

2000–2019 年呼伦湖透明度卫星遥感数据集

ISSN 2096-2223
CN 11-6035/N

吴弈秋^{1,2,3}, 许金朵⁴, 王贞⁴, 马荣华^{2,4,5*}



1. 南京信息工程大学, 地理科学学院, 南京 210044
2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 中国科学院流域地理学重点实验室, 南京 210008
3. 中国科学院大学, 南京学院, 南京 211135
4. 国家地球系统科学数据中心, 湖泊-流域分中心, 南京 210008
5. 草原生态安全省部共建协同创新中心, 呼和浩特 010021

摘要: 透明度是评估湖泊水质的重要参数, 监测湖泊透明度长期时空变化有助于了解水体水质与富营养化状态, 为维护生态安全和进行湖泊管理和生态修复提供支撑。本数据集以 MODIS Terra 卫星影像为原始数据, 去除云等干扰因素对透明度的影响, 计算了水体透明度 (即塞氏盘深度, Secchi disk depth, SDD), 获得呼伦湖 2000–2019 年透明度的时间序列数据。经验证, 数据集的决定系数 0.8, 均方根误差 21.27 cm, 满足监测需求。本数据集预期能够为呼伦湖长时序尺度的水环境遥感监测和环境治理提供数据支撑。

关键词: 透明度; 呼伦湖; MODIS; 环境管理; 长时序



文献 CSTR:

32001.14.11-6035.csd.2023.0091.zh



文献 DOI:

10.11922/11-6035.csd.2023.0091.zh

数据 DOI:

10.57760/sciencedb.07663

文献分类: 地球科学

收稿日期: 2023-04-19

开放同评: 2023-05-26

录用日期: 2023-07-19

发表日期: 2023-12-20

数据库 (集) 基本信息简介

数据库 (集) 名称	2000–2019 年呼伦湖透明度卫星遥感数据集
数据作者	吴弈秋, 许金朵, 王贞, 马荣华
数据通讯作者	马荣华 (rhma@niglas.ac.cn)
数据时间范围	2000–2019
地理区域	呼伦湖
空间分辨率	250 m
数据量	494.22 KB
数据格式	*.tif
数据服务系统网址	http://dx.doi.org/10.57760/sciencedb.07663
基金项目	中国科学院“十四五”网络安全和信息化专项 (CAS-WX2022SDC-SJ05, CAS-WX2021SF-0306)。
数据库 (集) 组成	本数据集主要包括 2000–2019 年 5–9 月呼伦湖塞氏盘深度 SDD 的年均数据, 每年一期, 总共 20 期, 这些数据保存为 1 个压缩文件 (Hulun Lake_Annual_SDD.zip)。还包括一份数据说明文档。

* 论文通信作者

马荣华: rhma@niglas.ac.cn

引言

呼伦湖（117°00'10"E–117°41'40"E，48°30'40"N–49°20'40"N）位于呼伦贝尔草原西部，属于我国五大湖区的蒙新湖区，湖泊面积约为 2339 km²，是内蒙古第一大湖。呼伦湖的最大水深为 8 m，平均水深为 5.7 m，蓄水量为 13.85 km³，对维持呼伦贝尔高原的草原–湖泊生态系统起到了关键作用^[1]。随着气候变暖和人类活动加剧，富含氮、磷等元素的工业废水被排放进入各大水体，导致了水体富营养化、藻类爆发等一系列生态问题，呼伦湖不仅面临着水位下降和面积萎缩的水量问题，更面临水体浑浊化和富营养化等生态问题^[2]。因此，监测呼伦湖水质变化，有助于实施呼伦湖生态修复，预防呼伦湖可能存在的生态问题，保障人类的正常生活。

水体透明度是衡量水体能见程度的量度，用于判断水体是否清澈，是评价湖泊水质状况的一个重要指标^[3]。塞氏盘深度（Secchi disk depth, SDD）是水体透明度的测量指标，已被使用近两个世纪^[4]。然而，常规野外调查的 SDD 监测方法常常耗费大量时间以及人力物力，难以实现湖泊大范围透明度的动态监测。闵岫等利用太湖 8 个长期常规监测站点，用塞氏盘法在每个点测定 3 次取均值，监测了太湖的逐月透明度^[5]。数据由每月月中旬采样获得，不能反映太湖每月透明度的整体情况，也没有监测整个太湖范围的透明度。此数据集仅包含 2007–2015 年太湖水体的透明度数据。

遥感手段具有监测范围广、成本低以及长时间监测的优势，可以弥补传统手段的不足，如利用扩散衰减系数和遥感反射率构建新模型计算 SDD^[6]，表明卫星遥感在构建长时间序列的呼伦湖透明度数据集的可行性^[7]。

