

陈阳,吕萍,曹敏,等.腾格里沙漠湖泊群小气候特征及其对气候变化的响应[J].中国沙漠,2024,44(2):231-238.

腾格里沙漠湖泊群小气候特征及其对气候变化的响应

陈阳,吕萍,曹敏,夏子书,马芳,余军林

(陕西师范大学 地理科学与旅游学院,陕西 西安 710119)

摘要: 沙漠湖泊对气候变化的响应相较于其他湖泊更敏感,同时湖泊也对局地气候有一定的反馈。当前国内对沙漠湖泊的研究主要在巴丹吉林沙漠,腾格里沙漠也存在诸多沙漠湖泊,然而相关研究较少。基于全球地表水体数据集分析腾格里沙漠湖泊区2001—2020年水体面积变化,结合该区域气温、风速、降水量、蒸发量等数据,利用趋势分析、灰色关联分析、皮尔逊相关性分析等方法,探究腾格里沙漠湖泊群对气候变化的响应机制及湖泊对局地气候的反馈作用。结果表明:(1)在2001—2020年,湖泊群面积处于波动状态,相对变率为10.05%~13.66%。(2)湖泊区年均气温和风速波动较小,年降水量和年蒸发量呈波动上升趋势。(3)湖泊对气候变化的响应表现为湖泊群面积与气温呈负相关,与降水量呈正相关;湖泊对局地气候的反馈表现为沙漠湖泊区的气温和降水量高于非湖泊区。

关键词: 沙漠湖泊; Google Earth Engine; 响应与反馈; 腾格里沙漠; 气候变化

文章编号: 1000-694X(2024)02-231-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00170

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

0 引言

湖泊作为沙漠生态系统的重要组成部分,具有重要的生态调节作用,其变化可对周围的生态环境产生一定的影响,进而影响到沙区群众的生产生活。影响湖泊变化的因素包括自然因素^[1-2]和人为因素^[3-4]等。干旱区湖泊的变化是干旱区气候变化的重要指征和信号^[5],较其他地区湖泊对气候变化的反应更加灵敏^[6]。湖泊在对气候变化有所响应的同时也会对局地气候产生一定的反馈作用。

近年来关于国内沙漠湖泊动态的研究主要在巴丹吉林沙漠^[7-10],腾格里沙漠湖泊的相关研究较少。乔江等^[11]基于遥感影像数据对腾格里沙漠内湖泊动态变化进行了研究,发现常年积水湖泊的面积和数量都有所增加;颜长珍等^[12]基于 Landsat 影像提取了多期湖泊时空数据,对湖泊年际变化及其影响因素进行了分析,认为降水波动对腾格里沙漠湖泊的年际变化影响较大; Nan 等^[13]利用 MODIS 数据研究了腾格里沙漠湖泊对局地气温的影响,发现

湖泊区在冬季的年尺度和夜间的日尺度上表现出暖岛效应。虽然以上研究表明腾格里沙漠湖泊与气候变化有相关性,但相关作用机制尚不明确。

随着遥感技术的发展可获得不同时空尺度和精度的水体数据集^[14-16]和气候再分析数据^[17-19],这为干旱区湖泊及局地气候变化研究提供了数据基础。Google Earth Engine(GEE)的云端数据提取和处理功能^[20]为开展研究提供了高效的方法和手段。本研究选取腾格里沙漠湖泊区和沙漠腹地非湖泊区为研究区域,基于 GEE 采用全球地表水体数据集和中国区域气象要素驱动数据集,统计分析腾格里沙漠湖泊区 2001—2020 年湖泊群面积及气候因子变化情况,并对两者之间的互馈作用进行讨论,以期揭示沙漠湖泊和气候之间相互作用的机制,为开展西北地区水资源和生态安全的保护提供科学依据。

1 研究区概况

腾格里沙漠位于阿拉善地区东南部,地处干旱

收稿日期:2023-09-28; 改回日期:2023-12-27

资助项目:国家自然科学基金项目(42271006);中央高校基本科研业务费专项项目(GK202202004)

作者简介:陈阳(2000—),女,陕西商洛人,硕士研究生,研究方向为风沙地貌、干旱区气候。E-mail:15991706386@163.com

通信作者:吕萍(E-mail:lvping@lzb.ac.cn)

