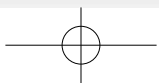


2023 年第一期 | 总第 58 期

清华大学地球系统科学系  
**工作动态**

DEPARTMENT OF EARTH SYSTEM SCIENCE  
 TSINGHUA UNIVERSITY

自強不息 厚德載物





---

天行健，君子以自强不息！  
地势坤，君子以厚德载物！

---



# 目录 CONTENTS

## ■ 头条新闻

- 2 清华大学地球系统科学系二〇二三年新年贺词
- 5 清华大学地学系李伟课题组揭示热带雨林退化的升温效应
- 6 《野外科学观测数据共享南矾山宣言》签字仪式暨野外科学观测数据共享网络第一次工作会议在江西师范大学举行
- 8 地球系统数值模拟教育部重点实验室学术年会暨学术委员会会议在京召开
- 11 清华大学地学系张强课题组合作揭示北半球中高纬地区野火碳排放变化及驱动力

## ■ 科研进展

- 14 清华大学蔡闻佳课题组发文揭示中国各省份禁售燃油车的碳减排及健康协同效益
- 15 清华大学地学系王勇课题组发文揭示全球气候模式中次网格地表热通量变化和配置参数化的影响
- 17 清华大学地学系李伟课题组揭示全球生物能源作物种植引起的陆地气温变化
- 19 清华大学地学系王焱课题组揭示叶经济谱背后的资源权衡策略
- 20 清华大学地学系王焱课题组发文揭示全球小麦播种日期宏观格局的形成机制
- 22 清华大学地学系徐世明课题组研发自适应加密和灵活建模的新型海洋模式 OMARE
- 25 清华大学地学系发布全球 3 弧秒 (90 m) 海陆 DEM 数据产品
- 26 清华大学地学系林光辉课题组揭示红树林破坏地再造林的碳汇潜力显著优于滩涂造林
- 28 清华大学地学系卢庵课题组基于 CMIP6 模式情景预估中国大陆未来水循环变化
- 31 清华大学地学系阳坤课题组解析我国太阳辐射极端事件及未来变化
- 34 清华大学地学系阳坤课题组发布第三极地区长时间序列 (1979-2020) 高分辨率 (1/30°) 降水数据集
- 36 青藏高原东部土壤有机质除了冷却土壤还有新作用? 我们有新发现

## ■ 工作简讯

- 38 点点萤火, 汇聚星河——清华大学地学系抗疫突击队工作记
- 41 清华大学地学系午餐沙龙系列活动报道——“青藏高原地球系统模式发展与应用”
- 42 清华大学地学系党委召开 2022 年度党支部书记述职评议会
- 43 笑靥如花, 芳华自在——清华大学地学系分工会举办“三八”国际劳动妇女节活动
- 44 清华大学地学系党委召开 2023 年春季学期第一次党支部书记例会
- 44 清华大学地学系举办 2023 年春季学期助教朋辈分享会
- 45 清华大学地学系午餐沙龙系列活动报道——“林光辉教授研究组的研究重点与跨学科合作机遇”学术交流
- 46 毛里求斯驻华大使 Alain Wong Yen Cheong 王纯万阁下到访地球系统科学系

## ■ 学生天地

- 47 林枫辅导员候选人任浙豪青春烙下并肩奋斗的辅导员印记
- 49 以兴趣引航 用热爱奉献——周宇峰 清华大学地球系统科学系 2021 级博士生
- 52 清华大学地学系直博生刘世淦获美国地球物理学会 2022 年秋季会议杰出学生报告奖

## ■ 紫荆论坛

- 53 全球变化科学紫荆论坛一览



## 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。

在师资队伍建设和人才工作方面，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。林岩鑫、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，地学系团总支等集体获得战疫“清”年集体荣誉。2022届毕业生岳思妤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 PM2.5 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，破浪以颺；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



## 清华大学地学系李伟课题组揭示热带雨林退化的升温效应

作者 / 朱磊

森林是陆地碳汇的重要组成部分，同时也影响着地表能量收支。森林退化会增加碳排放，加剧全球变暖（生物地球化学效应）。同时，森林退化可以直接改变地表生物物理特征（如反照率、蒸散发、地表粗糙度等），进而影响局地能量平衡，导致气温变化（生物物理效应）。热带地区是全球森林砍伐和退化的热点地区。现有研究表明亚马逊区域森林退化的面积和导致的碳排放可能已经超过了毁林，但是热带森林退化的生物物理和生物地球化学效应的叠加影响尚不明确，而在未来气候变化减缓政策中，森林退化的生物物理效应也往往被忽略。

清华大学地球系统科学系（以下简称“地学系”）李伟副教授课题组联合国内外多所研究机构，利用高分辨率卫星观测数据，针对上述问题在热带雨林

地区展开研究。研究首先识别了四类退化的热带雨林：被火烧过的森林、小斑块森林、边缘森林和其他退化森林（图 1），分析了热带雨林退化导致的生物物理和生物地球化学效应，量化了 1990-2010 年间人为导致的热带雨林退化的生物物理和生物地球化学效应。研究发现，2010 年 24.1% 的热带雨林发生了退化；发生森林退化区域的地表温度相比于没有发生退化的内部森林高了  $0.78 \pm 0.88^\circ\text{C}$ ，对整个热带区域而言，热带雨林退化造成了地表平均升温  $0.022 \pm 0.014^\circ\text{C}$ ；热带雨林退化造成的总碳亏缺达到了  $6.1 \pm 2.0 \text{ PgC}$ ，带来的热带区域等效升温为  $0.026 \pm 0.013^\circ\text{C}$ 。热带雨林退化导致的生物物理及生物地球化学增温效应十分接近。1990-2010 年，人为导致的热带雨林退化带来的白天地表温度

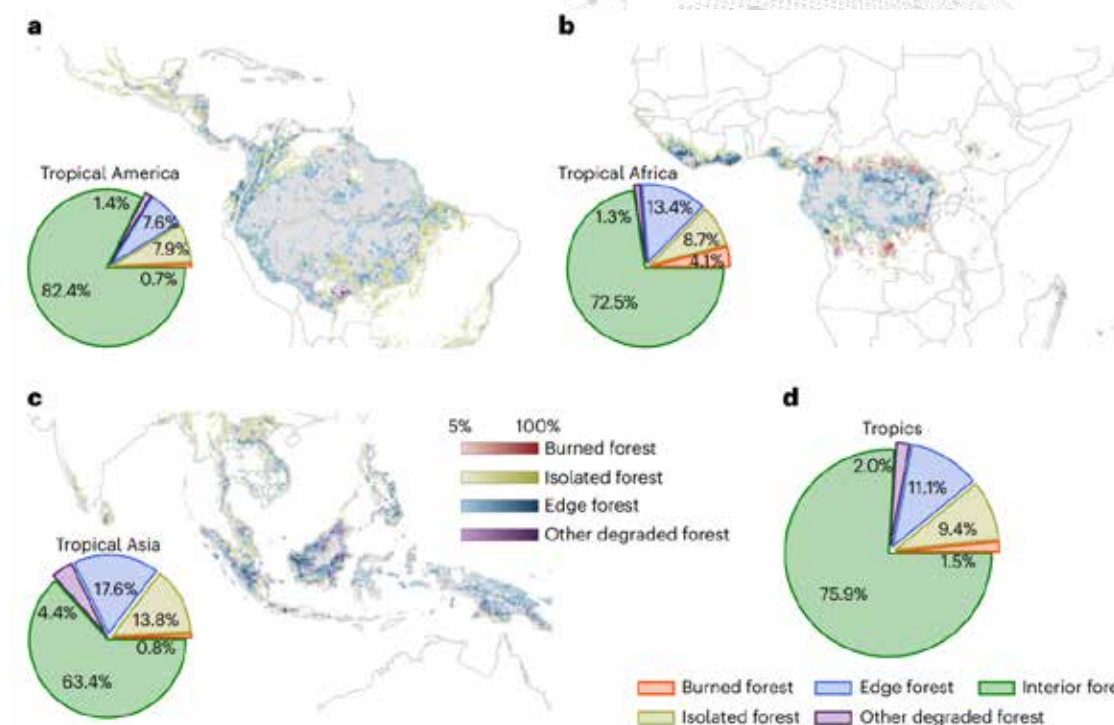


图 1 2010 年热带雨林主要森林退化类型分布

升温为 $0.018 \pm 0.008^\circ\text{C}$ ，带来的碳亏缺为 $2.3 \pm 0.8\text{PgC}$ ，与同期森林砍伐的影响量级相当。

上述成果于以“热带雨林退化的生物物理和生物地球化学升温效应”（Comparable biophysical and biogeochemical feedbacks on warming from tropical moist forest degradation）为题，于2023年3月2日发表在《自然-地球科学》（Nature Geoscience）期刊上，同期的“研究简报（Research Briefing）”发表题为“热带雨林退化隐含的变暖效应”（The hidden warming effects of the degradation of moist tropical forests）的评述，对该成果进行了报道和积极评价。清华大学地学系2020级直博生朱磊为论文第一作者，李伟副教授为论文通讯作者。合作者包括法国气候与环境科学实验室（LSCE）的菲利普·西

亚斯（Philippe Ciais）教授和徐伊迪博士，意大利联合研究中心（Joint Research Centre）高级研究员 Alessandro Cescatti 博士，瑞士伽马遥感公司（Gamma Remote Sensing）的毛里西奥·桑托罗（Maurizio Santoro）博士和奥利弗·卡图斯（Oliver Cartus）博士，日本国立环境研究所（NIES）田中胜正（Katsumasa Tanaka）博士，清华大学地学系博士后何家莹、孙敏轩、博士生赵哲和博士毕业生王景萌。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等项目支持。

论文链接：<https://www.nature.com/articles/s41561-023-01137-y>

研究简报链接：<https://www.nature.com/articles/s41561-023-01139-w>

## 《野外科学观测数据共享南矾山宣言》签字仪式暨野外科学观测数据共享网络第一次工作会议在江西师范大学举行

2023年3月12日上午，清华大学、江西师范大学、江西农业大学和香港大学在江西师范大学方荫楼中顺报告厅共同举办了《野外科学观测数据共享南矾山宣言》（以下简称《南矾山宣言》）签字仪式暨野外科学观测数据共享网络第一次工作会议。这是由参与方学者共同发起的推动野外科学观测数据“共商、共建、共享”的学术活动。野外科学观测数据的获取是地理学研究的生命线。建立野外科学观测数据的共享平台与机制可以增强数据间的对比分析，减少不同科研队伍的重复工作，节约国家科研经费，提高科学数据质量标准。这将为许多青年科学工作者和学生的科研工作提供良好的数据支撑，助力他们快出成果和出好成果。

出席本次会议的有江西师范大学党委委员、副

校长董圣鸿，清华大学理学院副院长、地球系统科学系主任罗勇，清华大学地球系统科学系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站长徐冰和副站长白玉琪、张涛，武功山生态环境监测与研究基地负责人岳天祥研究员，江西农业大学国土资源与环境学院副教授黄宏胜，香港大学地理系副研究员张鸿生，江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室主任/地理与环境学院院长林珲院士，地理与环境学院执行院长罗津和副院长叶民盛，鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室常务副主任方朝阳和副主任吴志伟，鄱阳湖南矾湿地野外综合试验站站长黄琪，生命科学院教授李言阔。清华大学地球系统科学系和江西师范大学地理与环境学院多位师生代表也参加了会议。签字仪式



罗勇发言



徐冰主持“野外科学观测数据共享网络”第一次工作会议



林珲作总结发言



《南矾山宣言》签署后与会人员合影

由江西师范大学科学技术处黄运红处长主持。

在签字仪式上，董圣鸿副校长代表江西师范大学致辞，对出席签字仪式的来宾表示热烈欢迎，对四家单位共同签订《南矾山宣言》表示祝贺。董圣鸿介绍了江西师范大学的办学历史、学科建设发展及地理学科与鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室建设情况。他指出，党的二十大报告提出，加快建设网络强国、数字中国。打造高效协同的生态观测网络，提升科学数据共享效用，对于生态文明建设具有重要意义。他希望各方以此为契机，进一步加大资源整合力度和数据共享合作，共同为建设

美丽江西、推进美丽中国建设作出新的更大贡献。

罗勇代表首批签字的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、鄱阳湖南矾湿地野外综合试验站、武功山生态环境监测与研究基地和香港大学地理系发言。他强调，真正实现科学数据共享，首先要实现科学界的广泛共识和自觉行动。科学工作者应争作数据研发的创新者，数据规则的制定者，数据共享的实践者。要打破科学数据占有的传统观念，在确保国家安全和相关知识产权的前提下，大力促进信息公开，最大限度实施科学数据共享，高效服务社会经济发展和科学创新。为此，



与会专家参观鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室



清华大学地学系学生开展鄱阳湖迁徙候鸟观测活动



参加综合考察的清华大学和江西师范大学部分师生合影

我们共同签署《南矾山宣言》，成立“野外科学观测数据共享网络”。希望《南矾山宣言》能够得到更多同行的积极响应，共同秉承“我为人人，人人为我”的平等互助精神，建立新型科研合作共同体，激发深度科学创新，共创美好科学未来。

在与会专家见证下，清华大学、江西师范大学、江西农业大学、香港大学代表共同宣读了《南矾山宣言》，并签署了《南矾山宣言》。

签字仪式后，徐冰主持了“野外科学观测数据共享网络”第一次工作会议。徐冰、黄琪、岳天祥和张鸿生分别介绍了四个野外观测研究站情况。与会专家就科学观测数据共享网络工作和项目合作等方面进行了深入讨论和交流。最后，林琿作会议总结发言。

会后，与会专家参观了鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室。此外，清华大学与江西师范大学师生共同组织了迁徙候鸟观测、鄱阳湖水质采样和湿地区域地表光谱测定等野外科学观测站综合考察活动。



朱付元致辞



黄小猛作报告



从左至右、从上至下分别是张强、李伟、王勇、蔡闻佳作报告。

## 地球系统数值模拟教育部重点实验室学术年会暨学术委员会会议在京召开

作者 / 彭怡然

2023年3月25日，地球系统数值模拟教育部重点实验室（以下简称“实验室”）学术年会暨学术委员会会议在北京召开。实验室学术委员会主任、中国工程院院士、国家气候中心丁一汇研究员，加



罗勇主持会议

拿大皇家科学院院士、福建师范大学陈镜明教授，中国科学院院士、自然资源部第二海洋研究所陈大可研究员，中国科学院院士、北京航空航天大学钱德沛教授，中国科学院院士、南京大学常务副校长谈哲敏教授，清华大学科研院项目办朱付元主任出席会议。清华大学地球系统科学系主任罗勇教授主持会议，实验室主任黄小猛教授等实验室主要成员参加会议。

朱付元主任在致辞中表示，实验室充分发挥清华地球系统科学的基础及计算机科学与技术优势，坚持学科交叉融合、自主创新探索，取得了一系列先进成果。朱付元表示，希望实验室未来能够充分利用高性能计算平台，产出更多高水平成果，培养

更多高素质人才，为地球系统科学的发展、服务国家战略需求做出贡献。

实验室主任黄小猛教授作“地球系统数值模拟教育部重点实验室工作报告”。黄小猛介绍，实验室依托学科交叉优势资源，围绕地球系统数值模拟方法、地球科学数据集成、高性能支撑技术及应用等方向开展科研工作，形成了实验室的鲜明特色，近年来取得了一系列具有学科交叉特色的成果，也积累了一定的学科融合，协同发展的实践经验。实验室已成为国内聚集和培养全球变化研究人才的基地，为培养具备地球科学、计算机科学、计算数学、经济学等学科交叉能力的青年人才，提升我国在该领域的国际学术地位做出了贡献。

实验室成员清华大学地球系统科学系张强教授、李伟副教授、王勇副教授和蔡闻佳教授分别介绍了各自团队的近期研究工作，展示了实验室在大气化学、陆面生态过程、大气物理以及气候变化经济学等方面的最新进展和创新成果。

年会上举行了清华大学-浪潮集团计算地球科学青年人才奖（简称“浪潮奖”）和清华之友-浪

潮集团优秀学生的颁奖典礼。“浪潮奖”自2012年创办以来，迄今为止已遴选出54位获奖者。获奖者在多个科研领域内持续发力，成为我国地球系统科学发展的中坚力量。五位获奖者围绕各自的获奖研究作学术报告。

在主旨报告环节，陈大可院士展望了人工智能海洋学这一新兴前沿交叉领域的主要重点研究方向，解读了各个方向的关键科学和核心技术问题。陈镜明院士聚焦于全球碳中和目标，介绍了近年来快速发展的全球碳同化数据系统，以及与碳监测、碳中和相关的多种新兴技术手段和应用成果。戴永久院士介绍了全球高分辨率陆面模式中针对多个重要物



从左到右分别是陈大可、陈镜明、谈哲敏作主旨报告。



从左到右，从上至下分别是获奖人耿冠楠、靳江波、李雪草、马占宏、杨森、苟睿坤、倪好、赵定池。

理过程的方案发展与改进，以及陆面模式与人类活动耦合模拟的研究进展。谈哲敏院士介绍了在高精度数值模式中可以有效模拟对流系统发展的“非瞬时辐合-对流反馈”方法，以及该方法对MJO模拟等的作用。

实验室2023年度开放基金的八位资助者分别作了项目的开题报告。实验室开放基金以推进实验室建设和学科发展、推动清华大学联合地球系统模式(CIESM)的研发应用为目标，通过与多个单位不同研究领域学者的密切合作，促进多学科融合、推动地球系统模式的持续发展和落地应用。

学术委员会肯定了实验室近年来取得的成绩，鼓励实验室保持学科交叉特色，坚持自主创新，推动地球系统科学与高性能计算技术的融合发展。下一步，实验室将继续推进重点工作，以此次年会为契机，梳理研究方向，优化研究布局，进一步聚焦国家重大需求和世界科学前沿，争作科学技术领域的探索先锋，勇挑服务国家战略需求重担。本次年会采用线上线下同步方式进行，共有34万人次观众观看了论坛直播。

## 清华大学地学系张强课题组合作揭示 北半球中高纬地区野火碳排放变化及驱动力

作者 / 张强

极端野火不仅破坏生态系统和生物多样性，还向大气中释放大量有害污染物和温室气体，威胁人群健康与全球气候。近日，由清华大学地球系统科学系张强教授和深圳国际研究生院郑博助理教授带领的国际研究团队基于自主研发的全球野火碳排放近实时量化追踪系统，发现全球变暖背景下土壤水分亏缺加剧，北半球中高纬地区（北纬50°以北）极端干旱事件显著增加，使得该区域逐渐成为全球野火活动及碳排放的热点地区。2021年北半球中高纬地区野火二氧化碳排放创历史新高，占当年全球野火碳排放的23%。

北极变暖速率是全球其他地区的两倍以上，气

候变暖使植被茂盛生长，高温热浪将“燃料”变得异常干燥，导致北半球中高纬地区的野火发生风险增加。为准确、及时追踪全球野火排放，团队创新性建立了利用一氧化碳卫星遥感数据反演全球野火二氧化碳排放的新方法，基于一氧化碳排放反演数据重构野火燃烧效率的时空动态变化，实现了对野火二氧化碳排放的高精度动态监测。在这一新方法基础上，团队进一步自主研制了全球野火碳排放近实时量化追踪系统，反演量化了2000至2021年野火二氧化碳排放的时空格局，系统解析了北半球中高纬地区野火（以下简称北方野火）2021年创历史新高排放背后的驱动因素，揭示了气候变暖-野

