

程雅平,樊启顺,陈天源,等. 柴达木盆地湖泊快速扩张主要影响因素[J]. 盐湖研究, 2024, 32(2): 38-44.

Cheng Y P, Fan Q S, Chen T Y, et al. Main influencing factors for the rapid expansion of lakes in the Qaidam basin[J]. Journal of Salt Lake Research, 2024, 32(2): 38-44.

DOI: 10.12119/j.yhyj.202402006

# 柴达木盆地湖泊快速扩张主要影响因素

程雅平<sup>1,2,3</sup>, 樊启顺<sup>1,2\*</sup>, 陈天源<sup>1,2</sup>, 李庆宽<sup>1,2</sup>, 张永兴<sup>4</sup>

- (1. 中国科学院青海盐湖研究所, 中国科学院盐湖资源综合高效利用重点实验室, 青海 西宁 810008;  
2. 青海省盐湖地质与环境重点实验室, 青海 西宁 810008; 3. 中国科学院大学, 北京 101408;  
4. 中国地质调查局西宁自然资源综合调查中心, 青海 西宁 810008)

**摘要:**柴达木盆地是中国盐湖集中分布区和资源化工产业基地, 湖泊快速扩张明显影响着水资源利用、盐湖资源保护和湖区生态环境。文章收集柴达木盆地气象数据和前人研究的盆地内17个典型盐湖面积变化数据, 结合报道的青藏高原温度和降水增幅率及冰川物质平衡观测数据, 探究柴达木盆地湖泊快速扩张主要影响因素。结果表明: 柴达木盆地温度和降水量数据呈现同步增加, 但增幅不同且不同位增长的特征, 该特征是导致不同空间位置湖泊扩张的影响因素; 降水增幅引起的流域水量增补是盆地中东部湖泊快速扩张的主要原因; 温度增幅明显引起的冰雪融水补给增加是盆地西部湖泊缓慢扩张的主要原因。

**关键词:**柴达木盆地; 湖泊; 快速扩张; 影响因素

中图分类号: X524

文献标志码: A

文章编号: 1008-858X(2024)02-0038-07

青藏高原是全球面积最大、海拔最高的高原, 孕育了亚洲多条大江大河, 也是中国湖泊分布最多的区域, 被称为“亚洲水塔”, 在自然界水循环和水平衡中发挥重要作用<sup>[1]</sup>。由于青藏高原独特的地理位置和气候特征, 其湖泊的水位、面积和水量对气候变化极其敏感<sup>[2-5]</sup>。研究表明, 自1980—2018年以来青藏高原气温增加0.42 °C/10 a, 降水量增加12 mm/10 a, 总体呈现暖湿化趋势。相应地, 自2000—2018年, 青藏高原冰川消融量达到 $340 \times 10^8$  t, 而湖泊总水量增加了 $166 \times 10^8$  t<sup>[3]</sup>。气候变暖, 降水增加, 冰川质量损失和冰冻圈退化<sup>[6,7]</sup>引起的湖泊快速扩张已成为青藏高原最显著的环境变化之一<sup>[8]</sup>。

盐湖是我国特色矿产资源之一, 也是生态系统的重要组成部分, 对国民经济的发展和生态系统的保护有着重要意义<sup>[9]</sup>。柴达木盆地是青藏高原乃至中国盐湖的集中分布区, 以钾、钠、镁、硼、锂为主体的盐类资源总储量达 $3\ 315.4 \times 10^8$  t, 潜在经济价值巨大<sup>[10]</sup>。在青藏高原暖湿化气候背景下, 柴达木盆

地的湖泊或者盐湖总体呈扩张趋势, 这对湖区的生态环境及当地基础设施造成一定影响<sup>[11]</sup>, 也使得部分盐湖淡化和资源品位快速下降<sup>[12,13]</sup>。前人对柴达木盆地湖泊面积变化做了大量研究, 获得主要结论如下: 1) 流域降水和河流径流的增加促使尾间湖泊水量增加<sup>[14-16]</sup>; 2) 温度升高引起的流域山区冰雪融水加快是柴达木盆地湖泊扩张的主要影响因素<sup>[17,18]</sup>; 3) 两者共同作用于湖泊变化<sup>[19-21]</sup>; 4) 盐湖因其较高的经济价值而大量开采, 人为因素也作用于盐湖变化<sup>[22]</sup>。这些研究表明, 不同的盐湖或者不同区域湖泊变化的影响因素是不同的, 需要进一步分析探讨。