区和半干旱区过渡带,是中国第四大沙漠,面积约4.3万 km^2 ,海拔1 200~1 400 m。沙漠内分布着沙丘、残丘、湖泊、草地、山地及平原等多种地貌。风沙地貌类型主要包括流动沙丘、固定及半固定沙丘。沙漠湖泊群集中分布在沙漠中东部地区。湖泊集中区沙山和湖泊有规律地分布,基本呈东北-西南走向分布。以沙漠湖泊集中分布的区域为研究区,位于 $38^{\circ}28'—38^{\circ}53'N$ 、 $104^{\circ}35'—105^{\circ}13'E$,海拔1 300~1 400 m。研究区年平均气温 $8\sim 11^{\circ}\text{C}$,

年降水量130~300 mm,年蒸发量1 100~1 800 mm,10 m高度年均风速 $2.8\sim 3.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,气候干旱,降水稀少,具有显著的大陆性气候特征。为了探究湖泊对局地气候的反馈作用,在沙漠腹地划分非湖泊区分析其气候和湖泊区气候的差异,同时为了减少纬度差异和海拔高度造成对比结果的影响,在沙漠内选择同海拔同纬度的非湖泊区作为对比区域,对比区与研究区大小一致,位于 $38^{\circ}28'—38^{\circ}53'N$ 、 $103^{\circ}50'—104^{\circ}28'E$ (图1)。

