

# 中国八大沙漠区湖泊时空分布数据集 (2000–2019)

冯祺宇<sup>1,2</sup>, 刘 凯<sup>1\*</sup>, 范晨雨<sup>1,3</sup>, 宋春桥<sup>1</sup>

1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 南京信息工程大学遥感与测绘工程学院, 南京 210044; 3. 中国科学院大学, 北京 100049

**摘 要:** 沙漠湖泊是维持沙漠地区生物多样性和生态系统稳定的重要环节, 及时准确掌握其时空变化特征对揭示区域水循环和生态环境变化具有重要意义。本研究基于全球地表水数据集 (JRC GSW 和 GLAD), 以中国八大沙漠 (塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、库姆塔格沙漠、柴达木沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠) 地区的湖泊为研究对象, 结合人工判读与质量控制, 形成了 2000–2019 年间中国八大沙漠的湖泊时空分布数据集。空间数据包括: (1) 中国八大沙漠的湖泊年内最大水体范围分布数据 (.shp); (2) 中国八大沙漠的湖泊年内永久水体分布数据 (.shp)。表格数据包括: (1) 2000–2019 年逐年中国沙漠湖泊最大水体数量与面积统计; (2) 2000–2019 年逐年中国沙漠湖泊永久水体数量与面积统计。数据集存储为.shp 格式, 由 321 个数据文件组成, 数据量为 32.3 MB (压缩为 1 个文件, 13.4 MB)。

**关键词:** 中国沙漠; 湖泊; 时空分布; 面积变化

**DOI:** <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.01.06>

**CSTR:** <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.01.06>

## 数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2021.09.05.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2021.09.05.V1>。

## 1 前言

我国是世界上沙漠分布最广泛的国家之一, 主要集中于西北干旱和半干旱气候区<sup>[1]</sup>。虽然沙漠是气候极端干旱的标志, 但在局部地表径流和地下水补给等作用下, 沙漠内部的低洼区域也会形成湖泊<sup>[2]</sup>。沙漠湖泊蓄积了沙漠地区珍贵的水源, 对维持区域生物多样性和生态系统的稳定发挥了重要作用。同时, 沙漠湖泊对气候变化响应敏感, 在叠加了人类活动干扰的情况下, 年际和年内波动特征均较为显著。目前, 已存在一些针对我国沙漠湖泊变化开展的遥感调查研究<sup>[2,4–6]</sup>, 但主要集中于巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠两个沙漠区的湖泊, 缺乏在全国尺度开展沙漠湖泊动态变化研究。

收稿日期: 2021-09-18; 修订日期: 2021-11-13; 出版日期: 2022-03-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2019YFA0607101); 中国科学院 (XDA23100102)

\*通讯作者: 刘凯, 中国科学院南京地理与湖泊研究所, [kliu@niglas.ac.cn](mailto:kliu@niglas.ac.cn)

数据引用方式: [1] 冯祺宇, 刘凯, 范晨雨等. 中国八大沙漠区湖泊时空分布数据集 (2000–2019) [J]. 全球变化数据学报, 2022, 6(1): 45–52. <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.01.06>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.01.06>.

[2] 冯祺宇, 刘凯, 范晨雨等. 中国八大沙漠区湖泊时空分布数据集 (2000–2019) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.09.05.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2021.09.05.V1>.

开展大区域尺度的湖泊动态变化研究需要有遥感技术和数据的支持，对于自然环境恶劣的沙漠地区更为如此。近年来，可用于湖泊动态变化监测的遥感数据产品越来越丰富，从 Landsat、Sentinel-2 等光学影像，到多种公开发布的全球湖库及水体数据产品<sup>[7]</sup>，都为探讨大区域、长时间序列的地表水体变化提供了可能性。本研究选择中国八大主要沙漠为研究区，综合采用了 JRC GSW 和 GLAD 水体数据产品<sup>[8,9]</sup>，构建了 2000–2019 年中国八大沙漠的湖泊时空分布数据集。该数据揭示了近 20 年来我国沙漠湖泊的整体变化趋势和时空格局，将为沙漠水文、沙漠生态、沙漠气候等研究提供基础数据。

2 数据集元数据简介

《中国八大沙漠区湖泊时空分布数据集（2000–2019）》<sup>[10]</sup>的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《中国八大沙漠区湖泊时空分布数据集（2000–2019）》元数据简表