本研究基于中等分辨率成像光谱仪 MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 传感器的 Terra 卫星影像为数据源，利用基于谷歌地球引擎（Google Earth Engine, GEE）平台，构建呼伦湖 SDD 遥感反演模型，生成了 2000–2019 共 20 年的呼伦湖透明度反演数据集。本数据集对于呼伦湖水质监测与评估，区域研究与生态保护具有重大意义，预期为呼伦湖透明度的时空分布、演变特征与驱动力因素提供数据基础，为呼伦湖生态修复、环境管理等提供理论依据。

1 数据采集和处理方法

1.1 MODIS 卫星数据下载

本数据集基于 MODIS Terra 卫星影像数据构建(<https://modis.gsfc.nasa.gov/>)^[8]。Terra 卫星于 1999 年 12 月发射升空，搭载了中等分辨率成像光谱仪 MODIS 传感器，至今仍正常运行。MODIS 具有较高的时间分辨率，可以在一天之内覆盖全球（除部分赤道低纬度地区）。MODIS 空间分辨率为 250–1000 m，可以在呼伦湖区域内得到有效数据。此外，MODIS 数据的光谱范围包含可见光与近红外波段，适用于对呼伦湖透明度的反演。

本文数据采用 GEE 平台上免费获取的 Terra 卫星 MODIS 陆地反射率产品（MYD09GA）。MYD09GA 提供了 7 个波段的光谱反射率，本研究使用的 2 个波段分别为波长为 645 nm 的红光波段（空间分辨率 250 m）、波长为 555 nm 的绿光波段（空间分辨率 500 m）。MOD09GA 针对大气条件（如瑞利散射、气体和气溶胶）进行了校准，后续监测过程中无需再进行大气校正等步骤。

1.2 数据处理

1.2.1 呼伦湖水体边界提取

MODIS 的水体反射率产品已经过大气校正处理,可直接用于后续操作。利用呼伦湖边界矢量文件对 MODIS 影像数据进行裁剪,获得呼伦湖区域的影像数据集。呼伦湖边界的矢量文件可以通过全球地表水(Global Surface Water, GSW)数据集裁剪得到,该数据集可从 GEE 平台上获取^[9]。GSW 全球地表水数据使用专家系统,将所有像元分为水体或非水体单元,并对从未被检测出水体的像元进行掩膜。基于水体频率(Occurrence)波段使用阈值超过 85%的像元作为水体。最终获得呼伦湖水体边界数据。

1.2.2 去除云层干扰

MYD09GA 产品包含数据质量评估(Quality Assurance, QA)波段。QA 波段一共 16 位,其中第 2 位代表云层阴影,第 10 位代表云层,第 13 位代表与云相邻的像元。每一位的储存数值为 1,判定该像元属于该位所代表的像元类型;为 0 判定该像元不属于该位所代表的像元类型。本文通过删除了所有在 QA 波段的 2、10、13 位数值为 1 的像元,去除云层对影像产生的干扰。

1.2.3 塞氏盘深度估算

本研究使用 645 nm 的红光波段和 555 nm 的绿光波段(空间分辨率 500 m)反演得到呼伦湖 SDD 值。当 SDD 值较低时,一般会通过监测 MODIS 在红光波段的水体反射率(R_{645})反演 SDD 值^[10]。当 SDD 值较高时,通过 MODIS 在绿光波段的水体反射率(R_{555})计算得到的 SDD 值更精确^[11]。Liu 等^[12]通过将 366 个全国湖泊实测 SDD 数据和相对应的无云水体反射率作为训练数据集,另外 123 组数据作为测试数据集,训练得到了使用 R_{645} 和 R_{555} 计算湖泊 SDD 的算法模型。为提高准确性,该算法通过中间变量 R 将函数分段:

$$R = \frac{R_{555} + R_{645}}{2\pi} \quad (1)$$

其中,其中 R_{555} 和 R_{645} 分别是 MOD09GA 在绿光和红光波段的表面反射率。除以常数 π 可以忽略双向效应将 R 从水体的表面反射率转化为离水反射率。