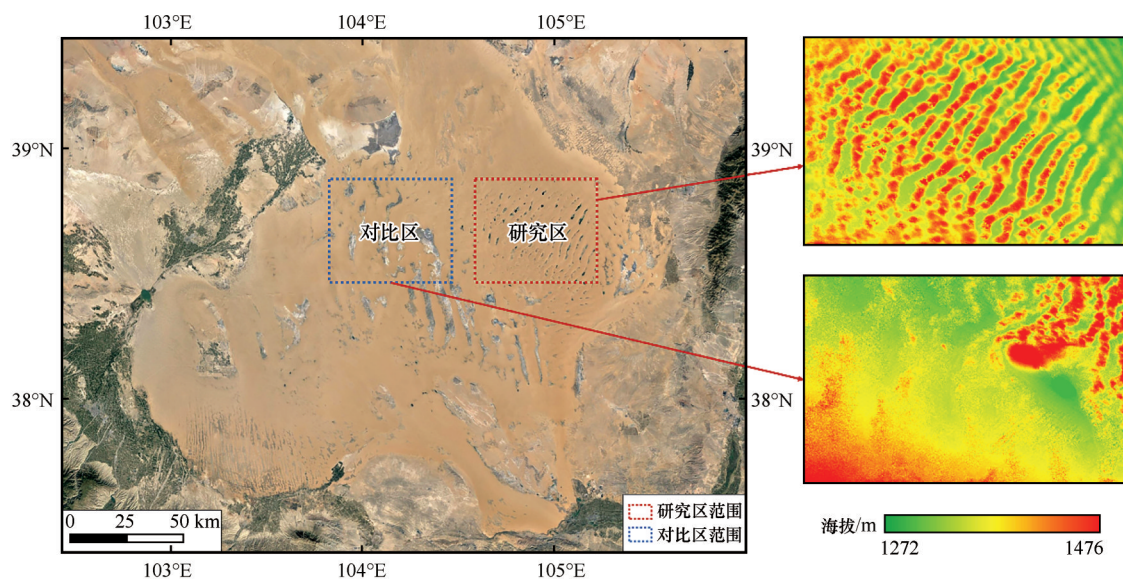


图1 研究区位置及其海拔

Fig.1 The location of the study area and its elevation

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

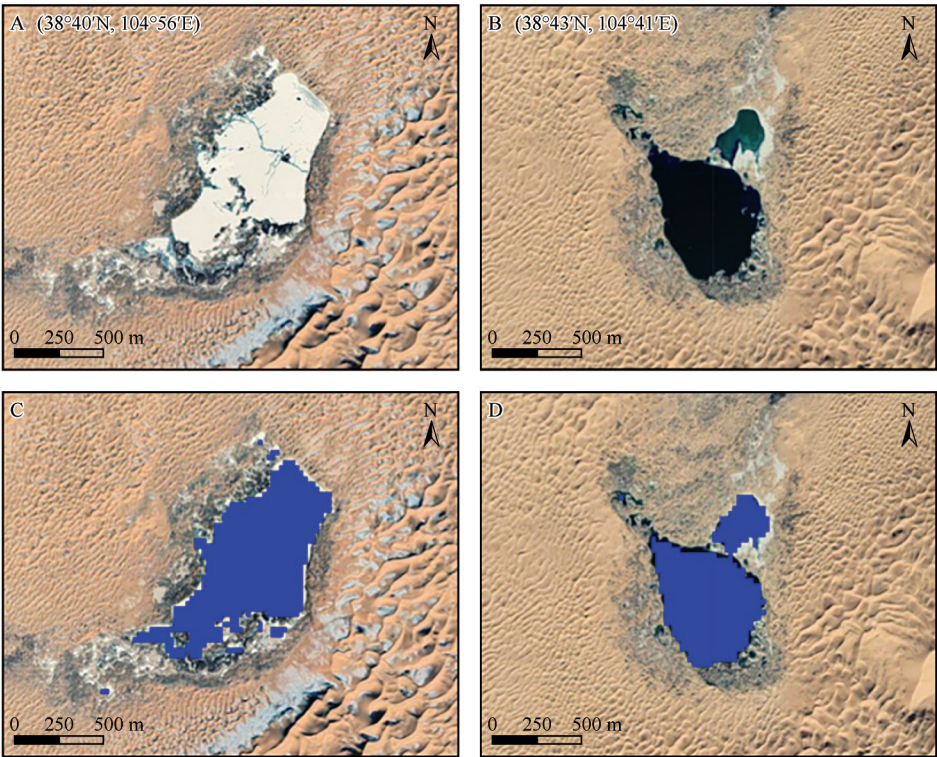
2.1.1 湖泊群面积

水体数据来自欧盟委员会联合研究中心提供的全球地表水体数据集 JRC-GSW (European Commission's Joint Research Centre, JRC; Global Surface Water, GSW)^[14],该数据集根据 Landsat 系列遥感影像提取,将影像每个像元分为水体和非水体像元并整理成逐月数据和逐年数据,经精度评估后表明 JRC-GSW 在中国区域有较高的精度和质量^[21]。Aires 等^[22]通过对多个不同水体数据集进行比较后认为 JRC-GSW 适用于面积较小湖泊的研究。腾格里沙漠湖泊群湖泊数量多,面积较小,因此 JRC-GSW 能够满足本研究要求。JRC-GSW 可利用 GEE 平台的云计算功能直接提取并在线统计得到水体面积。

由于腾格里沙漠湖泊面积存在较大的季节波动^[23],因此本研究通过 GEE 将研究区内 6 个月及以上均存在的水体像元识别为湖泊并统计(图 2),从而获得湖泊群逐年面积。

2.1.2 气候数据

气候数据来自于国家青藏高原科学数据中心 (<http://data.tpdc.ac.cn>) 发布的中国区域地面气象要素驱动数据集 (CMFD)^[24]和第三极地区长时间序列高分辨率地面气象要素驱动数据集 (TPMFD)^[25],其中 2001—2018 年数据来自于 CMFD,2019、2020 年数据来自于 TPMFD。以上数据集是以国际上现有的再分析资料、卫星遥感数据以及中国气象局观测数据制作而成,相对于国际上的其他气候再分析数据集空间尺度更小,更适用于中国地区的研究^[26-29]。本研究提取了数据集中包含的研究区 2001—2020 年的近地面气温、风速、降水的逐月数据,经处理后得到逐年数据(表 1)。其中 CMFD 的风速数据为



注：C、D 分别为 A、B 对应的年内存在 6 个月及以上的水体提取结果

图 2 通过 GEE 提取的水体

Fig.2 Water area extracted by GEE

表 1 数据来源及其分辨率

Table 1 The source and resolution of the data

数据	来源	时间分辨率	空间分辨率
水体面积	JRC Monthly Water History	1 月	30 m
气温、风速及 降水量	CMFD	1 月	0.1°
	TPMFD	1 月	0.05°
蒸发量	MOD16A2	8 天	500 m

2 m 高度风速,因此需要对风速进行转换:

$$U_{10}=0.17+1.08U_2$$

该公式依据腾格里沙漠东南缘建立的 50 m 风沙观测塔实测的 2 m(U_2)和 10 m(U_{10})高度风速拟合而来^[30]。

另外为了探究湖泊变化与蒸发量的关系,本研究还选用了 MOD16A2 产品的蒸发数据,通过 GEE 云平台获取并直接在线对年内蒸发量数据累加从而得到年蒸发量数据。

2.2 分析方法

2.2.1 趋势分析

采用线性趋势估计法对湖泊群面积和各气候

参数进行趋势分析。本研究采用最小二乘法进行一元线性回归,并将各组时间序列数据及其变化通过折线变化图和趋势线可视化。

2.2.2 灰色关联分析

灰色关联分析是分析系统内部各因素发展变化的关联程度的一种分析方法,适用于样本数量较少的数据分析,可通过灰色关联度的大小判断某指标的不同影响因素对其的重要性程度。本研究分辨率为 0.5,对灰色关联度大小的结果判定采用如下定义:数值大于 0.7 为重要因素,0.5~0.7 为相对重要因素,其余为不重要因素。