条 目	描 述		
数据集名称	中国八大沙漠区湖泊时空分布数据集（2000–2019）		
数据集短名	DesertLakes_2000-2019		
作者信息	冯祺宇，中国科学院南京地理与湖泊研究所，南京信息工程大学遥感与测绘工程学院，201813350012@nuist.edu.cn 刘凯，中国科学院南京地理与湖泊研究所，kliu@niglas.ac.cn 范晨雨，中国科学院南京地理与湖泊研究所，fanchenyu_1996@163.com 宋春桥，中国科学院南京地理与湖泊研究所，cqsong@niglas.ac.cn		
地理区域	中国八大沙漠		
数据年代	2000–2019	时间分辨率	年
空间分辨率	30 m	数据格式	.shp
数据量	13.4 MB（压缩后）		
数据集组成	空间数据包括：（1）2000–2019 年中国八大沙漠的湖泊年内最大水体分布数据；（2）2000–2019 年中国八大沙漠的湖泊年内永久水体分布数据 表格数据包括：（1）2000–2019 年中国八大沙漠的湖泊年内最大水体数量与面积统计；（2）2000–2019 年中国八大沙漠的湖泊年内永久水体数量与面积统计。		
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2019YFA0607101）；中国科学院（XDA23100102）		
数据计算环境	ArcGIS, Google Earth Engine		
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>		
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所		
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据集和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 <sup>[11]</sup>		
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS		

3 数据研发方法

本研究处理方法流程如图 1 所示，主要包含四步。首先，参考《中国沙漠 1 : 10 万分布图集》数据集<sup>[12]</sup>所提供的中国八大沙漠的矢量范围，确定研究区范围。其次，根据沙漠范围下载了 JRC GSW 的全球地表水体数据集<sup>1</sup>，该数据集提供了多种不同定义的水体数据，本研究中主要选取了其中的逐年最大水体范围图层和逐年永久水体图层。此外，针对部分年份及区域 JRC GSW 数据存在数据缺失的问题，本研究中也采用马里兰大学全球土地分析和发现研究团队制作的 GLAD 全球水体数据集<sup>2</sup>作为补充。由于 GSW 和 GLAD 数据均表征了全部地表水体信息，因此第三步还需要去除水库、河流等其他自然水体。由于沙漠地区湖泊多为浅水湖，湖泊分裂和合并频繁发生<sup>[2]</sup>，因此在确定了湖泊水域范围的基础上，进一步需要对空间邻近的水体斑块予以属性合并。最后，我们结合历史影像数据进行了水体边界人工检查，消除水体内部细小空洞和极细碎的边界等。并且，我们为每个湖泊标注了其所在的湖区<sup>[3]</sup>与沙漠区。根据湖泊分布、成因、水环境、资源赋存和水文特征，结合中国西高东低的大地貌特征和南湿北干的气候条件，同时考虑便于统计的中国行政分区，把中国湖泊划分为 5 大湖区。本数据集涉及到两个湖区：青藏高原湖区（包括青海和西藏）和蒙新湖区（包括内蒙古、新疆、甘肃、宁夏、陕西、山西），其中，青藏高原湖区界线与青藏高原的自然界线存在一些差别，蒙新湖区的范围包含了黄土高原<sup>[3]</sup>。最终形成了 2000–2019 年逐年的中国八大沙漠区域湖泊分布数据集（ $>0.1\text{ km}^2$ ）。