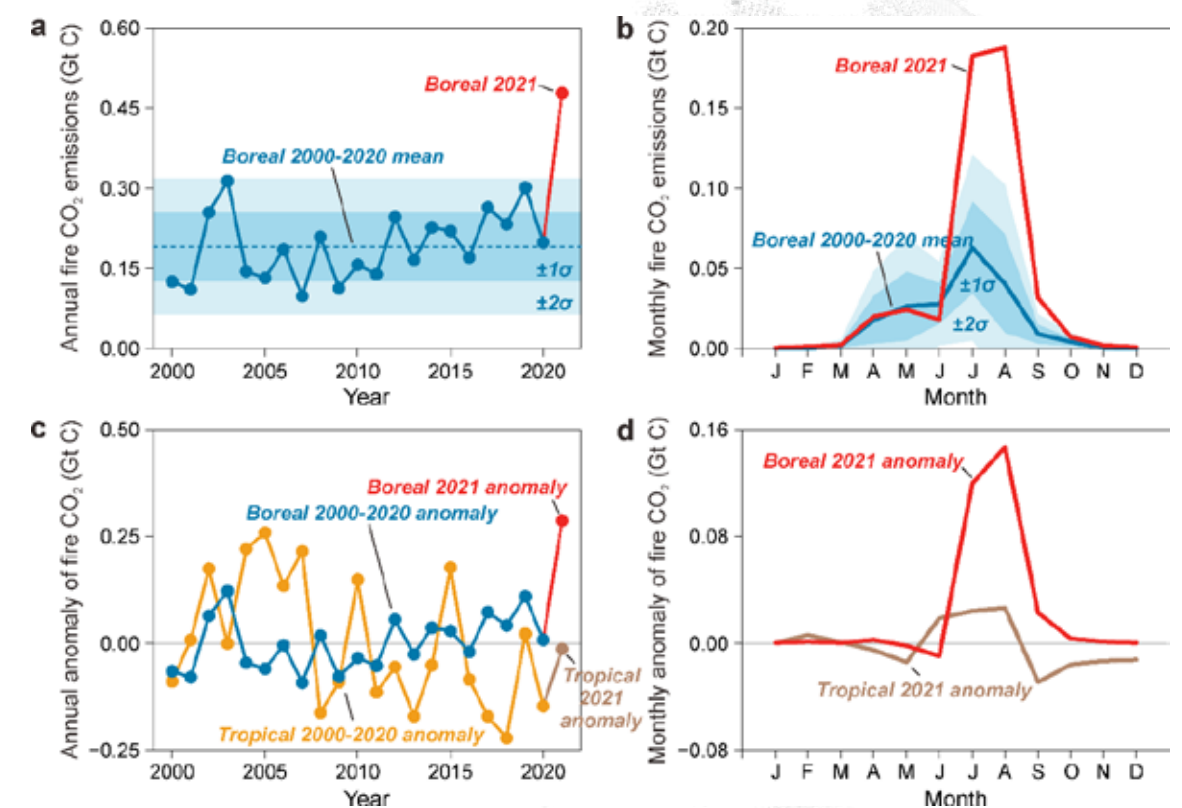


图1 基于大气反演得到的北方野火排放年际和季节变化及与赤道地区野火排放的比较



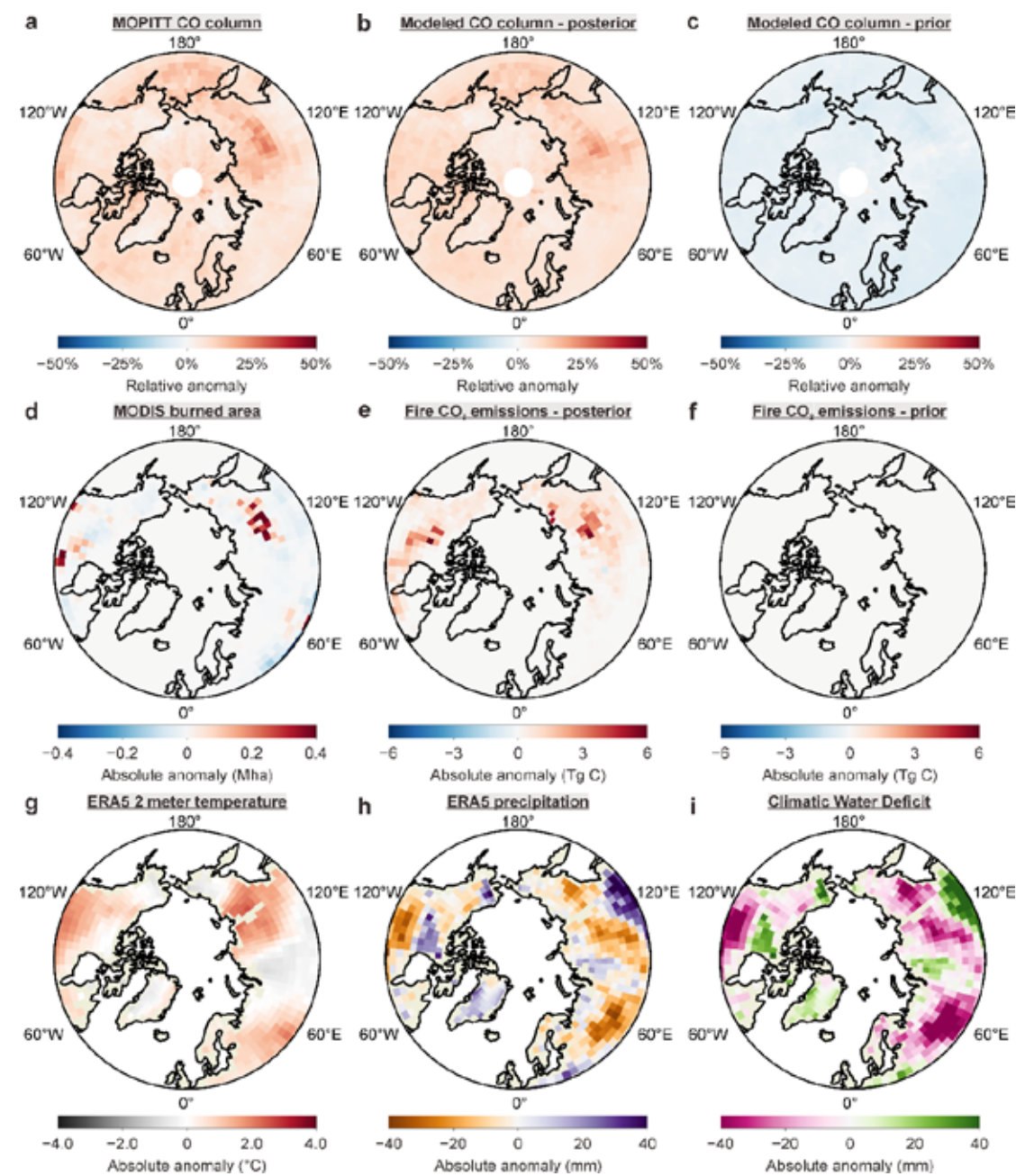


图 2 相对于 2000-2020 年平均值，2021 年北纬 50° 以北区域大气中 CO 柱浓度、野火 CO2 排放及气象参数距平

火排放之间的正反馈机制与潜在未来风险。

研究发现，北方野火二氧化碳排放自 2000 年以来呈上升态势，在 2021 年创纪录地达到了 17.6 亿吨，占当年全球野火碳排放总量的 23%，而在二十年前这一比例通常仅为 10% 左右。与此相反，受到广泛关注的赤道地区野火燃烧及碳排放呈下降趋势，年际振幅小于北方野火 2021 年排放异常高值，2021 年排放量与多年平均水平相当（图 1）。

研究结果显示，野火活动开始侵入以往较少发生的高纬度寒带森林，北方野火碳排放的时空分布格局正在产生剧烈变化，北方森林碳汇面临严重威胁（图 2）。2000 年北方野火碳排放主要集中于北纬 50° 到 60° 之间，但近年来北纬 60° 到 70° 的高纬地带的野火碳排放增长速率明显加快。2021 年这一区域的野火碳排放相比 2000 至 2020 年平均值增加了 300% 以上，而在北纬 50° 附近野火排

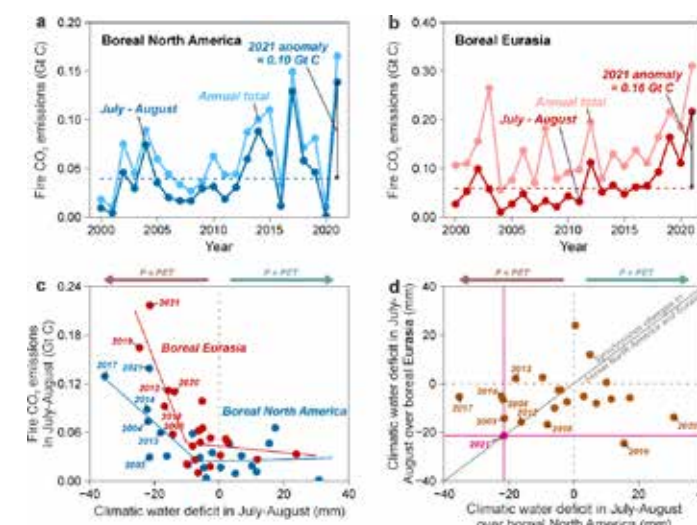


图 3 北美及欧亚大陆北方森林区域野火 CO2 排放及与土壤水分亏缺的关联分析

放只增加了 70%。结合植被类型分布数据的分析结果表明，北半球高纬度地区野火碳排放的增长主要发生在森林覆盖率较高的地区。北方寒带森林土壤中富含有机碳，野火发生时地上植被和有机土壤同时燃烧，碳排放量巨大。以往高纬度地带受火灾干扰较少，但是目前受野火的影响正在增加，严重威胁北方森林土壤的碳汇功能。

研究指出，土壤水分亏缺是北方野火燃烧增加的重要驱动力，野火向高纬度寒带森林的扩张与土壤水分亏缺程度的加剧密切相关，2021 年的极端干旱与热浪共同助推了这一年的野火燃烧与碳排放打破历史纪录（图 3）。在高纬度寒带森林，过去二十年夏季土壤水分亏缺程度逐年加重的区域均伴随有夏季野火燃烧及碳排放的快速增加。在水分亏缺严重的年份和地区，如 2017 年加拿大北部森林、2019 年西伯利亚森林，均发生了严重的野火燃烧，二氧化碳排放量显著高于多年平均水平。2021 年夏季，这两个区域的气温偏高、降水及土壤湿度偏低、热浪指数偏高，均达到了自 2000 年以来的极值水平。俄罗斯西伯利亚及加拿大北部森林同时出现严重的土壤水分亏缺，7 至 8 月累计水分亏缺量均超过了 20 毫米，这在 2000 年以来是第一次出现。

在北极加速变暖，即北极放大效应下，未来北半球高纬度地区高温热浪和干旱可能会更频繁发生，类似 2021 年的极端野火发生的频率和强度可能持

续增加，释放的二氧化碳排放将进一步推动全球变暖，形成气候变暖-野火排放之间的正反馈。北半球变暖趋势增加了森林生物量并加剧了土壤水分亏缺程度，伴随着蒸散发增强、空气湿度增大与北极地区雷暴增多，极端野火发生风险上升。在极端野火发生后土壤微生物群落和植被的恢复与重建缓慢，碳汇功能削弱，野火燃烧释放的大量碳推高大气中二氧化碳的浓度，促进全球变暖，极端野火发生的风险进一步增加。

研究建议，未来应当加大对全球变暖背景下北方森林野火发生风险及生态环境影响的关注，建立野火排放动态监测与生态环境影响评估系统，预报野火发生风险、预警野火污染危害、监测野火排放通量、评估火后生态恢复与重建，为制定科学有效的野火管理与调控政策提供支撑。郑博带领的研究团队自 2018 年起着手研发基于卫星遥感的全球野火排放监测与反演技术方法，历经五年时间持续改进提升数据精度与准确性。团队构建的全球野火二氧化碳排放近实时量化追踪系统可做为野火排放动态监测与生态环境影响评估系统的重要模块，动态评估野火对大气环境、生态系统与地球气候的影响。随着卫星遥感监测技术的迅速发展，这一系统未来将进一步完善。

上述成果以“北方野火 CO2 排放 2021 年创历史新高”（Record-high CO2 emissions from boreal fires in 2021）为题，以研究论文（Research Article）形式发表在《科学》（Science）期刊上。郑博为论文第一作者，张强和郑博为论文共同通讯作者。论文作者还包括中国科学院外籍院士、清华大学杰出访问教授、法国环境与气候科学实验室菲利普·西亚斯（Philippe Ciais）研究员，中国工程院院士、清华大学环境学院贺克斌教授，来自清华大学和哈尔滨工业大学（深圳）的多名国内合作者，以及来自德国、澳大利亚、美国、荷兰、西班牙等国的十余名海外合作者。研究得到了中国科协青年人才托举工程、国家自然科学基金创新研究群体、清华大学深圳国际研究生院科研启动经费等项目的支持。

论文链接：<https://www.science.org/doi/10.1126/science.ade0805>

## 清华大学蔡闻佳课题组发文揭示 中国各省份禁售燃油车的碳减排及健康协同效益

作者 / 沈鉴翔

减少燃油车的使用是交通部门碳减排政策制定中的重要一环。估算不同省份禁售燃油车带来的碳减排和健康协同效益对制定“分步走”的策略、优化政策效率十分重要。为此，清华大学地学系蔡闻佳教授课题组围绕中国各省份禁售燃油私家车政策的优先序开展研究，探究了中国各省份禁售燃油车的碳减排及健康协同效益。成果以“*Incorporating Health Cobenefits into Province-Driven Climate Policy: A Case of Banning New Internal Combustion Engine Vehicle Sales in China*”为题，于1月6日在《环境科学与技术》(Environmental Science & Technology)在线发表。

研究构建了一个包括客运交通核算模型、电力系统优化模型、空气质量评估模型和健康影响评估模型的综合评估框架。在此基础上，研究设计了1个是否在2035年禁售燃油私家车(禁燃政策)的对比情景以及包括两个碳减排强度和3个空气污染物末端治理强度的6个电力部门组合情景，探究了中国各省份实施禁燃政策带来的碳减排及健康协同效益，计算了各省份单位碳减排的健康协同效益。

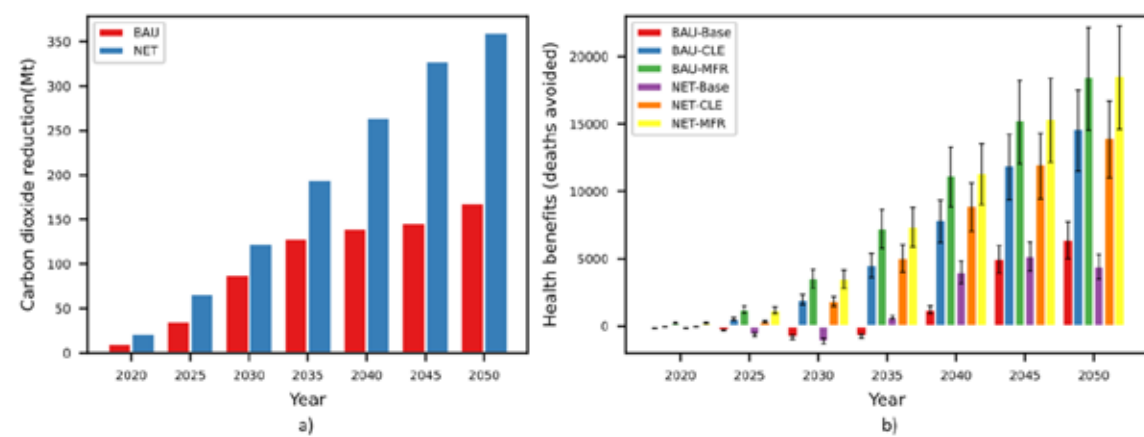


图1 不同电力情景下中国禁售燃油私家车的碳减排及健康协同效应

研究结果显示，随着电力部门净零排放的实现，至2050年，禁售燃油车的政策将给中国道路部门带来几乎一倍的碳减排量。从年际变化来看，电力部门是否实现净零排放，将在2035年后对禁燃政策的碳减排量产生显著影响。影响健康效益的主要因素是空气污染物末端治理力度。随着电力部门对空气污染物排放控制的加强，两个电力部门碳减排情景之间的健康效益差距将缩小。从年际变化来看，2035年后，电力部门碳减排目标越大，健康效益越大。

研究指出，不同省份禁售燃油车政策的碳减排及健康协同效益差异巨大，效益排名前五的省份占全国总量的1/3以上。如果全国单位发电的平均空气污染物减排量能够比现行的污染物治理力度的再增加一点(即为2015年排放强度的29.9-32.5%)，预计到2050年，每个省份的禁售燃油车政策都将为全中国带来健康效益。研究进一步计算了各省单位碳减排的健康效益(H/C)，发现中国各省H/C相差高达8倍。依据H/C排名，研究识别了排名稳定且较高(High, 图中绿色区域)、

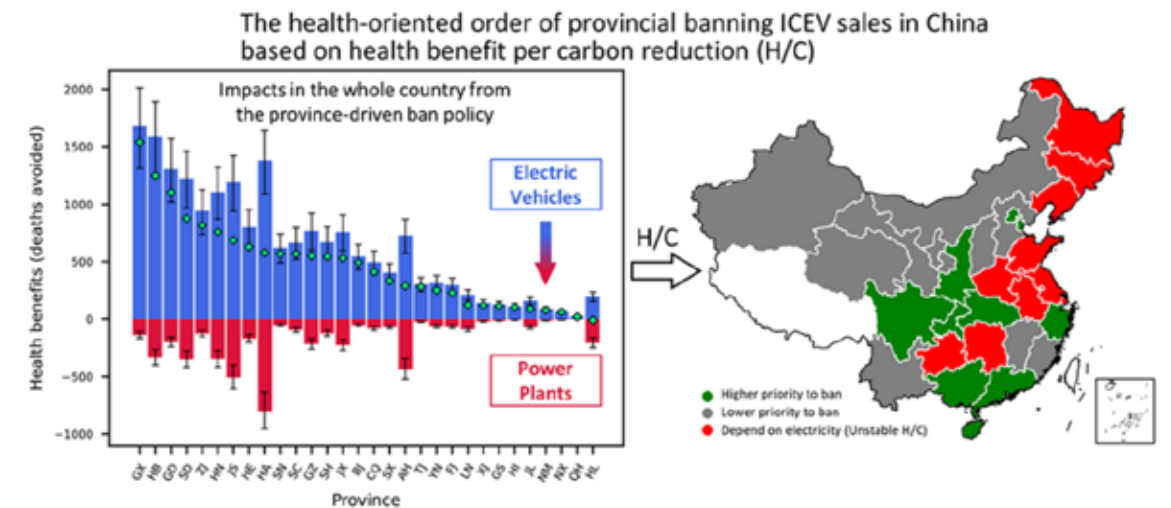


图2 中国各省禁售燃油车的健康效益以及相关政策顺序建议

稳定且较低(Low, 图中灰色区域)和随电力部门变化较大(Change, 图中红色区域)三类省份并与现有研究进行比较。研究建议,东南沿海(广东、广西、海南和浙江)省份、湖北、四川、重庆、陕西、北京和天津可优先实行禁燃政策以获得更大的健康效益。

清华大学地学系博士生沈鉴翔为论文第一作者,蔡闻佳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、博士后崔学勤、张诗卉,清华大学环境学院王灿教授及课题组博士生卜楚洁、安康欣,全球能源互联网发展合作组织高级工程师陈小彤。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能源基金会的支持。

论文链接: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c08450>

## 清华大学地学系王勇课题组发文揭示 全球气候模式中次网格地表热通量变化和配置参数化的影响

作者 / 王勇

陆面和大气之间的热量(主要包括感热和潜热)交换是地表、大气和深层土壤之间能量分配的显著影响因素,也进而影响了大气的热力和动力过程。由于地表覆盖类型错综复杂,导致陆气之间热量交换的复杂性增加。此外,由于感热和潜热通量在热量交换过程中影响不同,地表接收的太阳辐射在感热和潜热之间的分配调控着与之相关的大气过程。

但是,目前所有全球气候模式只使用网格平均(约100-200公里分辨率)的地表热量通量来驱动大气过程,因而忽略了更细尺度上(即次网格尺度)的热量通量变化和配置,这可能会导致模拟出现偏差。

针对上述问题,清华大学地学系王勇副教授课题组在全球气候模式中参数化了陆面次网格热量通量,并评估了其对于气候模拟的改进效果。新方

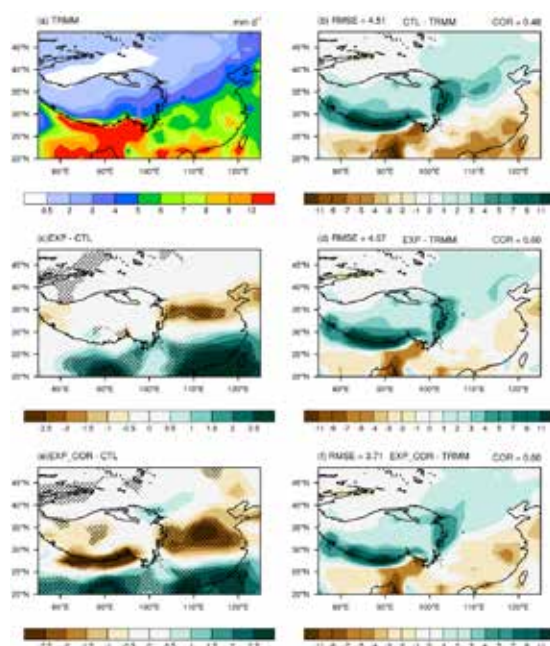


图1. (a) 观测的夏季降水空间分布; (b) 参照试验 (CTL) 与观测结果的差异; (c) 原方案 (EXP) 与 CTL 的差异; (d) EXP 与观测结果的差异; (e) 新方案 (EXP\_COR) 与 CTL 的差异; (f) EXP\_COR 与观测结果的差异。

案降低了当前气候模式在模拟青藏高原东部和南部边缘夏季降水严重高估的偏差, 揭示了次网格尺度地表热通量的变化和配置对青藏高原水循环和能量循环模拟的重要作用。相关成果以“在 CESM1.2 中参数化次网格地表热通量变化和配置带来的气候效应”(Climate impacts of parameterizing subgrid variation and partitioning of land surface heat fluxes to the atmosphere with the NCAR CESM1.2) 为题, 于 2023 年 1 月 4 日在《地球科学模式发展》(Geoscientific Model Development) 期刊在线发表。

在前期研究中, 为了引入地表热量通量在次网格尺度的变化, 课题组提出利用陆面模式诊断得到次网格热量通量的统计分布, 从分布中随机抽样, 并在线驱动多组独立的边界层和对流过程 (Sun et al., 2021)。这一方案能够大幅改进我国东部夏季降水的模拟, 但在青藏高原周边并没有明显改进。

课题组原方案没有考虑次网格感热和潜热通量之间的潜在联系, 即次网格尺度上地表热量通量的配置。针对这一问题, 课题组提出了一个新颖的改

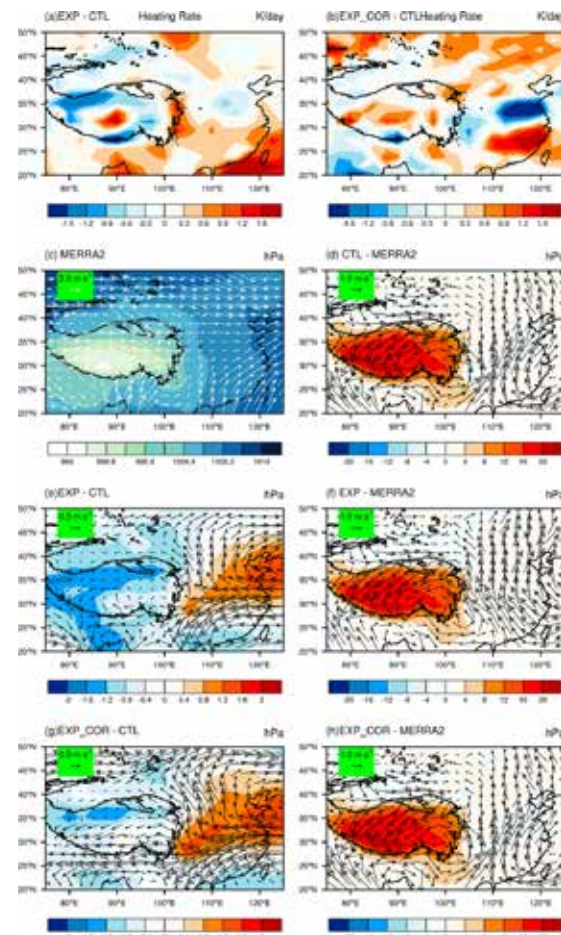


图2. (a) EXP 与 CTL 模拟的夏季平均边界层加热率之差; (b) EXP\_COR 与 CTL 模拟的夏季平均边界层加热率之差; (c) 夏季平均的 MERRA2 海平面气压 (填色) 和水汽输送 (矢量) 分布; (d) CTL 与 MERRA2 之差; (e) EXP 与 CTL 之差; (f) EXP 与 MERRA2 之差; (g) EXP\_COR 与 CTL 之差; (h) EXP\_COR 与 MERRA2 之差。

进方案, 即引入次网格感热和潜热通量的相关系数, 根据相关系数配置随机抽取的感热和潜热通量, 再用来驱动边界层和对流过程, 并将所得结果集合平均后传入其他物理过程。新方案模拟结果保持了原方案对我国东部夏季降水的改进效果, 并且显著减小了当前全球气候模式在青藏高原东部和南部边缘夏季降水模拟过多的偏差 (图 1)。

研究进一步分析发现, 青藏高原东部边缘降水量模拟的改进主要来自对流参数化方案产生的对流性降水的减少, 而青藏高原南部边缘则是由于减少了网格尺度可解析的大尺度降水。其中影响机制为: 考虑次网格地表热量通量的变化和配置后, 我国北方至青藏高原东部边缘边界层加热率减少, 低层大

气趋于稳定, 局地对流受到抑制, 对流性降水减少; 而在青藏高原南部边缘, 来自孟加拉湾的水汽输送受到异常东风气流的阻断, 大尺度降水减少 (图 2)。

除降水外, 本研究还全面评估了引入新方案后全球地表热通量、云、2 米气温等变量的模拟性能。结果表明, 新方案在关键变量的模拟上表现稳定。新方案不依赖于具体的边界层和对流参数化方案, 因此可被灵活地应用于其他的全球气候模式中。

清华大学地学系 2021 级博士生殷明为论文第一作者, 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后韩轶伦, 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者。该研究得到了国家自然科学基金和科技部重点研发项目的支持。

论文链接:

Yin, M., Han, Y., Wang, Y., Sun, W., Deng,

J., Wei, D., Kong, Y., and Wang, B.: Climate impacts of parameterizing subgrid variation and partitioning of land surface heat fluxes to the atmosphere with the NCAR CESM1.2, Geosci. Model Dev., 16, 135 - 156, <https://doi.org/10.5194/gmd-16-135-2023>, 2023.

