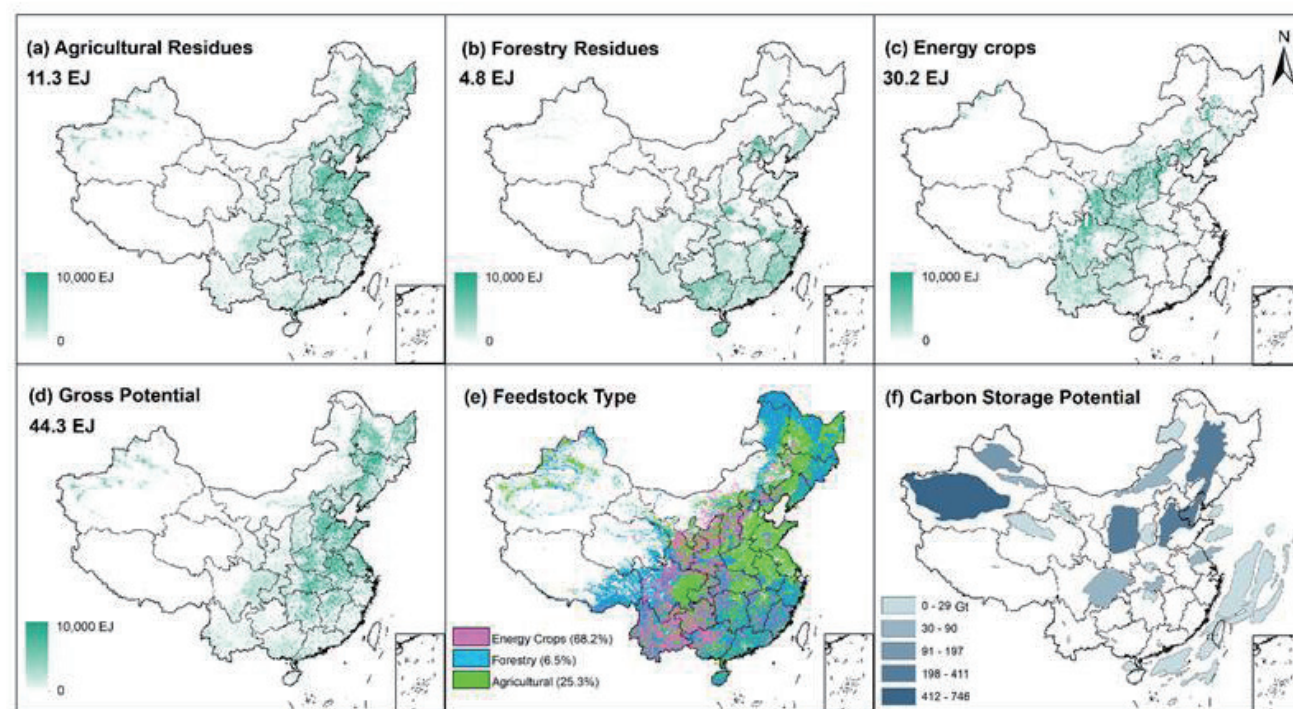


图 1. 中国生物质资源及碳封存潜力的空间分布图。

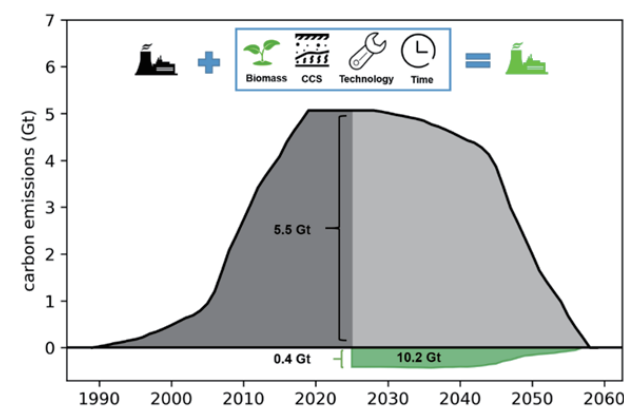


图 2. 中国燃煤机组利用生物质掺烧及碳捕集与封存技术的负碳排放潜力

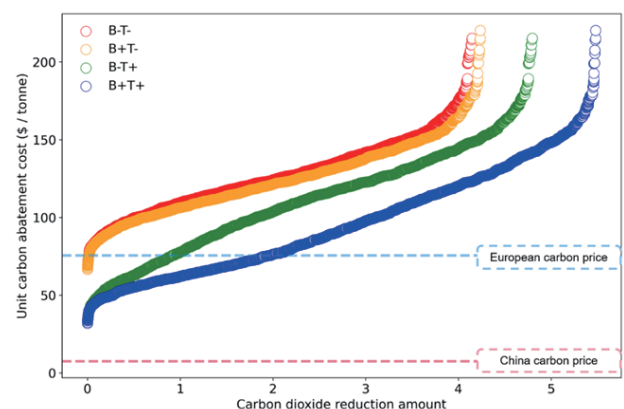


图 3. 中国燃煤机组通过 BCP-CCS 技术改造的边际碳减排曲线

100% 的混燃比例均可实现) 的情景下, 中国燃煤机组若在 2025 年改造 BCP-CCS, 将有望实现 4 亿吨的负碳排放。由于燃煤机组具有一旦改造便可以实现负碳直至自然退役, 且我国燃煤机组较为“年轻”, 若尽早改造, 中国电力部门在 2025-2060 年间有望实现 102 亿吨的负碳排放量, 该总量约为中国所有行业及部门一年的二氧化碳排放量。

研究指出, 中国煤电部门实现负碳是有条件的。只有在生物质资源供给总量为现在农林剩余物总量的 1.65 倍, 且混燃比例可突破 70% 的情况下, 实现负碳排放的燃煤机组才能够抵消不适宜 BCP-CCS 技术机组的正向排放, 从而实现全行业负碳。此外, 考虑到机组本身的投产时间及寿命, 研究还讨论了推迟改造带来的影响。结果显示, 在不同的生物质资源供给及技术突破情景下, 每推迟一年改造, 累计负排放量将下降 0.6 ~ 3.5 亿吨。此外, 该研究还对该技术的经济性进行了评估。结果显示在欧盟当前的碳价水平下(约 75.5 美元/吨), 约有 1.9% ~ 41% (考虑不同生物质资源供给及技术改造情景) 的燃煤机组有机会盈利。

研究充分考虑了各机组进行技术改造的供需关系及空间异质性特征, 回答了燃煤机组在什么样的条件下有机会

实现负碳排放并扩展了时间维度, 探究了累计负排放潜力。研究结果可为当前热议的退煤问题提供替代解决方案, 并为难减排行业的排放量上限提供参考。

