

北半球寒区湖冰遥感监测

邱玉宝¹²³, 蒋郑鑫¹²³, Matti Lepparanta⁴

1. 可持续发展大数据国际研究中心, 北京, 100094
2. 中国科学院空天信息创新研究院数字地球重点实验室, 北京, 100094
3. 中国科学院大学, 北京, 100049
4. 赫尔辛基大学, 芬兰

湖泊覆盖地球表面积的比例约为 1.8%, 而在北极与泛北极地区, 湖泊的覆盖范围可高达 40%-50%。根据 1 月 0°C 等温线数据, 北半球会发生冻结现象的湖泊面积约占全球湖泊面积的 59.55%。湖冰变化是全球气候观测系统 (GCOS) 关键性气候变量 (ECV) 之一, 其中湖冰范围变化、季节变化、厚度变化和湖冰类型是评估气候变化和生态研究的关键指标。然而在全球变暖背景下, 湖冰覆盖大量减少, 湖冰物候总体呈冻结时间延迟、融化时间提前的趋势。湖冰的减少对湖泊生态系统会产生重要影响, 包括生物多样性、生物地球化学过程和温室气体排放等方面。

卫星遥感手段具有大范围监测、高时空分辨率的特点, 在湖冰监测中被广泛使用。中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 获取的光学遥感数据具有高空间分辨率, 并对同一湖泊每日可进行两次监测。而被动微波遥感数据不受天气和云层的影响, 且不会受到光照条件的影响。这两种遥感数据在大范围湖冰监测方面都具有独特的优势。因此, 我们利用 MODIS 光学遥感和被动微波数据对北半球的湖冰变化展开研究。

基于 MODIS 归一化积雪指数数据, 我们对欧亚大陆超过 23,000 个湖泊的湖冰变化情况进行监测。针对 MODIS 光学数据中云像元的影响, 我们采用了一系列去云方法对其进行处理, 从而有效减少了云的影响。基于无云的 MODIS 数据, 我们提取了从 2002 年到 2022 年的湖泊湖冰覆盖度长时间序列数据。该数据集经验证具有较高准确性, 可以有效监测湖泊湖冰覆盖的变化趋势。为了对具有不同湖冰覆盖趋势的湖泊进行分类, 我们开发了一种基于卷积神经网络的湖泊湖冰覆盖时间序列分类方法, 这种方法可以有效地将湖泊分为四种不同类型。

基于被动微波数据, 我们采用最邻近算法来减少混合像素的影响, 并提取了 1978 年至 2020 年北半球 753 个湖泊的亮温数据, 并提取了相应的湖冰物候参数, 经验证该结果具有较高的准确性。基于该数据集我们发现了以下几点规律: 随着纬度的增加, 湖泊结冰时间更早, 融化时间更晚, 冰期更长; 位于 28°N 到 40°N 之间的湖泊比 40°N 以北的湖泊有更长的冰期, 这是由于在低纬度的青藏高原地区分布了许多湖泊; 在 45°N 以上, 在相同纬度下, 北美湖泊的平均冰期比欧亚大陆的湖泊更长。

同时, 我们使用了基于被动微波的湖冰物候数据分析了北欧、青藏高原和蒙古高原湖泊湖冰物候变化, 并研究了其与气候条件的关联。结果表明, 这三个地区的湖泊湖冰物候变化与相应地区的气温变化显著相关。其中, 在北欧, 湖冰物候的变化对气温变化更为敏感。但仍然有其他因素影响湖泊冰的变化。例如在青藏高原北部地区, 自 2000 年以来, 许多湖泊的冰期呈现增加趋势。导致该现象的原因有很多, 包括卡拉海冰的减少、冬季北大西洋涛动 (NAO) 和早春南极涛动 (AAO) 的异常等。