相关研究论文:

Sun, W., Wang, B., Wang, Y., Zhang, G. J., Han, Y., Wang, X., and Yang, M.: Parameterizing Subgrid Variations of Land Surface Heat Fluxes to the Atmosphere Improves Boreal Summer Land Precipitation Simulation with the NCAR CESM1.2, Geophys. Res. Lett., 48, e2020GL090715, <https://doi.org/10.1029/2020gl090715>, 2021.

## 清华大学地学系李伟课题组揭示全球生物能源作物种植引起的陆地气温变化

作者 / 王景萌

生物能源碳捕获与封存 (BECCS) 是实现碳中和目标、减缓气候变化的主要负排放技术之一。其基本原理是通过种植生物能源作物, 利用植物生长来固定二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)。在生物质能使用后对排放的 CO<sub>2</sub> 进行捕获和封存, 从而达到降低大气 CO<sub>2</sub> 浓度的目标。大气 CO<sub>2</sub> 浓度的降低可以减少辐射强迫, 实现控制升温的目标, 即生物地球化学效应。同时, 能源作物种植可以直接改变地表生物物理特征 (如反照率、蒸散发、地表粗糙度等), 进而影响局地能量平衡, 导致气温变化, 即生物物理效应。由于当前没有大规模能源作物的实地种植, 生物能源作物种植的全球陆地温度效应主要依靠模型模拟

得出, 其产生的生物地球化学效应和生物物理效应对于全球陆地气温变化的影响尚不明确。

清华大学地球系统科学系 (以下简称“地学系”) 李伟副教授课题组针对上述问题展开研究, 揭示了全球大规模生物能源作物种植对全球陆地气温的影响, 并探究了不同种植策略 (即不同生物能源作物类型、种植区分布和种植面积) 通过生物地球化学效应和生物物理效应对气温变化的贡献。

课题组联合国内外多所研究机构, 利用在动态全球植被模型中自主研发的生物能源作物模块进行模拟, 得出了不同土地利用类型转为生物能源作物后植被和土壤碳库的响应曲线。研究团队进一步开

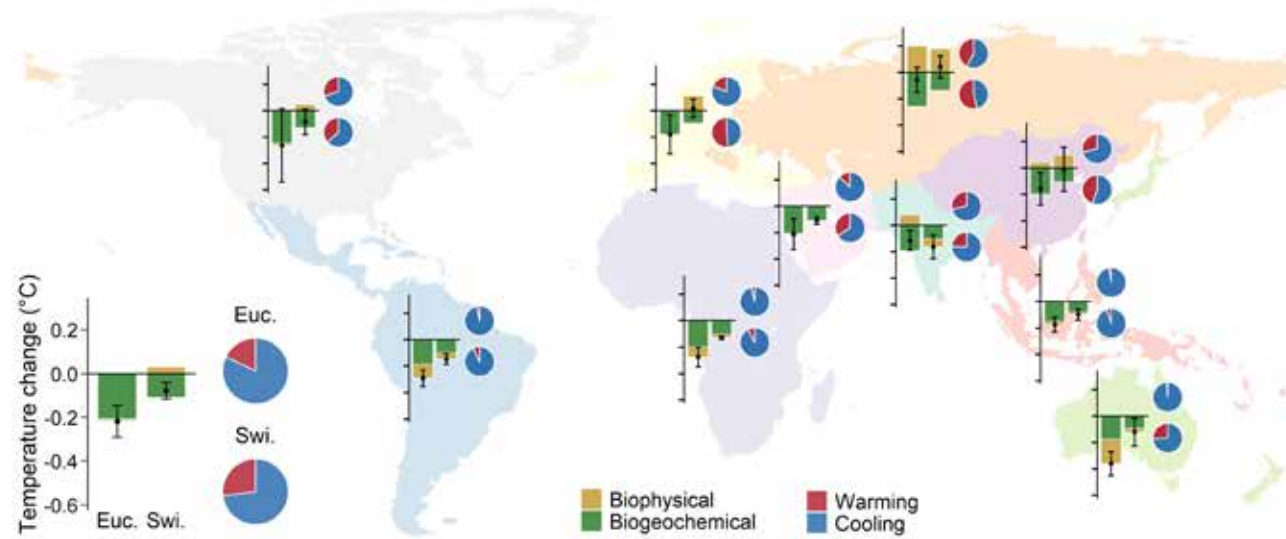


图1 按树和柳枝稷种植在不同地区导致的生物地球化学和生物物理气温变化以及净升温 and 净降温的面积比例

发了用于计算生物能源作物碳排放的簿记模型，结合不同生物能源作物种植情景，估算了其通过生物质收获、碳捕获与封存、土地利用变化等过程的净碳去除量，并且利用简化版地球系统模式模拟了各情景导致的生物地球化学温度效应。同时，研究团队通过将动态全球植被模型生物能源作物版本与大气模式进行耦合，定量了未来生物能源作物种植情景引起的陆地生物物理效应。研究发现，到本世纪末，按树种植情景的累积碳去除量（72-112 Pg C）大于柳枝稷种植情景（34-83 Pg C）；不同未来情景通过生物地球化学效应和生物物理效应导致全球陆地平均降温 -0.26 到 -0.04° C，然而，由于生物物理效应的空间异质性较大，全球仍然有 13%-28% 的陆地区域存在净升温信号（图 1）。该研究表明，规划生物能源作物种植不仅要考虑生物能源作物产量和净碳去除量，还应综合考虑地球系统其他维度的响应。

上述相关成果以“生物能源作物种植导致的生物地球化学和生物物理温度变化”（Temperature changes induced by biogeochemical and biophysical effects of bioenergy crop cultivation）为题发表在《环境科学与技术》（Environmental Science & Technology）期刊上。

清华大学地学系王景萌博士为论文第一作者，李伟副教授为论文通讯作者。合作者包括法国气候与环境科学实验室（LSCE）的菲利普·西亚斯（Philippe Ciais）教授，国际应用系统分析研究所（IIASA）的托马斯·加瑟（Thomas Gasser）研究员，浙江大学环境与资源学院常锦峰研究员，美国波士顿学院地球与环境科学系的田汉勤教授，清华大学地学系博士后李钊、博士生赵哲和朱磊。该研究得到了国家自然科学基金、国家重点研发计划项目、清华大学自主科研计划等项目支持。

原文链接：<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05253>

## 清华大学地学系王焱课题组 揭示叶经济谱背后的资源权衡策略

作者 / 王焱

叶经济谱是自然界广泛存在的一个性状维度，体现了植物叶片对环境资源的权衡策略，并呈现出许多亟待解释的有趣现象。近日，清华大学王焱课题组提出了一个新的最优策略理论，成功地定量预测了叶经济谱的核心权衡关系和比叶重的功能多样性，并解释了其在常绿和落叶植物中分异性的原因。成果以“Leaf economic fundamentals explained by optimality principles”为题，于2023年1月19日在国际顶级期刊 Science Advances 上发表。

研究假设，无论是对常绿还是落叶植物的叶片，最优的资源权衡策略都是最大化叶片生命周期的平均净碳收益。研究通过进一步考虑环境因子和叶片自身衰老对叶片光合速率的影响，即可根据比叶重和环境条件，预测出最优叶片寿命。由于常绿植物叶片的寿命则刚好与其生命周期一致，而落叶植物叶片寿命则与生长季长度一致，其生命周期刚好为一年。因此，即使在相同的叶片构建成本和环境条件下，常绿和落叶植物的最优叶片寿命也略有不同：常绿植物的叶片寿命与比叶重成正比，与叶片吸收

的光合有效辐射、生长季长度的平方根成反比；落叶植物的叶片寿命与生长季长度成正比。这一理论预测结果得到了全球 GlopNet 性状数据集的验证（图 1）。

在最优策略理论的框架下，研究进一步引入约束条件，假设常绿植物叶片受比叶重和叶片寿命的全球联合正态分布特征的额外约束，从而直接预测了常绿和落叶植物比叶重对环境因子的响应规律：常绿和落叶植物的比叶重均随光合有效辐射和生长季长度的增加而增大，随温度的增大而减小，但落叶植物比叶重对环境变化的敏感性更高：对辐射的敏感性是常绿植物的两倍，对温度和生长季长度的敏感性则为常绿植物的四倍。这些理论预测的方向和敏感性均得到中国植物性状数据库观测数据的验证，观测结果也表明，叶片比叶重随湿润指数的增大而显著降低（图 2）。

常绿和落叶植物的比叶重在纬度梯度上呈现出刚好相反的变化趋势，也可以成功地利用两类植物对环境响应的敏感性差异进行定量预测（图 3）。

研究揭示了广为人知的叶经济谱背后的资源权

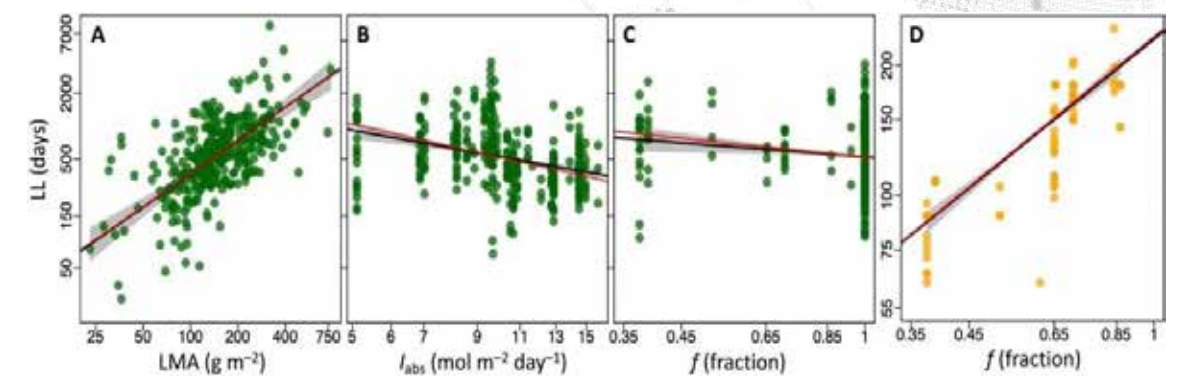


图1 叶片寿命 (LL) 与解释变量 (LMA: 比叶重,  $I_{abs}$ : 叶片吸收的光合有效辐射,  $f$ : 生长季长度占全年之比) 的偏差图。绿色: 常绿植物, 橙色: 落叶植物。红色直线: 理论预测, 黑色直线: 回归拟合结果。

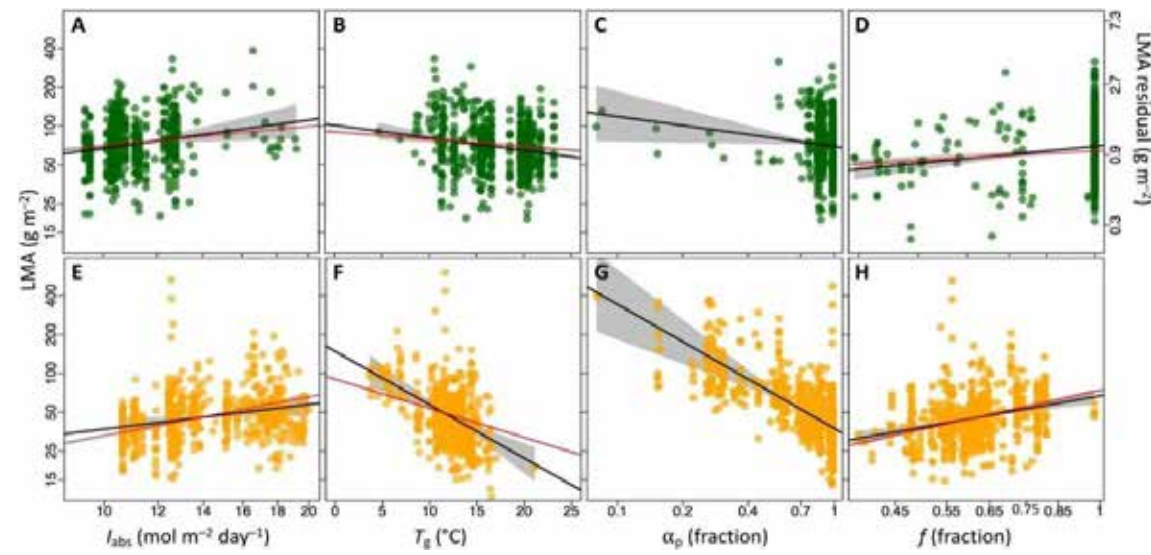


图2 比叶重 (LMA) 与环境变量的偏残差图。T<sub>g</sub>: 生长季平均温度,  $\alpha_p$ : 实际蒸散与潜在蒸散的比值, 其他符号含义同图 1。

衡策略及环境响应机理, 成功预测了比叶重在群落间和群落内的变化规律, 为解释和预测植物形态性状的功能多样性及其对全球碳循环的影响提供了坚实的理论基础。

清华大学王焱副教授为第一作者和通讯作者, 课题组博士生乔圣超和博士后周建, 以及帝国理工学院、西悉尼大学、康奈尔大学等多家单位的研究者为共同作者。研究受到国家自然科学基金委项目的资助。

论文链接: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.add5667>

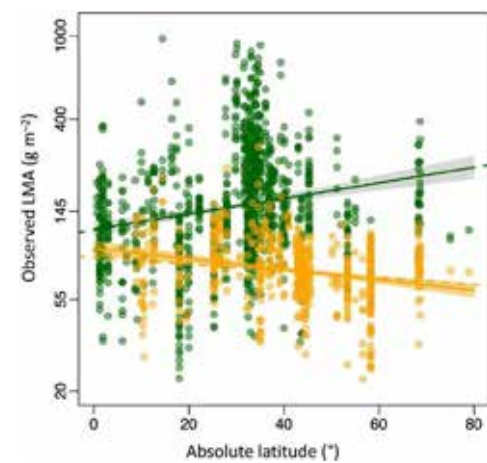


图3 常绿和落叶植物叶片比叶重沿纬度的变化趋势。实线: 回归拟合, 虚线: 理论预测。

## 清华大学地学系王焱课题组发文 揭示全球小麦播种日期宏观格局的形成机制

作者 / 乔圣超

播种时间直接影响作物产量, 气候变化又是如何影响农民对播种时间的选择呢? 近期, 清华大学地学系王焱副教授课题组结合全球观测数据和模型

模拟发现, 小麦播种日期的全球格局是最优化产量的结果。该发现揭示了农民的播种行为对长期气候态的适应, 为可靠模拟作物播种时间提供了支持。

作物模型是研究作物生长响应环境变化的重要工具, 被广泛用于作物产量预测和气候风险评估。播种日期是作物模型必不可少的输入变量, 直接影响模型结果的准确性。观测资料显示受气候变化的影响, 全球作物播种日期在过去几十年中已发生不同程度的变化, 调整播种日期也被认为是应对气候变化不利影响最为经济有效的措施。然而, 由于缺乏对播种日期变化规律的机理性认识, 当前作物模型一般预设固定的播种日期, 不考虑其随时间和环境的变化。这样处理虽能反映当下作物播种日期的空间格局, 但在对未来产量进行预测时却引入了较大的不确定性, 极大地制约了人类科学应对气候变化的能力。

为解决上述问题, 课题组以主粮作物小麦为研究对象, 尝试从统计和机理两个层面解析气候条件如何影响全球小麦播种日期的宏观格局。在考虑低温和强降雨对小麦影响的前提下, 研究假设最大产量对应最优播种日期, 借助课题组开发的普适性作物模型 PCmodel (Productivity model for

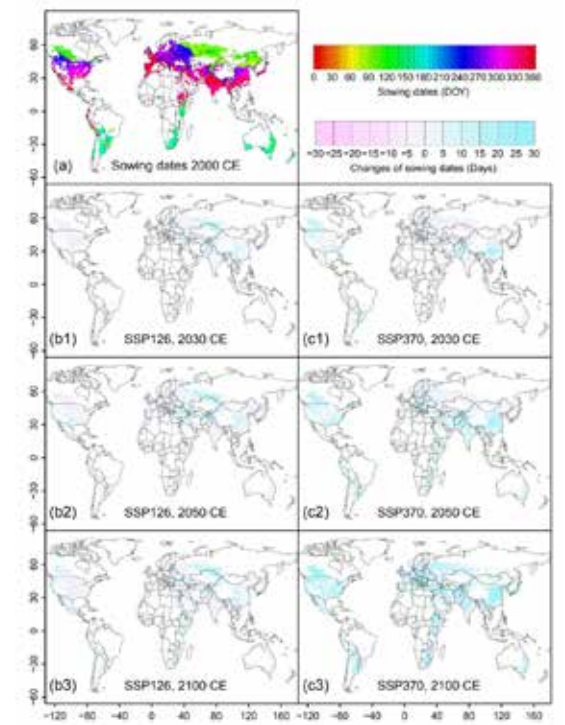


图2 两个气候情景下预测的小麦播种期的变化。(a) 2000年小麦播种日期的预测结果, 同图 1 d1; (b1-b3) SSP126 情景下预测的小麦播种日期变化; (c1-c3) SSP370 情景下预测的小麦播种日期变化。播种日期的变化以十年均值表示 (2030CE: 2020-2029年, 2050CE: 2040-2049年, 2100CE: 2090-2099年), 负值代表播种日期提前, 正值代表推迟。

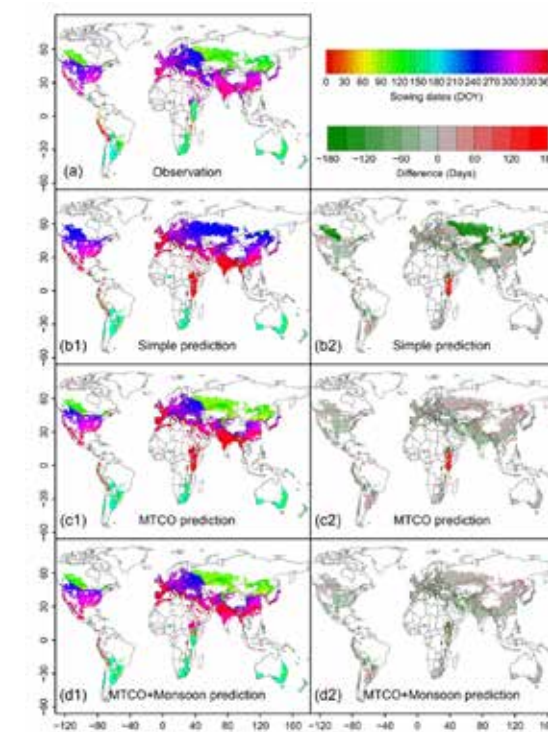


图1 小麦播种日期的全球分布格局。(a) 基于统计数据的全球小麦播种日期的观测; (b1) 不考虑额外约束的预测结果; (c1) 考虑低温约束的预测结果; (d1) 考虑低温和降雨强度的预测结果; (b2-d2) 预测结果与观测的差异。

Crops), 成功实现了对全球小麦播种日期宏观格局的模拟, 为气候变化背景下播种日期的准确预测提供了基础, 并可有效制订播种日期气候变化适应策略提供支撑。成果以“Optimality-based modelling of wheat sowing dates globally”为题, 在农林科学领域的旗舰期刊 Agricultural Systems 上发表。

研究首先考虑了低温对小麦的生理约束和强降雨对小麦生长的不利影响, 确定了全球不同区域适宜播种的小麦类型和播种窗口。研究假设在任何气候条件适宜的时间小麦都可能被播种, 利用 PCmodel 模拟了所有可能播种日期对应的小麦产量, 根据最大产量确定每个地区的最优播种日期, 将其与观测对比评估该方法的模拟精度。最后, 研究预测了两个气候情景 (SSP26、SSP370) 的小麦播种日期, 探究了未来气候变化对小麦播种日期的影响。

小麦播种日期的模拟结果显示(图1), 温度是决定非热带地区小麦播种日期的首要因素, 降雨的周期性在决定季风区的小麦播种日期方面发挥主要作用。考虑温度和降雨强度两个约束条件后, 以最大产量对应最优播种日期为假设, PCmodel 重现了观测数据展示的全球小麦播种日期的宏观格局。研究发现, 农民普遍选择能使产量最大化的日期播种小麦, 全球小麦播种日期的宏观格局是最优化当地小麦产量的结果, 这体现了农民的小麦播种行为对长期气候态的适应。

气候变化对播种日期影响的评估结果显示(图2), 轻微变暖(SSP26 情景)会使湿润地区的小麦播种日期提前(如北美中部和东部、西欧、中国东北部和澳大利亚东部), 但会延迟干旱区的小麦

播种(如亚洲中部和西部、中国北部和西北部、澳大利亚西部、东非和拉丁美洲的一些地区); 强烈变暖(SSP370)会使绝大多数地区的小麦播种日期推迟。播种日期的变化是权衡多个因子对小麦产量影响的综合结果, 这些因子包括变暖对生长季长度的影响、关键生育期对水分的需求以及冬小麦春化的温度阈值等。

清华大学地学系博士研究生乔圣超为论文第一作者, 王焱副教授为论文通讯作者, 清华大学杰出访问教授 Sandy P. Harrison 教授和 I. Colin Prentice 教授为论文共同作者。该研究得到了国家自然科学基金等项目支持。