清华大学地学系博士生汪蕊为论文第一作者, 蔡闻佳副教授为该论文的通讯作者。论文合作者包括课题组博士生李浩然、翁宇威、聂耀昱, 博士后崔学勤、张诗卉, 清华大学地学系俞乐副教授及课题组博士生曹博文、李伟副教授及课题组博士生朱磊, 清华大学环境学院王灿教授及

课题组博士生李晋、宋欣柯, 微软亚洲研究院黄麟、马卫东、边江、张佳研究员, 中国石油大学(北京)祁彬彬博士, 中科院地理科学与资源研究所付晶莹研究员, 北师大绿色发展协同创新中心张九天教授。该研究得到国家自然科学基金、清华-力拓资源联合研究中心和微软亚洲研究院合作研究项目的支持。

论文链接:

<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c06004>

清华地学系蔡闻佳课题组合作从劳动生产率角度揭示碳中和成本效益比的区域分异特征

作者 / 赵梦真 黄晓丹

厘清实现碳中和目标所带来的减排成本与效益对各国设定减排路径、树立减排雄心尤为重要。减少高温导致的劳动生产率损失是减排带来的重要协同效益(以下简称劳动力效益)。然而, 目前主要国家和地区实现碳中和目标需要付出的减排代价与劳动力效益之间的相对关系尚不明确。因此, 需要从劳动生产率角度出发对碳中和行动展开成本效益分析。

针对上述问题, 清华大学地球系统科学系蔡闻佳副教授团队与清华大学能源环境经济研究所(3E 研究所)张希良教授、张达副教授团队联合多国学者开展了相关研究。研究量化评估了全球 17 个主要国家和地区实现碳中和目标所带来的减排成本, 测算了降低高温相关的劳动生产率损失带来的减排效益, 识别了成本效益相对关系与时空分布情况。研究以《碳减排的劳动生产率及经济影响: 建模研究与成本效益分析》(“Labour productivity and economic impacts of carbon mitigation: a modelling study and benefit - cost analysis”)为题目于 12 月 8 日在《柳叶刀-星球健康》(The Lancet Planetary Health)发表。

