

基于遥感数据的石佛寺水库叶绿素a质量浓度反演

康思宇¹ 孙昊² 田琳¹ 陈旭尧¹ 李明珍¹

1. 长春工程学院水利与环境工程学院；2. 广东珠荣工程设计有限公司

[摘要]采用Landsat8-OLI卫星影像，结合水面实测叶绿素a质量浓度数据，构建石佛寺水库叶绿素a质量浓度反演模型，利用ArcGIS软件绘制叶绿素a质量浓度空间分布图。结果表明：三波段模型可以显著提高波段数据与叶绿素a质量浓度的相关性， R^2 为0.836；石佛寺水库主河道叶绿素a质量浓度较高，东南部叶绿素a质量浓度较低。

[关键词]石佛寺水库；遥感反演方法；叶绿素a质量浓度；Landsat8-OLI卫星影像

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.2562

水库水体对于人民生产生活的重要性不言而喻，保护水库水质是高效利用水资源的重要举措。目前东北地区多采用实地采样方式监测水库水质，具有明显的局限性、效率低、离散性，较难掌握整个库区水质信息等缺点，遥感技术可以有效解决此问题^[1]。在水体水质的遥感监测中，叶绿素a的质量浓度是一个重要指标^[2]。因此建立叶绿素a质量浓度反演模型对水体水质的监测具有重要意义。

本文以辽河下游石佛寺水库为研究对象，基于landsant8-OLI卫星影像数据，建立较为精准的石佛寺水库叶绿素a质量浓度反演模型。以期能够对石佛寺水库整体水生态进行分析，为库区环境治理提供参考依据，为地区内其他水库水体叶绿素a质量浓度遥感模型的建立提供一定参考，促进遥感技术在水环境监测方面的应用。

一、研究区概况

石佛寺水库为大II型平原区水库，是辽河干流上唯一大型控制性水利工程，流域地理坐标约为123.427°E~123.530°E，42.144°N~42.188°N，为温带大陆性气候且受季风影响较严重。石佛寺水库水质较好，基本属于轻度或中度富营养状态。2009年库区进行生态建设，种植了芦苇、荷花等植物，建设人工湿地，生态水面面积约

为16.13 km²[3]。

二、数据获取

(一) 水体叶绿素a质量浓度测定

于2017年7月17日，进行野外采集试验。天晴无云，风速为1~2 m/s，水面波动较小。根据库区形态，选定20个采样点，如图1所示。选用手持式GPS测量20个采样点地理坐标，如表1所示。在每个采样点距水面以下5 cm处采取水样，每个采样点采集3个水样，密封冷藏，带回实验室，利用多参数光谱水质分析仪测定水样中叶绿素a质量浓度，如表1所示。

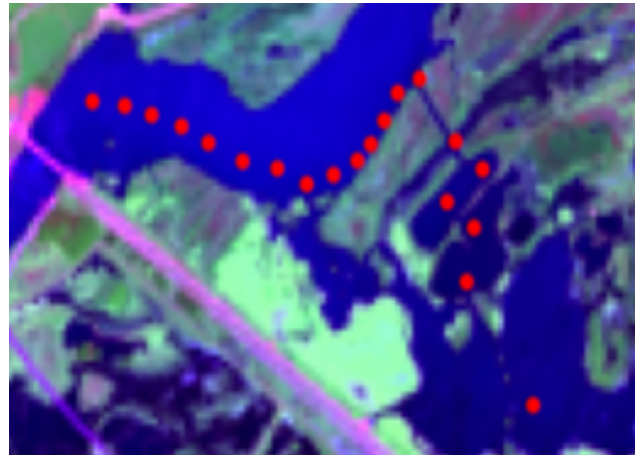


图1 水库采样点分布图

表1 石佛寺水库20个采样点的位置及叶绿素a质量浓度

编号	经度 (E)	纬度 (N)	叶绿素a质量浓度 (μg/L)	编号	经度 (E)	纬度 (N)	叶绿素a质量浓度 (μg/L)
1	123.4656	42.1563	140.06	11	123.4539	42.1668	180.73
2	123.4612	42.1616	124.70	12	123.4523	42.1662	175.44
3	123.4617	42.1639	95.70	13	123.4505	42.1658	196.34
4	123.4699	42.165	106.40	14	123.4485	42.1665	217.13
5	123.4623	42.1664	130.55	15	123.4462	42.1668	185.92
6	123.4605	42.1676	118.60	16	123.4439	42.1676	160.42
7	123.4581	42.1703	133.67	17	123.4421	42.1683	150.87
8	123.4556	42.1697	170.59	18	123.4401	42.1688	190.07
9	123.4557	42.1685	158.30	19	123.4383	42.1692	165.38
10	123.4548	42.1675	165.83	20	123.4361	42.1694	155.90