文章链接: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103608>

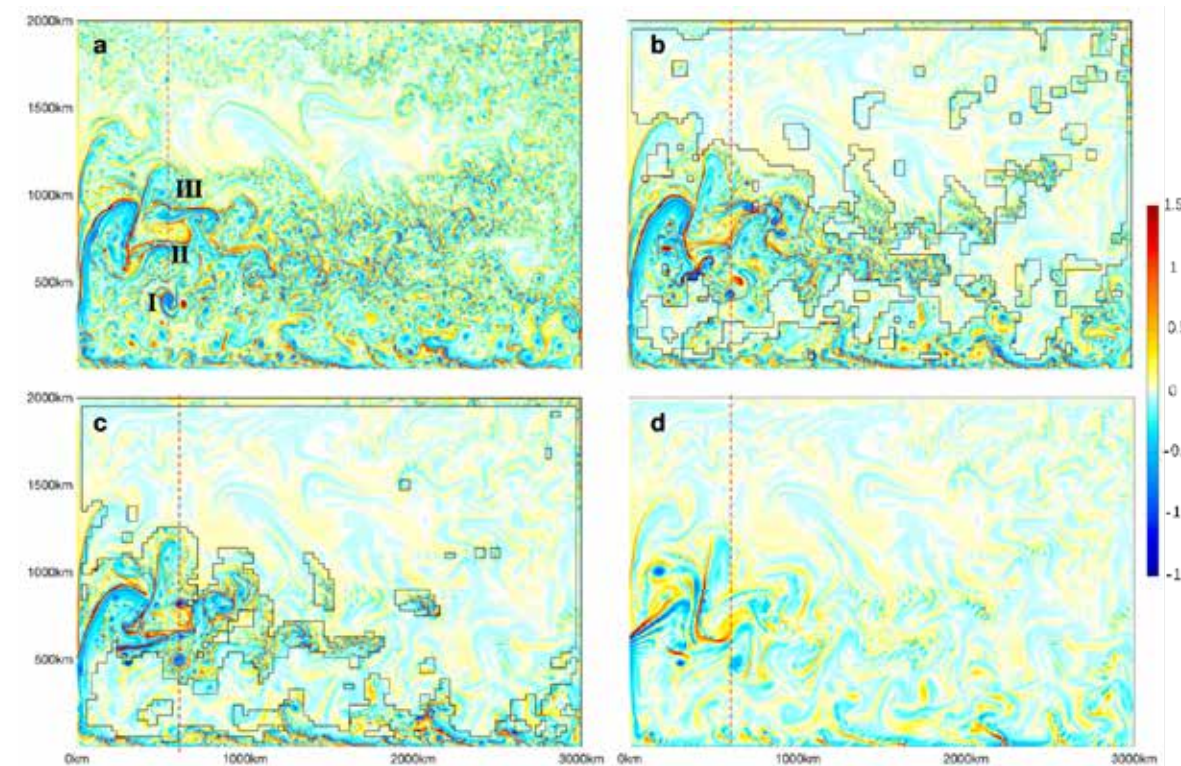


图1. 冬季0.02度全场加密(a)和自适应加密(b与c)试验海表罗斯贝数以及同期0.1度试验结果(d)。

## 清华大学地学系徐世明课题组 研发自适应加密和灵活建模的新型海洋模式 OMARE

作者 / 徐世明

高分辨率海洋-海冰模式是开展气候变化研究和海洋环境安全保障的核心工具。通过提高分辨率, 模式可以有效解析海洋动力和热力的精细化过程, 并降低参数化方案所带来的不确定性。目前, 国际上最先进的全球海洋模式分辨率可达1~2公里, 能够有效解析部分海洋次中尺度过程。然而, 由于海洋过程的多尺度特征, 数值模式面临解析更精细过程、有效分辨率受限、次网格闭合方案发展等突出挑战。此外, 高分辨率模式通常要求极高的计算量和模拟时间, 这也严重限制了其在气候研究和业务中的适用性。

针对海洋环流模式发展的国际前沿, 清华大学地学系徐世明副教授课题组联合国内多家单位, 开发了国际上具有自适应加密和灵活建模功能的

海洋环流模式 OMARE (Ocean Modeling with Adaptive REsolution)。研究主要基于正斜压式分裂格式的 NEMO 海洋模式动力框架和 JASMIN 高性能科学软件中间件, 建构了 OMARE 模式, 达到了提升模式功能、开展海洋灵活建模、提高计算效率等多重设计目标。OMARE 采用 C++ 和 FORTRAN 混合编程框架, 发展了二进制一致、逐步调试等模式开发规范, 新开发的代码总量达到13万行以上。

OMARE 模式主要面向0.5度(50公里)、0.1度(10公里)、0.02度(2公里)以及0.004度(400米)四种分辨率(空间加密比例均为1:5), 分别面向气候模拟、海洋中尺度解析、部分解析次中尺度以及解析大部分次中尺度过程。

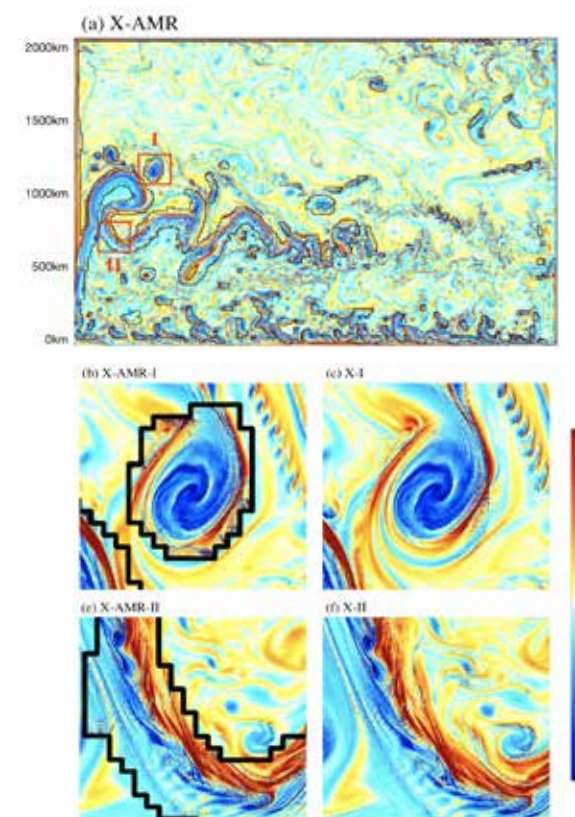


图2. 基于流速判据的0.004度自适应加密试验海表相对涡度(a)以及中尺度涡(b, 区域I)和西边流主轴(c, 区域II)加密区域细部。

如图1所示, 从0.1度向0.02度动态加密(加密准则基于海表流速和相对涡度)的典型冬季海表罗斯贝数( $Ro = \zeta / f$ ), 可见0.02度动态加密可以准确把握西边流及主要中尺度系统等动态过程, 并能模拟全场0.02度试验在这些区域内的次中尺度过程( $|Ro| > 1$ )。基于0.02度向0.004度动态加密(流速)则可进一步解析次中尺度的涡丝、锋面等精细结构(图2)。动态加密实验具有良好且合理的计算速度(图3)。通过局部加密, 在保证关键区域和关键过程精细化模拟的同时, 等比例降低整体计算规模, 有效提升了高分辨率模式的模拟速度。未来 OMARE 模式将进一步聚焦数值格式和加密方案的改进, 小尺度海洋过程的大尺度影响, 海洋能量循环和串级, 极地海洋海冰模拟等关键发展方向开展研究。

相关成果以“Ocean Modeling with Adaptive REsolution (OMARE, version 1.0) Refactoring NEMO model (version 4.0.1) with the parallel computing framework of JASMIN. Part 1: adaptive grid refinement in an idealized double-

gyre case” 为题，发表于 Geoscientific Model Development 杂志。地学系博士生张岩（第一作者）、王轩同（第二作者）和宁宸辉（第四作者）同为 OMARE 模式的主要开发成员，徐世明副教授和北京应用物理与计算数学研究所的安恒斌研究员为文章的共同通讯作者，清华大学地学系卓越访问教授王斌指导了相关工作。文章合作作者还包括北京航空航天大学和中科院大气物理研究所等单位的研究人员。本项工作得到了科技部重点研发计划“全球变化及应对”重点专项（2017YFA0603900）和国家自然科学基金（42030602）等项目的支持。

文章信息：  
Yan Zhang, Xuantong Wang, Yuhao Sun, Chenhui Ning, Shiming Xu\*, Hengbin An\*, Dehong Tang, Hong Guo, Hao Yang, Ye Pu, Bo Jiang, and Bin Wang. 2022. Ocean Modeling with Adaptive REsolution (OMARE, version 1.0) – Refactoring NEMO model (version 4.0.1) with the parallel computing framework of JASMIN. Part 1: adaptive grid refinement in an idealized double-gyre case, Geoscientific Model Development, 16, 679 – 704, doi:10.5194/gmd-16-679-2023.

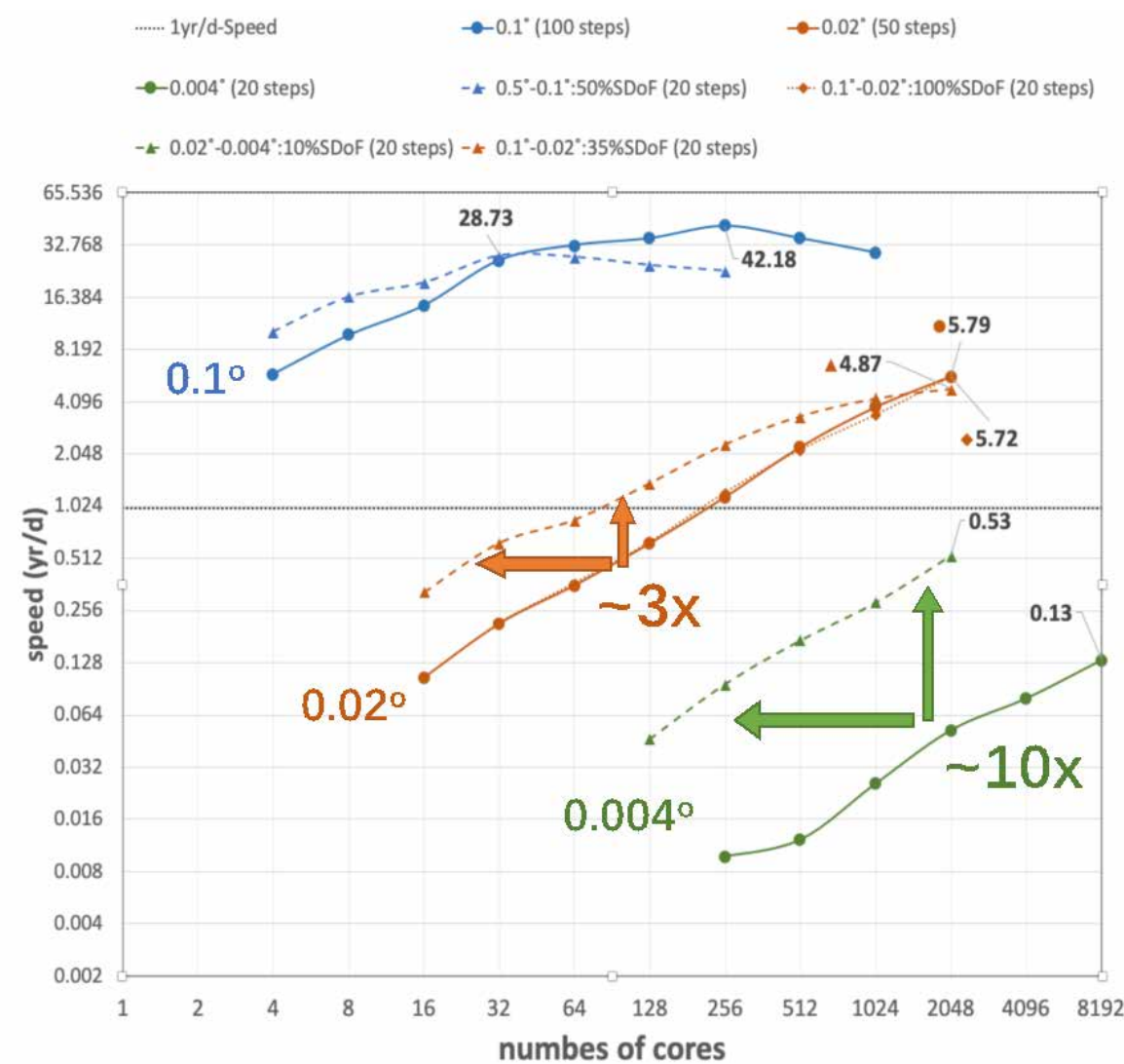


图3. 基于 Intel 高性能集群的局部加密（虚线）和全场试验（实线）的计算性能和可扩展性分析。

## 清华大学地学系发布全球 3 弧秒（90 m）海陆 DEM 数据产品

作者 / 黄小猛

高分辨率数字高程模型（Digital Elevation Model，简称 DEM）可提供精准的基础地理数据，因此在全球气候变化、海洋潮汐运动、地球球体物质交换等研究领域发挥着至关重要的作用。高分辨率全球海洋 DEM 是海洋地质和海洋测绘的前沿分支，为了解海底构造运动、海底演化过程提供直接依据。但由于技术限制和测绘成本等原因，获得高分辨率全球海洋 DEM 代价高昂。

2022 年 12 月，清华大学地球系统科学系黄小猛教授科研团队在《科学通报》（Science Bulletin）上发表题为“3 弧秒全球 DEM 数据集的超分辨率重建”（Super-resolution reconstruction of a 3 arc-second global DEM dataset）的论文，发布了全球 3 弧秒（90 m）分辨率海洋和陆地 DEM 数据产品（GEMCO\_2021）。

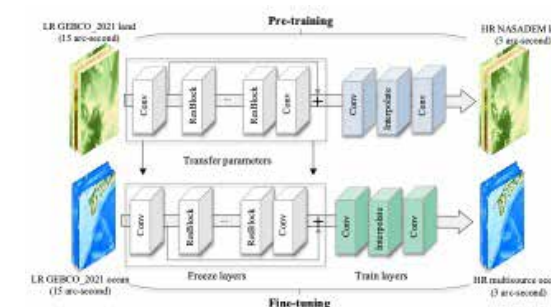


图 1. 全球海陆 DEM 数据集构建技术框架

该研究基于 30 m 分辨率的 NASADEM 卫星影像、联合国政府间海洋学委员会的 450 m 分辨率 GEMCO\_2021 公开数据和部分区域高分辨率海洋地形数据，采用深度残差预训练神经网络和迁移学习（Transfer Learning）相结合技术，构建了适用于全球区域的 DEM-SRNet 模型，制作

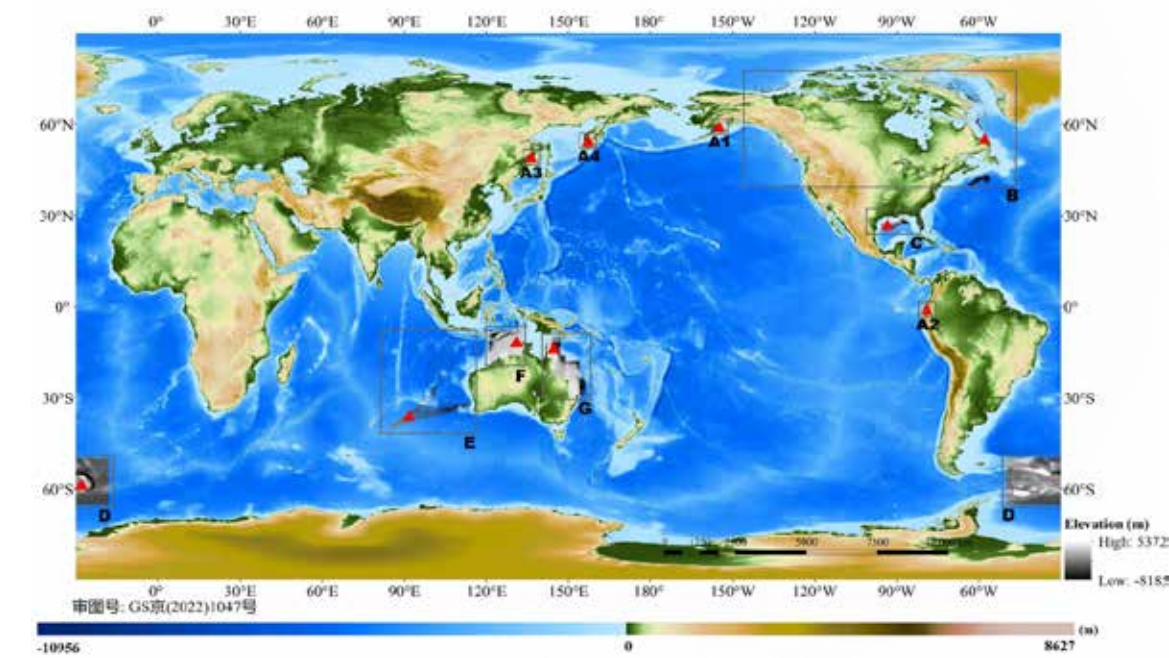


图 2. 3 弧秒（90 m）全球 DEM 数据集 GDEM\_2022

了全球 3 弧秒 (90 m) 分辨率的海陆 DEM 产品 GDEM\_2022。

与目前广泛采用的基于插值或者其他深度学习超分方法对比, 所构建模型结果均优于同类方法。与基于插值的传统方法相比, GDEM\_2022 产品的 RMSE 指标平均提升 23.75%。通过对比 GDEM\_2022 与 GEBCO\_2021, 发现 GDEM\_2022 在清晰度和细节方面优于 GEBCO\_2021。该研究提出的深度学习超分辨率 DEM 可以大大减少必要测量的海域或点的数量, 很好地补充了海底的精细测绘和全球高分辨率海陆 DEM 地形图的构建。

该成果是首个分辨率在百米以内的全球海陆 DEM 数据集, 可以满足不同领域和不同层次对海洋测深数据的需求, 为不同地形复杂度下全球海陆重力场与地形的关系、探索不同海陆构造单元的均衡机制、以及海陆地形对海洋潮流运动的影响等方面

的研究提供重要支撑。

清华大学地学系博士后张博为论文第一作者, 清华大学地学系黄小猛教授为论文通讯作者, 合作者包括清华大学地学系俞乐副教授、张强教授和卢麾副教授、中国科学院空天信息创新研究院洪丹枫研究员、中国华为技术有限公司于璠和王紫东、鹏程实验室王杰副研究员、西北工业大学李学龙教授和香港大学宫鹏教授。该研究得到了国家重点研发计划 (2021YFC3101600, 2020YFA0607900, 2020YFA0608000)、国家自然科学基金 (42125503, 42075137) 和国家重大科技基础设施项目 "地球系统科学数值模拟装置" (EarthLab) 的支持。

全文链接:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095927322005412>

## 清华大学地学系林光辉课题组 揭示红树林破坏地再造林的碳汇潜力显著优于滩涂造林

作者 / 宋姗姗

在全球红树林生态系统遭遇严重破坏, 红树林面积逐年减少的背景下, 制止并且扭转红树林的损失成为当前各国政府及国际组织关注的焦点。红树林生态系统在单位面积上的固碳能力显著地高于附近的森林生态系统和大部分的内陆湿地, 因此对红树林等滨海湿地的保护和恢复工程被认为是减缓气候变化的一种极为重要、基于自然解决方案的碳中和技术 (即蓝碳碳汇)。然而, 目前关于不同红树林恢复模式的碳累积效果的对比主要集中在物种搭配、种植密度、是否人工种植等手段的选择上, 不同恢复区域所对应的不同土地覆盖与利用背景是否

影响造林与再造林过程的蓝碳累积量及其影响机制仍不明确。

对此, 研究组通过搜集全球 379 个红树林恢复点位的林龄、土地利用变化背景及碳密度数据, 对比分析红树再造林 (原先红树林损失区域, 如废弃鱼塘等) 与红树造林 (原先非红树区域, 如滩涂等) 的固碳能力及潜在影响因素。研究结果表明, 红树林恢复 40 年期间, 被破坏的红树林生境的再造林, 其单位面积的蓝碳累积量显著高于利用滩涂等区域进行红树林造林所能获取的蓝碳累积量 (图 1)。同时, 研究基于 1996-2016 年全球红树林毁林数据及红

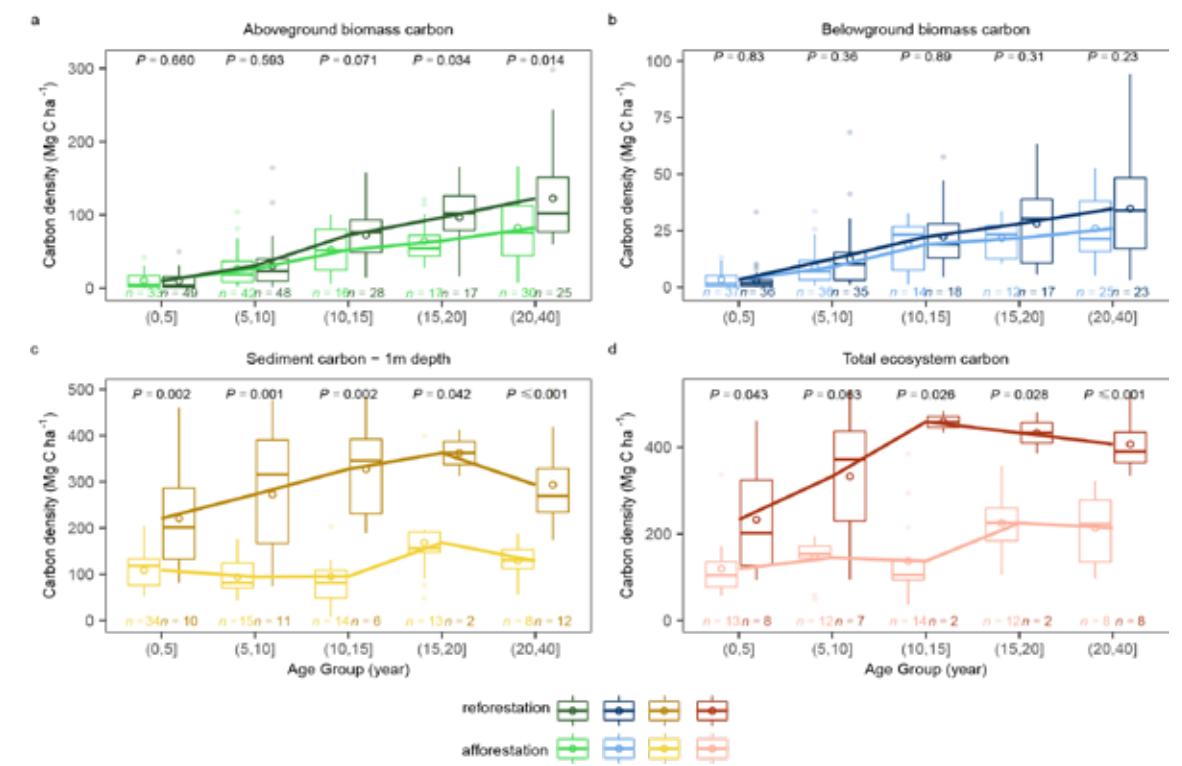


图 1 40 年内红树林再造林与造林的各碳库碳密度累积对比图

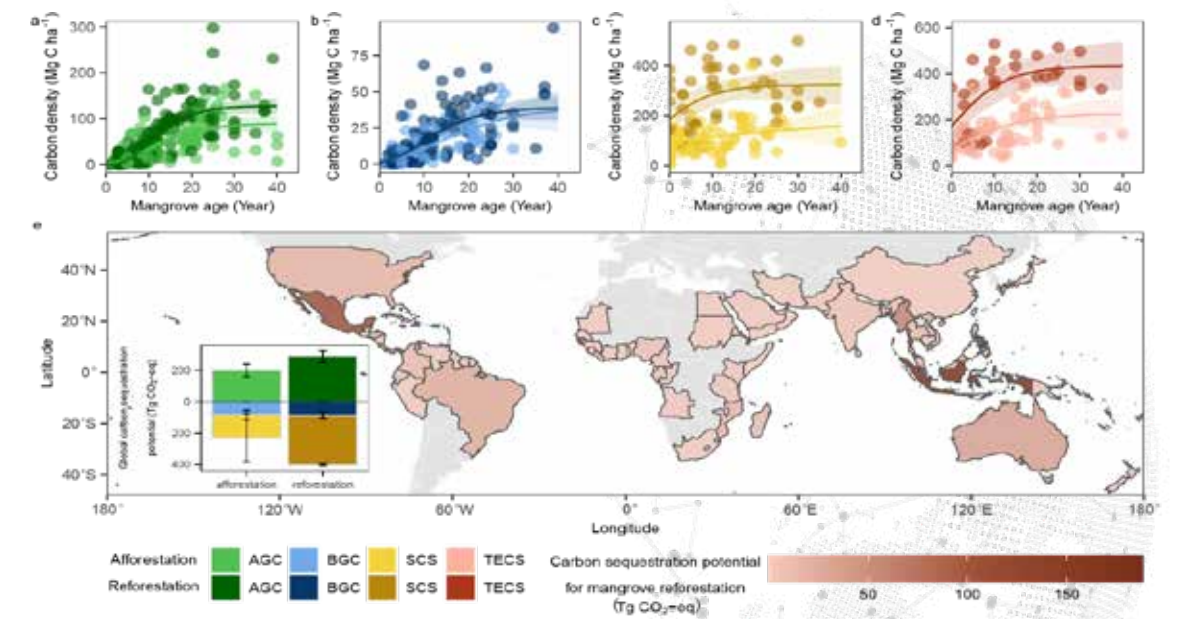


图 2 全球在未来 40 年内实施红树林造林和再造林项目蓝碳固存潜力评估结果

树林土地利用变化数据进行预估发现, 在未来 40 年内, 如果对全球红树林砍伐区域内的物理可行区域进行重新造林, 带来的 CO2 吸收量可高达 671.5-688.8 Tg (1 Tg=100 万吨), 比在全球范围内滩涂或其他边缘区域进行相同面积造林的蓝碳固存量