根据算法,当 $R=0.016$ 时,模型的效果最好,当水体具有高 SDD 值和低水体反射率时, SDD 的计算表达式为:

$$SDD = 1699.72 \times e^{-170.92 \times R}, R \leq 0.016 \quad (2)$$

当水体具有低高 SDD 值和较高水体反射率时, SDD 的计算表达式为:

$$SDD = 0.36 \times R^{-1.39}, R > 0.016 \quad (3)$$

通过上式计算求得 MODIS 影像中各像元的塞氏盘深度。

2 数据样本描述

本数据集对 2000–2019 年年均 SDD 统计结果出图展示,由于冬季冰雪覆盖等因素,数据集仅统计了 1–5 月呼伦湖 SDD 数据。最终呼伦湖 2000–2019 年 20 年 SDD 空间分布如图 1 所示。2000–2019

年间，呼伦湖最大年均 SDD 为 361 cm，大部分地区的 SDD 保持在 20–80 cm 间。呼伦湖透明度在 2003 年之前都维持在较高的水平，2003 年、2006–2009 年和 2011–2012 年，呼伦湖的透明度出现了剧烈下降，但在 2013 年以后又逐渐上升并维持高位，直到 2019 年再次小幅下降。

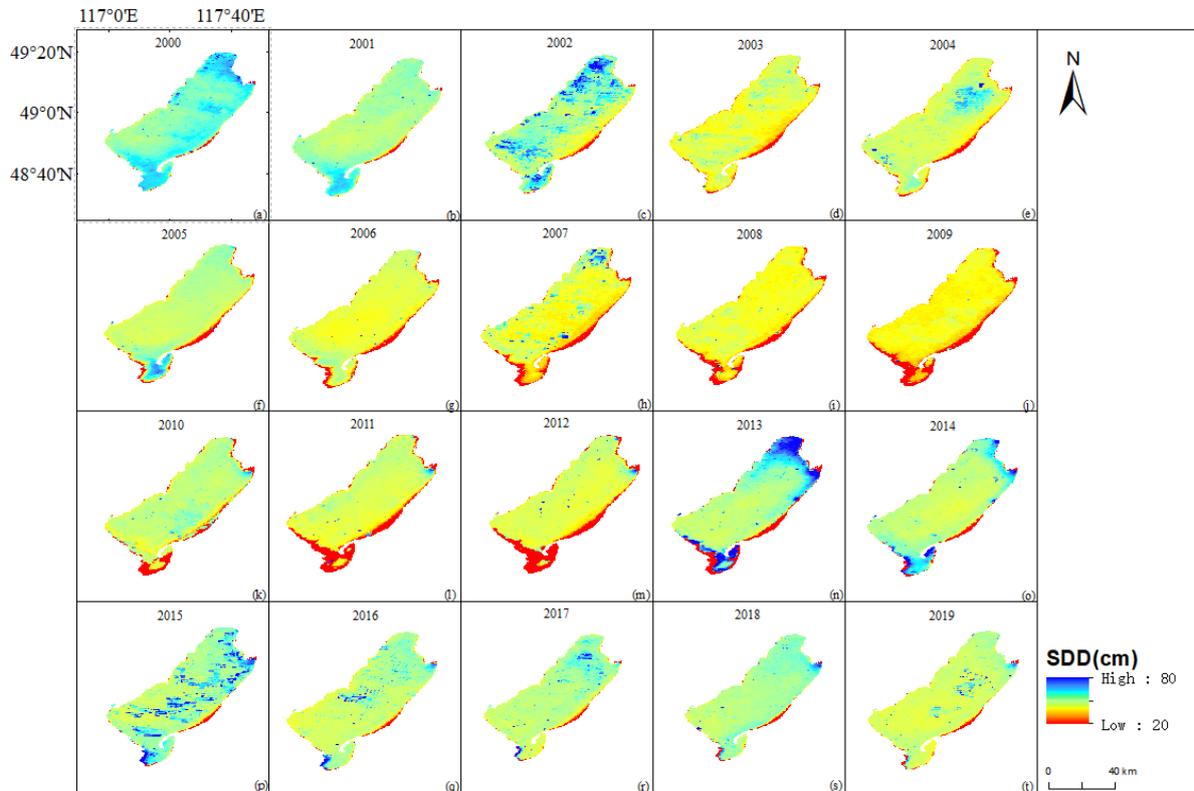


图 1 2000–2019 呼伦湖年均 SDD 空间分布图

Figure 1 The spatial distribution of annual average SDD of Hulun Lake during 2000-2019