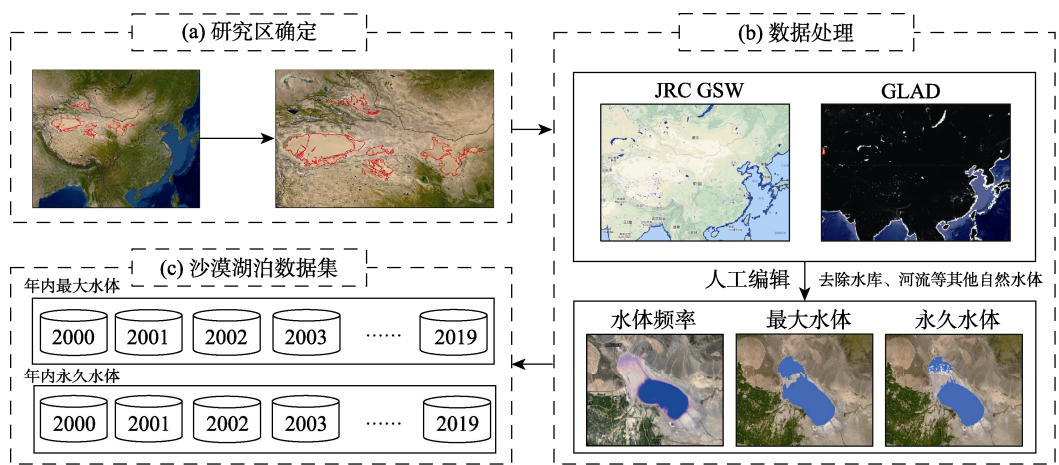


图 1 数据研发流程图

4 数据结果

4.1 数据集组成

《中国八大沙漠区湖泊时空分布数据集（2000–2019）》提供了研究时段中国八大沙漠逐年的湖泊空间分布数据。考虑到沙漠湖泊存在着显著的年内波动，因此本数据集包含了

<sup>1</sup> JRC GSW 的全球地表水体数据集. <https://global-surface-water.appspot.com/download>.

<sup>2</sup> 马里兰大学全球土地分析和发现研究团队制作的 GLAD 全球水体数据集. <https://glad.umd.edu/dataset>.

逐年的湖泊年内永久水体分布数据和年内最大水体数据两套湖泊水体产品，数据存储为 Shapefile 格式。此外，数据集中还提供了以表格形式存储的 2000–2019 年逐年中国沙漠湖泊最大水体数量与面积统计结果和 2000–2019 年逐年中国沙漠湖泊永久水体数量与面积统计结果。

## 4.2 数据结果

### 4.2.1 沙漠湖泊年际变化

2000–2019 年中国八大沙漠的湖泊年际变化显著。总体上湖泊数量和面积都呈现显著增加趋势，其中 2000 年沙漠湖泊总数量为 219 个，总面积为 1,502.62 km<sup>2</sup>，2019 年湖泊数量相比 2000 年增加了 98 个，增加幅度达到了 44.75%；湖泊面积增加了 258.64 km<sup>2</sup>，增幅为 17.21%。但八大沙漠的湖泊年际变化又呈现出一定的波动特征。如图 2 所示，以湖泊面积为例，2001、2009、2015 三个年份出现相对低值，而 2003、2011、2018 年则出现了明显的峰值，其中 2011–2015 年出现了一次较为明显的下降，湖泊总面积由 2011 年的 2,088.11 km<sup>2</sup> 减少到 1,280.11 km<sup>2</sup>，降幅达到了 38.70%。2009–2010 年的湖泊总面积跃升，主要是由于东（西）台吉乃尔湖面积的快速增加导致；而 2015–2016 年的沙漠湖泊总面积的突增，主要受艾比湖面积的大幅增加主导（增加了 263.19 km<sup>2</sup>）。这两次湖泊面积的快速跃升都和湖泊流域内所开展的生态补水有关，通过人为措施控制流域内的水资源耗损，保障并提高了入湖河流的总水量，从而引发湖泊范围的快速扩张。我们也注意到 2015–2016 年不仅是艾比湖年际快速增加，面积小于 10 km<sup>2</sup> 的湖泊面积也出现了大幅度的跃升。在排除人为活动影响的情况下，基本可以将这一异常变化归结于 2016 年超强厄尔尼诺现象的影响。该年度的气象资料显示，全国平均年降水量 730.0 mm，较常年偏多 16%，其中新疆偏多 43%，为 1961 年以来最高值<sup>[12]</sup>。异常增加的降水引发了沙漠湖泊特别是小型沙漠湖泊的快速扩张。统计显示，2015–2016 年间，中国八大沙漠内小型湖泊（0.1–10 km<sup>2</sup>）的总面积由 149.18 上升至 256.07 km<sup>2</sup>，增幅达到了 71.66%。如此大幅度的扩张也表明沙漠湖泊相比较其他类型湖泊，对气候变化具有更加敏感响应特征。