高出约 60% (图 2)。

本研究通过对全球众多案例和文献数据的综合分析发现, 在已破坏的红树林生境 (如废弃鱼塘、受严重损害的红树林林地等) 再造林相比于红树林造林本身可以带来更高的碳固存效益, 与此同时利



用破坏林地再造林还可规避大面积恢复红树林对滩涂（鸟类等珍稀动物的觅食生境）的负面影响，因此未来设计基于自然的解决方案时，全球红树林再造林应当成为优先考虑的恢复模式。研究结果可为双碳背景下制定红树林修复政策和修复工程设计以及红树林生物多样性保护等方面提供科学依据。

上述研究成果以“Mangrove reforestation provides greater blue carbon benefit than afforestation for mitigating global climate change”为题，发表在国际顶级期刊 Nature Communications（自然·通讯）上。清华大学地学系2020级博士生宋姗姗为论文第一作者，清华地学系林光辉教授、李伟副教授、丁亚丽博士后为论文通讯作者，澳大利亚麦考瑞大学 Neil Saintilan

（尼尔·桑狄兰）教授，美国地质调查局 Ken W. Krauss（肯·克劳斯）研究员，Silvestrum 气候协会 Stephen Crooks（史蒂芬·克劳克斯）博士，海南省环境科学研究院（海南国际蓝碳研究中心）吕淑果研究员，清华大学地球系统科学系博士后周建，博士研究生孟宇辰、苟睿坤、张淙赫、叶圣彬为论文合作者。该研究得到了国家重点研发计划项目(2019YFA0606604)、深圳市高校稳定支持重点项目(WDZC2020819173345002)、清华自主科研计划(20223080041)、海南国际蓝碳研究中心筹建及先导性研究项目(46000022T000000154465)等资助。

论文链接: <https://www.nature.com/articles/s41467-023-36477-1#Sec14>

## 清华大学地学系卢麾课题组 基于 CMIP6 模式情景预估中国大陆未来水循环变化

作者 / 周嘉月

随着全球气温的升高，极端天气事件增多，水循环特征（如河道径流量和季节峰值）发生改变，更易引发干旱和洪涝灾害。最新的第六次国际耦合模式比较计划(CMIP6)基于不同的共享社会经济路径(SSP)及最新的人为排放趋势开展预估，试验设计更全面和科学。但现有的CMIP6模式数据集中参考的中国站点观测资料有限，导致其在中国的水文应用中存在偏差。因此，目前仍需结合更多的站点观测资料和更精度的高分辨率全球气候模式，对中国未来的水文变化进行全面的评估。

针对以上问题，清华大学地学系卢麾副教授课题组采用等距离累积分布函数方法(EDCDFm)，参考中国高分辨率气象驱动数据集(CMFD)历史格点资料，对六个CMIP6模式(CanESM5、FGOALS-g3、GFDL-CM4、IPSL-CM6A-

LR、MPI-ESM1-2-HR 和 MRI-ESM2-0) 的日降水量、最高气温和最低气温进行降尺度和偏差校正，利用风速和校正后的降水、气温变量驱动可变下渗容量(VIC)水文模型，预估 SSP2-4.5(中等

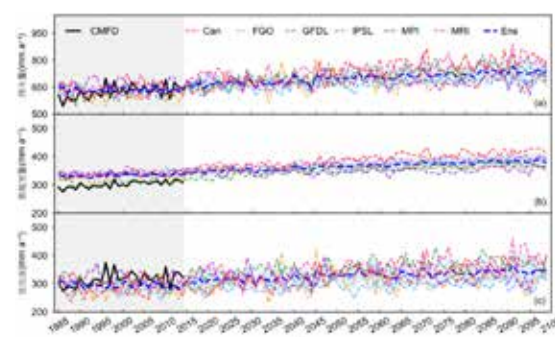


图1 未来情景为 SSP2-4.5 时，中国大陆平均 1985~2099 年年降水量、蒸散量和径流深变化过程线。黑色实线为 CMFD 值，细虚线代表单个模式，蓝色粗虚线代表模式 Ensemble(Ens)，阴影部分表示 6 个模式数据的 1 倍标准差（SSP5-8.5 情景请参见论文附图）。

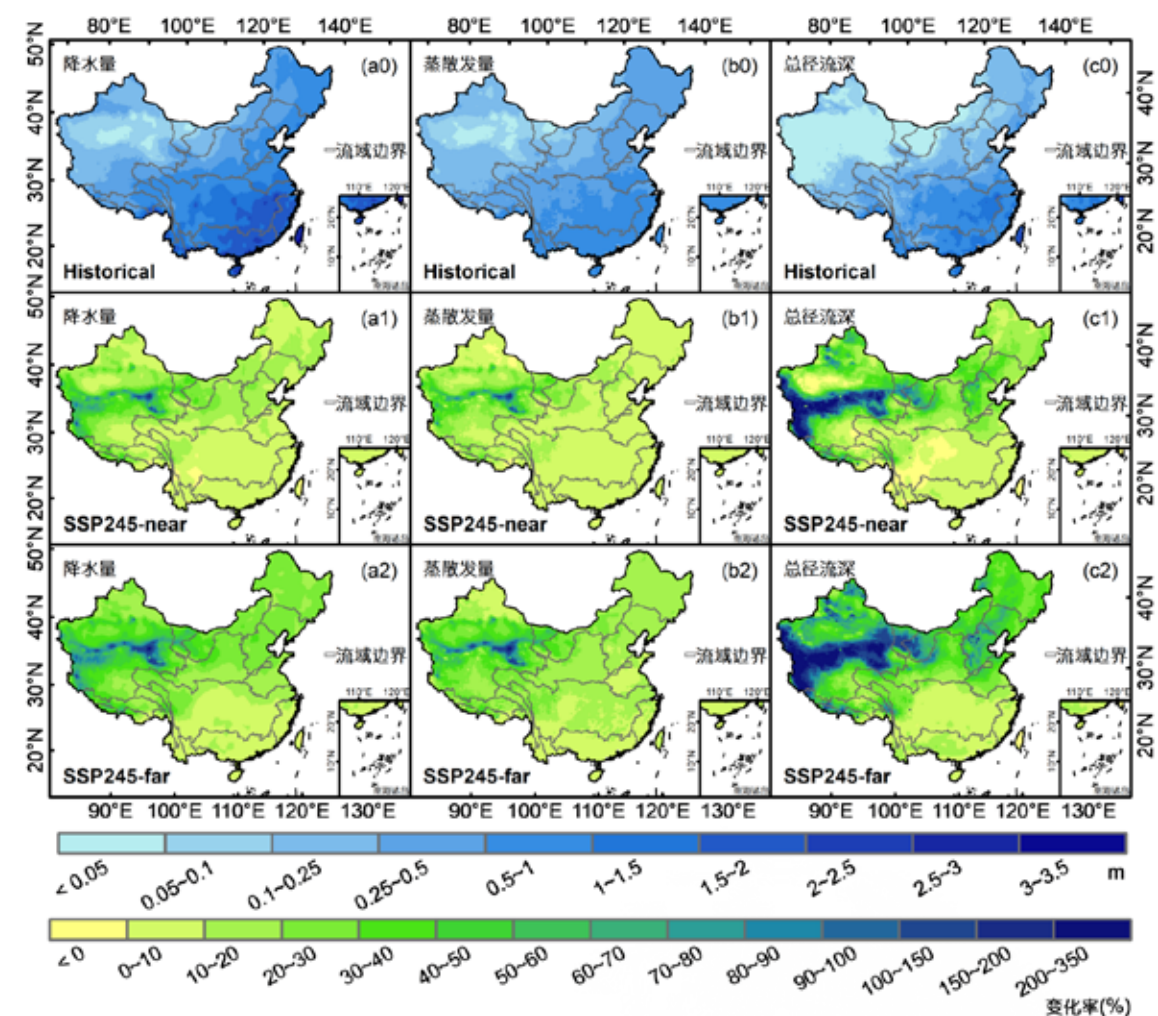


图2 SSP2-4.5 情景下模式 Ensemble 未来多年平均的年降水量、年蒸散量和年径流深相对历史期(1985~2014 年)的变化率。字母 a-c 分别代表年降水量、年蒸散量和年径流深，数字 0~2 分别代表历史期、未来近期和未来远期（SSP5-8.5 情景请参见论文附图）。

社会脆弱性和中等辐射强迫)和 SSP5-8.5(高社会脆弱性和高辐射强迫)情景下，21 世纪中国大陆及主要流域未来的陆面水循环变化。

研究表明，采用 CMFD 驱动 VIC 模型和 CaMa-Flood 模型模拟的月径流量在各个流域与实测径流量拟合较好，VIC 模型适用于中国大陆流域尺度水文模拟。基于 CMFD 和 EDCDFm 统计降尺度后的 0.25° 分辨率月降水量、月最高气温和月最低气温模拟精度大幅度提高。SSP2-4.5 情景下，多模式算术平均集合(Ensemble)预估的中国大陆平均年降水量、年蒸散量和年径流深在 2015~2099 年间波动上升(图 1)，SSP5-8.5 情景下上升趋势更为显著。两种情景下，CMIP6 多模式预估的中国大陆及主要流域多年平均年降水量、年蒸散量和年

径流深在未来近期(2020~2049 年)和未来远期(2070~2099 年)都呈增加态势，仅中国西北和西南地区未来近期的年径流深预估减少(图 2, 3)。

不同于以往基于 CMIP5 模式的中国九大流域径流量预估减少的结论，研究发现，使用最新和更可靠的高分辨率 CMIP6 模式，当考虑未来社会经济发展的情景时，年降水量的变化与仅考虑未来辐射强迫变化的情景差异较大，这可能是导致预估的年径流量增减不同的主要原因(图 4)。研究结果可为气候变化下中国未来气候变化和水资源管理研究提供新的科学参考。

相关研究近日以“Projection of China’s future runoff based on the CMIP6 mid-high warming scenarios”为题发表于 SCIENCE

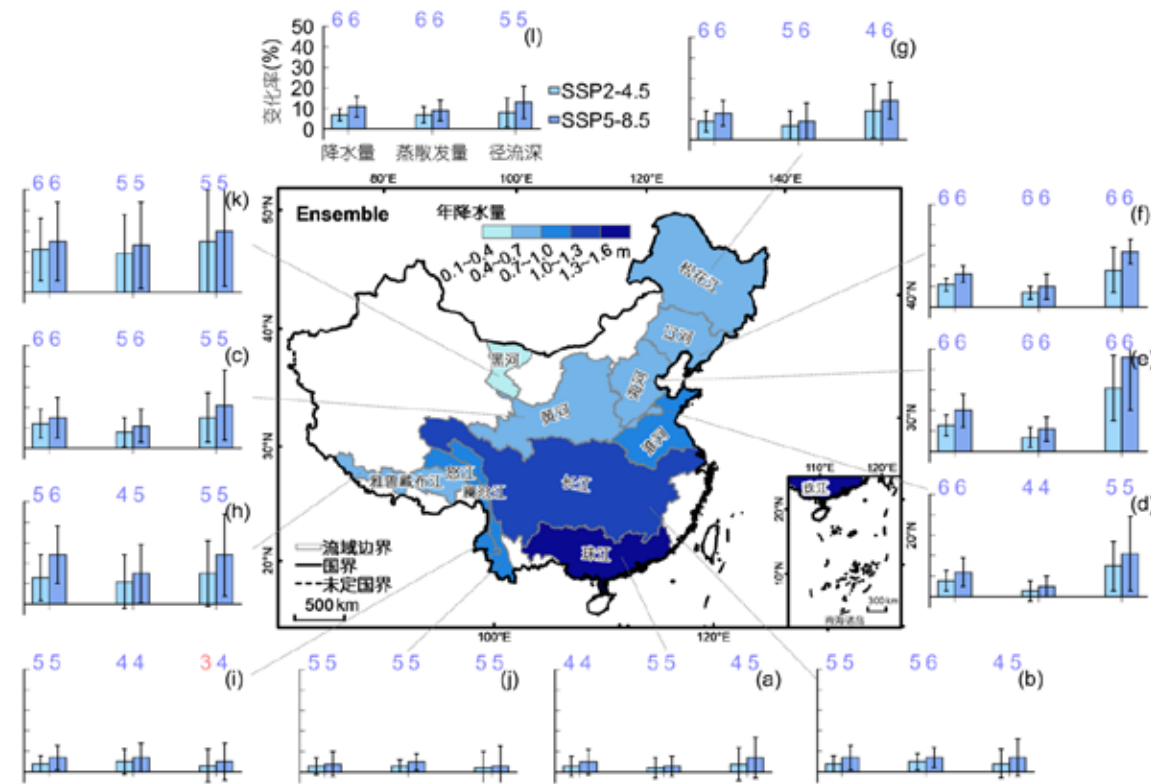


图3 基于偏差校正后的模式 Ensemble(Ens), 未来近期(2020~2049年)流域多年平均的年降水量、年蒸散量和年总径流深相对历史期(1985~2014年)变化率, 误差线为6个模式数据的1倍标准差。柱子上的数字表示变量未来变化率正负与 Ensemble 相同的模式个数, 不超过模式总数一半(<4)的数字颜色为红色, 否则为蓝色。字母 a-l 分别代表流域: 珠江、长江、黄河、淮河、海河、辽河、松花江、雅鲁藏布江、怒江、澜沧江、黑河、中国大陆, 图 a-k 的坐标轴与图 1 相同。流域的颜色深浅代表历史期多年平均年降水量大小。

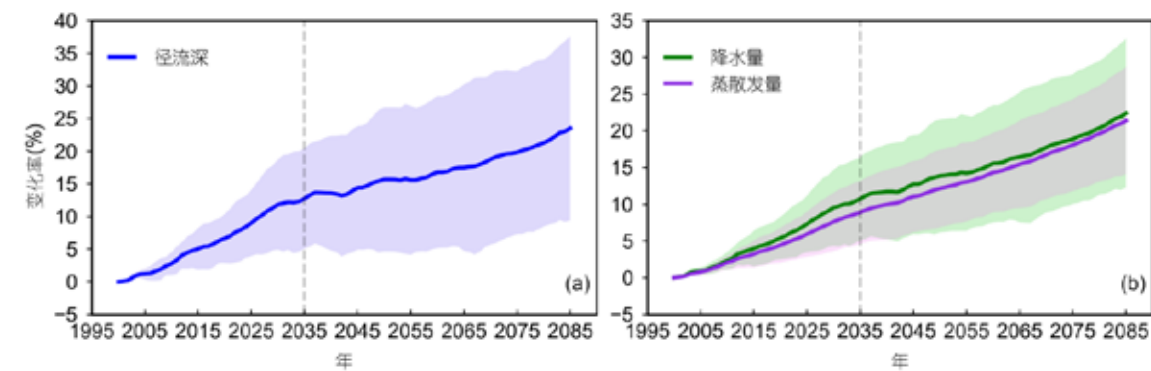


图4 SSP5-8.5 情景下 21 世纪中国大陆模式 Ensemble 的 30 年滑动平均年径流深 (a)、年降水量和年蒸散量 (b) 相对历史基准期 (1985~2014 年) 的变化。阴影部分代表 6 个模式数据的 1 倍标准差。

CHINA Earth Sciences (《中国科学: 地球科学》)。清华大学地学系博士生周嘉月为文章的第一作者, 合作导师卢麾副教授为通讯作者, 合作作者来自于清华大学地学系、美国加州大学圣迭戈分校、长江设计院和中国水利水电科学研究院。本研究得到第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0206)、

国家重点研发计划(2017YFA0603703)以及国家自然科学基金(4200011953)以及中国水利水电科学研究院基本科研业务费(JZ110145B0052021)等项目的资助。

文章信息:

中文版: 周嘉月, 卢麾, 阳坤, 江锐捷, 杨媛,

汪伟, 张学君. 2023. 基于 CMIP6 的中高温升情景对中国未来径流的预估. 中国科学: 地球科学, 53, doi: 10.1360/SSTe-2022-0065

英文版: 英文版: Zhou J, Lu H, Yang K, Jiang R, Yang Y, Wang W, Zhang X. 2023. Projection of China's future runoff based on the CMIP6 mid-high warming scenarios.

Science China Earth Sciences, <https://doi.org/10.1007/s11430-022-1055-5>

全文链接:

中文版: <https://doi.org/10.1360/SSTe-2022-0065>

英文版: <https://doi.org/10.1007/s11430-022-1055-5>

## 清华大学地学系阳坤课题组 解析我国太阳辐射极端事件及未来变化

作者 / 贺嫣颐 阳坤

随着化石能源日趋短缺和大气污染问题日益凸显, 太阳能作为一种清洁可再生能源正在快速发展。开发利用太阳能是实现我国“双碳”目标的重要途径之一。季节性极端低太阳辐射事件严重威胁到光伏发电系统的稳定性, 而太阳辐射的未来变化也是规划光伏产业的依据之一。针对这一问题, 清华大学地球系统科学系阳坤课题组解析了 2021 年发生在青藏高原的一次极端辐射事件以及中国未来的辐射变化格局。

研究发现, 在 2021 年季风期间(5-9月), 青藏高原东南地区(北纬 29° - 34°, 东经 89° - 102°; 图 1a 中的红框区域)发生了自 1950 年以来的太阳辐射极低事件。相对于 1950-1979 年的太阳辐射气候态, 区域平均偏低 -18.7 W m<sup>-2</sup> (图 1a)。针对此次极端低太阳辐射事件, 课题组从自然强迫和人为强迫两个方面进行归因分析, 并探究了此次极端事件对当地植被生长的影响。

南亚季风在季风期为藏东南输送大量水汽, 从而形成大量的云和降水。在 2021 年, 来自孟加拉湾径向风异常强劲, 输送的大量水汽致使季风期总

云量偏高, 引发了这次藏东南极端低太阳辐射事件(图 1b)。基于广义帕累托分布拟合, 通过观测数据、再分析资料和 CMIP6 模式模拟分析发现, 此次异常南风使该类极端事件发生的概率放大了约 8 倍(95% 置信区间: 5.56-18.02)。对该事件的归因表明, 人为气溶胶对太阳辐射的吸收和散射效应以及温室气体排放导致水汽增多, 在一定程度上加剧了此次极端事件的发生, 分别使此类极端事件的概率放大了 3.7 倍(95% 置信区间: 0.66-14.49) 和 0.66 倍(95% 置信区间: 0.01-5.59)。

区域极端低太阳辐射事件的发生不仅严重减少光伏发电出力, 威胁区域电网的稳定性, 而且影响生态系统生产力。此次发生在藏东南的极端事件显著降低了该地区 2021 年总初级生产力(图 2a), 特别是湿润的藏东南东部地区。通过利用基于生态最优性原理的 P-model 计算此次太阳辐射事件对植被光合作用的影响发现, 此次极端太阳辐射事件对初级生产力下降的贡献尤为明显(图 2b)。

影响光伏产业布局的另一个重要指标是太阳辐射在未来几十年的变化格局。由于地球系统模式存

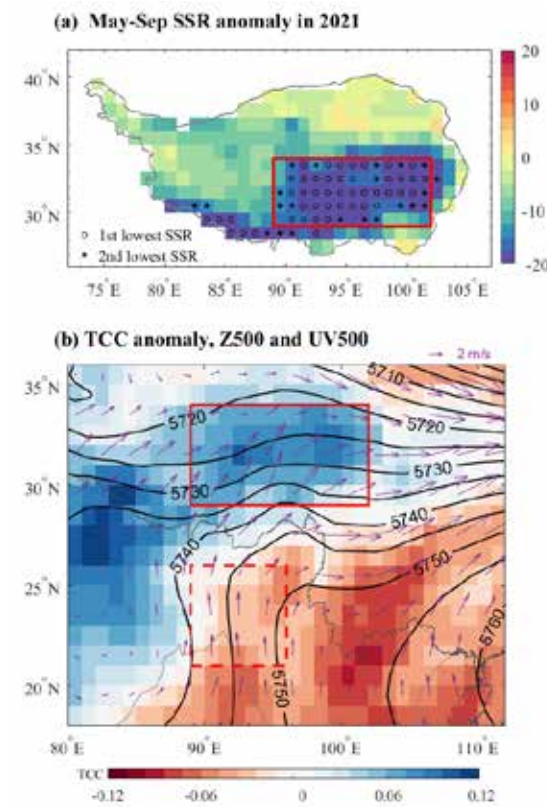


图1 (a) 2021年季风期太阳辐射(SSR)相较于1950-1979年气候态的距平值; (b) 2021年季风期总云量距平值(TCC; 阴影)、500 hPa位势高度(Z500; 等高线)和风(UV500)的空间分布。

在模拟偏差, 对未来太阳辐射变化的预估存在较大的不确定性。针对这一问题, 课题组以过去54年(1961-2014年)的观测数据为基准, 基于观测涌现约束方法(emergent constraint)校正了耦合模式比较计划(CMIP6)中太阳辐射模拟的系统性偏差, 从而大幅度降低了太阳辐射未来预估的不确定性。

