

# 气候变化下面向数字孪生地球的欧亚大陆水热碳循环监测与建模方法 (ID.95357)

马耀明<sup>1,2,3</sup>, 苏中波<sup>4</sup>, 马伟强<sup>1,2,3</sup>, 仲雷<sup>5,6</sup>, 曾亦健<sup>4</sup>, 文军<sup>7</sup>, 傅云飞<sup>5</sup>, Jose Sobrino<sup>8</sup>, 彭建<sup>9</sup>, Harrie-Jan Hendricks Franssen<sup>10</sup>, Zheng Duan<sup>11</sup>, Salvatore Manfreda<sup>12</sup>, 董晓华<sup>13</sup>, 钱会<sup>14</sup>, 陈学龙<sup>2</sup>, 郑东海<sup>2</sup>, 王宾宾<sup>2</sup>, Han Zheng<sup>14</sup>, 张佩<sup>2</sup>, 李梦娜<sup>14</sup>, 王云菲<sup>4</sup>, 宋增静<sup>4</sup>, 韩倩倩<sup>4</sup>, Prajwal Khanal<sup>4</sup>, 汤恩婷<sup>4</sup>, 蔡江涛<sup>4</sup>, Babak Mohammadi<sup>11</sup>, 赵浩进<sup>10</sup>, Joe Agate<sup>4</sup>

1 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101

2 中国科学院青藏高原青藏高原地球系统与资源环境全国重点实验室, 北京 100101

3 中国科学院大学, 北京 100049

4 特文特大学地理信息科学与地球观测学院 (ITC), 恩斯赫德 7500 AA, 荷兰

5 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 合肥 230026

6 中国科学院比较行星学卓越创新中心, 合肥 230026

7 成都信息工程大学, 西北生态环境资源研究院, 大气科学学院, 成都 610225

8 瓦伦西亚大学, 西班牙

9 亥姆霍茨环境研究中心遥感系, 莱比锡, 德国

10 于利希研究中心, 陆地系统科学计算, 生物与地球科学研究所, 52425 于利希, 德国

11 隆德大学, 自然地理与生态系统科学系, 瑞典

12 那不勒斯费德里科二世大学, 土木、建筑与环境工程系, 那不勒斯, 意大利

13 三峡大学, 水利与环境学院, 宜昌 443002

14 长安大学, 干旱区地下水水文与生态效应教育部重点实验室, 水利与环境学院, 西安 710054

## 摘要

过去一年的工作我们继续开展覆盖多种生态系统的精细尺度野外观测监测网络维护, 并增进了对欧亚大陆复杂环境系统的理解。在监测和模拟欧亚大陆水、能源和碳循环的气候变化方面取得了以下研究进展。

首先, 针对青藏高原大气-土壤水热交换机制开展了系统的观测研究。发布了逐小时的大气-陆地相互作用数据集。通过整合多源数据构建了高精度蒸散发数据集。将探空仪和微波辐射计数据相结合, 有效监测了青藏高原对流边界层水热结构的演变。这些数据集为深入开展青藏高原地区能量和水循环研究提供了基础观测数据。

此外, 整合了青藏高原蒸散发观测数据, 揭示了过去 40 年及未来一个世纪蒸散发的变化趋势。阐明了蒸散发与气象和遥感变量之间的关系。量化了影响高原蒸散发趋势的主要因素, 并预测了不同气候情景下蒸散发的潜在演变格局。这些工作为区域水循环和气候变化研究提供了科学依据。

同时, 开展了青藏高原天气和气候效应的模拟研究。一方面, 优化了 CLM4.5 模型的砾石参数化方案, 揭示了砾石对多年冻土区土壤水热传输的调控机制, 并量化了其对水热和冻融过程的影响。另一方面, 改进了 Noah 反照率方案, 提高了 WRF 模型对青藏高原强降雪的模拟能力, 为提高该地区天气和气候模拟的精度提供了参考。

STEMMUS-SCOPE 数字地球系统组件得到了进一步强化, 该组件通过整合辐射传输、光合作用、土壤水分和土壤温度动态以及植被生长动态等关键陆地过程, 模拟了陆地-大气系统中的水-能-碳通量和状态。

基于 STEMMUS-SCOPE 数字孪生和机器学习开发了一个仿真器, 并生成了 2000 年至 2020 年、空间分辨率 9 公里、时间分辨率 1 小时的全球数据集, 包含

七个变量（净辐射、潜热通量、感热通量、土壤热通量、总初级生产力以及 685 nm 和 740 nm 处的太阳诱导叶绿素荧光）。该产品已用于全球尺度干旱的探测与监测，通过开发一种新方法，与基于传统指数的方法相比，该方法揭示了更多的定量信息。

在科学交流方面，由马耀明研究员（中国科学院青藏所）带领的团队与苏中波教授（荷兰特文特大学）带领的团队开展了密切的合作与交流。4 月，马耀明研究员率团访问了特文特大学，与苏中波教授团队就青藏高原能量和水循环的卫星遥感观测技术进行了专题讨论。随后，他们作为共同召集人，在 2025 年欧洲地球科学联盟（EGU）大会上主持了“TPE”专题分会。国际同行系统地展示了喜马拉雅地区水文气象、冰川变化和生态环境领域的最新研究成果。在特文特大学成功完成了三项联合博士毕业（王云菲博士、Jan Hofste 博士、韩倩倩博士）。