2.2.3 皮尔逊相关性分析

湖泊群面积与不同气候参数有不同程度的相关性,各气候因子之间也有不同程度的相互作用。本研究采用皮尔逊相关系数对湖泊群面积和 4 种气候参数进行相关性分析,显著性检验为双尾。本研究对分析结果采用以下定义:相关系数 r 的正负代表相关性的正负;相关系数 r 的绝对值为 (0,0.1]、(0.1,0.4]、(0.4,0.6]、(0.6,0.9]、(0.9,1] 时,相关程度分别为极弱、弱、中等、强、极强。

3 结果与分析

3.1 湖泊群面积及其变化

在2001—2020年,腾格里沙漠湖泊群面积最大值为 16.01 km^2 (2009年),最小值为 12.56 km^2 (2011年),平均值为 14.55 km^2 ,相对变率为 $10.05\%\sim 13.66\%$ 。湖泊群面积在2001—2020年处于波动变化之中(图3)。线性趋势线斜率接近0,表明研究区在2001—2020年的水体面积总体上没有明显增加或减少的趋势。其中2009—2011年湖泊群面积变化波动最大,由最大值 16.01 km^2 迅速减小至最小值 12.56 km^2 ,减少了 21.55% 。

考虑到湖泊群对气候变化的响应可能存在滞后性,因此本研究对湖泊群面积进行了移动平均。移动平均可明显减少随机波动对趋势变化分析的影响,5年的平均周期可统计出一定时间尺度湖泊变化趋势。移动平均结果显示:在2001—2020年,湖泊群面积整体上呈微弱的先减小后增加的变化趋势(图3)。

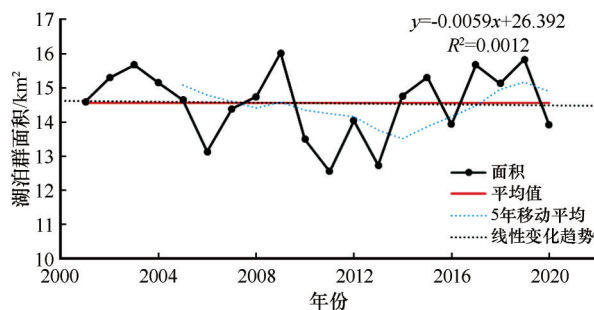


图3 2001—2020年腾格里沙漠湖泊群面积变化趋势

Fig.3 Trends of lake area in Tengger Desert from 2001 to 2020

3.2 湖泊区气候因子变化

气温、降水量是表征某地区气候变化的基础参数。沙漠地区风沙活动强烈,湖泊区蒸发强度大^[31],因此本研究将风速和蒸发量作为气候因子参数进行分析研究。2001—2020年,湖泊区年均气温和10 m高度风速的整体波动较小,年降水量和年蒸发量有波动增加的趋势,其中年蒸发量的变化速率为 $139.5\text{ mm}/10\text{a}$,通过了信度 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,故年蒸发量呈显著性增高的趋势(图4)。