研究采用观测涌现约束方法降低了预估的不确定性。该方法将气候模拟与真实观测相结合, 基于

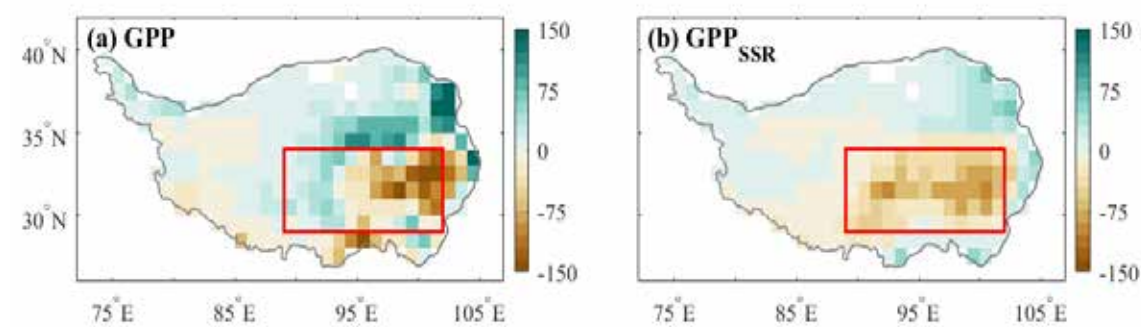


图2 (a) 2021年生长季节总初级生产力的变化(GPP; g C/m2); (b) 由太阳辐射变化引起的总初级生产力变化(GPPSSR; g C/m2)的空间分布。

两者稳健的关系减小未来气候预估不确定性。以低人为排放情景(SSP1-2.6)为例, 图3a显示, 模式对全国平均太阳辐射的未来预估与太阳辐射历史模拟偏差具有稳健的线性关系, 中等人为排放情景(SSP2-4.5)和高人为排放情景(SSP5-8.5)同样具有类似关系。利用该稳健的关系, 基于两种观测涌现约束方法(regression-EC和weight-EC)校正了2050-2069年太阳辐射的未来预估及其不确定性范围, 使得太阳辐射不确定性范围缩小了约56%, 增强了对太阳辐射未来预估的可信度(图3b)。

约束后太阳辐射变化具有明显的空间差异, 在电力需求旺盛的中国华北和东南部地区太阳辐射增强(图4)表现得更为显著。随着SSP2-4.5和SSP5-8.5情景中人为强迫的增加, 太阳辐射在东部地区增强的程度减弱, 西部地区甚至出现了太阳辐射减少的现象。这意味着较高的人为排放不仅加剧全球变暖, 也不利于光伏发电产业发展。在制定光伏产业部署相关的政策或决策时需要考虑未来太阳辐射的空间变化。

以上成果以“Causes of the extremely low solar radiation in the 2021 growing season over southeastern Tibetan Plateau and its impact on vegetation growth”和“Constrained future brightening of solar radiation and its implication for China's solar power”为题分别发表于美国气象学会通报(Bulletin of the American Meteorological Society)和国家科学评论(National Science Review)。清华大学地学系博士后贺嫣颐为论文第一作者, 阳坤教授为论文通讯作者, 合作

单位包括苏黎世联邦理工学院、北京大学、中科院大气物理研究所和中科院青藏高原研究所。该研究得到了国家重点研发计划项目、国家自然科学基金等项目支持。

原文链接:

<https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/104/2/BAMS-D-22-0122.1.xml>  
<https://academic.oup.com/nsr/article/10/1/nwac242/6780217?searchresult=1>

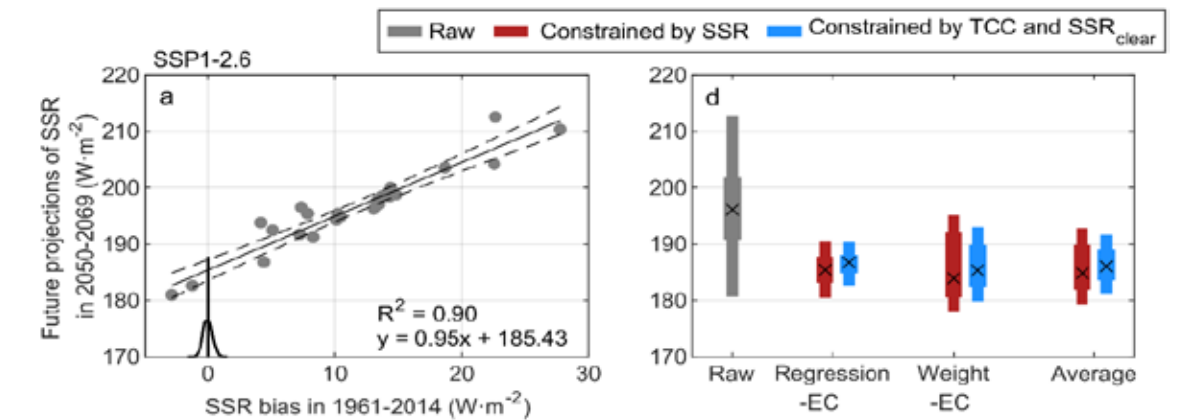


图3 (a) 模式间历史模拟偏差(x轴)与未来预估(y轴)的线性关系; (b) 模式原始预估以及两种校正方法后的太阳辐射预估, 红色表示基于太阳辐射历史模拟偏差(constrained by SSR)校正的结果, 蓝色表示基于总云量和晴空辐射历史模拟偏差(constrained by TCC and SSR<sub>clear</sub>)校正的结果。

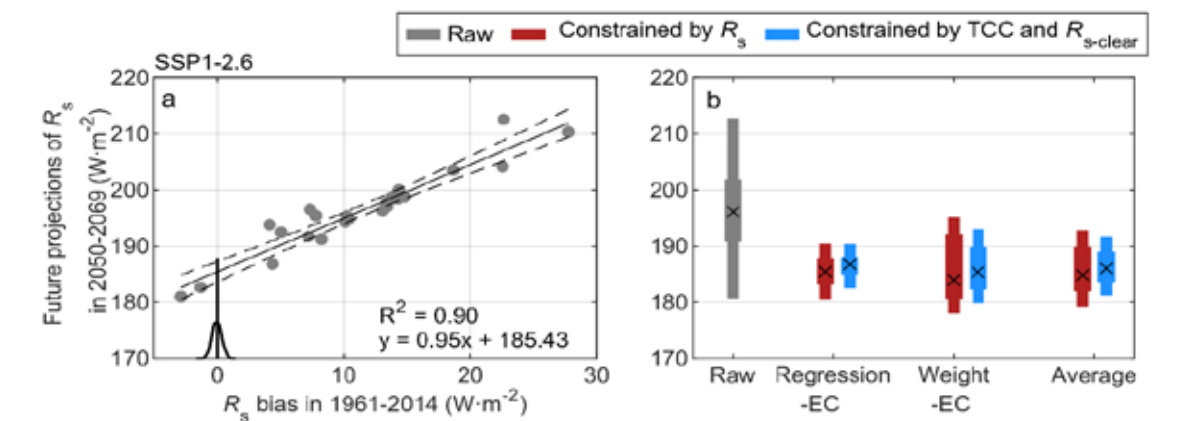


图3 (a) 模式间历史模拟偏差(x轴)与未来预估(y轴)的线性关系; (b) 模式原始预估以及两种校正方法后的太阳辐射预估, 红色表示基于太阳辐射历史模拟偏差(constrained by R<sub>s</sub>)校正的结果, 蓝色表示基于总云量和晴空辐射历史模拟偏差(constrained by TCC and R<sub>s-clear</sub>)校正的结果。

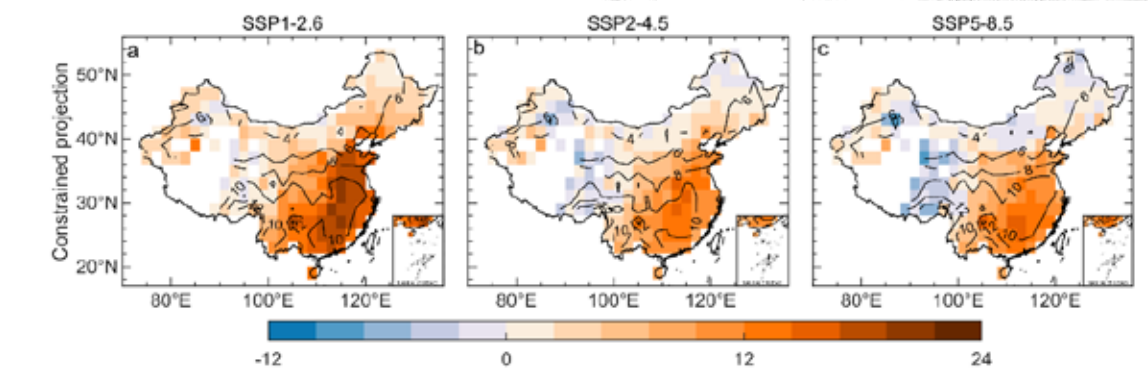


图4 校正后不同人为排放情景下的太阳辐射未来变化(2050-2069年相对于1995-2014年的变化)。其中SSP1-2.6为低人为排放情景, SSP2-4.5为中等人为排放情景, SSP5-8.5为高人为排放情景。

## 清华大学地学系阳坤课题组发布第三极地区长时间序列 (1979–2020) 高分辨率 (1/30°) 降水数据集

作者 / 姜尧志 阳坤

近期, 国家青藏高原科学数据中心作为科研论文关联数据仓储发布了清华大学阳坤教授团队的“第三极地区长时间序列高分辨率 (1/30°) 降水数据集 (TPHiPr, 1979–2020)”, 用户可开放获取。其关联论文“TPHiPr: a long-term (1979–2020) high-accuracy precipitation dataset (1/30°, daily) for the Third Pole region based on high-resolution atmospheric modeling and dense observations” 在 Earth System Science Data 上发表。

高精度的降水数据是地表过程研究的重要基础。然而, 第三极地区地形复杂, 降水呈现出高度的空

间变异性。受限于地理和交通条件, 目前降水站点观测多分布于低海拔和东部地区。同时, 现有格点降水数据在第三极地区也存在较大的不确定性, 主要表现为: (1) 基于卫星和站点插值的格点降水产品难以反映复杂地形对降水分布的影响且对固态降水的估计存在低估; (2) 基于大气模拟的降水产品在第三极地区普遍高估降水量。

鉴于此, 研究人员基于改进的 WRF 模式开展了高分辨率模拟, 结合模拟结果和机器学习方法对 ERA5 降水数据进行降尺度, 并进一步融合了 9000 多个降水站点观测数据, 研制了第三极地区长时间序列、高时空分辨率、高精度的降水数据集 TPHiPr

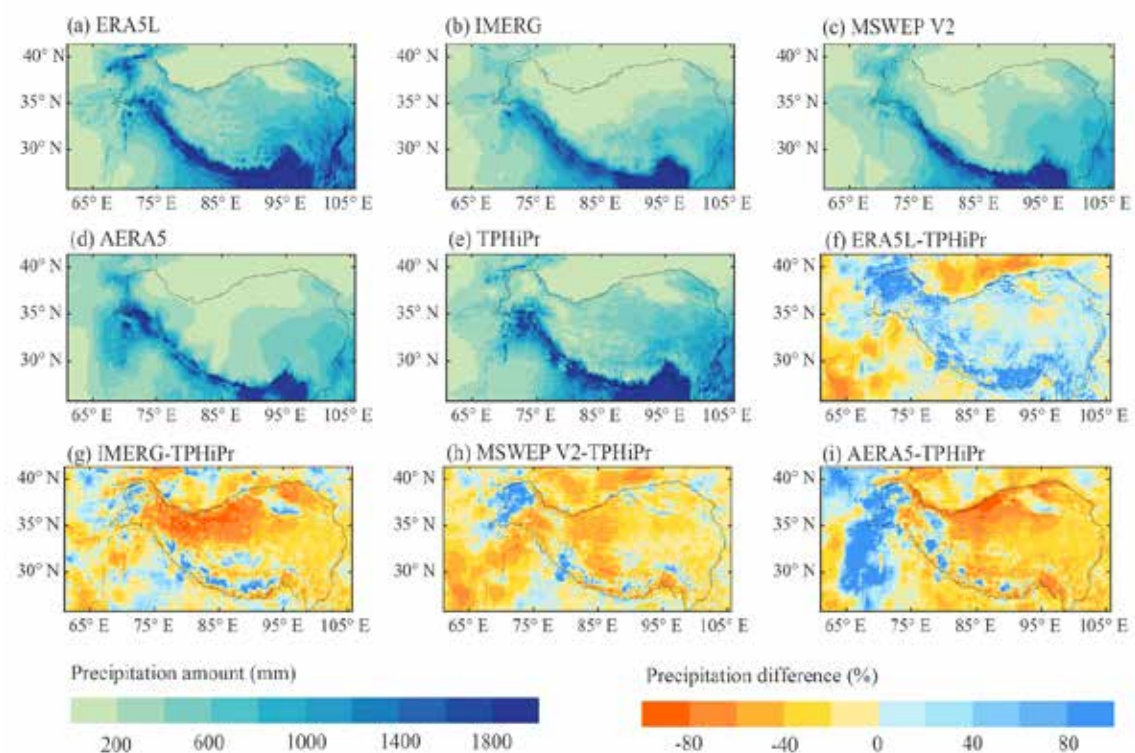


图 1 2008–2015 年间 (a–e) 五种降水产品的多年平均年降水量 (mm) 空间分布以及 (f–i) 其它四种降水产品与 TPHiPr 多年平均年降水量相对差值 (%) 的空间分布。

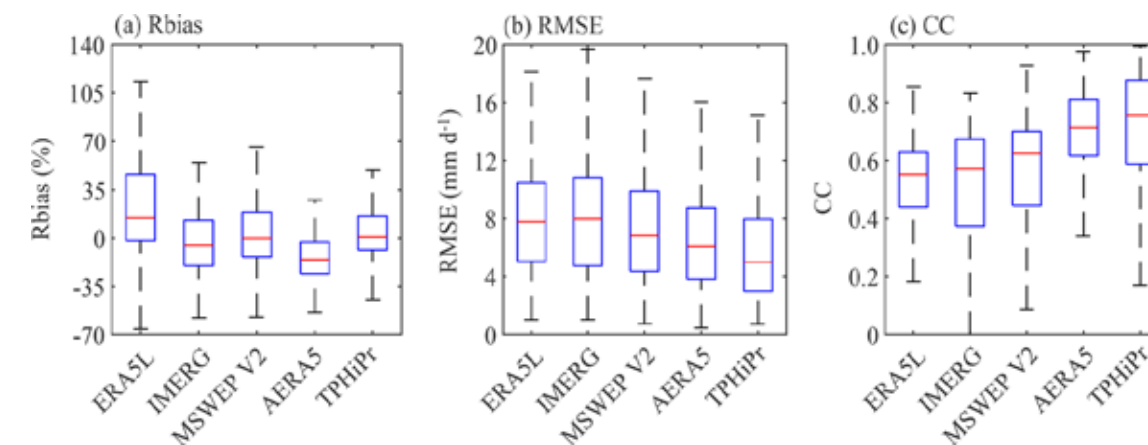


图 2 基于独立站点数据的 TPHiPr 验证结果及其与四种主流降水产品的对比。Bias: 相对偏差 (%); RMSE: 均方根误差 (mm d<sup>-1</sup>); CC: 相关系数。

(1979–2020, 1/30°)。该数据集由于结合了高分辨率 WRF 模拟, 能较好地反映第三极地区复杂地形条件下降水的空间变化, 其降水量总体上低于 ERA5–Land, 而高于基于卫星数据的融合产品 (图 1)。基于独立站点数据的验证结果表明, 相较于目前主流的再分析数据 (ERA5–Land)、卫星降水产品 (IMERG) 以及融合降水产品 (MSWEP V2 和 AERA5–Asia), 该数据在第三极地区具有更高的精度 (图 2)。数据集可为第三极地区的水文、生态、大气等研究提供相对可靠的降水数据源。

该数据集由清华大学地球系统科学系姜尧志博士后和阳坤教授联合中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院青藏高原研究所、四川大学、青海省气象局和中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所的研究人员合作完成。该研究得到了第二次青藏高原综合科学考察研究 (2019QZKK0206), 国家自然科学基金委基础科学中心项目 (41988101) 和国家重点研发项目 (2018YFC1507505) 的支持。

论文信息:

Jiang, Y., Yang, K., Qi, Y., Zhou, X., He, J., Lu, H., Li, Xin, Chen, Y., Li, Xiaodong, Zhou, B., Mantimin, A., Shao, C., Ma, X., Tian, J., Zhou, J., 2023. TPHiPr: a long-term (1979–2020) high-accuracy precipitation dataset (1/30°, daily) for the Third Pole region based on high-resolution atmospheric modeling and dense

observations. Earth Syst. Sci. Data 15, 621–638. <https://doi.org/10.5194/essd-15-621-2023>.

数据信息:

阳坤, 姜尧志, 2022. 第三极地区长时间序列高分辨率 (1/30°) 降水数据集 (TPHiPr, 1979–2020). 国家青藏高原科学数据中心. <https://doi.org/10.11888/Atmos.tpdc.272763>. <https://cstr.cn/18406.11.Atmos.tpdc.272763>.

Yang, K., Jiang, Y., 2022. A long-term (1979–2020) high-resolution (1/30°) precipitation dataset for the Third Pole region (TPHiPr). National Tibetan Plateau/Third Pole Environment Data Center. <https://doi.org/10.11888/Atmos.tpdc.272763>. <https://cstr.cn/18406.11.Atmos.tpdc.272763>.

## 青藏高原东部土壤有机质除了冷却土壤还有新作用？ 我们有新发现

作者 / 孙静 阳坤

青藏高原东部富含大量的土壤有机质 (SOM)，导致高原土壤的持水能力增强而导热率降低。以往研究大多基于陆面过程模型从土壤热力性质的角度探讨 SOM 对土壤水热状态的影响，对于高原 SOM 如何影响陆气耦合系统却知之甚少。

为解决上述问题，清华大学地学系阳坤教授课题组借助区域气候模拟、陆面过程模拟和观测资料，从陆气相互作用和水热性质两个角度系统地探究了青藏高原 SOM 对于夏季陆气耦合的影响。研究将课题组前期基于青藏高原观测发展的描述 SOM 对土壤水热性质影响的参数化方案耦合进 WRF 模式

中，并在此基础上设计了两组数值模拟试验：第一组试验 (WRF-CTL) 中没有考虑 SOM，将其含量设为零；第二组试验 (WRF-SOM) 基于高分辨率的土壤数据考虑 SOM。结果表明，考虑 SOM 影响后，一定程度上可以减小 WRF 模式对于青藏高原模拟的湿冷偏差 (图 1)。

研究基于 WRF 耦合模拟试验进一步分析发现，由于高原 SOM 的存在，土壤含水量增加，但其增加量不及土壤孔隙度的增加量，所以反而降低了表层土壤湿度 (土壤含水量与孔隙度之比)，进而增加感热，减小蒸发，使得近地面大气变暖变干。与

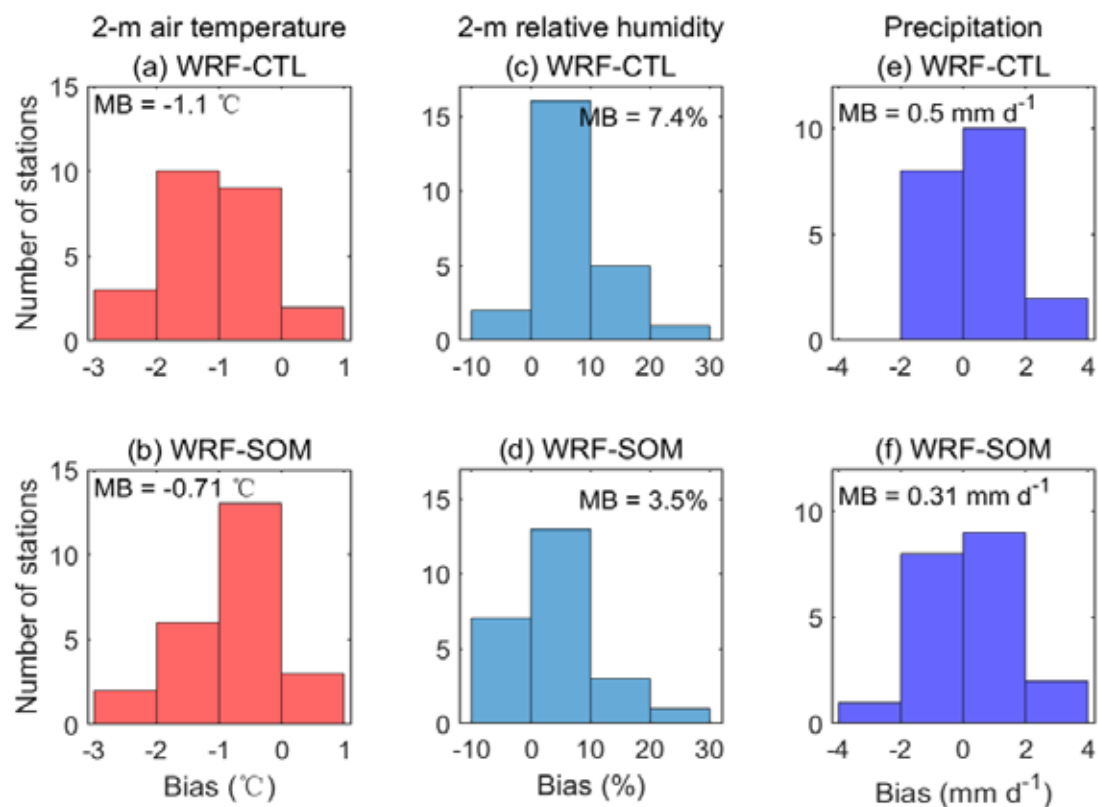


图1 WRF-CTL 和 WRF-SOM 试验模拟结果的偏差 (相对于青藏高原东部站点观测值): (a-b) 2-m 气温; (c-d) 2-m 相对湿度; (e-f) 降水。图中横坐标表示偏差, 纵坐标表示站点数, 图中数字表示所有站点的平均偏差。上下图的差异表明, 模式中考虑有机质影响后冷湿偏差减小。

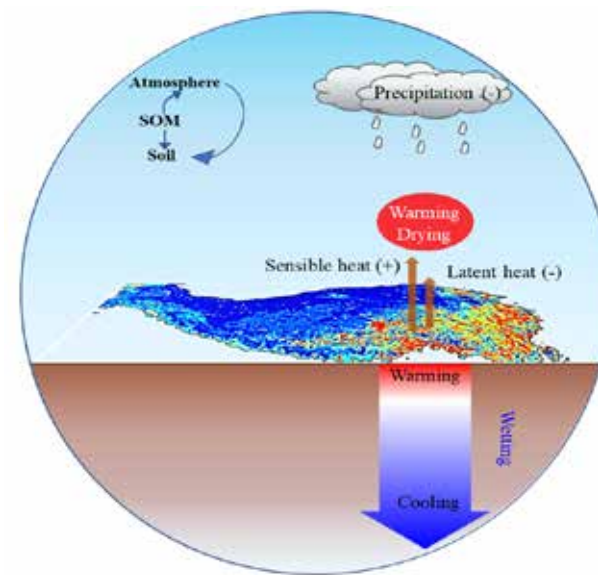


图2 青藏高原 SOM 影响大气和土壤的示意图。青藏高原颜色图代表了表层土壤有机质质量含量的分布: 颜色越红, SOM 含量越高; 颜色越蓝, SOM 含量越低。高原 SOM 的存在会改变土壤性质和陆气反馈, 进而加热和干燥近地面大气但加湿和冷却深层土壤。