基于此, 本文收集分析柴达木盆地气象数据, 前人研究的柴达木盆地17个典型盐湖2000—2010年间的面积变化数据, 结合1980—2018年间青藏高原温度和降水增幅率及冰川物质平衡数据<sup>[3]</sup>, 探究在青藏高原暖湿化背景下柴达木盆地湖泊快速扩张主要影响因素。研究柴达木盆地湖泊或盐湖面积变化主要影响因素, 对掌握湖泊动态、认识和保护流域生态

收稿日期: 2022-08-08; 修回日期: 2022-10-15

基金资助: 第二次青藏高原综合科学考察专题(2019QZKK0805); 青海省创新平台建设专项(2020-ZJ-T06); 中国地质调查局“柴达木盆地盐湖生态综合调查(ZD20220224)项目

作者简介: 程雅平(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水量增补与盐湖变化及资源响应机制研究。Email: chengyaping20@mails.ucas.ac.cn。

通讯作者: 樊启顺(1980-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事盐湖资源与蒸发盐矿床成因地球化学、盐湖沉积年代和流域地貌研究。Email: qsfan@isl.ac.cn。

安全、区域基础设施建设规划及盐湖资源的合理开发利用有着重要的生态意义和经济意义。

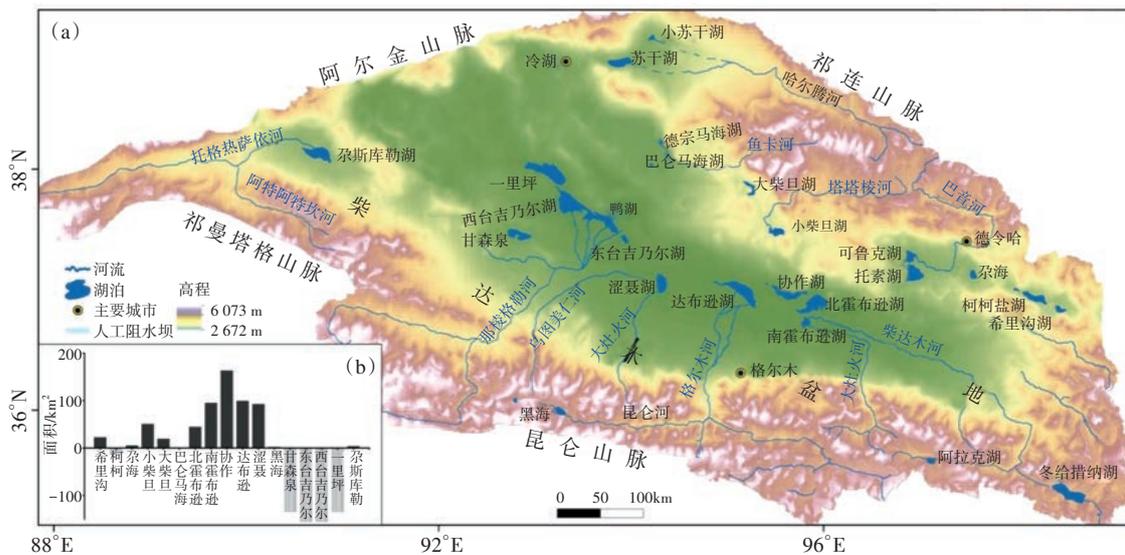
## 1 研究区概况

柴达木盆地地处青藏高原北部,面积约  $12.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[23]</sup>,盆地四周被高山环抱,南部为昆仑山,东北部为祁连山,西北部为阿尔金山。柴达木盆地地处亚欧大陆腹地,处于中纬度西风带和东亚季风系统的交界带,属高原大陆性干旱气候,气候干燥、降水稀少、蒸发较大。盆地年均气温在  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  以下,年降水量从东南向西北由  $200 \text{ mm}$  到  $15 \text{ mm}$  递减,盆地内部年蒸发量超过  $1800 \text{ mm}$ <sup>[15]</sup>。盆地现代冰川面积  $1693.54 \text{ km}^2$ ,储量约  $120 \text{ km}^3$ ,主要分布在海拔  $5400 \text{ m}$  以上的祁连山、阿尔金山南坡东段,以及海拔  $4800 \text{ m}$  以上的昆仑山北坡<sup>[24,25]</sup>。

柴达木盆地内大小湖泊 90 多个,湖泊总面积超过  $2000 \text{ km}^2$ ,其中盐湖超过 75 个,含盐面积约  $15600 \text{ km}^2$ <sup>[13]</sup>。柴达木盆地的湖泊主要分布在河流水系的尾间和地表、地下径流的汇集区<sup>[14]</sup>,有淡水湖、盐湖、咸水湖和干盐滩,盆地中部的蒸发作用强