(二) Landsat8-OLI数据的获取及预处理

1. 数据获取

研究采用的是landsat8-OLI卫星影像，影像免费获取于美国USGS网站。研究选取的是云量较小，且与2017年7月17日时间最为接近的影像。通过辐射定标、大气校正等方法，对获得的卫星影像进行预处理后，建立采样点叶绿素a质量浓度与landsat8-OLI卫星影像之间的位置对应关系，从而提取采样点卫星遥感反射率数据。

三、结论与分析

(一) 反演模型的构建与精度评价

基于石佛寺水库的真实地理环境，本次研究选取landsat8-OLI数据中的1-7波段进行反演模型的建立。在20个采样点中，随机选取15个采样点数据建立反演模型，剩下5个采样点数据用于模型验证。对采样点叶绿素a质量浓度以及对卫星影像反射率数据进行分析，得到landsat8-OLI影像的1-7单波段数据与采样点叶绿素a质量浓度之间的相关性，如表2所示。

由表2可知，7个波段中B1-B4单波段与叶绿素a质量浓度相关性较高，分别达到了0.588，0.649，0.682，0.701，说明选取的landsat8-OLI卫星影像与水体叶绿素a质量浓度具有较好的相关性。这与黄灵光学者研究结果相似，均能说明landsat8-OLI单波段与叶绿素a质量浓度有很好的相关性^[4]。但是单波段影像数据中包含了大量冗余信息，会令反演结果产生较大误差，因此不利于反演模型建立。

表2 landsat8单波段与叶绿素a质量浓度相关性

波段	相关系数 (r)
B1	0.588
B2	0.649
B3	0.682
B4	0.701
B5	0.166
B6	0.235
B7	0.177

国内外众多学者研究提出，三波段法对于水体叶绿素a质量浓度的反演具有良好适用性，反演精度较高^[5-7]。三波段模型的表达式如下：

$$Chla \propto [R^{-1}(\lambda_1) - R^{-1}(\lambda_2)] \times R(\lambda_3)$$

式中 $R(\lambda_i)$ 为在 λ_i 波段处的水体反射率。各波段中，与水体叶绿素a质量浓度相关性最高的三个波段分别为B2、B3、B4。因此，研究选取B2、B3、B4三个波段建模，各模型与水体叶绿素a质量浓度的表达式及相关系数，如图2所示。图中三波段模型可以显著提高波段数据与水体叶绿素a质量浓度的相关性，其相关系数超过了单一波段与水体叶绿素a质量浓度的相关系数，其中 $[R^{-1}(B2) - R^{-1}(B4)] \times B3$ 模型与水体叶绿素a质量浓度相关性最高， R^2 达到了0.836。

选取相关性最高的 $[R^{-1}(B2) - R^{-1}(B4)] \times B3$ 模型，利用余下5组实测水体叶绿素a质量浓度数据进行精度验证。将对对应点位反射率数据带入模型，反演出5个预测叶绿素a质量浓度值，通过预测与实测叶绿素a质量浓度值相比，计算出相对误差，计算结果如表3所示。表中实测值与预测值相对误差平均值为15.04%，相对误差较小，相关性较强。通过分析可得预测值与实测值具有良好的线性相关关系， R^2 达到