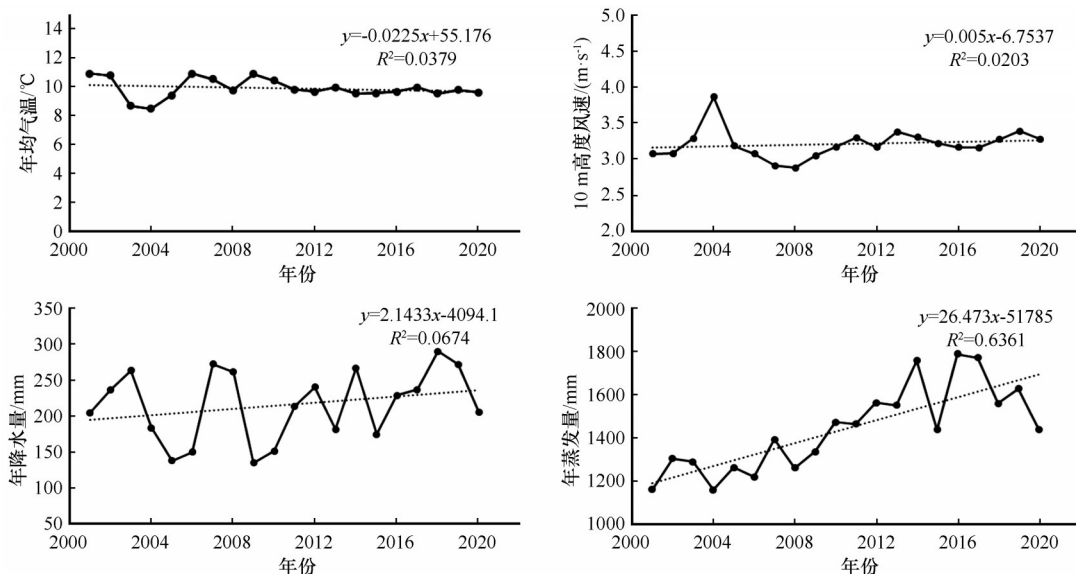


图4 2001—2020年腾格里沙漠湖泊区气候因子变化趋势

Fig.4 Trends of climate factors in the lake area of the Tengger Desert from 2001 to 2020

从图4可以看出,2004年的各项气候因子和其他年份相比有较明显的偏离。在2004年,研究区的10 m高度风速($3.86\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)为最大值,年均气温($8.46\text{ }^{\circ}\text{C}$)、年蒸发量($1\,158.43\text{ mm}$)为最小值。

3.3 湖泊对气候变化的响应

湖泊群面积与年均气温、10 m高度风速、年降

水量、年蒸发量的灰色关联度分别为 0.762 、 0.782 、 0.619 、 0.665 。这说明年均气温和10 m高度风速是影响湖泊群面积的重要因素,年降水量和年蒸发量是影响湖泊群面积的相对重要因素。

通过对湖泊群面积、年均气温、10 m高度风速、年降水量和年蒸发量这5组数据进行皮尔逊相关性分析(表2),发现湖泊群面积与风速、年蒸发量的相

表 2 湖泊群面积和不同气候因子之间的相关性分析
Table 2 Correlation analysis of lake group area and different climatic factors

	湖泊群 面积	年均 气温	10 m 高度 风速	年降 水量	年蒸 发量
湖泊群面积	1				
年均气温	-0.176	1			
10 m 高度风速	0.026	-0.675**	1		
年降水量	0.268	-0.259	-0.076	1	
年蒸发量	-0.040	-0.128	0.049	0.395*	1

注：*和**分别表示在 $P<0.05$ 水平显著相关和 $P<0.01$ 水平极显著相关。

关程度极弱($r=0.026$, $r=-0.040$),与年均气温呈弱负相关($r=-0.176$),与年降水量的相关程度相对其他气候因子较高,呈弱正相关($r=0.268$)。另外,各气候因子之间也有不同程度的相关性。研究区气温和风速呈极显著性负相关,相关系数 $r=-0.675$ ($P<0.01$),年降水量和年蒸发量呈显著性正相关,相

关系数 $r=0.395$ ($P<0.05$)。
从灰色关联分析和皮尔逊相关性分析结果可得出湖泊与气候变化的响应关系:湖泊群面积受气温、风速、降水量及蒸发量不同程度的影响;面积随着气温升高而减小,随着降水量增加而增大;湖泊群面积与 10 m 高度风速和年蒸发量的直接响应关系较弱。

3.4 湖泊对局地气候的反馈

通过对研究区 and 对比区的气候因子进行对比,可以明显看出两区域的气候有一定的差异(图 5)。对研究区 and 对比区的气候因子 20 年平均值进行对比分析(表 3),发现研究区的年均气温、年降水量及年蒸发量的 20 年平均值均大于对比区,研究区风速二十年平均值小于对比区。研究区年均气温相对对比区高约 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,10 m 高度风速相对对比区小约 $0.12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,年降水量相对对比区高约 20.26 mm,年蒸发量相对对比区高约 292.56 mm。