我们的研究也表明不同沙漠的湖泊变化趋势也呈现出一定的区域差异性（图 3）。其中古尔班通古特沙漠、乌兰布和两个沙漠的湖泊近年来呈现萎缩趋势，而其他六个沙漠的湖泊则表现为不同程度的扩张。扩张最为显著区域的是塔克拉玛干沙漠，在过去 20 年湖泊数量增加了 56 个，湖泊面积增加了 269.35 km<sup>2</sup>，面积增幅达到了 518.75%。该区域沙漠湖泊面积的增加主要受到英库尔海子（86.83°E, 40.79°N）、赛萨依特库勒（86.73°E, 40.87°N）和台特玛湖（88.29°E, 39.34°N）等湖泊的主导，尤其是台特玛湖作为 2000 年以来的新增湖泊，2019 年的面积已达到了 100.50 km<sup>2</sup>。此外，巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠是现有沙漠湖泊研究中涉及较多的两个区域，研究表明：2000 年以来巴丹吉林沙漠湖泊数量增加了 9 个，湖泊总面积则从 22.55 增加到 69.93 km<sup>2</sup>，对面积增加起主导作用的湖泊是额日央川吉音淖（101.67°E, 41.93°N），增加了 35.10 km<sup>2</sup>，占该沙漠湖泊面积增加值的 74.08%。腾格里沙漠的湖泊变化相对较为平稳，近 20 年数量增加了 13 个，湖泊面积增加了 4.09 km<sup>2</sup>。此外，库姆塔格沙漠直至 2016 年才出现了湖泊。

