

浅水湖泊水体磷储量估算

熊俊峰、林晨、马荣华、薛坤、曹志刚、胡旻琪

中国科学院南京地理与湖泊研究所

摘要：在全球气候变化和人类活动影响下，湖泊富营养化愈发加重。总磷作为淡水生态系统中的限制性营养盐，已经被纳入联合国可持续发展目标 6.3.2 水质监测的核心指标，监测和控制总磷浓度是水环境管理的必要途径。然而，地表水环境复杂，湖泊、河流的水质时空异质性高，难以评价水环境治理的有效性。因此，我们提出利用遥感技术估算湖泊磷储量，不仅为湖泊的营养状态监测和评估提供新视角，而且对了解流域水文过程对磷循环的驱动机制、控制流域磷排放具有重要意义。本研究以全球富营养化最严重的江淮地区为例，在多个浅水湖泊开展了湖泊表层和垂向水质调查，确定总磷、叶绿素和悬浮物的垂向分布特征和拟合函数，利用 OLCI 影像和机器学习开发了一套湖泊水体磷储量遥感模型。结果表明，总磷浓度随着深度呈降低趋势，90%的单元水柱剖面中总磷随深度呈二次项分布，分布特征受到叶绿素和总悬浮物的共同影响，深度不超过 0.5m 时，叶绿素影响为主，深度超过 1.0m 时，悬浮物影响为主。基于这一现象，我们开发了一种湖泊磷储量的遥感模型，该模型利用机器学习推导的表层总磷浓度、AFAI 和其他波段反射率作为变量，估算了二次项分布函数的关键系数，结合水深，建立了湖泊磷储量估算模型。验证结果表明，0.5~2.0m 深度的水柱估算精度 R^2 均超过了 0.6，随着深度增加，验证误差增加。江淮地区 35 个典型湖泊的磷储量是 5347 t，湖泊面积对不同湖泊磷储量差异的贡献率达到 85%。随后，估算了 2017-2022 年太湖、巢湖和洪泽湖磷储量时空分布，其中太湖和巢湖磷储量随时间呈增加趋势，水位变化是造成三个湖泊磷储量变化的主要原因。结合湖泊换水周期和外源磷输入，太湖换水周期过慢，磷累积率达到 42%。本研究首次利用遥感方式估算湖泊磷储量，对了解浅水湖泊富营养化和流域磷循环有着重要意义，为流域磷排放管控政策制定提供科学依据。

关键词：遥感，机器学习，浅水湖泊，磷储量，磷循环