烈,湖水高度浓缩,矿化度很高,多发育为盐湖<sup>[15]</sup>。受盆地地形和流域水文影响,柴达木盆地总体形成南北两个水文补给体系(图 1a)。南部水文主要源自东昆仑山脉,形成阿拉尔河、那陵格勒河、乌图美仁河、格尔木河、香日德河、诺木洪河等多条流域,补给到尾间的多个盐湖:尕斯库勒湖、一里坪、西台吉乃尔盐湖、东台吉乃尔盐湖、察尔汗盐湖等;北部水文流域主要源自祁连山脉,形成哈尔腾河、鱼卡河、塔塔梭河、巴音河等多条流域,补给到尾间的多个湖泊:苏干湖、德宗马海、巴仑马海、大柴旦湖、小柴旦湖、可鲁克湖、托素湖等。与此同时,在阿尔金山、祁连山系赛什腾山、昆仑山前冲洪积扇和背斜构造赋存了丰富的地下卤水资源。

柴达木盆地盐湖资源储量巨大且品位高,富含钾、钠、镁、硼和锂等盐类资源,总储量占全国盐湖资源比例 90% 以上,是我国重要的盐化工业基地<sup>[10]</sup>。其中大柴旦湖、小柴旦湖及马海湖为盐湖硼矿区<sup>[13]</sup>;一里坪、西台吉乃尔盐湖、东台吉乃尔盐湖、察尔汗盐湖别勒滩区段是盐湖卤水锂矿区<sup>[26]</sup>;察尔汗盐湖是卤水钾镁盐矿区<sup>[27]</sup>。



(a) 柴达木盆地; (b) 2000—2010年间 17 种盐湖面积变化情况

图 1 柴达木盆地流域及湖泊分布图

Fig. 1 The catchments and terminal lakes in the Qaidam basin

## 2 数据与方法

### 2.1 气象数据

本文选用了柴达木盆地内部 5 个气象站(冷湖、小灶火、格尔木、诺木洪和都兰),获取了各站点 2000—2018 年的气温、降水量、蒸发量数据,数据来

自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),对选用的 9 个气象站点的气温、降水量以及蒸发量数据相加取平均值。因部分站点蒸发量数据缺失,故柴达木盆地蒸发量数据参考文献<sup>[28]</sup>。柴达木盆地该时段内年平均温度、年降水量和年蒸发量数据经整理分析获得,探讨柴达木盆地近年气候变化趋势。另外,引用

青藏高原整体温度和降水量变化数据<sup>[3]</sup>,探讨柴达木盆地湖泊变化的主要影响因素。

## 2.2 湖泊面积数据

柴达木盆地湖泊面积变化数据引自文献<sup>[20]</sup>。根据地理位置和分布,在柴达木盆地选取了17个典型盐湖(图1b),用于分析2000—2010年间湖泊扩张变化,湖泊面积数据引自文献<sup>[12,15]</sup>。

## 2.3 冰川数据

冰川数据用于分析柴达木盆地自21世纪以来冰川动态,包括冰川储量、质量及面积,数据主要引自文献<sup>[3,24,29]</sup>。

## 2.4 径流数据

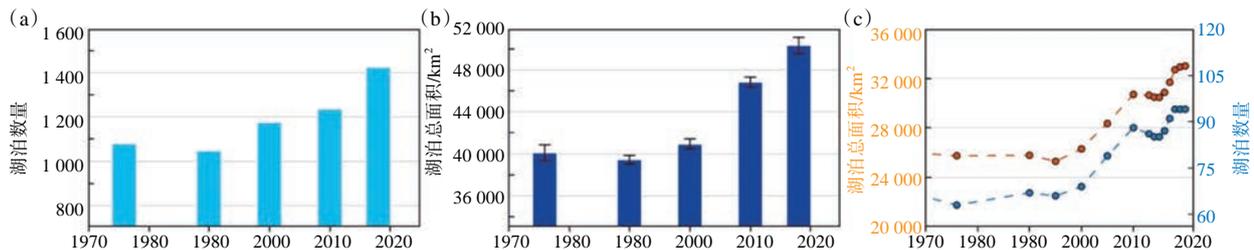
本文用到的径流数据较少<sup>[15]</sup>,为巴音河、格尔木河和察汗乌苏河2000—2015年间总径流量变化情