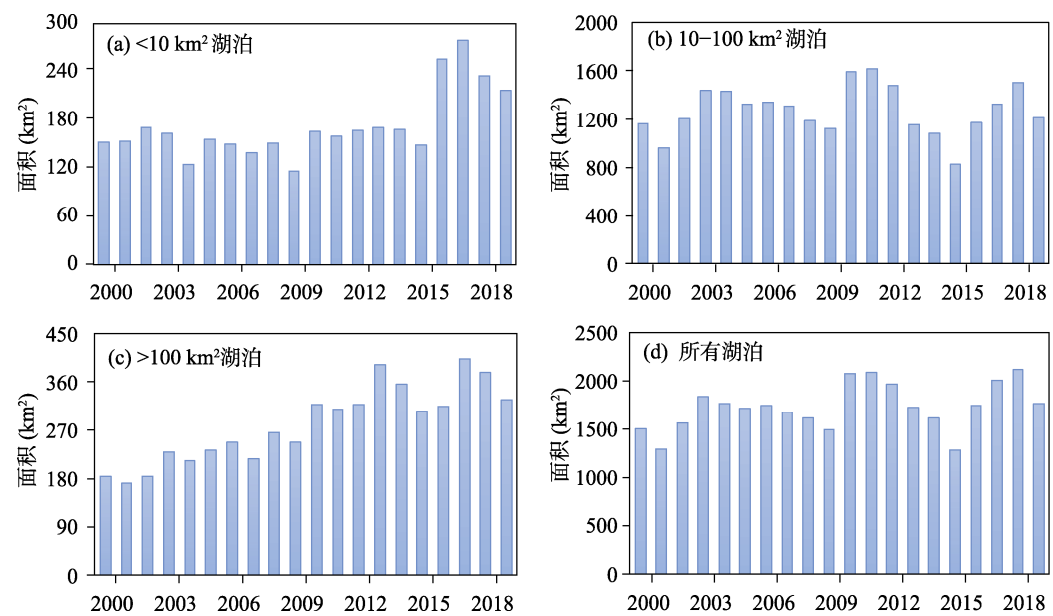


图 2 2000–2019 年中国八大沙漠的湖泊总面积变化趋势

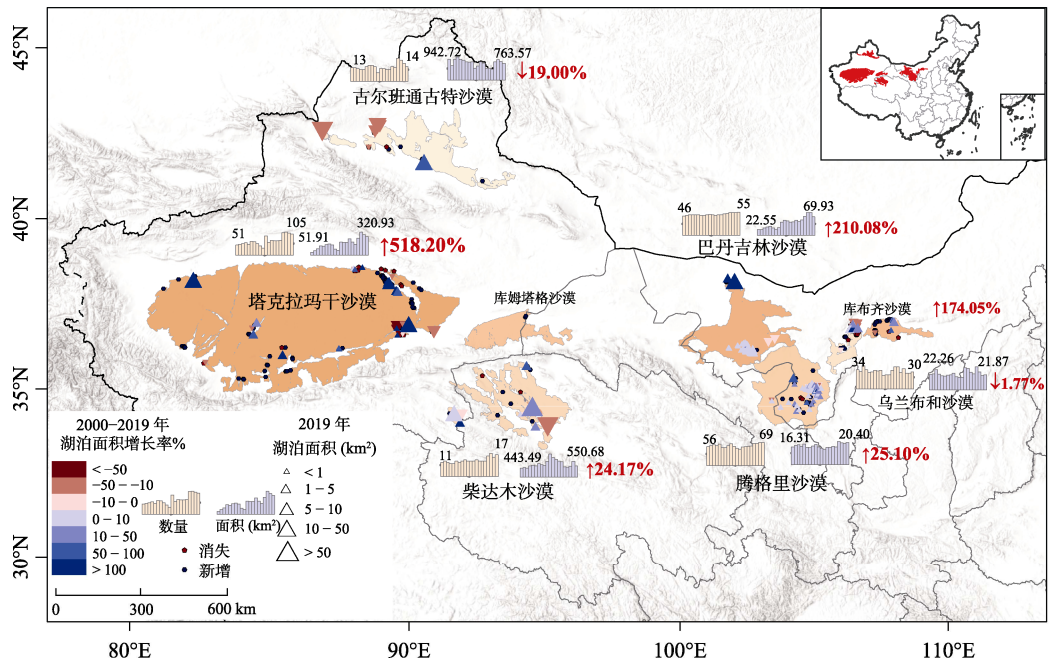


图 3 2000–2019 年中国八大沙漠的湖泊数量和面积的变化区域特征

#### 4.2.2 沙漠湖泊面积季节性变化特征

本研究中将季节性水体定义为年内最大水体范围与年内永久水体的差值, 季节性水体占比为季节性水体与最大水体的比值。受季节性水体变化影响较大的沙漠, 即绝大多数年份季节性水体占比超过 50% 的沙漠有塔克拉玛干沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠和库姆

塔格沙漠。其中, 塔克拉玛干沙漠季节性水体占比最高值为 2000 年的 88.49%, 之后随着湖泊面积的增加季节性水体占比逐渐下降, 2019 年降为 46.26%。腾格里沙漠季节性水体占比十分稳定, 基本都在 60%–70% 之间上下波动, 且稳定在 63.64% 左右, 并且结合年际变化来看腾格里沙漠湖泊数量和面积也相对稳定。乌兰布和沙漠季节性水体占比几乎都在 60% 以上, 只有 2009–2011 年三年间减少到了 55.92%, 而在 2016 年达到最高值 76.80%, 该沙漠本身湖泊面积都比较小, 因此季节性水体对总体湖泊面积的影响较大。

受季节性水体影响相对较小的沙漠, 即绝大多数年份季节性水体占比小于 50% 的有古尔班通古特沙漠、柴达木沙漠和巴丹吉林沙漠。其中, 古尔班通古特沙漠受季节性水体影响最小, 季节性水体占比常年低于 30%, 2019 年甚至只有 7.50%, 该沙漠的特殊性在于艾比湖的面积占比超过了 90%, 大型湖泊的季节性波动相对较小。柴达木沙漠的湖泊季节性变化不太稳定, 2009 年季节性水体占比达到的 57.72%, 而 2012 年则降低为 25.24%, 但大部分年份位于 30%–50% 之间。巴丹吉林沙漠随着其湖泊面积的逐年增加季节性水体占比也呈现出上升趋势, 2000 年时湖泊的季节性水体占比为 26.16%, 而 2016 年以后均在为 50% 以上。库布齐沙漠由于其本身湖泊面积都小于 10 km<sup>2</sup>, 所以季节性水体占比波动很大, 最低 2011 年为 27.99%, 最高 2019 年为 75.05%, 多年平均值约为 52.26%。