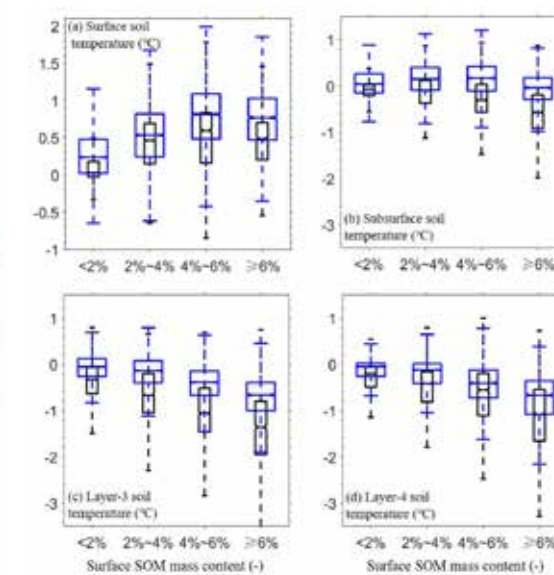


图3 青藏高原 SOM 导致的土壤温度差异的箱型图 (蓝色: 耦合模拟; 黑色: 离线模拟), 并根据表层 SOM 质量含量分为四类。图中横坐标表示表层 SOM 质量含量的变化范围, 纵坐标表示考虑和不考虑 SOM 试验之间土壤温度模拟值的差异 (前者减去后者)。图 a-d 分别是表层、次表层、第三层和第四层土壤温度的差异。相比耦合模拟, 由于离线模拟没有考虑大气反馈, 所以高估了高原 SOM 对深层土壤的冷却作用。

此同时, SOM 还通过降低土壤热传导系数, 使浅层土壤变暖而深层土壤变冷。换言之, 青藏高原 SOM 对于近地面大气具有加热和干燥的作用, 而对于深层土壤具有加湿和冷却的作用 (图 2)。以往研究普遍采用离线陆面模拟来研究 SOM 的影响, 那么如果采用耦合模拟, 结果是否会有所不同呢? 通过对比 WRF 耦合模拟和陆面离线模拟的结果发现, 在离线陆面过程模拟中 (没有考虑大气反馈), 高原 SOM 对深层土壤的冷却作用会被高估 (图 3)。

综上所述, 将 SOM 过程纳入耦合气候模式不仅对大气能量和水循环的描述有所改善, 研究还发现以往离线陆面模拟可能高估了 SOM 对土壤的冷却作用, 这意味着其减缓多年冻土退化速率的作用在以往被高估。需要注意的是, 以上研究结论并不适用于湿地。

相关研究以“Land - Atmosphere Feedbacks Weaken the Cooling Effect of Soil Organic Matter Property toward Deep Soil on the Eastern Tibetan Plateau”为题发表于 Journal of Hydrometeorology。清华大学地学系博士生孙静

为论文第一作者, 地学系阳坤教授为论文通讯作者, 文章合作者还包括清华大学地学系卢麾副教授、中科院青藏所周旭特别研究助理、李新研究员和陈莹莹副研究员、南京大学郭维栋教授以及清华大学地学系 Jonathon S. Wright 副教授。研究得到了国家重点研发计划 (2018YFA0605400) 和国家自然科学基金委“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://doi.org/10.1175/JHM-D-22-0074.1>

## 点点萤火，汇聚星河 ——清华大学地学系抗疫突击队工作记

作者 / 王佳音

抗“疫”仍在继续，  
在清华学生宿舍4号楼里，看到了地学系抗疫突击队的老师们  
他们冒着自己和家人被感染的风险  
承担起服务4号楼学生的任务  
原来，最华丽的转身是逆行  
最惊艳的色彩是纯白  
这个寒冬不寒，  
因为我们看到了用真诚和责任凝聚成的力量  
这段日子难忘，  
因为我们见证了一个个逆行的背影，汇聚成一束光  
让这段特殊的时光变得格外动人，闪亮……

“同学，你的饭到了。”

住在4号楼的女同学听到后跟室友说：“我应该没有幻听吧？怎么听到了男生的声音。”

这位同学没有听错，说话的男士，正是地学系抗疫突击队的黄小猛老师。他作为突击队第一批驻扎4号楼的志愿者，正在为同学们送餐。

### 义不容辞，共克时艰

12月中旬，随着疫情形势不断严峻，校园的疫情防控面临新挑战，原有保障体系受到严重冲击。地学系迅速落实学校紧急会议精神，成立起一支线上、线下结合的突击队伍，按照学校的要求对接4号楼学生宿舍，负责协助4号楼楼长做好疫情防控和应急处置工作。在系党委的统一领导下，地学系成立了楼宇指挥团队。党委书记、系主任罗勇、系主任助理黄小猛担任指挥长，系办公室职员付美娟负责物资保障。黄磊、白玉琪、王佳音、燕晓辉、张涛、石运昊、蔡闻佳、李伟、徐孟等陆续报名加



楼长王彤和保洁人员一起为同学们送餐



突击队老师在给医疗垃圾打包



轮值4号楼的地学系突击队老师。从左至右分别是白玉琪、王佳音、燕晓辉、张涛。

入突击队。

指挥部成立后，指挥长罗勇立刻与前任指挥长刘芳老师联系，了解楼内保障服务情况和学生感染情况，第一时间组建工作体系，及时开展工作。通过线上线下、楼内楼外协调配合，全力协助4号楼的疫情防控工作，尽力满足楼内同学的每一项需求。

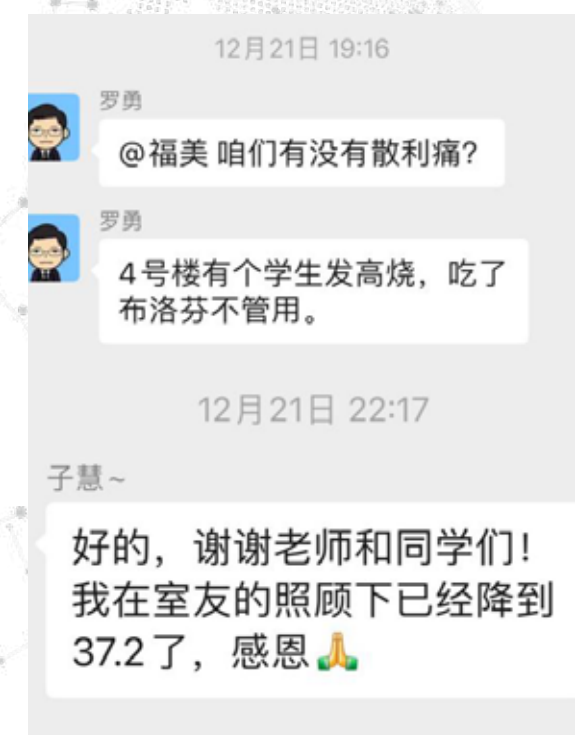
随着感染人数的不断增多，包括4号楼楼长在内的后勤工作人员接连病倒，4号楼的保障任务，全部由地学系突击队承担。

12月12日早上七点，罗勇、黄小猛和黄磊作为首批志愿者进驻4号楼。黄磊回忆到，“进驻4号楼的那天清晨，天还没亮，抬头还能望见明月。街上的路灯还笼罩在一片迷蒙晨雾之中。到4号楼前，一大片黄色垃圾袋预示着这将是忙碌的一天。”在听取片区负责人于博、楼长王彤详细的讲解后，老师们了解到大约有18位同学已经感染，正在宿舍隔离封控中。三位老师很快适应了宿舍楼疫情防控工作模式，整理出工作流程，盘点防疫物资、药品、生活物资，摸清已经感染的同学们所在的楼层分布情况。考虑到4号楼是女生宿舍，黄磊和保洁员为同学们送餐、打水、更换消毒水、收拾生活垃圾。黄小猛负责统计抗疫物资、阳性同学的数量以及订餐情况，做到精准统计上报；人手不够的时候，他也要上楼送餐。感染的同学在微信群里不时发出想要打水的消息，黄磊一个上午楼上楼下跑了二十几趟，加上穿着厚重的防护服，摘掉防护帽的那一刻，汗水顺着头发丝往下流，衣服里里外外已经都湿透了。

12月15日，白玉琪和王佳音接替黄小猛和黄

磊来到4号楼轮值。在值班期间，白玉琪学习了解到医疗垃圾的正确处理方法，与突击队负责物资采购的付美娟沟通，地学系采购了小号垃圾袋，以感染同学居住的房间为单位，按照隔离的天数计算总数，逐一发放给隔离同学，并在微信群里告知了垃圾袋的正确系法。改善后的方法和流程既降低了楼道内的病毒传播风险，也提高了垃圾收集处理的工作效率。王佳音根据学校的通知和文件，细化了抗原发放的规则，提出了具体的工作流程建议。

守护学生健康也是驻楼老师工作的重中之重。指挥长罗勇的手机24小时待机，一旦收到同学发烧、



12月21日 19:16

罗勇 @福美 咱们有没有散利痛？  
罗勇 4号楼有个学生发高烧，吃了布洛芬不管用。

12月21日 22:17

子慧~ 好的，谢谢老师和同学们！我在室友的照顾下已经降到37.2了，感恩🙏

### 值班工作流程

1. 早9点到，戴上手套，把值班室门口的消毒液都倒空（一楼卫生间），然后再配制4-5瓶（2L/瓶），消毒液配好后，按照2瓶倒成3瓶使用，消毒泡腾片放入水瓶中后大约10分钟才能溶解完全；
2. 拿通卡，取107的纸箱和黄色医疗袋，在值班室进行纸箱的组装，一个纸箱套好1个黄色的医疗袋（一般一天用6个纸箱，包含值班室门口）；
3. 10点前到107进行白色防护服+白色鞋套的穿戴，有眼镜的老师，建议戴两层口罩，否则容易起雾，看不见；头套，面罩，手套（两层，黄色的在里面，最后把白色的再带一层）；穿好防护后，把消毒液放在有阳性房间的楼层卫生间和沐浴间门口，再把前一天的消毒瓶取回，倒空；有个别同学宿舍需要消毒，再单独送；要在一楼值班室留一瓶消毒液用来处理垃圾使用；
4. 送完消毒液后，等保洁用黄色的医疗袋包装收垃圾，让她直接放进箱子打结，或者我们打结、消毒包装；随时放垃圾，随时消毒；
5. 将纸箱进行封装，并留出一箱到门外进行包装；将包装好的纸箱先搬运至堆放处；在门外将白色的防护服和面罩等都脱下，留手上一双手套和口罩，其余放入未封装的纸箱，进行消毒和封箱；封好后把纸箱消毒，搬至堆放处；
6. 回到楼内，将手套脱下，扔到纸箱内，进到值班室进行消毒，并再次到门外进行口罩的更换；
7. 到119房间给当天新增加的同学拿8个黑色塑料袋+10个皮筋，用袋子装好，可以请同学送餐的时候顺便带上去，放到同学的房间门口（或者上楼收垃圾的时候带上去，也可请保洁大姐帮忙带上去），并在群里告诉同学：刚才给新入群的同学发了黑色垃圾袋和捆扎的皮筋，请同学们把垃圾装入黑色垃圾袋并用皮筋进行颈式捆扎，放到门口，每天上午统一收；
8. 回到值班室，穿好衣服，拿上盒饭，到蒙楼办公室吃午餐，下午2点以后再上4号楼值班，下午5点结束值班。
9. 统计当天的人员变更，并根据情况对腾讯表格进行更新（把需要移除的阳性名单中备注的内容和解除的时间移到全部名单中，删除；在全部名单中修改好备注后，把表格底色变成白色；在全部名单中找到新增阳性，把信息挪至阳性名单，并备注上阳性时间和满6天的时间；在全部名单中将新增的阳性人员的底色变成橙色标记）；
10. 楼里有紫外线灯，空箱和开关的，值班的时候

值班工作流程部分内容截图



地学系 2021 级直博生许娅威虽然身处外地，在自己康复后主动承担起对接楼内志愿者的工作。4 号楼康复的同学也陆续报名加入志愿队伍，目前已经有 9 名学生志愿者承担了服务 4 号楼的防疫工作。

需要药品等信息，快速协调，让有症状的同学按照说明准确用药，时刻关注着学生的生命健康安全。

### 同气连枝，共盼春来

随着地学系突击队志愿者接二连三地感染，突击队面临着急需人手的现状。地学系蔡闻佳、李伟和博士后石运昊感染后康复立即报名加入突击队。

“在此之前，我完整经历了感染到康复的过程，借助这一机会和留校学生沟通，了解大家健康状况，投身于学生们最需要帮助的地方。在疫情防控工作中，志愿突击队的老师们关注着学生的每一条消息，线上线下方联动，以实际行动回应学生们的诉求。而学生们将这份爱与互助传递，彼此鼓励支持，痊愈的学生接下了志愿服务的接力棒，束束微光聚拢成为守护的力量。”石运昊说。

为了方便后续突击队的老师更高效地开展工作，燕晓辉结合自己两天的驻楼经验，与其他老师一起共同制定了多达千字的“值班工作流程表”。随着疫情防控要求的不断变化，燕晓辉不断更新修订工作流程表，大大提高了突击队老师和志愿者工



4 号楼阳康同学向楼宇工作人员和地学系抗疫突击队赠送锦旗



4 号楼同学为地学系突击队老师准备的小贺卡



地学系抗疫突击队购置的平板车和爬楼车

作交接的效率，保证了驻楼工作的稳定持续开展。

随着 4 号楼工作人员的不断康复回归岗位，地学系突击队将线下工作逐步交还给 4 号楼工作人员，并于 12 月 31 日整体撤出楼宇工作。地学系购置的爬楼小车和在每层用于运送物品的平板车留给 4 号楼的同学。为了表达谢意，4 号楼的同学为地学系

突击队献上了锦旗和精心准备的小礼物。

对于参加过突击队的老师来说，这段经历都将是三年疫情期间难忘的记忆。他们的身份各不一样，但参加突击队的初衷一致。这份初心来源于那份责任，以及用行动践行的使命。问及报名参加突击队的初衷时，黄磊说，“进入清华大学的两年时间里，自己一直在享受着学校方便的生活和浓厚的学术氛围。随着疫情的蔓延，社会面的感染人数的增加，其实能够理解学校防疫的困难和压力，也一直希望自己能够为学校抗疫贡献自己的力量。当时想起的就是林则徐的那句话，‘苟利国家生死以，岂因祸福避趋之。’现在的时代也许不再需要我们像先辈那样视死如归，但希望我们至少还保留一腔热血，不畏困难、不计回报去帮助、给予。”

是的，只要坚持和责任在，待凌冬离去，雪融草青，一定会有新的相逢将爱心延续。

此心安处，水木清华。

清华大学地学系 午餐沙龙系列报道

## 清华大学地学系午餐沙龙系列活动报道 ——“青藏高原地球系统模式发展与应用”

作者 / 马小刚 付美娟



阳坤作报告

3 月 16 日中午，地学系在蒙民伟科技大楼 S927 举办午餐沙龙学术分享活动。本期活动邀请了地学系阳坤教授作为主讲人，进行主题为“青藏高原地球系统模式发展与应用”的学术交流。

围绕青藏高原气候系统，阳坤教授从机理认识、数据生产和模型应用三个方面进行介绍，对青藏高原地球系统模式的发展历程和团队取得的研究进展进行了梳理。团队在模式中引入复杂地形湍流拖曳方案，反映青藏高原复杂地形的作用；通过卫星数



午餐会现场

据识别雅鲁藏布江中上游地区的裸露基岩，纠正模式在该地区的失真表达。这些工作都改进了模式在青藏高原区域广泛存在的湿偏差。改进的模式同时

也应用于反映青藏高原降水的空间变化，课题组结合机器学习方法对ERA5降水数据进行降尺度分析，进一步融合了9000多个降水站点观测数据，生成了第三极地区具有更高精度、相对可靠的降水数据产品。团队在青藏高原天气系统的机理认识和数据研制方面取得一系列进展，也激励团队成员进一步利用青藏高原地球系统模式在新能源利用方面做出更多探索。

分享结束后，与会教师就青藏高原暖湿化趋势变化的原因、对海洋环境的影响、对气候和城市的影响、对高山草地退化的影响程度以及青藏高原地球系统模式的耦合范围和青藏高原的沙尘气溶胶观测等问题展开讨论。

## 清华大学地学系党委召开 2022年度党支部书记述职评议会

作者 / 陈亚微

3月23日下午，地学系党委在蒙民伟科技大楼南楼S818会议室召开2022年度党支部书记述职评议会。地学系教职工党支部书记、研究生党支部书记、党委委员、各党支部委员、师生代表等20余人参加会议。会议由系党委副书记卢麾主持，系党委书记罗勇出席并作总结发言。

会上，各党支部书记重点围绕学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想 and 党的二十大精神、增强党支部政治功能和组织功能，结合党支部工作评议结果、支委会查摆问题、党员群众意见建议，汇报了支书履职情况。各党支部书记还结合2022年工作中存在的不足，汇报了下一步工作展望及整改举措。系党委委员对各党支部书记在过去一年所做的工作进行逐一提问和点评。与会师生结合党支部工作评议打分情况，对党支部书记进行了现场测评。



图：述职评议会现场

## 笑靥如花，芳华自在 ——清华大学地学系分工会举办“三八”国际劳动妇女节活动

作者 / 付美娟

为庆祝“三八”国际劳动妇女节，丰富地学系女教职工的业余生活，3月8日上午，清华大学地学系分工会举办了以“笑靥如花，芳华自在”为主题的永生花丙烯画手工制作活动。

活动伊始，乐工坊的老师介绍了画面的构图、花种的选择、色彩的搭配等永生花丙烯画的制作步骤。永生花是鲜花经脱水、脱色、烘干、染色后加

工而成，可长时间保存，其色泽、形状、手感几乎与鲜花无异。

在老师的专业指导下，地学系女教职工们充分发挥想象力和创造力，将相同的材料进行不同的构图，搭配富有层次的设计，制作成了一幅幅具有创意的作品。

此次活动不仅给紧张的工作增加了艺术乐趣，也增进了彼此间的交流和沟通，让大家在细碎的时光打磨中也能品味生活的明媚与浪漫。希望地学系的女教职工在未来的生活里更加自信，更有魅力，让每一份精致点缀生活。



制作过程



活动合影



图：述职评议会现场



## 清华大学地学系党委召开 2023年春季学期第一次党支部书记例会

作者 / 叶圣彬 陈亚微

3月1日，地学系党委在蒙民伟科技大楼南楼S825会议室召开2023年春季学期第一次党支部书记例会部署近期工作。系党委副书记卢麾、研工组组长俞乐、党建助理以及师生党支部书记共10人参会。

会上，各支部书记汇报了党员发展工作进展，并对支部新学期主要工作进行了讨论。党建助理对近期即将开展的党支部评议和支书述职工作进行了任务梳理，强调了各项工作时间节点和评议要求。

卢麾在发言中表示，各支部要严格按照学校相

关要求，做好党支部评议和支书述职工作，发挥评议促进基层支部建设的作用。卢麾还强调，新学期各支部要结合即将召开的“两会”，继续深入学习贯彻党的二十大精神和学校第十五次党代会精神，做好师生联合共建、理论学习和支部活动规划，促进师生思想交流，提升组织生活成效。此外，卢麾还对各支部做好疫情防控工作的归纳总结和把握意识形态工作提出了具体要求，希望支部积极引导形成良好氛围，在团结凝聚师生方面发挥支部战斗堡垒作用。

## 清华大学地学系举办 2023年春季学期助教朋辈分享会

作者 / 张凉赫

为进一步提升地学系的研究生助教工作素养，3月8日上午，地学系在蒙民伟科技大楼南楼S825举办了“2023年春季学期助教朋辈分享交流会”。8位新老助教同学参加此次培训，地学系研究生管理助理张凉赫主持会议。

开展助教朋辈互助的目的在于加强地学系助教体系的构建和助教工作的开展。针对地学系面向博士生同学开设的课程较多，相较于本科生课程其助教工作更加专业化且直接面向科学探索的前沿的现状，地学系业务办公室鼓励大家“助教同学可以多与老师及同学沟通，有的放矢，不断探索教学管理助理的工作新方法”。

2021级博士生周杰威以“助教工作的要点和心得”为主题，结合自己担任的“地球系统模式研发及应用”和“地球物理流体动力学”课程助教经历，

从助教工作的课堂前期准备、课程合理分组、雨课堂软件的使用等方面进行了全面细致的分享。“助教工作需要很细致”，他说道，“比如提前了解老师电脑和教室电脑接口是否兼容之类的细节，都需要助教多留意，才能保证教学工作顺利开展”。周杰威还以一个公式的推导的习题举例，给各位新助教



线下会场

讲述了他的心得：“习题课答疑时要着重关注和扩展同学们解题思路，不要让错误的知识一级级传下去”。

20级博士生施文作为地学系的“老助教”，曾经担任过“全球气候变化”，“地球系统模式研发与应用”和“地球物理流体动力学”课程的助教。她结合自身经历，强调助教要着重了解和把握：“任课教师的需求”和“选课学生的需求”，才能做好老师和学生之间的纽带。“除了做好常规工作”，她说道，“还要及时与任课教师沟通，根据课堂特点进行情景预演，及时对学生作业等进行反馈和指导”。

22级博士生张雪梅结合自己担任“地球系统科学前沿”课程助教的经验给同学们做了分享。这门课程不同于其他课程，特点在于授课过程主要以专家讲座为主，聚焦科学研究的前沿领域，以兴趣导



参会师生合影留念

向和小班模式进行授课。她着重分享了在“结合同学们的兴趣与课程的安排”方面的经验，将课堂与“紫荆论坛”有机的结合起来，增加课程受众，真正做到“每一节课都是一场聚焦前沿的深度讲座”的效果。

清华大学地学系 午餐沙龙系列报道

## 清华大学地学系午餐沙龙系列活动报道 ——“林光辉教授研究组的研究重点与跨学科合作机遇”学术交流

作者 / 叶圣彬 付美娟

3月2日中午，地学系在蒙民伟科技大楼S818举办午餐沙龙学术分享活动。本期活动邀请了地学系林光辉教授作为主讲人，进行主题为“林光辉教授研究组的研究重点与跨学科合作机遇”的学术交流。毛里求斯驻华大使 Alain Wong Yen Cheong 王纯万阁下受邀出席了此次午餐沙龙。

林光辉介绍了研究组的主要研究方向，包括滨海生态系统及多样性维持机制、潮间带碳循环关键过程及其对全球变化响应机制、红树植物水分利用策略及循环过程、蓝碳形成机制及评估方法学、生态学过程稳定同位素分馏机制等五个科学问题。林光辉分享了利用地学系学科交叉的优势，与地学系徐芳华副教授、李伟副教授等课题组合作开展的科研项目，介绍了研究组有关蓝碳的最新研究成果。