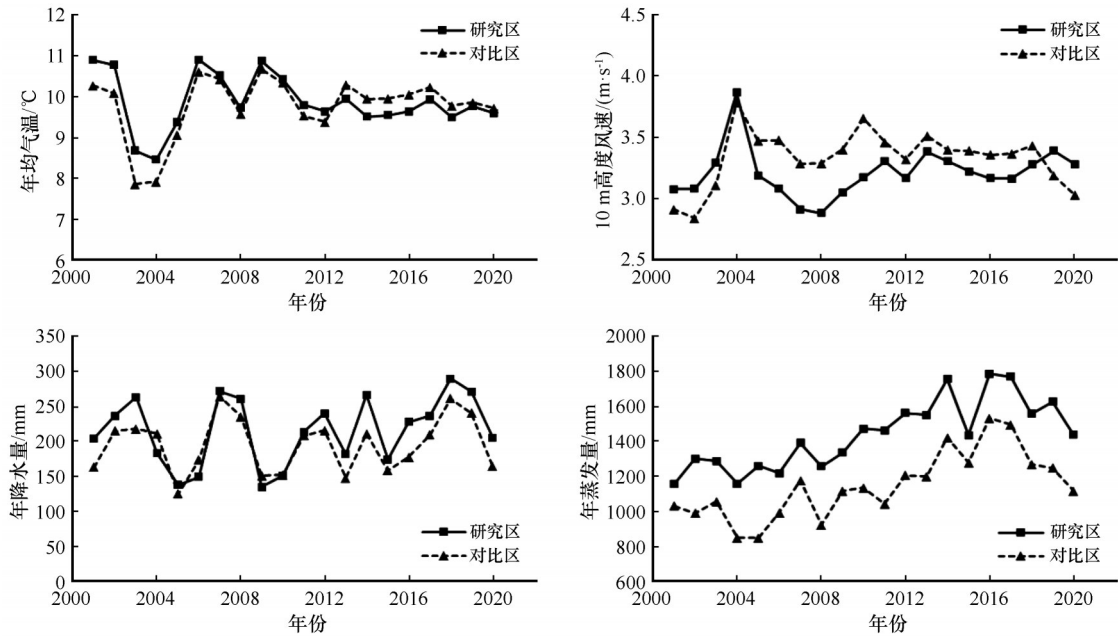


图 5 研究区 and 对比区 2001—2020 年气候因子变化对比
Fig.5 Comparison of changes in climate factors in the study area and the comparison area from 2001 to 2020

表 3 研究区 and 对比区 2001—2020 年气候因子平均值的对比
Table 3 Comparison of average values of climatic factors in the study area and comparison area from 2001 to 2020

区域	年均气温 / $^{\circ}\text{C}$	10 m 高度风速 / $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	年降水量 /mm	年蒸发量 /mm
研究区	9.88	3.21	215.00	1439.50
对比区	9.78	3.33	195.26	1146.94

根据以上对比结果,可以发现湖泊对局地气候的反馈作用主要表现为:沙漠内有湖泊的区域相较于非湖泊区域气温和降水量更高。

4 讨论

2001—2020 年腾格里沙漠湖泊群面积整体上没有明显的增加或减少的趋势,但从逐年变化情况

来看,湖泊群始终处于波动之中,面积相对变率为10.05%~13.66%。由于采用的数据源和选取的时空范围不同,本文与乔江等^[11]、颜长珍等^[12]的研究结果有所不同。

本文通过灰色关联分析和皮尔逊相关性分析对湖泊对气候变化的响应关系进行了研究。皮尔逊相关性分析结果显示湖泊群面积与风速、蒸发量的直接相关性极弱,但灰色关联分析结果表明风速、蒸发量分别是影响湖泊群面积的重要因素和相对重要因素,推测可能是样本量过少导致前者没有显著性结果。但皮尔逊相关性分析结果显示了湖泊群面积与各气候因子参数的正负相关性,且与颜长珍等^[12]的研究结论相一致,即湖泊群面积与气温呈负相关、与降水量呈正相关。在本研究涉及到的4项气候因子参数中,与湖泊群面积相关性最大的为降水量,这与丁永建等^[1]的研究结论一致,即干旱区湖泊受降水量影响较为明显。同时在前人的研究中还对沙漠湖泊变化和人为因素的相关性进行了讨论研究^[32-33],人为活动会对沙漠湖泊变化有一定影响,后续可对此作进一步探究。

本文通过对湖泊区和非湖泊区域气候因子的对比探究了湖泊群对于局地气候的反馈作用。研究发现,湖泊区的年均气温、年降水量、年蒸发量的20年平均值高于非湖泊区,风速的20年平均值小于非湖泊区。图5显示湖泊区年均气温不是始终高于非湖泊区的,推测是因为本研究的年均气温数据是由数据集提供的逐月气温平均得来,Nan等^[13]对腾格里沙漠湖泊区的研究认为湖泊区冬季的地表温度在年尺度上显著高于非湖泊区(即“暖岛效应”),夜间的地表温度在日尺度上显著高于非湖泊区,因此其他时段两区域间的温度可能有不同的大小关系。结合对湖泊区各气候因子相关性的分析(表2)及前人的研究^[34],推测造成湖泊区气温和降水量高于非湖泊区这一现象有以下两个原因:一是湖泊区沙山湖泊交错分布,湖盆内风速较小,且湖泊区有较非湖泊区更丰富的地下水,地下水补给湖泊水的过程中会释放热量,具有一定的保温作用,因此湖泊区气温较高;二是湖泊区水量较丰富,有更强烈的蒸散发活动,因此空气湿润,有较高的水汽含量,从而有高于非湖泊区的降水量。