研究考虑了 RCP6.0 和 RCP2.6 两种典型二氧化

碳浓度和全球平均温升路径。排放路径 RCP6.0 作为基准路径, 代表本世纪末全球平均温升约 3°C 的排放水平; 排放路径 RCP2.6 作为碳中和路径, 代表全球平均温升控制在 2°C 以内的排放水平。研究发现, 如果不采取积极的减排措施, 因高温导致的劳动生产率下降将造成巨大的经济损失。预计 2100 年, 在 RCP6.0 情景下, 全球 GDP 损失约为 1.5%, 比 RCP2.6 情景高 14 倍。研究结果显示, GDP 损失分布呈现出显著的区域差异, 中亚和东南亚等低纬度地区损失较大, 俄罗斯和加拿大等高纬度地区损失较小。值得注意的是, 即使将全球温升控制在 2°C 目标以内, 低纬度地区仍将承受较大的经济损失。因此, 这些地区应采取更加积极的高温适应措施以避免损失。

成本效益分析表明, 2050 年至 2100 年间, 碳减排带来的劳动力效益将逐渐增加。2050 年, 全球劳动力效益可抵消约 5% 的减排成本, 2100 年可进一步抵消约 50% 的减排成本。基于减排成本与劳动力效益的分布特征, 研究将全球大致分为三类地区: (1) 效益高于成本的地区, 主要分布在人均收入低且排放较低的低纬度地区, 包括东南亚、巴西和墨西哥等地; (2) 效益远低于成本的地区, 主要是化石燃料出口大国, 包括加拿大、俄罗斯和中东等

国家和地区；(3) 效益成本比高于全球平均水平的地区，美国、中国和印度等主要排放大国均在此类地区。

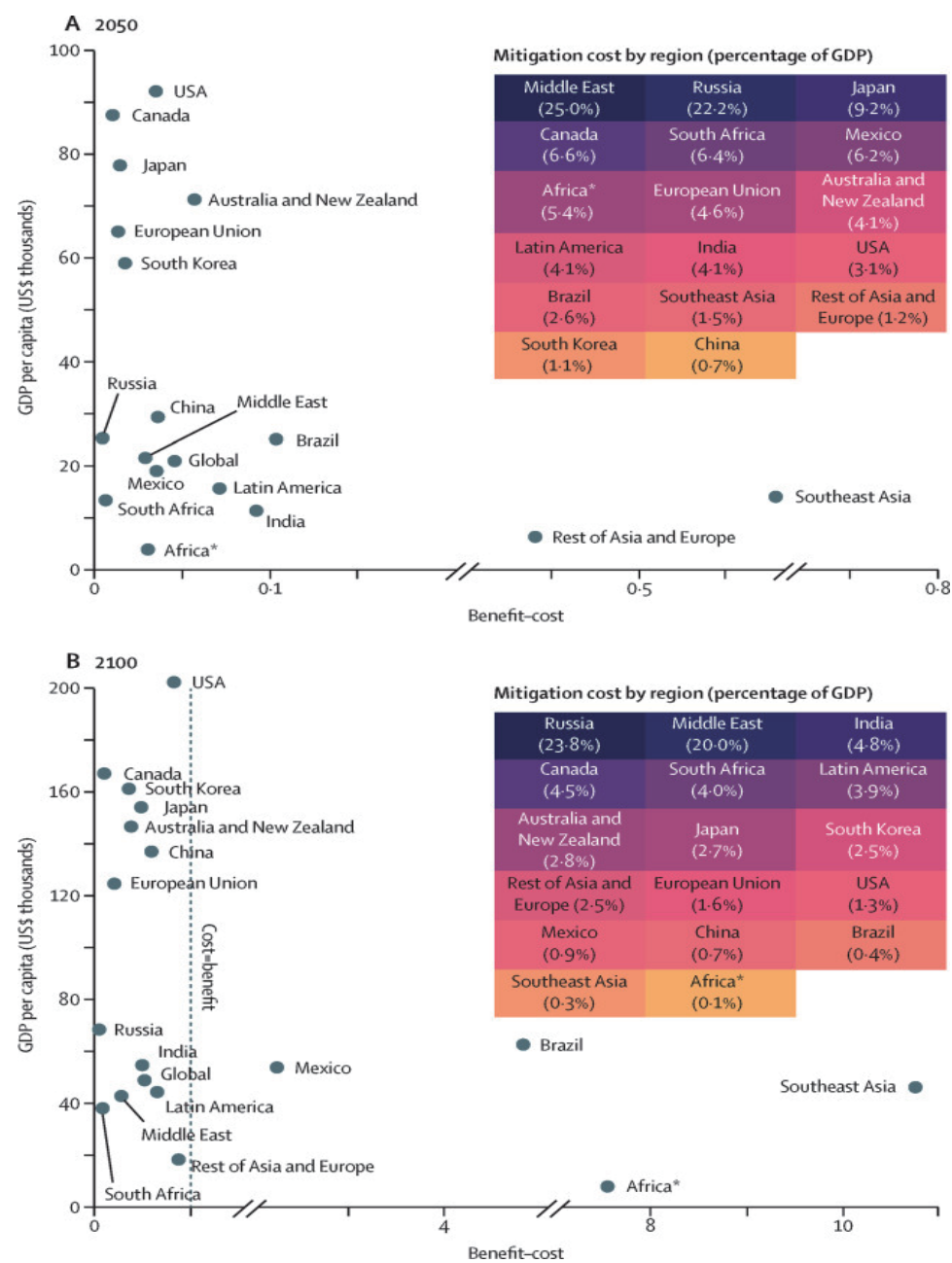
研究结果显示，实现碳中和目标将带来显著的劳动效益，2020年至2100年间将累计抵消约20%的碳减排成本。即使不考虑其他收益，仅通过降低高温相关劳动生产率损失即可获得显著的健康和经济收益。各国/地区的效益成本比差别较大，在国家/区域层面的研究结果可为相应国家/区域制定气候变化应对政策措施提供重要的科学依据。