他表示，研究组的这一成果可为双碳背景下制定红树林修复政策和修复工程设计，以及红树林生物多样性保护等方面提供科学依据。

分享结束后，与会教师就红树林固碳储碳原理、红树林是否有阻挡台风的作用以及对于蓝碳交易的想法等问题展开讨论。



午餐会现场

## 毛里求斯驻华大使 Alain Wong Yen Cheong 王纯万阁下到访地球系统科学系

作者 / 叶圣彬 徐孟

2023年3月2日上午，毛里求斯驻华大使 Alain Wong Yen Cheong 王纯万阁下受清华大学地球系统科学系林光辉教授邀请，到访地学系并为学生讲授《生态学基础与前沿》相关课程。课上，大使与地学系师生就生物多样性保护、海洋环境与可持续发展等议题进行了深入交流。

林光辉教授对王纯万先生的到访表示热烈欢迎。据林光辉介绍，王纯万大使有着非常传奇的人生经历，从事过许多职业，为两国交流发展做出了很大贡献。

王纯万大使表示非常荣幸能够到清华与学生们交流。他通过视频短片向大家介绍了毛里求斯的历史、优美的自然风光以及极其丰富的生物多样性环境。结合自身经历，他阐述了保护生物多样性与可持续发展的重要性。例如，他协调水肺潜水组织与当地渔民保护鱼群的繁殖地，只允许在繁殖地外围捕鱼，环境改善后使渔民收获更多，实现了旅游业、



林光辉教授向王纯万大使赠予礼物

渔业以及生态多样性保护的多赢。他鼓励同学不仅仅是坐在室内写论文，而是要行动起来，到自然中去，将自己的研究落实到行动中，为生物多样性保护贡献力量。

最后，林光辉教授赠予王纯万大使《全球变化的中国红树林》和《滨海湿地生态修复技术及其应用》书籍。



课堂合影

## 林枫辅导员候选人任浙豪 青春烙下并肩奋斗的辅导员印记

作者 / 任浙豪

四年辅导员，学会引领担当、实现育人育己，对任浙豪而言是青春独一份的经历。

### 并肩奋斗，深耕学生党建

开学典礼是任浙豪进入清华的第一课，他特别注意到一条横幅上写着“又红又专，全面发展”。在一段时间的学习、理解后，出于党员的使命感和主动的闯劲，他开启了三年多的党建情缘。

在担任3年学生党支部书记期间，任浙豪因时而推出了“学考践悟”工作体系。通过简单的名词解释、理论简答、正误判断等考试的形式明确支部同志的理论薄弱点、挖掘理论兴趣点，并在不同年级实施不同方案，实现“以考促学”、学出自觉、学出水平。“纸上得来终觉浅”，为结合理论与实际，他主动争取、充分运用校系资源，带领党团班集体到国家级生态新区雄安开拓专业实践，覆盖千年树林和白洋淀考察、高铁站扬尘和雾霾污染调研、空气污染的人类健康效益等主题；组织集体到党的诞生地上海重温初心使命、在对比中领略社会主义现代化建设引领区的风貌；与新生集体一同探索推动魔方式集体建设，打造畅所欲言的各类育人场景。

在理论学习和红色实践中长知识练才干，通过会后、实践后的讨论打动人心。任浙豪还记得和入党积极分子聊民主、聊人权一同唱起国际歌的时光；



林枫辅导员候选人任浙豪

还记得和预备党员在烤串店深入探讨共同富裕和共产主义社会的远大理想；还记得作为“新雁班”第二期学员，和党员同志在宿舍、食堂，在北京、俄罗斯等各个场合，探讨人生价值实现的路径。他在并肩奋斗中享受着党组织不断壮大、真理越辩越明、思政育人育己的过程。

从“新雁班”第二期学员到第四期辅导员，任浙豪面向新一批优秀研究生新生党支部，积极调研、丰富骨干培养计划。为了和“小雁子”们一起成长，让大家收获更多，他积极参与学生工作研究项目并总结、拓展了前期“新雁班”育人计划的有效路径，提出将“新雁之声”“初心学堂”等重点品牌的运营纳入学员轮训制度，主动分析培养计划欠缺环节，在班主任教师的支持下增设了“新雁有语”平台，作为跨期交流研讨和传帮带的重要场域。

在集体的共同努力下，“新雁班”第四期的“小雁子”在实践中提升了谈心谈话、文书撰写、业务宣讲、视频制作等能力。目前，“新雁之声”已开展业务培训课程宣讲31场、推出“初心学堂”短视频40余期，浏览量共计超过30余万次。“新雁班”第四期学员已有26人成长为德育助理。

“领雁工程”是团结引领研究生党建助理及党支部队伍的关键平台。为了准确了解骨干队伍现状、精准匹配资源重点，任浙豪在年度党建骨干成长调研中特别增设学业影响分析、能力提升需求模块，主动组织常态化的党建助理研讨会，邀请对应骨干参与，并调研研讨成效和建议。党建骨干们在研讨会上聊最真实的困难、讲最实际的做法、说最基层的经验，经验共享、资源互通、结实诤友成为参会人员排名前三的收获，研讨会也因此成为党建骨干培养的重要途径之一。

除了共享资源和经验，任浙豪主动拓展党员骨



任浙豪参与建党百年专项并开展相关宣讲

干读书班平台，打造融理论学习、业务培训、红色实践为一体的思政教育模板，在做好立体式红色教育的同时，启发参与的党员骨干根据院系实际进一步推广。他和“领雁工程”14个小组等党建骨干一起并肩奋斗，分主题在全校各个年级开展覆盖近五千人次的理论和近七百人人次的红色实践四期读书班，已累计形成6门党课、4部课本剧，并积极向各院系推广。

### 并肩奋斗，用好大思政课

在课堂之外的思政育人有时会有四两拨千斤之效，因此，任浙豪一直积极响应“‘大思政课’我们要善用之”的号召。

2019年，任浙豪作为新中国成立70周年专项大队物资员、中队长，在高质量完成300余小时训练任务的同时，带领中队骨干设计生日、节日破冰环节，顺势搭建师生畅聊平台。

在2021年庆祝中国共产党成立100周年庆祝大会任务的近50次训练中，作为小队长的任浙豪把党史学习教育作为必备环节，和队员讲述他2019年参加伟人画像方阵的故事，一起唱红歌、查资料、读原著，分享对为什么“能”、为什么“好”、为什么“行”的理解，得到小队群众广泛认可，不断收到队员提交的入党申请书。

在新冠肺炎疫情爆发当年，在导师带领下，任

浙豪连续156天日均攻关16小时，与团队一起建成了全球210余地新冠疫情的数据库，连续8个月每周向海关总署递交指导全国口岸疫情防控。

### 并肩奋斗，拓展社会实践

有血有肉的思政教育离不开脚踏实地的专业实践。作为一名生态学专业的研究生，任浙豪在2019年“揭榜挂帅”并招募交叉学科背景的学生组建了清华第一批“初心服务团”支队。他与战友们分头行动，在福建泉州洛江区调研数十家工厂，连续5个日夜走访乡镇、收集100余小时采访视频、录音，并充分应用科学手段在10天内成功解困困扰当地三年的疑难点。听到生态环境局局长那句“不愧是清华的博士生”时，他的内心无比愉悦，又昂扬起无限斗志。实践成果被《光明日报》《福建日报》等多家媒体报道，支队也成为学校“初心服务团”实践样板，为地学系拿下历史首支实践金奖支队。

在总结经验时，任浙豪和队友们一致认为实践是紧密团结青年力量、增进国情社情认知的重要途径。因此，他决心办好喜闻乐见的活动，争取把实践拓展为进一步强化产学研一体化认知的重要平台，在广泛联络、妥当沟通后，一年内增设了三家长期联络的实践基地。

为使新增实践专门适配地学系的生态学、大气科学方向的研究，任浙豪创建“寻地”实践品牌，目前已有生命学院、化学系、公管学院等系外学生一同报名参加。他曾组织队伍前往江西鄱阳湖，调研长江大保护启动前该区域生物多样性、渔民就业等情况，并依托院系的野外监测站建成长期联络的实践基地。在雄安新区系友的大力支持下，他联动多个院系、多个集体开展产学研一体化等就业实践。建成长期联络的实践基地后，每年新生集体条件允



2022年第一天天安门广场观礼升旗仪式并接受采访

许时均会前往开展实践。他一直鼓励同学选择与专业适配的博士生必修实践基地，看到并肩奋斗的战友们把城市土地利用、突发降水等模拟的改进方案投入实际并网运行的喜悦时，他更能感受到实践平台结合红色理论、专业知识，并逐步将其转化为改造现实的力量。

情谊忘不了、青春不停步，清华园四年辅导员经历为任浙豪的青春烙下有理想、敢担当，并肩奋斗能吃苦的印记，更让他树立永远在路上的清醒，力争在新时代“必须准备付出更为艰巨、更为艰苦的努力”，从我做起、从现在做起。

任浙豪，男，汉族，中共党员，2018年进入清华大学地球系统科学系学习，攻读博士学位。现任学生部事务办辅导员、研工部新雁四期辅导员，曾任研工部思政办德育工作助理、地学系研团总支书

记、新生助理、学生党支部书记。入选第二批全国高校“百名研究生党员标兵”创建名单，曾获评研究生国家奖学金、清华大学蒋南翔奖学金、清华大学“一二·九”辅导员奖、清华大学优秀党建与思想政治工作者（党支部书记）、学生社会实践金奖个人、抗击新冠肺炎疫情先进个人、新中国成立70周年专项先进个人等荣誉；所带集体曾获评北京市十佳班集体、清华大学先进集体等多项荣誉。

清华大学辅导员的荣誉体系包括蒋南翔辅导员奖、林枫辅导员奖、“一二·九”辅导员奖和“一二·九”辅导员郭明秋奖。其中，蒋南翔辅导员奖、林枫辅导员奖是清华大学“双肩挑”政治辅导员的最高荣誉，“蒋南翔辅导员奖”每年表彰10名左右学生身份辅导员，“林枫辅导员奖”每年表彰10名左右教师身份辅导员，20名左右学生身份辅导员。

## 以兴趣引航 用热爱奉献 ——周宇峰 清华大学地球系统科学系 2021 级博士生

作者 / 周宇峰

兴趣是出发点和方向，热爱是落脚点和坚持。做社工、做辅导员不仅是“承担”，也是“赋能”，一步步尽心尽力把工作做得更好。

### 五年志愿服务 既是工作 也是生活

在2017年刚入学时，周宇峰报名参加了“志愿第一课”，通过参与校园讲解志愿活动，感受到了志愿服务的乐趣。活动结束后，他便立即加入了紫荆志愿者服务总队，从一名园子里志愿活动的参与者，逐步成长为组织者。大学4年，周宇峰累计志愿工时超400小时；志愿活动，是他承担的一份社会工作，更已成为他的生活方式。

在北京2022年冬奥会和冬残奥会的开闭幕式服务中，周宇峰作为一名国家体育场赛事服务志愿

者，负责区域看台的观众服务工作，同时也作为学生负责人承担了前期支部建设和物资保障的相关工作。在开幕式的鸟巢现场，当看到国旗高高升起、中国代表队昂扬入场时，周宇峰从内心感到无比骄傲自豪。在冬奥会和冬残奥会的3个月里，他同所有志愿者一起，作为一片片燃烧的雪花，在这个冬天留下了最难忘的回忆。

2022年春季学期，学校的防疫压力骤然增加，开展常态化核酸检测成为校园抗疫中最为重要的一环。刚从冬奥志愿活动归来的周宇峰就立刻投入学校核酸检测志愿工作中。相比于冬奥志愿活动的轰轰烈烈、热情奔放，核酸检测志愿则是事无巨细，默默守望。在每一次各个场地近百人的志愿者招募



图 1. 在冬奥、战役“清”年突击队、迎新、核酸检测志愿服务活动中

完成后，周宇峰都需要逐个确认信息、分配岗位，并进行岗前培训；第二天清早，志愿者们准时上岗开始服务时，周宇峰还要奔走于不同的核酸检测场地，处理各种突发状况。今年5月，为了更好地保障校园封闭管理下师生的学习生活，学校第一时间成立战疫“清”年突击队，周宇峰也加入成为突击队的荣誉一员，承担起突击队医疗服务组的组织工作。在校园封闭期间，近3万名师生居住的清华园成为了一座小城，而战疫“清”年突击队给这座小城中带来了无限温暖，成为特殊时期师生守望相助的集体温暖记忆。

#### 筹办气象协会 兴趣所致 心之所向

周宇峰的专业是大气科学，在一次在与导师林岩奎教授偶然的交流中发现，学校里还没有大气类的学生社团和协会。在导师的大力支持下，2021年春季学期周宇峰便作为发起人，筹办学生气象爱好者协会。在地学系老师同学的帮助支持下，以及中国气象爱好者的倾心协助下，清华大学学生气象

爱好者协会于2021年8月正式成立。

作为协会的创始人、第一任会长，周宇峰围绕“气象”和“科普”两个关键词，开展了系列的协会活动。初雪竞猜、天气图片征集活动受到了同学们的广泛欢迎，参与人数超过千人。此外，利用协会的平台，周宇峰开展了多姿多彩的气象知识科普宣传活动。他邀请协会指导教师开展讲座，对获得2021年度诺贝尔物理学奖的气候复杂系统进行科普讲解；同时也邀请地学系师生撰写了科普推送文章，累计阅读量超过2000次。学生气象爱好者协会与人文学院研会、中国气象爱好者等开展了关于疫情后科普宣传工作的沙龙讨论；为提升爱好者们摄影天气的需求，邀请了B站知名up主线下为同学们开展天气摄影科普讲座分享等。虽然受到疫情的影响，很多外出实践参观活动无法开展，但通过组织和发起丰富多彩的线上线下活动，周宇峰和学生气象爱好者协会逐步走进同学们的视野，他们的热爱和坚持也慢慢照亮了园子里的广阔空间。

#### 发挥地学特色 相互协助 彼此协同

中国共产党人的初心和使命，就是为中国人民谋幸福，为中华民族谋复兴。作为现任地学系研工组副组长，周宇峰认为身为辅导员更应当认真细致做好本职工作、高质量的服务好师生。在院系，社会工作更像是一个系统工程，各部门虽然分工不同，但相互配合、彼此理解，都在为院系的学生工作贡献自己的力量。党团班集体更是如此，更需党团班集体活动，相互带动，一起开展主题教育和学生活动。在今年5月校园封闭管理时期，周宇峰所在的地研21支部，在第一时间集体报名积极响应参与到疫情防控的志愿活动中。在志愿服务完成后支部同学说，做志愿服务原来是一件很酷的事情，因为能够在自己的志愿岗位上独当一面，真正为学校贡献了自己的力量。在周宇峰和地学系研工组助理们的带动下，



图 2. 在学生气象爱好者协会活动和百团大战宣传中



图 3. 在地学系班团集体、学生活动中

地学系有超过一半的支部同学都参与到了物资保障、疫苗接种、核酸检测等志愿服务中，地研21支部等多个地学系集体都获得战疫“清”年集体荣誉。

除了通过参与专项活动，上好“大思政课”，周宇峰还特别重视新生入学教育期间的思政工作。在今年8月，周宇峰和新生助理吴宇辉一起，在新生入学前就精心策划新生入学教育的活动方案，计划通过报告讲座和实践学习相结合的方式，抓住开学的窗口期开展思政教育工作。邀请系内外专业老师进行交流讲座，让新生在学科前沿、学术思想等方面有更深刻的理解；组织中国气象局等单位的参观实践，让新同学了解学科的历史发展及前沿应用，真切体会到服务国家科技自立自强的重要意义。

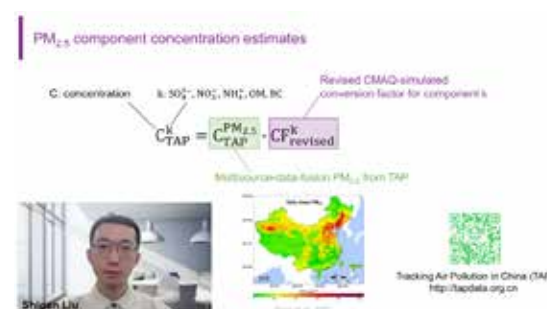
作为一名直博二年级的“双肩挑”政治辅导员，周宇峰也奋战在基础研究一线，继承了清华地学人始终服务国家重大需求的特色。在大气科学专业方向，周宇峰致力于研究极端台风事件及其在全球变暖下的响应，希望能够用更加科学的方法预测台风，更好的提升防灾减灾能力，保障人民的生命安全和社会的经济发展。在日常学习工作中，周宇峰灵活管理时间，做到了科研学习和社会工作的同步发展。真正做好“双肩挑”，全身心投入到科研学习和科技攻关中，才能更好为实现高水平科技自立自强贡献出自己的一份力量。

“以兴趣引航，用热爱奉献”便是他社工经历的真实写照。在未来新征程中，作为清华学子的周宇峰，希望和大家一起，怀抱梦想又脚踏实地，敢想敢为又善作善成，书写好新时代青年的风采！

周宇峰，男，汉族，中共党员，1998年9月生。2021年进入清华大学地球系统科学系学习，攻读博士学位。现任清华大学地学系研工组副组长、德育助理，地研21党支部宣传委员，清华大学学生气象爱好者协会会长。曾任校团委政治辅导员等职。曾获清华大学社工奖学金，获评北京冬奥会、冬残奥会清华大学先进个人、优秀学生干部、优秀共青团员、五星级紫荆志愿者、北京市优秀毕业生、清华大学优秀毕业论文等荣誉。

## 清华大学地学系直博生刘世淦 获美国地球物理学会 2022 年秋季会议杰出学生报告奖

作者 / 刘世淦



刘世淦线上参会

近日，美国地球物理学会 2022 年秋季会议（AGU Fall Meeting 2022）系列奖项揭晓，清华大学地球系统科学系 2020 级直博生刘世淦的口头报告“Tracking Daily Concentrations of PM2.5 Chemical Composition in China since 2000”获“杰出学生报告奖（Outstanding Student Presentation Award）”。

美国地球物理学会秋季会议是地球和空间科学领域最具影响力的高水平国际学术会议，旨在交流相关领域的最新研究和成果，每年有来自 100 多个国家的专家学者参加，参会人数超过 25000 名。会议设有杰出学生报告奖，由匿名评委团对学生的口头报告（oral）、海报（poster）和线上海报（iPoster）评分产生，仅授予评分总排名前 2~5% 的学生报告人。

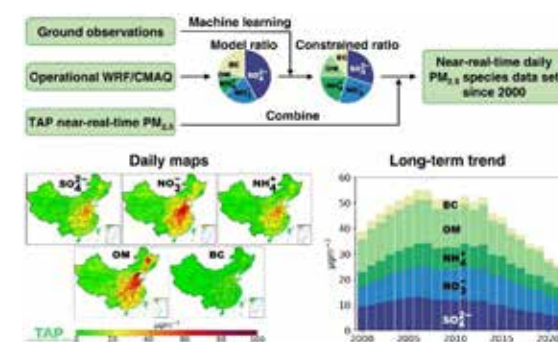
刘世淦本科毕业于南京大学大气科学学院，2020 年推荐免试进入清华大学地学系攻读博士学位，师从张强教授，主要围绕中国 PM2.5 污染定量表征及来源解析开展研究。刘世淦研发了 PM2.5 化学成分反演技术，以多源数据融合 PM2.5 浓度为约束，利用大气化学模式获得 PM2.5 化学成分动态变化信息，并结合地面观测数据和机器学习算法获得

PM2.5 浓度与 PM2.5 化学成分的转换因子，突破了总气溶胶光学厚度向 PM2.5 化学成分浓度转化的难点，提升了 PM2.5 化学成分时空分布的精细化表征能力。在此基础上，研究进一步构建了中国 2000 年以来 10 公里分辨率的时空覆盖完整、近实时更新 PM2.5 化学成分逐日浓度数据集，为空气污染健康影响、清洁空气政策评估等相关研究提供基础数据支持。

相关研究成果于 2022 年 11 月发表于环境领域顶级期刊 Environmental Science & Technology（《环境科学与技术》），数据公开发布于中国大气成分近实时追踪数据平台（Tracking Air Pollution in China，简称 TAP；<http://tapdata.org.cn>），向学界免费共享。

论文信息：

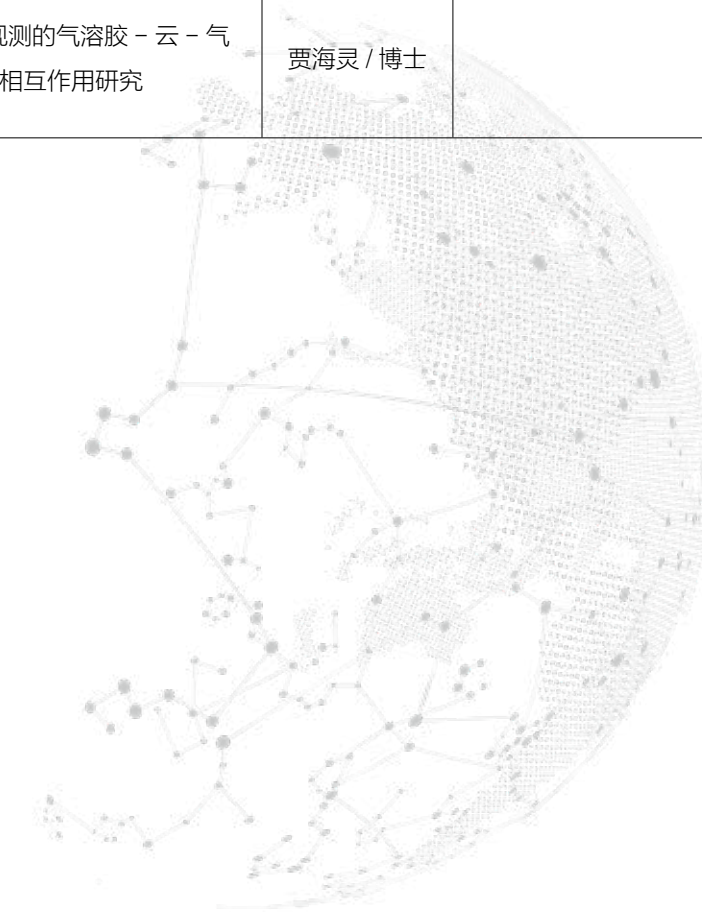
Liu, S.; Geng, G.; Xiao, Q.; Zheng, Y.; Liu, X.; Cheng, J.; Zhang, Q. Tracking Daily Concentrations of PM2.5 Chemical Composition in China since 2000. Environ. Sci. Technol. 2022, 56 (22), 16517 - 16527. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c06510>



研究成果论文图片摘要

## 全球变化科学紫荆论坛一览

2023 年序号	总第期数	报告时间	报告题目	主讲人	主讲人单位
1	401	2023.3.22	热带太平洋和印度洋海气 CO <sub>2</sub> 通量对厄尔尼诺的响应	廖恩惠	上海交通大学
2	402	2023.3.23	干涉雷达（InSAR）大尺度森林参数提取及变化、干扰监测	雷洋	中国科学院国家空间科学中心
3	403	2023.3.29	基于卫星观测的气溶胶-云-气候相互作用研究	贾海灵 / 博士	





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

设计：智达设计

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