#### 4.2.3 驱动因素探讨

充足的水源补给是维持沙漠湖泊的根本, 但沙漠湖泊水来源还没有一个统一的结论, 现有的观点主要概括为: 降水补给、远源补给和近源补给。大气降水补给认为湖泊主要补给源当地大气降水和降水入渗所形成的地下水<sup>[14,15]</sup>。远源补给认为湖水来源是遥远地区的降水和冰雪融水, 通过断层、裂隙等地下渗漏通道补给<sup>[16,17]</sup>。近源补给认为湖水来自沙漠周围地区的降水下渗补给<sup>[18]</sup>。本研究并不涉及对沙漠湖泊补给来源和补给途径的具体探讨, 但这现有研究总结出的沙漠湖泊补给方式均极易受到气候变化的影响。多年观测数据显示, 沙漠湖泊集中分布的我国西北地区气候在过去 20 年呈现出温度升高、降水增加的暖湿化趋势<sup>[19–21]</sup>, 沙漠湖泊较少受人类活动的直接影响, 显著增加的降水可以解释近 20 年中国八大沙漠的湖泊显著扩张的趋势。事实上, 不仅仅是沙漠湖泊, 我国西北地区大部分受人类活动影响较少的湖泊, 也均呈现出较为显著的扩张趋势。但相比较而言, 沙漠湖泊的年际变化的波动特征更为显著, 这也体现出沙漠湖泊对气候变化具有敏感响应特征。此外, 在西北干旱半干旱区, 尤其是塔克拉玛干沙漠地区的湖泊变化还受到人为措施的影响, 如近年来对台特玛湖的生态补水, 是该湖泊面积显著扩张的重要原因之一。虽然, 气候暖湿化和一定程度的人工生态修复能够解释近 20 年来中国沙漠湖泊尺度总体扩张的趋势特征, 但对不同沙漠间和不同沙漠内部的湖泊变化的区域差异性特征, 还需要结合更详细的气象观测以及水文、地质、地貌等多要素的综合分析, 这也是从揭示沙漠的变化特征到理解其变化机制的必由之路。

#### 4.3 数据对比分析

现有关于中国沙漠湖泊时空变化的研究主要集中在巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠, 研究<sup>[2,4]</sup>显示这两个沙漠自 2000 年以来湖泊面积和数量均呈现一定增加的趋势, 这与我们的研究结论基本一致, 但具体变化幅度有显著差异。例如颜长珍等<sup>[2]</sup>发现 2000–2015 年期间

腾格里沙漠大于  $0.1 \text{ km}^2$  的湖泊面积增加了  $6.85 \text{ km}^2$ , 而本研究则显示该时间段湖泊的最大水体范围只增加了  $0.08 \text{ km}^2$ 。差异的主要原因在于两项研究采用了不同数据源和湖泊范围的定义标准。颜长珍等在研究中采用了某一时刻遥感影像所呈现的瞬时水体范围定义其所在年份的湖泊范围, 具体采用了每年 6–9 月间云量小于 10% 的某一时刻的 TM 或 OLI 影像提取水体范围; 而本研究中的湖泊范围则是一个统计学概念, 即利用年内所有可用影像, 先生成水体的分布频率数据, 进而得到年内湖泊水体的最大边界范围和永久边界范围。以上两种思路在大区域尺度的湖泊时空变化研究中均有应用, 但针对沙漠湖泊我们认为后者相对更为合理。其主要原因在于: 沙漠湖泊本身面积较小, 季节性水体的比例远大于大型湖泊, 因而如果采用瞬时水体进行年际分析, 分析结果极易受到水体的年内波动的影响。而本研究同时提供了年内最大水体范围和年内永久水体范围, 基本避免了因数据时相选择的差异所引入的季节性水体的干扰。

## 5 总结

本数据集提供了 2000–2019 年中国八大沙漠的湖泊 ( $>0.1 \text{ km}^2$ ) 时空分布数据。结合数据分析显示: 近 20 年中国八大沙漠的湖泊数量和面积变化具有显著的年际变化特征, 沙漠湖泊总体呈现较为显著的扩张趋势, 总面积由 2000 年的  $1,502.63 \text{ km}^2$  增加到了 2019 年的  $1,761.65 \text{ km}^2$ , 增幅为 17.24%。不同沙漠间也呈现显著的区域差异性特征, 其中塔克拉玛干沙漠、巴丹吉林沙漠、柴达木沙漠、腾格里沙漠、库布齐沙漠、库姆塔格沙漠湖泊呈现扩张趋势, 古尔班通古特沙漠、乌兰布和沙漠的湖泊范围则出现总体萎缩。湖泊面积增加幅度最大的是塔克拉玛干沙漠, 主要由英库尔海、塞萨依特和台特玛湖等几个湖泊的快速扩张主导。减少最多的是古尔班通古特沙漠。相比较现有分析结果, 本研究在水体频率数据的基础上生成了湖泊年内最大水体范围和年内永久水体范围, 克服了采用单一瞬间水体范围进行年际变化分析时, 易受到沙漠湖泊季节性水体影响的缺陷, 使得年际分析结果具有更强的合理性和可信度。该数据集提供了近 20 年来我国长时序、高精度的沙漠湖泊时空分布信息, 能够为沙漠地区的水资源利用和生态环境保护提供基础数据, 同时也可探讨气候变化背景下我国干旱半干旱区的水文生态的响应特征提供科学参考。