该研究由清华大学牵头，联合澳大利亚国立大学、新

加坡国立大学等多家机构共同完成。清华大学赵梦真博士生与黄晓丹博士为论文共同第一作者，蔡闻佳副教授与张达副教授为共同通讯作者。

论文链接:

https://www.sciencedirect.com/science?_ob=GatewayURL&_origin=AUTHORALERT&_method=citationSearch&_piikey=S2542519622002455&_version=1&md5=b89718949a68277b2408256529d04f44



碳减排的效益-成本比分布图

清华大学地学系张强课题组成果 入选“2021年度中国生态环境十大科技进展”

在2022年6月5日世界环境日之际，中国科协生态环境产学研联合体(以下简称“联合体”)向社会发布了“2021年度中国生态环境十大科技进展”。该评选是在中国科协指导下，由两院院士、联合体各成员单位和全国大专院校、科研机构推荐，经公示、初评和院士专家终评产生，旨在反映我国生态环境科技领域前沿发展动态，引领生态环境领域技术创新，为我国生态环境保护和生态文明建设提供科技支撑。由清华大学地球系统科学系(以下简称“地学系”)张强课题组领衔完成的科研成果“大气污染时空变化驱动力研究”入选。

大气污染在时空尺度上具有复杂的变化特征，准确刻画大气污染的时空变化特征并厘清其驱动因素是科学界和决策者共同关心的问题，对于解析污染来源成因和有效制订控制策略具有重要意义。大气污染的时空变化是大气传输、化学反应等自然因素和经济增长、能源消费、减排政策等社会经济因素作用的结果，不同因素之间存在着复杂的非线性关联机制，需构建驱动因素解耦技术以厘清不同因素的贡献，长期以来一直未能取得突破。

张强课题组瞄准这一重要问题，通过耦合大气科学、环境科学、统计学、经济学、流行病学等多学科的多种方法工具，构建了自然科学和社会科学深度交叉耦合的技术体系，研制了高分辨率大气污染时空变化近实时追踪数据集，突破了自然驱动因素与人为驱动因素的解耦技术，揭示了社会经济系统和大气环境系统的复杂非线性关联机制。