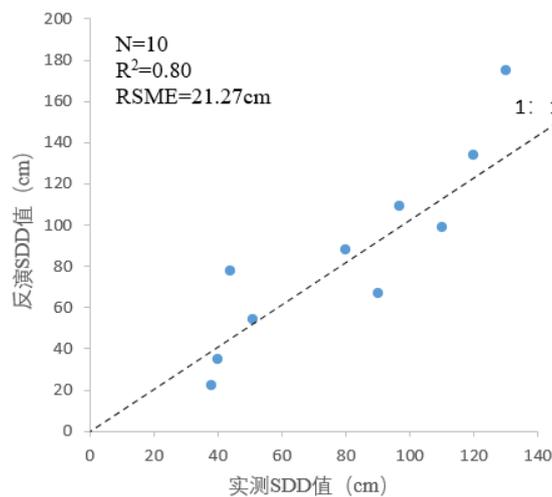


图 2 透明度实测值与反演值示意图

Figure 2 Comparison between in-situ SDD and MODIS-retrieved SDD

3 数据质量控制和评估

为保证数据集的准确性，本文通过呼伦湖现场实测 SDD 值数据对数据集进行准确性评估。选择

决定系数 (R^2)、均方根误差 (root mean square error, RMSE), 表达透明度反演值与现场实测值之间的拟合程度和绝对偏差。最终选取 10 组样本对透明度数据集进行精度验证。验证结果如图 2 所示, 决定系数 0.8, 均方根误差 21.27 cm, 数据具有参考价值, 可满足用户对数据集的精度要求。

4 数据使用方法和建议

本数据集直观地反映了呼伦湖 2000–2019 年水体透明度情况, 可以帮助观测监测呼伦湖水质情况。本数据集下载解压后为 tif 格式, 适配于各 GIS 专业软件的文件读取与编辑再加工。本数据集预期能够为呼伦湖长时间的水环境遥感监测和区域环境管理提供数据支撑。

致 谢

感谢美国国家航天局 (NASA, <https://www.nasa.gov>) 提供数据支撑以及 Google Earth Engine 提供数据处理支持 (<https://developers.google.com/earth-engine>)。感谢中国科学院南京地理与湖泊研究所曹志刚博士在论文撰写中提供的宝贵建议。

数据作者分工职责

吴弈秋 (1998—), 男, 江苏省南京市人, 硕士生, 研究方向为湖泊水生植被遥感监测。主要承担工作: 数据生产, 结果验证, 论文撰写和修改。

许金朵 (1982—), 女, 江苏省睢宁县人, 硕士, 工程师, 研究方向为数据库建设、数据共享和地图学与地理信息系统。主要承担工作: 数据准备, 数据整理与上传。

王贞 (1983—), 女, 河南安阳人, 硕士, 研究方向为地理信息制图。主要承担工作: 论文数据下载及处理、数据编辑。

马荣华 (1972—), 男, 山东省临沂市人, 博士, 研究员, 研究方向为湖泊环境遥感。主要承担工作: 总体思路设计, 论文修改。

参考文献

- [1] 刘建强, 石淇, 宋妍, 等. 基于 HY-1C 卫星的呼伦湖蓝藻遥感监测及对比研究[J]. 地理信息世界, 2022, 29(5): 35–38, 48. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1586.2022.05.007. [LIU J Q, SHI Q, SONG Y, et al. Remote sensing monitoring and comparison of cyanobacteria in Hulun Lake based on HY-1C satellite data[J]. Geomatics World, 2022, 29(5): 35–38, 48. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1586.2022.05.007.]
- [2] 万华伟, 康峻, 高帅, 等. 呼伦湖水面动态变化遥感监测及气候因素驱动分析[J]. 中国环境科学, 2016, 36(3): 894–898. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6923.2016.03.035. [WAN H W, KANG J, GAO S, et al. Study on dynamic change of Hulun Lake water area and climate driving force analysis[J]. China Environmental Science, 2016, 36(3): 894–898. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6923.2016.03.035.]
- [3] LI R Q, LI J. Satellite remote sensing technology for lake water clarity monitoring: an overview. Environmental Informatics Archives[M]. v.2. Saskatchewan: International Society for Environmental Information Sciences, 2004: 893–901.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=0bfa92c75e3b3c676af431b21c611a51a8714046>.

[4] OLMANSON L G, BAUER M E, BREZONIK P L. A 20-year Landsat water clarity census of Minnesota's 10, 000 lakes[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(11): 4086–4097. DOI: 10.1016/j.rse.2007.12.013.

[5] 闵岫, 钱荣树, 朱广伟, 等. 2007–2015 年太湖水体理化监测数据集[J/OL]. *中国科学数据*, 2020, 5(1). (2019-11-07). DOI: 10.11922/csdata.2019.0037.zh. [MIN S, QIAN R S, ZHU G W, et al. A physical and chemical monitoring dataset of Taihu Lake from 2007 to 2015 [J/OL]. *China Scientific Data*, 2022, 5(1). (2019-11-07). DOI: 10.11922/csdata.2019.0037.zh]

[6] LEE Z P, WEI J W, VOSS K, et al. Hyperspectral absorption coefficient of “pure” seawater in the range of 350–550 nm inverted from remote sensing reflectance[J]. *Applied Optics*, 2015, 54(3): 546–558.