干旱区对于气候变化的响应极为敏感,在全球气候变化的背景下,干旱区的湖泊及其水循环更加复杂多变^[35]。本文对腾格里沙漠湖泊与气候系统

的研究仅反映了两者之间响应与反馈的关系,目前还没有进行具体的量化关系的相关研究,后续可通过数值模拟等手段对其进行研究并对未来变化进行预测。

5 结论

腾格里沙漠湖泊群面积在2001—2020年处于波动变化之中,湖泊群面积平均值为14.55 km²,相对变率为10.05%~13.66%。湖泊区的气温和风速波动变化较小,降水量和蒸发量整体上呈波动增加的趋势。湖泊群对气候变化有不同程度的响应,主要表现在湖泊面积变化与气温呈负相关,与降水量呈正相关;同时湖泊又对局地气候有一定的反馈,主要体现在沙漠腹地湖泊区的气温、降水量不同程度高于非湖泊区。

参考文献:

- [1] 丁永建,刘时银,叶柏生,等.近50 a中国寒区与旱区湖泊变化的气候因素分析[J].冰川冻土,2006,28(5):623-632.
- [2] Nsubuga W N F, Mearns F K, Adeola M A. Lake Sibayi variations in response to climate variability in northern KwaZulu-Natal, South Africa [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, 137(1/2): 1233-1245.
- [3] 杨立彬,黄强,武见,等.红碱淖湖泊面积变化影响因素及预测分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(3):74-78.
- [4] Singh D, Rai P S, Kumar B, et al. Study of hydro-chemical characteristics of Lake Nainital in response of human interventions, and impact of twentieth century climate change [J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(20): 1380.
- [5] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊,等.论中国干旱区湖泊研究的重要意义[J].干旱区研究,2007(2):137-140.
- [6] 吕妍,王让会,蔡子颖.我国干旱半干旱地区气候变化及其影响[J].干旱区资源与环境,2009,23(11):65-71.
- [7] 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.
- [8] 朱金峰,王乃昂,李卓仑,等.巴丹吉林沙漠湖泊季节变化的遥感监测[J].湖泊科学,2011,23(4):657-664.
- [9] 熊波,陈学华,宋孟强,等.基于RS和GIS的沙漠湖泊动态变化研究:以巴丹吉林沙漠为例[J].干旱区资源与环境,2009,23(8):91-98.
- [10] 张克存,奥银焕,屈建军,等.巴丹吉林沙漠湖泊-沙山地貌格局对局地小气候的影响[J].水土保持通报,2014,34(5):104-108.
- [11] 乔江,裴浩,王永利,等.腾格里沙漠内湖泊及湖盆绿洲的动态研究[J].内蒙古气象,2006(2):26-28.
- [12] 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.