基于这一技术体系，研究建立了中国大气污染逐日浓度在线反演技术平台，研制了时空覆盖完整的中国长时间序列PM2.5、PM2.5组分和O3逐日浓度数据集；解析了2002-2017年间我国大气细颗粒物(PM2.5)污染及其健康影响的长期变化趋势及主要驱动因素，定量分解了经济水平增长、污染末端治理、能源结构转型、经济结构优化、气象条件变化、人口总量增长、人口老龄化和医疗

条件改善等8项主要因素对中国大气PM2.5污染和健康影响长期变化的贡献；定量评估了火电行业碳减排政策和污染治理减排策略对改善大气污染的相对贡献，发现在碳减排的同时，必须协同实施高污染机组提前淘汰和逐步加严污染控制水平等靶向污染治理策略，才能够实现协同效益最大化。

研究系统解析了我国PM2.5污染及健康影响历史长期变化的主要驱动因素，揭示了污染治理和能源结构转型措施对推动PM2.5污染改善和相关死亡风险下降的决定性作用。成果对于我国制定下一步大气污染防治政策、实现空气质量持续改善具有重要指导意义。



图片来源：中国科协生态环境产学研联合体

2021年，成果相关的多篇论文在 Nature Geoscience、Nature Climate Change 等国际高水平期刊上发表，其中在 Nature Geoscience 发表的论文被选为当期封面论文，在 Nature Climate Change 发表的文章入选 Nature 杂志“研究亮点”。研究成果被科技日报、澎湃新闻、中国科学报等国内媒体采访报道。项目研发的具备自主知识产权的高分辨率大气污染时空变化近实时追踪数据集通过在线技术平台 (<http://tapdata.org.cn>) 公开共享，目前已被国内外 300 多家机构的 800 多名用户下载使用，并

在中国工程院组织开展的“打赢蓝天保卫战三年行动计划”实施效果评估和北京冬奥会空气质量保障工作中得到应用。

成果由清华大学地学系与清华大学环境学院共同完成，主要完成人包括地学系张强教授、环境学院耿冠楠助理研究员、地学系同丹助理教授、环境学院肖清扬助理研究员、地学系毕业生郑逸璇博士和环境学院贺克斌院士。研究受到国家自然科学基金委资助（41921005、41625020）。

耦合器 C-Coupler 在我国模式发展中得到广泛应用，已成功应用于中国气象局（国家气象中心、国家气候中心、地球系统数值预报中心）、自然资源部（国家海洋环境中心、第一海洋研究所）、中国科学院大气物理研究所、解放军某部队、清华大学等单位共 11 个耦合模式中。团队成员建设的地球观测遥感卫星影像聚合搜索系统以及全球综合对地观测系统（GEOSS）的核心组件支撑了来自 121 个国家和地区的全球访问量。

喜报！清华大学地学系“计算地球科学团队”荣获“清华大学先进集体”称号

作者 / 刘晓婷 付昊桓

9月8日下午，清华大学举行主题为“迎接党的二十大、培根铸魂育新人”的2022年教师节庆祝大会，会上表彰了在教书育人等各项工作中取得突出成绩的个人和集体。地学系“计算地球科学团队”荣获2021年度“清华大学先进集体”称号。

清华大学地学系自成立伊始即把地球科学与信息技术的交叉作为重要发展方向。目前全体教师中有5名教师具有计算机科学研究背景。他们围绕地球系统科学的高性能计算、大数据与人工智能、信息基础设施、地球系统模式与耦合器等诸多方面展开研究，在国产自主地球系统模式研发、支撑模式研究的软件工具和信息基础设施建设、基于人工智能和量子计算的新技术探索等方面取得突出成绩。

团队成员在海洋、海冰模式、耦合器等方面的多项自主创新成果成功集成到清华领衔开发的联合地球系统模式 CIESM，有力支撑了我国地球系统模式发展。团队成员积极推动“十二五”国家重大科技基础设施项目“地球系统数值模拟装置”共建任务，成功完成了超级模拟支撑与管理系统的研制。

团队成员与之江实验室、国家超算无锡中心等单位合作研发的基于神威超算的高可扩展量子计算模拟器，以超算领域全世界目前已知的最高混合精度浮点计算性能，和初步打破“悬铃木”量子霸权的新颖算法，获得2021年超算应用领域国际最高奖项——2021年度“戈登·贝尔”奖，为未来量子计算技术在地球系统模拟领域的应用建立了初步的模拟基础。团队成员自主研发的自主知识产权耦