[7] FENG L, HOU X J, ZHENG Y. Monitoring and understanding the water transparency changes of fifty large lakes on the Yangtze Plain based on long-term MODIS observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 221: 675–686. DOI: 10.1016/j.rse.2018.12.007.

[8] National Aeronautics and Space Administration (NASA)[EB/OL]. <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

[9] PEKEL J F, COTTAM A, GORELICK N, et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes[J]. *Nature*, 2016, 540(7633): 418–422. DOI: 10.1038/nature20584.

[10] LI N, SHI K, ZHANG Y L, et al. Decline in transparency of Lake Hongze from long-term MODIS observations: possible causes and potential significance[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(2): 177. DOI: 10.3390/rs11020177.

[11] 刘翀, 朱立平, 王君波, 等. 基于 MODIS 的青藏高原湖泊透明度遥感反演[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(5): 597–609. [LIU C, ZHU L P, WANG J B, et al. Remote sensing-based estimation of lake water clarity on the Tibetan Plateau[J]. *Progress in Geography*, 2017, 36(5): 597–609.]

[12] LIU D, DUAN H T, LOISELLE S, et al. Observations of water transparency in China's Lakes from space[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2020, 92: 102187. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102187.

论文引用格式

吴弈秋, 许金朵, 王贞, 等. 2000–2019 年呼伦湖透明度卫星遥感数据集[J/OL]. *中国科学数据*, 2023, 8(4). (2023-12-18). DOI: 10.11922/11-6035.csd.2023.0091.zh.

数据引用格式

吴弈秋, 许金朵, 王贞, 等. 2000–2019 年呼伦湖透明度卫星遥感数据集[DS/OL]. *Science Data Bank*, 2023. (2023-08-16). DOI: 10.57760/sciencedb.07663.

A dataset of water clarity of Hulun Lake from 2000 to 2019

WU YiQiu^{1,2,3}, XU JinDuo⁴, WANG Zhen⁴, MA Ronghua^{2,4*}

1. School of Geographical Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing

www.csdata.org | 6

210044, P. R. China

2. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

3. Nanjing, University of Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135, P. R. China

4. Lakes-Watershed Science Data Center, National Earth System Science Data Center, Nanjing 210008, P. R. China

5. Collaborative Innovation Center for Grassland Ecological Security (Jointly Supported by the Ministry of Education of China and Inner Mongolia Autonomous Region), Hohhot 010021, P.R. China

*Email: rhma@niglas.ac.cn

Abstract: Water clarity is a significant parameter for evaluating the water quality of lakes. Monitoring the long-term temporal and spatial changes of water clarity of lakes can provides valuable insights for evaluating water quality and eutrophication status of water bodies, as well as guiding lake environmental management and ecological restoration. With MODIS Terra satellite images, we excluded the influence of cloud cover and other interference factors to evaluate the water clarity (i.e. Secchi disk depth), and finally produced a dataset of water clarity of Hulun Lake from 2000 to 2019. It has been validated that the coefficient of determination of the dataset is 0.8, and the root mean squared error is 21.27cm, indicating its accuracy in meeting the monitoring requirements. This data set is expected to serve as a valuable resource for remote sensing-based water quality monitoring and environmental governance of Hulun Lake at a scale of long time series.

Keywords: water clarity; Hulun Lake; MODIS; environment management; long time series

Dataset Profile

Title	A dataset of water clarity of Hulun Lake from 2000 to 2019
Data author	WU Yiqiu, XU Jinduo, WANG Zhen, MA Ronghua
Data corresponding author	MA Ronghua (rhma@niglas.ac.cn)
Time range	2000–2019
Geographical scope	Hulun Lake
Spatial resolution	250 m
Data volume	494 KB
Data format	*.tif
Data service system	< http://dx.doi.org/10.57760/sciencedb.07663 >
Sources of funding	The 14th Five-Year Network Security and Informatization Plan of Chinese Academy of Sciences (CAS-WX2022SDC-SJ05, CAS-WX2021SF-0306).
Dataset composition	The dataset includes the annual average data of the Sechi disk depth (SDD) of Hulun Lake from May to September during 2000–2019. There are a total of 20 periods of data, and each contains one year's SDD data. All the data are saved in a compressed file (Hulun Lake_Annual_SDD.zip). A data description document is also attached.