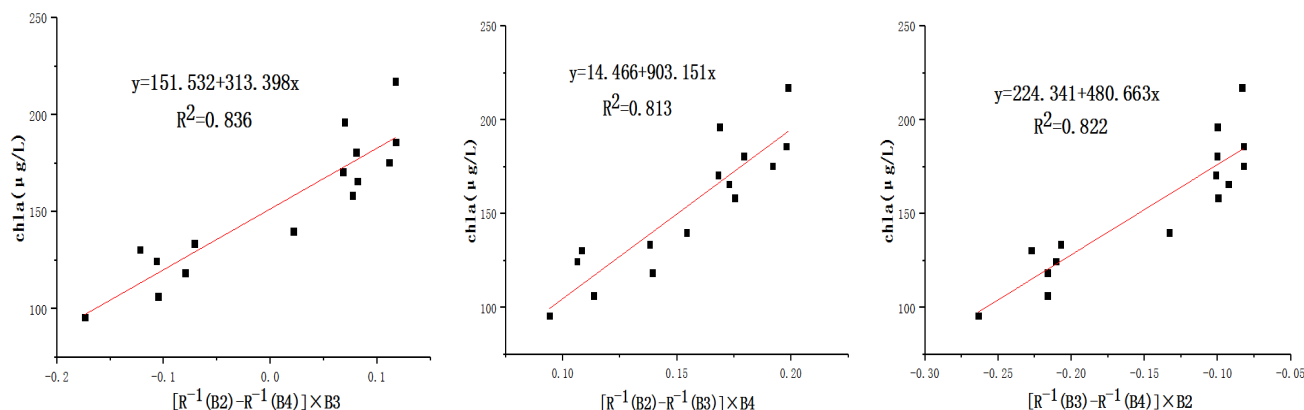


图2 三波段模型与叶绿素a质量浓度相关关系

了0.942，相关性较强，因此利用三波段模型对石佛寺水库叶绿素a质量浓度进行反演是可行的。

表3 叶绿素a质量浓度实测值与预测值相对误差

预测值 (μg/L)	实测值 (μg/L)	相对误差 (%)
184.73	160.42	15.16%
187.40	150.87	24.21%
181.68	190.07	4.42%
184.82	165.38	11.75%
186.53	155.90	19.65%

(二) 反演图的绘制及分析

研究选取基于Landsat8-OLI数据建立的模型，对石佛寺水库整体水域进行叶绿素a质量浓度反演，绘制石佛寺水库叶绿素a质量浓度空间分布图。利用ArcGIS软件进行图像的绘制，结果如图3所示。图中石佛寺水库整体叶绿素a质量浓度偏高，水库主河道叶绿素a质量浓度相对较高，这主要是因为水库水体流动性较差，水体交换频率较低。而人工湿地附近水域的叶绿素a质量浓度显著下降，说明石佛寺人工湿地的生态建设效果良好。图中石佛寺水库水体叶绿素a质量浓度分布与自然环境较为符合，能够体现反演结果的可靠性。

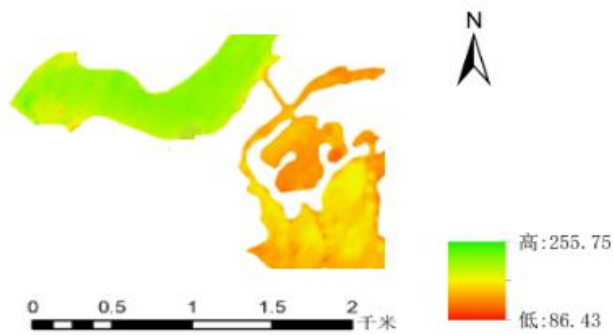


图3 石佛寺水库叶绿素a浓度反演图

四、结语

三波段模型可以显著提高波段数据与叶绿素a质量浓度的相关性，其中[R-1 (B2) -R-1 (B4)]×B3模型与水体叶绿素a质量浓度相关性最高，R²达到0.836。石佛寺水库整体叶绿素a质量浓度偏高，水库主河道叶绿素a质量浓度相对较高。这主要是因为水库水体的流动性较差，水体交换频率较低。而人工湿地附近水域叶绿素a质量浓度显著降低，说明石佛寺人工湿地的生态建设效果良好。

参考文献

[1]刘 剋, 黄家柱, 张 强. 太湖水体藻类叶绿素浓度高光谱遥感监测研究[J]. 南京师大学报, 2005, 28 (3) : 97-101.

[2]疏小舟, 尹球, 匡定波. 内陆水体藻类叶绿素浓度与反射光谱特征的关系[J]. 遥感学报, 2000 (01) : 41-45.

[3]周林飞, 康思宇, 张静. 不同淹水深度对香蒲生长状况、水质及底泥理化性质的影响[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 51 (1) : 1-11.

[4]黄灵光, 方豫, 张大文, 林联盛. 基于Landsat-8 OLI的鄱阳湖叶绿素a浓度定量反演[J]. 江西科学, 2016, 34 (04) : 441-444+456.

[5]Gitelson A, Garbuzov G, Szilagyi F, et al. Quantitative remote sensing methods for real-time monitoring of inland waters quality[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14 (7) : 1269-1295.

[6]Giorgio D, Anatoly A G. Effect of bio-optical parameter variability on the remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters: experimental results. [J]. Applied optics. 2005, 44 (3) .

[7]黄昌春, 李云梅, 徐良将, 等. 内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究[J]. 环境科学, 2013, 34 (02) : 525-531.

基金项目: 第二松花江源头区春季径流组份及关键因子识别 (320210037); 长春工程学院大学生创新创业训练计划资助项目, 桥梁建设对河流影响的研究与预测 (202111437045); 长春工程学院大学生创新创业训练计划资助项目, 地震作用下齿墙对重力坝稳定性影响的研究 (202111437237)。

作者简介:
康思宇 (1995-), 女, 辽宁省, 主要从事湿地生态环境研究。
通信作者: 孙 昊 (1994-), 男, 辽宁省, 主要从事水环境及3S技术应用研究。