

**基于中高分辨率光学、SAR 和测高数据算法与模拟的  
长江中游流域湿地生态系统和陆地植被变化对气候变化和人类活动响应研究**

Herve Yesou<sup>1</sup>, 陆建忠<sup>2</sup>, 段洪涛<sup>3</sup>, 郑粮<sup>2</sup>, 赖锡军<sup>3</sup>, Juhua Lu<sup>3</sup>, Sabine Amzil<sup>1</sup>, Tianci Qi<sup>3</sup>,  
Jinge Ma<sup>3</sup>, Steven Loiselle<sup>4</sup>, 陈晓玲<sup>2</sup>

1: ICUBE SERTIT, University of Strasbourg, France

2. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室

3 中国科学院南京地理与湖泊研究所

4: University of Siena, Italy

\*Correspondance. Email: herve.yesou@unistra.fr

2030 年可持续发展目标是将水 (SDG 6) 和植被/土地利用 (SDG15) 确定为子孙后代提供经济、社会和环境福祉的关键参数。卫星数据可以成为实现这些目标的有力工具, 或者至少在不同规模上提供有价值的指标。

在区域和地方层面上, 本研究分析了长江流域及周边地区的生态稳定具有重要意义的敏感生态系统 (例如鄱阳湖, 洞庭湖, 和安徽的小湖)。为确保水体范围提取精度, ICEYE, RadarSat 数据已与 Sentinel2 协同使用, ICESat 和 Sentinel3、Sentinel6 的测高数据已被用于监测水体的高度。研究结果对于开发 SWOT 产品至关重要, 这些产品将于 2023 年夏天首次交付。在鄱阳湖流域, 自 2000 年中期以来, 人们注意到早期排水量的增加对泥滩的演变产生了重要影响。基于 MREO 图像, 分析了 25 年来旱季滩涂的空间格局变化及其驱动机制, 结果表明湖泊滩涂数量一直在增加, 且呈上升趋势, 主要分布区域由北向南转移; 在受采砂影响的北部地区, 进水通道的水面率增加, 泥滩的整体外缘比以前更加破碎; 在赣江南岸, 湖上三角洲面积受入湖水沙的影响, 呈稳定增长趋势, 三角洲前缘向外延伸约 1.84 km。

水质评估是实现 SGD 目标的基础, 要求研发和验证多传感器系统的处理算法。基于 sentinel-3 湖泊环境变量和野外数据的 cCO<sub>2</sub> 估算模型取得了新的进展。对长江中下游 16 个湖泊的研究表明, 二氧化碳浓度在夏季和秋季较低, 但在冬季和春季较高, 季节变化很大。湖泊的年平均二氧化碳浓度显示, 约 28% 的湖泊是弱大气二氧化碳汇, 而其余的湖泊是碳源。二氧化碳浓度随着富营养化程度的增加和湖泊规模的缩小而降低。由于富营养化的问题, 湖泊生态系统可能会发生复杂的变化, 通常导致从清澈的大型植物为主的状态转变为浑浊的浮游植物为主的状态。然而, 目前尚不清楚湖泊过渡是如何在区域和全球范围内发生的。为了回答这一问题, 我们对长江流域的 22 个湖泊进行了长期监测, 开发了一种创新高效的三步算法, 可以区分水生植被 (AV)、漂浮/出水水生植被 (FEAV)、淹没水生植被 (SAV) 和藻华 (AB)。研究结果显示 AV 在过去 37 年中显著下降, 主要是由于 SAV 的下降; 而 AB 发生频率较高, 且发生在更多的湖泊中。长江中游水系仍在从以大型植物为主向以浮游植物为主过渡。此外, 在包括太湖和巢湖在内的大型湖泊 (大于 500 平方公里) 上, 通过研发一种通用、实用和稳健的算法来识别全球范围内水华动力学的时空分布, 探索了 20 多年来的每日中等分辨率卫星观测数据。

巢湖和太湖的水华呈增加趋势, 气候因素被发现与年初始水华时间的变化有关, 而人类活动的增加与水华持续时间、面积和频率有关。

在更大范围内, 分析了气候变化对植被生长和碳循环进行了重要研究。基于气象和遥感数据, 以临界土壤水分 (CSM) 作为陆地-大气耦合的代表, 研究了陆地与大气的相互作用过程及其对陆地植被的影响。然后, 通过机器学习方法优化 CMIP6 的单个模型, 以开发未来的气候和初级生产总值 (GPP) 数据集, 并分析气候和 GPP 的时间和空间变化。

在过去的四十年里, 即 1982-2020 年, 中国的植被显著变绿, 占区域绿化的 72.34%。

在区域范围内，降水似乎是影响蒙古高原、青藏高原和黄土高原等干旱和半干旱地区植被生长的关键因素，中国东南部降水资源丰富，温度是区域植被生长的主导因素。另一方面，必须注意的是，干旱胁迫也是影响植被生长的重要因素。短期累积干旱促进区域植被绿化（1-4个月），而中长期累积干旱抑制植被绿化（5-12个月）。在持续干旱条件下，中国西南部和东南部植被的固碳功能将受到影响。

干旱状况通过一种基于差分相关度量( $\Delta\text{Corr}$ )的创新方法进行分析，该方法表征了水或能源限制的强度。 $\Delta\text{Corr}$ 检测地表水和能量对短期地表过程的响应，根据气候和植被特征，全球和网格单元 CSM 含量都有足够的变化。在年降雨量较少、根系较短、植被覆盖率较低的地区，CSM 含量较高。研究发现，在未来（2021-2100年）的三种 SPP 情景下，北半球高纬度地区将显著变暖，而降水的时空分布格局没有显著差异。在不同的情景模型下，GPP 的变化表现出明显的时空异质性。

基于上述研究结果表明，对地观测数据开发可以为了了解和理解关键参数提供重要基础，如水资源和质量、富营养化目的以及从地方到全球的范围。