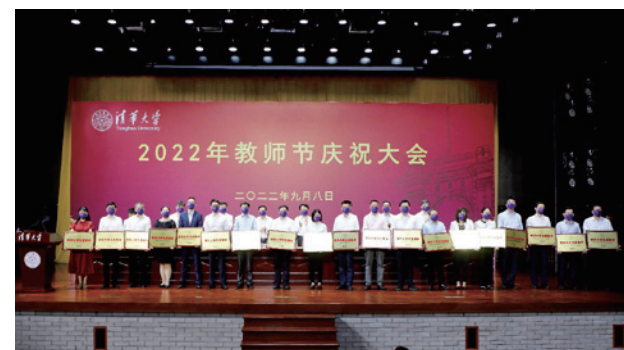


团队成员合影

团队骨干成员名单	
付昊桓	教授
黄小猛	教授
白玉琪	教授
徐世明	副教授
刘利	副教授



系主任罗勇（左）与团队负责人付昊桓（右）合影留念



会议颁奖现场

清华大学地球系统科学系张强教授获2022年“科学探索奖”

9月15日，2022年“科学探索奖”获奖名单揭晓。清华大学地球系统科学系张强教授获得该奖项。

“科学探索奖”由腾讯基金会出资，于2018年设立，作为一项由科学家主导的公益奖项，秉承“面向未来、奖励潜力、鼓励探索”的宗旨，鼓励青年科技工作者心无旁骛地探索科学“无人区”。奖项面向基础科学和前沿技术的十个领域，每年遴选不超过50位获奖人，每位获奖人将在5年内获得总计300万元人民币奖金，是目前国内金额最高的青年科技人才资助计划之一。

根据《“科学探索奖”章程》的规定，“科学探索奖”

评审委员会秉持客观公正的评审原则，在“科学探索奖”监督委员会的见证下，对所有奖项申报人进行初筛、初审、复审和终审，最终产生本年度的50位获奖人。

张强教授简介

张强，清华大学地球系统科学系教授、副主任，教育部长江学者特聘教授，国家自然科学基金委创新研究群体学术带头人。主要研究方向为大气成分变化及气候环境影响，曾获国家科技进步二等奖、中国青年科技奖、美国国家科学院院刊科扎雷利奖等学术奖励，2018年以来连续入选科睿唯安全球高被引科学家。

清华大学地学系五人入选 2022 年度全球高被引科学家榜单

作者 / 王佳音

2022 年 11 月 15 日，科睿唯安发布了 2022 年度全球“高被引科学家”名单，地学系共五位教师入选。其中，关大博教授、刘竹副教授入选环境与生态学领域，同丹助理教授、阳坤教授、张强教授入选地球科学领域。

今年，全球共有 6938 名科学家、7225 人次入选，他们所发表的高被引论文的被引频次在同学科、同发表年份中高居前 1%。中国内地今年上榜人次在全球国家与地区中排名第二，入选科学家从去年的 935 人次上升到了今年的 1169 人次。清华入选的高被引科学家共计 73 人次，居全球第五位，国内高校第一位。本次清华大学入

