

2024 年度四川省科学技术奖拟提名项目公示

【项目名称】

高海拔泥炭地碳汇调控机制

【提名单位】

中国科学院成都分院

【提名意见】

若尔盖泥炭地是全球面积最大、保存最完整的高海拔泥炭沼泽，也是中国极其重要的碳汇富集地，是对气候变化响应极为敏感的生态脆弱区。全球变化背景下高海拔泥炭地土壤碳库的不稳定性是限制其碳汇功能的瓶颈科学问题。针对这一科学问题，该项目聚焦若尔盖泥炭地土壤碳库积累过程，现代碳通量调控及未来对全球变化响应等方面的系统研究，揭示了高海拔泥炭地碳汇形成过程、“高碳通量”调控机制、碳库潜在失稳机制等 3 个核心机制，实现了高海拔泥炭地碳汇过程及全球变化响应机制方面认知的突破，相关成果发表在《Nature Reviews Earth & Environment》和《Global Change Biology》等生态环境领域国际著名期刊，部分成果收录于联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）报告、联合国粮农组织（FAO）调查报告以及全球甲烷收支 2020 年的评估报告。项目研究成果丰富了泥炭地与全球变化理论体系与科学认知，为评估泥炭地土壤碳库变化及其生态效应、实现国家碳中和战略以及泥炭地可持续管理提供了有力科技支撑。

提名该项目为 2024 年度四川省自然科学奖。

【项目简介】

泥炭地是全球最大的陆地生态系统碳库，占到全球土壤碳库的三分之一，其土壤碳库动态稳定性既是实现碳中和的关键，也是全球气候变化研究中的难点。若尔盖泥炭地是世界上海拔最高、面积最大的高寒泥炭沼泽分布区，也是中国极其重要的碳汇富集地。高海拔泥炭地发育独特、生态系统脆弱，其碳库形成与气候变化的关系复杂，

学术界对其碳库形成模式还存在很大争论。过去几十年，由于全球变化的不断加剧和人类过度利用，若尔盖泥炭地退化，植被生产力和多样性降低、碳库不稳定性日益凸显。由于对其碳汇过程及其调控机制认识不清，严重限制了若尔盖泥炭地生态功能的发挥。该项目在国家和四川省科技项目的支撑下，聚焦高海拔泥炭地碳库动态调控机制这一瓶颈科学问题，以若尔盖泥炭地为研究对象，围绕碳库“形成-调控-响应”这一主线，融合环境生物学、生物地球化学、生态学等多学科的研究方法，开展了高海拔泥炭地土壤碳库形成过程、碳通量调控机制及碳库潜在失稳机制等方面研究，取得了系列突破性创新成果。主要科学发现如下：

(1) 解析了若尔盖泥炭地土壤碳库历史演变过程，发现高海拔泥炭地具有远高于全球其它泥炭地的碳积累速率以及现代泥炭积累显著高于全新世的平均值，提出了青藏高原“现代暖湿化过程显著提高了泥炭地固碳潜力”的新认识；构建了“水文过程及植被功能”的新一代高海拔泥炭地甲烷排放过程模型，估算了若尔盖泥炭地甲烷排放量；解析了高海拔泥炭地“高碳通量”土壤碳库形成的新模式，该成果突破了泥炭地“低碳通量”碳库形成的传统认知，丰富了泥炭地碳库形成理论。

(2) 揭示了高海拔泥炭地“高通量”碳通量特征及调控因素，发现高海拔地区高频度轻度干旱通过缓解植物生长的氮限制实现高碳输入，冻融过程通过物理和化学机制导致高碳排放，从而明确了冻融过程高碳排放的“非生物”调控机制。该成果突破了干旱降低碳输入和低温限制碳排放的传统认知，有助于泥炭湿地碳循环模型的准确评估和修正。

(3) 建立了基于淹水状态的泥炭地土壤定量分层新方法，阐明了土壤微生物代谢碳限制是亚表层土壤碳库稳定性的主因，发现真菌在微生物介导的关键碳过程中的作用比细菌更重要，明确了全球变化缓解微生物碳限制是导致高海拔泥炭地土壤碳库失稳的关键机制。该成果突破了深层土壤碳库较为惰性的传统认知，为泥炭地碳库保育提供了新策略。

该项目 5 篇代表作发表在《Nature Reviews Earth & Environment》和《Global Change Biology》等生态环境领域国际著名期刊，相关成果被包括 Nature Climate Change, Science Advances, PNAS 等在内的 SCI 刊物他引 1002 次。部分成果收录于联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 报告、联合国粮农组织 (FAO) 调查报告以及全球

甲烷收支 2020 年的评估报告。通过该项目研究，实现了高海拔泥炭地碳汇过程及调控机制方面的认识突破，研究成果丰富了泥炭地与全球变化理论体系与科学认知，为评估泥炭地土壤碳库变化及其生态效应、实现国家碳中和战略提供了理论依据，同时为完善我国泥炭地恢复与保育政策、积极应对气候变化提供科技支撑。

【代表性论文和专著】

1. Chen Huai, Ju Peijun, Zhu Qiuan, Xu Xingliang, Wu Ning, Gao Yongheng, Feng Xiaojuan, Tian Jianqing, Niu Shuli, Zhang Yangjian, Peng Changhui, Wang Yanfen. Carbon and nitrogen cycling on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2022, 3: 701-716.
2. Zhu Dan, Wu Ning, Nabin Bhattarai, Krishna Prasad Oli, Chen Huai, Gopal Singh Rawat, Irfan Rashid, Maheshwar Dhakal, Srijana Joshi, Tian Jianqing, Zhu Qiuan, Sunita Chaudhary, Kuenzang Tshering. Methane emissions respond to soil temperature in convergent patterns but divergent sensitivities across wetlands along altitude. *Global Change Biology*, 2021, 27: 941-955.
3. Chen Huai, Yang Gang, Peng Changhuai, Zhang Yao, Zhu Dan, Zhu Qiuan, Hu Ji, Wang Mei, Zhan Wei, Zhu Erxiong, Bai Zengzhi, Li Wei, Wu Ning, Wang Yanfen, Gao Yongheng, Tian Jianqing, Kang Xiaoming, Zhao Xinquan, Wu Jianhua. The carbon stock of alpine peatlands on the Qinghai-Tibetan Plateau during the Holocene and their future fate. *Quaternary Science Reviews*, 2014, 95: 151-158.
4. Yang Gang, Chen Huai, Wu Ning, Tian Jianqing, Peng Changhuai, Zhu Qiuan, Zhu Dan, He Yixin, Zheng Qunying, Zhang Changbing. Effects of soil warming, rainfall reduction and water table level on CH₄ emissions from the Zoige peatland in China. *Soil Biology & Biochemistry*, 2014, 78: 83-89.
5. Chen Huai, Zhu Qiuan, Peng Changhuai, Wu Ning, Wang Yanfen, Fang Xiuqing, Gao Yongheng, Zhu Dan, Yang Gang, Tian Jianqing, Kang Xiaoming, Piao Shilong, Ouyang Hua, Xiang Wenhua, Luo Zhibin, Jiang Hong, Song Xingzhang, Zhang Yao, Yu Guirui, Zhao Xinquan, Gong Peng, Yao Tandong, Wu Jianhua. The impacts of climate change and human activities on biogeochemical cycles on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Global*

Change Biology, 19, 2940-2955.

【主要完成人】（按排名顺序）

陈槐，吴宁，王艳芬，朱求安，朱单

【主要完成单位】（按排名顺序）

- 1、中国科学院成都生物研究所
- 2、中国科学院大学
- 3、河海大学