- [13] Nan M, Nai'ang W, Liqiang Z, et al. Warm Island Effect in the Lake Region of the Tengger Desert Based on MODIS and Meteorological Station Data[J]. *Atmosphere*, 2021, 12(9): 1157.
- [14] Jean-François P, Andrew C, Noel G, et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes[J]. *Nature*, 2016, 540(7633): 418–422.
- [15] 陈军, 廖安平, 陈利军, 等. 全球30 m分辨率人造地表覆盖数据集(2010)的内容与研发[J]. *全球变化数据学报(中英文)*, 2017, 1(2): 136–148.
- [16] Feng, Sexton, Channan, et al. A global, high-resolution (30-m) inland water body dataset for 2000: first results of a topographic-spectral classification algorithm[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2016, 9(2): 113–133.
- [17] Jie H, Kun Y, Wenjun T, et al. The first high-resolution meteorological forcing dataset for land process studies over China[J]. *Scientific Data*, 2020, 7(1): 1–11.
- [18] Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. The ERA5 global reanalysis[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2020, 146(730): 1999–2049.
- [19] 中国第一代全球大气和陆面再分析产品(CRA)用户手册[EB/OL]. (2021-05)[2021-05]. <http://data.cma.cn/data/index/98555d0119fa185a.html>.
- [20] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, et al. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 18–27.
- [21] 江威. 多源卫星遥感数据陆表水体产品生成方法研究[J]. *测绘学报*, 2023, 52(2): 347.
- [22] Aires F, Prigent C, Fluet-Chouinard E, et al. Comparison of visible and multi-satellite global inundation datasets at high-spatial resolution[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 216: 427–441.
- [23] 来婷婷, 王乃昂, 黄银洲, 等. 2002年腾格里沙漠湖泊季节变化研究[J]. *湖泊科学*, 2012, 24(6): 957–964.
- [24] 阳坤, 何杰, 唐文君, 等. 中国区域地面气象要素驱动数据集(1979–2018)[DS]. 时空三极环境大数据平台. <https://doi.org/10.11888/AtmosphericPhysics.tpe.249369>. file. <https://cstr.cn/18406.11.AtmosphericPhysics.tpe.249369.file>.
- [25] 阳坤, 姜尧志, 唐文君, 等. 第三极地区长时间序列高分辨率地面气象要素驱动数据集(TPMFD, 1979–2020)[DS]. 国家青藏高原科学数据中心. <https://doi.org/10.11888/Atmos.tpd-300398>. <https://cstr.cn/18406.11.Atmos.tpd-300398>.
- [26] 赵彤, 赵梦凡, 周秉荣, 等. 三种再分析气温降水资料在青藏高原的适用性评价[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2023, 17(3): 116–125.
- [27] 丁光旭, 郭家力, 汤正阳, 等. 多种降水再分析数据在长江流域的适用性对比[J]. *人民长江*, 2022, 53(9): 72–79.
- [28] 高黎明, 张乐乐, 沈永平, 等. ERA-Interim和CMFD气象驱动数据在新疆额尔齐斯河流域的适用性评价[J]. *冰川冻土*, 2022, 44(1): 179–187.
- [29] 闫伟兄, 赵俊芳, 杨洋. GHCN-CAMS和CMFD两种尺度再分析资料对宁夏气温反映能力评估[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(12): 2061–2072.
- [30] 董治宝, 苏志珠, 钱广强, 等. 库姆塔格沙漠风沙地貌[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 167–168.
- [31] 韩鹏飞, 王旭升, 胡晓农, 等. 巴丹吉林沙漠湖泊水面蒸发与气象要素的动态关系[J]. *干旱区研究*, 2018, 35(5): 1012–1020.
- [32] 徐丹蕾, 丁靖南, 伍永秋. 1989–2014年毛乌素沙地湖泊面积[J]. *中国沙漠*, 2019, 39(6): 40–47.
- [33] 王理想, 蔡明玉, 白雪莲, 等. 乌兰布和沙漠东南缘湖泊群消涨与驱动因素[J]. *中国沙漠*, 2020, 40(2): 59–67.
- [34] 张洵赫, 王乃昂, 赵力强, 等. 基于MODIS数据的巴丹吉林沙漠冬季暖岛空间分布特征及其研究[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2015, 51(2): 180–185.
- [35] Huang J, Yu H, Dai A, et al. Drylands face potential threat under 2 °C global warming target[J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(6): 417–422.

Microclimate characteristics of Tengger Desert lakes and its response to climate change

Chen Yang, Lv Ping, Cao Min, Xia Zishu, Ma Fang, Yu Junlin

(School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: Desert lakes are more sensitive to climate change than other lakes, and the lakes also have some feedback to local climate. At present, the research on desert lakes in China is mainly concentrated in the Badain Jaran Desert, and there are many desert lakes in the Tengger Desert, but there are relatively few related studies. Based on the global surface water dataset, this paper analyzes the changes of water area in the Tengger Desert lakes from 2001 to 2020, combined with the data of temperature, wind speed, precipitation and evaporation in the region, and uses trend analysis, grey correlation analysis and Pearson correlation analysis to explore the response mechanism of the Tengger Desert lakes to climate change and the feedback effect of the lakes on the local climate. The results showed that: (1) During the period from 2001 to 2020, the area of lakes in the Tengger Desert fluctuated, and the relative variability rate was 10.05%–13.66%. (2) The annual average temperature and wind speed in the Tengger Desert lake area fluctuated little, and the annual precipitation and annual evaporation showed a fluctuating upward trend. (3) The response of the Tengger Desert lakes to climate change showed that the area of lakes was negatively correlated with temperature and positively correlated with precipitation. The feedback of lakes to the local climate was that the temperature and precipitation in the desert lake area were higher than those in the non-lake area.

Key words: desert lakes; Google Earth Engine; response and feedback; Tengger Desert; climate change