选的科学家来自 19 个院系，涉及 9 个 ESI 学科领域和 1 个跨学科领域。

姓名	学科领域
关大博	环境科学与生态学
刘竹	环境科学与生态学
同丹	地球科学
阳坤	地球科学
张强	地球科学



清华大学地学系同丹助理教授获第五届青橙奖

作者 / 王佳音

10 月 31 日，阿里巴巴达摩院公布第五届青橙奖获奖名单。清华大学地球系统科学系同丹助理教授获得该奖项。

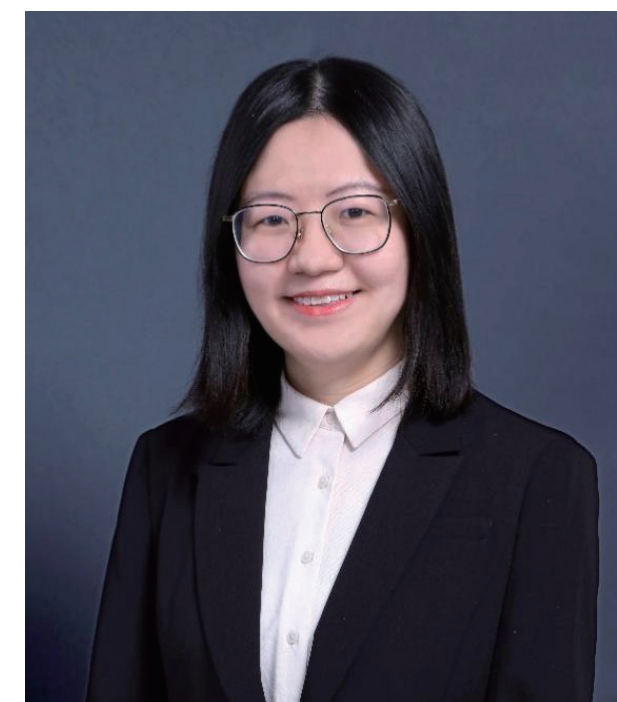
阿里巴巴达摩院青橙奖由阿里巴巴集团于 2018 年设

立，是由阿里巴巴达摩院主办、阿里巴巴公益出资支持、面向对科技进步有关键推动作用的中国青年学者颁发的纯公益性奖项。奖项旨在发掘和支持在中国高校及科研院所

中全职从事科学研究工作，有潜力在未来取得突出成就，并成为中国科学研究中坚力量的优秀青年学者。过去四届中，达摩院青橙奖共支持了近 40 位优秀的青年学者。

同丹于 2021 年加入清华大学地球系统科学系任助理教授。她以多学科交叉模型体系构建和大数据融合基础数据库建设等创新方法为手段，在社会经济活动与大气污染复杂非线性响应建模、基于大数据的全球重点行业排放核算方法体系、全球及区域气候变化与大气污染协同治理路径探究三个方面取得了一系列具有国际影响力的原创成果。她的获奖理由是：构建了能源-经济-排放-协同治理间的交叉耦合模型，为减污降碳政策提供理论基石。

今年，青橙奖全面覆盖科学技术广泛领域，社会关注度进一步提升。通过自主申报、他人推荐、主动寻访，2022 青橙奖收到全国 135 所高校院所近 500 份有效申报材料，这些参评青年学者极具学术潜力，受到近 200 位院士、19 位大学校长、2 位诺贝尔奖得主倾力推荐。



清华大学地学系刘竹副教授受邀担任前沿星球奖评委

作者 / 刘竹

近日，清华大学地球系统科学系刘竹副教授受邀担任前沿星球奖评委。据了解，“前沿星球奖”每年评选出与可持续发展相关的 3 项杰出研究成果，并授予对应的科学家总额为 300 万瑞士法郎的奖金，是目前可持续发展领域和环境相关领域奖金最高的国际奖项。国际非盈利组织前沿研究基金会将于 2023 年首次颁发专注于可持续科学的国际奖项“前沿星球奖”。

该奖项的评选标准是研究成果需在过去两年内（2020 年 1 月 1 日到 2022 年 12 月 31 日）已发表在同行评议期刊上。申请人需通过网站（<https://www.frontiersfoundation.org/prizes/our-network>）所属国家和区域的国家代表实体（National Representative

Body, NRB）和国家提名实体（National Nominating Body, NNB）提交申请。如果申请人并非来自网站中所列出的国家和地区的代表实体名单，也可以通过网站直接提交申请（<https://council.science/current/blog/frontiers-planet-prize-science-for-a-sustainable-planet/>）。各机构最多有 3 个提名机会，截止日为 2022 年 12 月 1 日。

今年的奖项将由来自全球的 100 位评审专家评出。其中清华大学地球系统科学系刘竹副教授和香港大学副校长宫鹏教授是仅有的两位来自中国的专家。





《中国碳中和与清洁空气协同路径（2022）》 报告发布会顺利召开

作者 / CCAPP

2022年12月26日，清华大学、生态环境部环境规划院、北京大学、南京信息工程大学、中国清洁能源政策伙伴关系共同发起，在能源基金会支持下，国内50余位一线学者共同编制的《中国碳中和与清洁空气协同路径（2022）》报告顺利完成线上发布。