**作者分工:** 刘凯、宋春桥对数据集的开发做了总体设计; 冯祺宇、范晨雨采集和处理了中国八大沙漠区湖泊数据; 冯祺宇、刘凯设计了模型和算法; 冯祺宇做了数据验证; 冯祺宇、刘凯撰写了数据论文等。

**利益冲突声明:** 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

## 参考文献

- [1] Lu, H., Yi, S., Xu, Z., *et al.* Chinese deserts and sand fields in Last Glacial Maximum and Holocene Optimum [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(23): 2775–2783.
- [2] 颜长珍, 李森, 逯军峰等. 1975–2015 年腾格里沙漠湖泊面积与数量[J]. 中国沙漠, 2020, 40(4): 183–189.



- [3] 马荣华, 杨桂山, 段洪涛等. 中国湖泊的数量、面积与空间分布[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(3): 394–401.
- [4] 张振瑜, 王乃昂, 吴月等. 1973–2010年巴丹吉林沙漠腹地湖泊面积空间变化的遥感分析[J]. 湖泊科学, 2013, 25(4): 514–520.
- [5] 邵天杰, 赵景波, 董治宝. 巴丹吉林沙漠湖泊及地下水化学特征[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 662–672.
- [6] 曹乐, 聂振龙, 姜高磊等. 基于 GF 卫星解译巴丹吉林沙漠湖泊水量变化[J]. 人民黄河, 2020, 42(7): 40–45.
- [7] Messenger, M. L., Lehner, B., Grill, G., *et al.* Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach. [J]. *Nature communications*, 2016, 7: 13603.
- [8] 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.
- [9] Pickens, A. H., Hansen, M. C., Hancher, M., *et al.* Mapping and sampling to characterize global inland water dynamics from 1999 to 2018 with full Landsat time-series [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 243: 111792.
- [10] 冯祺宇, 刘凯, 范晨雨等. 中国八大沙漠区湖泊时空分布数据集 (2000–2019) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.09.05.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2021.09.05.V1>.
- [11] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [12] 中国西部环境与生态科学数据中心. 中国沙漠 1 : 10 万分布图集[EB/OL]. <http://westdc.westgis.ac.cn.2006-08-10>.
- [13] 中国气象局科技与气候变化司. 2016 年中国气候公报[R]. 气象公报, 2017-05-25.
- [14] 马妮娜, 杨小平. 巴丹吉林沙漠及其东南边缘地区水化学和环境同位素特征及其水文学意义[J]. 第四纪研究, 2008(4): 702–711.
- [15] 王涛. 巴丹吉林沙漠形成演变的若干问题[J]. 中国沙漠, 1990(1): 32–43.
- [16] 陈建生, 赵霞, 盛雪芬等. 巴丹吉林沙漠湖泊群与沙山形成机理研究[J]. 科学通报, 2006(23): 2789–2796.
- [17] 陈建生, 凡哲超, 汪集旻等. 巴丹吉林沙漠湖泊及其下游地下水同位素分析[J]. 地球学报, 2003(6): 497–504.
- [18] 丁宏伟, 王贵玲. 巴丹吉林沙漠湖泊形成的机理分析[J]. 干旱区研究, 2007(1): 1–7.
- [19] 李明, 孙洪泉, 苏志诚. 中国西北气候干湿变化研究进展[J]. 地理研究, 2021, 40(4): 1180–1194.
- [20] 黄小燕, 李耀辉, 冯建英等. 中国西北地区降水量及极端干旱气候变化特征[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1359–1370.
- [21] 胡子瑛, 周俊菊, 张利利等. 中国北方气候干湿变化及干旱演变特征[J]. 生态学报, 2018, 38(6): 1908–1919.