生态环境部应对气候变化司陆新明副司长、生态环境部大气环境司张大伟副司长、生态环境部环境规划院院长王金南院士、清华大学曾嵘副校长、南京信息工程大学陈海山副校长及能源基金会首席执行官兼中国区总裁邹骥在发布会上致辞。中国环境科学研究院首席科学家柴发合研究员，国务院发展研究中心发展战略和区域经济研究部原部长李善同研究员，中国气象局国家气候中心气候变化首

席科学家徐影研究员、复旦大学公共卫生学院副院长阚海东教授及复旦大学经济学院吴力波教授受邀参加讨论点评。北京大学环境科学与工程学院院长朱彤院士、清华大学碳中和研究院院长贺克斌院士作总结。清华大学地球系统科学系副主任张强教授、能源基金会环境管理项目主任刘欣共同主持会议。

在致辞环节，陆新明副司长表示，通过减污降碳协同推动绿色低碳发展是我国经济持续高质量发展、实现现代化的必然选择，未来相关工作还需进一步优化技术路径、设计政策组合，推动清洁空气与碳达峰碳中和措施形成合力。张大伟副司长强调，推动我国空气质量持续改善须更加突出综合治理、系统治理、源头治理，统筹大气污染防



要内容。本年度报告以“减污降碳 协同增效”为主题，通过对空气污染与气候变化、治理体系与实践、结构转型与治理技术、大气成分源汇及减排路径、健康影响与协同效益五个方面共20项指标的分析，追踪我国空气污染与气候变化协同治理的最新进展，全面展示相关工作取得的成绩，描述空气质量与气候变化的现状及其影响，提出需要补强的薄弱环节和未来的协同路径。

点评专家高度评价报告编写工作，表示报告不仅为研究人员提供了“思想盛宴”，更为推动我国协同治理政策制定提供了重要科学支撑；专家们还就未来报告进一步如何不断完善提出了展望和建议。朱彤院士总结强调，碳中和与清洁空气协同工作需更加关注地方特色，立足各地自然资源禀赋，力求协同效益最大化。贺克斌院士总结指出，今后报告工作需关注行业地区异质性，加强交叉学科交流，将系列报告打造成我国减污降碳领域的旗舰品牌，为推动我国实现碳达峰碳中和及美丽中国目标贡献力量。

来自地方、科研院所、高校、智库组织200余名专家代表，来自央广网、光明日报、第一财经、中国环境报、中国日报、人民政协报等近30家主流媒体代表在线参加了报告发布会，发布会在线观看超11万人次。

治和温室气体减排，并期望报告工作组不断积累，持续发力，推动实现清洁空气和碳中和目标。王金南院士指出，协同推进碳达峰碳中和与空气质量改善工作，既体现在治理对象、措施以及政策行动的统筹，也体现在目标及效果的协同。社会和学界对减污降碳协同增效的关注度在不断提升，报告对引领相关学术研究、支撑管理部门决策意义重大。曾嵘副校长指出，清华大学积极响应国家双碳目标重大战略需求，在碳中和基础理论与关键技术突破方面积极探索，发挥创新引领作用。陈海山副校长表示，南京信息工程大学关注天气气候与大气环境相互作用、大气污染形成机理与防治技术等科学前沿问题，未来将积极响应国家战略需求，一如既往支持参与报告编写工作，共同推进减污降碳，助力实现美丽中国建设和双碳目标。邹骥总裁强调，碳中和与清洁空气协同路径是中国式现代化的必然选择，需不断创新、持续发力。该系列报告的编写工作积极响应国家战略，对支撑相关政策制定和确定重大研发投入等具有重要意义，能源基金会将持续支持相关研究。

雷宇研究员代表2022年度报告工作组介绍了报告主





自強不息 厚德載物



清华大学地球系统科学系

主办：清华大学地球系统科学系 / 全球变化研究院办公室
主编：罗勇 张强
编辑：王佳音
电话 / 传真：(010) 62772750 / 62797284
电子邮件：dess@mail.tsinghua.edu.cn
办公地址：北京市海淀区清华大学蒙民伟科技大楼 801、803、805 室
邮编：100084

Producer: Department of Earth System Science, Tsinghua University / Institute for Global Change Studies, Tsinghua University
Editor-in-chief: Luo Yong, Zhang Qiang
Editors: Wang Jiayin
Tel/Fax: (010) 62772750 / 62797284
Email: dess@mail.tsinghua.edu.cn
Address: S801, S803, S805, Mengminwei Science and Technology Building
Zip code: 100084