况,主要用于反映柴达木盆地近年来径流变化趋势。

# 3 结果与讨论

## 3.1 柴达木盆地湖泊面积变化

1976—2018年期间,青藏高原内流区的湖泊数量和面积呈快速增长趋势<sup>[30]</sup>(图2),表现在湖泊数量( $>1\text{ km}^2$ )从1976年的1 081个增加到2018年的1 424个,增长率达到32%;湖泊面积从1976年的 $4.01 \times 10^4\text{ km}^2$ 增加到2018年的 $5.03 \times 10^4\text{ km}^2$ ,增长率达到25.4%。与此对应地,湖泊的湖平面也呈现阶段性快速升高趋势,2003—2009年平均湖平面升高 $\sim 0.21\text{ m/yr}$ ,2010—2015年平均湖平面升高 $\sim 0.18\text{ m/yr}$ 。在空间区域上,青藏高原北部( $>32^\circ\text{N}$ )湖泊的快速扩张,而南部湖泊呈现连续收缩趋势。从湖泊扩张的时间尺度来看,1975—1995年湖泊相对稳定,1995—2010年湖泊快速扩张,2010—2015年湖泊相对稳定,2015—2020年湖面进一步扩张<sup>[31]</sup>。



(a) 1970—2020年湖泊数量变化趋势(湖泊面积 $>1\text{ km}^2$ );(b) 1970—2020年湖泊总面积变化趋势(湖泊面积 $>1\text{ km}^2$ );(c) 1970—2020年湖泊数量及总面积变化趋势(湖泊面积 $>100\text{ km}^2$ );青藏高原湖泊数量及总面积数据引自文献<sup>[30-31]</sup>。

图2 青藏高原湖泊数量及总面积变化趋势

Fig. 2 Trend in the number and total area of lakes on the Qinghai-Xizang Plateau

柴达木盆地湖泊作为青藏高原湖泊分布稠密区,湖泊面积近年来增加明显,自2001—2014年湖泊总面积共增加了 $858.48\text{ km}^2$ ,并在2010年达到峰值 $3\,147.47\text{ km}^2$ <sup>[20]</sup>(图3),结合选取的17个盐湖面积变化数据,发现在2000—2010年间柴达木盆地的17个盐湖总体呈扩张趋势(图1b)。空间位置上湖泊扩张程度有所不同,盆地中东部的湖泊面积增加较明显,如协作湖、达布逊湖、鸭湖、小柴旦湖等。小柴旦湖持续快速扩张,2017—2021年间扩张了 $23.72\text{ km}^2$ ,年平均面积变化率为5.19%;盆地西部的湖泊面积增加较缓,如尕斯库勒湖、苏干湖等。苏干湖的面积持续快速增加,2017—2021年间面积增加了 $27.05\text{ km}^2$ ,年平均面积变化率为5.41%。柴达木盆地湖泊扩张受流域水量增补补给的影响。在盐湖总体扩张的趋势

下,仍有部分盐湖呈收缩的趋势,如柯柯盐湖、甘森泉、东台吉乃尔湖、西台吉乃尔湖、一里坪盐湖。其中东、西台吉乃尔湖和一里坪盐湖收缩明显,受人工堤坝修筑等人为因素影响,逐渐向干盐湖转化,并于2015年均成为干盐湖。

## 3.2 柴达木盆地气象因素变化情况

自2000年以来柴达木盆地气温和降水量总体呈增加趋势,温度增长速度为 $0.047\text{ }^\circ\text{C/a}$ ,降水量增长速度为 $3.44\text{ mm/a}$ ,而年蒸发量变化不大,总体保持在较高且平稳的水平(约 $1\,900\text{ mm}$ )。伴随着盆地气候暖湿化,河流流域径流量和尾间盐湖面积呈现逐步增加的变化趋势(图3)。

结合1980—2018年青藏高原温度和降水量及

冰川物质平衡观测数据<sup>[3]</sup>,发现柴达木盆地不同区域温度和降水量增幅率是不同的(图4)。总体来说,温度增幅率大体呈现由西向东递减趋势,盆地西南部升温最明显(图4a),增速约0.8~0.9 °C/10a<sup>[3]</sup>;柴达木盆地内降水总体增加,平均增速约1.418 mm/a,降水量由东向西递减,增幅最明显集中在盆地南部昆仑山脉及东北部祁连山脉(图4b),增速约1.8~3.0 mm/a<sup>[3]</sup>。柴达木盆地气象数据的分析表明,盆地内温度和降水量呈现同步增加、但不同位增长的特征。

冰川的物质平衡显示,在近年气候变化影响下,盆地内冰川整体呈退缩状态(图3),冰川面积在2002—2018年间缩小了169.14 km<sup>2</sup><sup>[24]</sup>。柴达木盆地南缘的东昆仑山中段和西北缘的祁连山西段是冰川主要分布区,前者约占冰川总储量的76%<sup>[25]</sup>,冰川退缩现象在昆仑山区并不明显,2000—2017年昆仑山冰川面积变化率仅为-0.55%<sup>[3]</sup>,以昆仑山东段最高峰玉珠峰为例,近年玉珠峰冰川质量损失很少,年损失的水当量不足0.08 m<sup>[3]</sup>(图4c)。

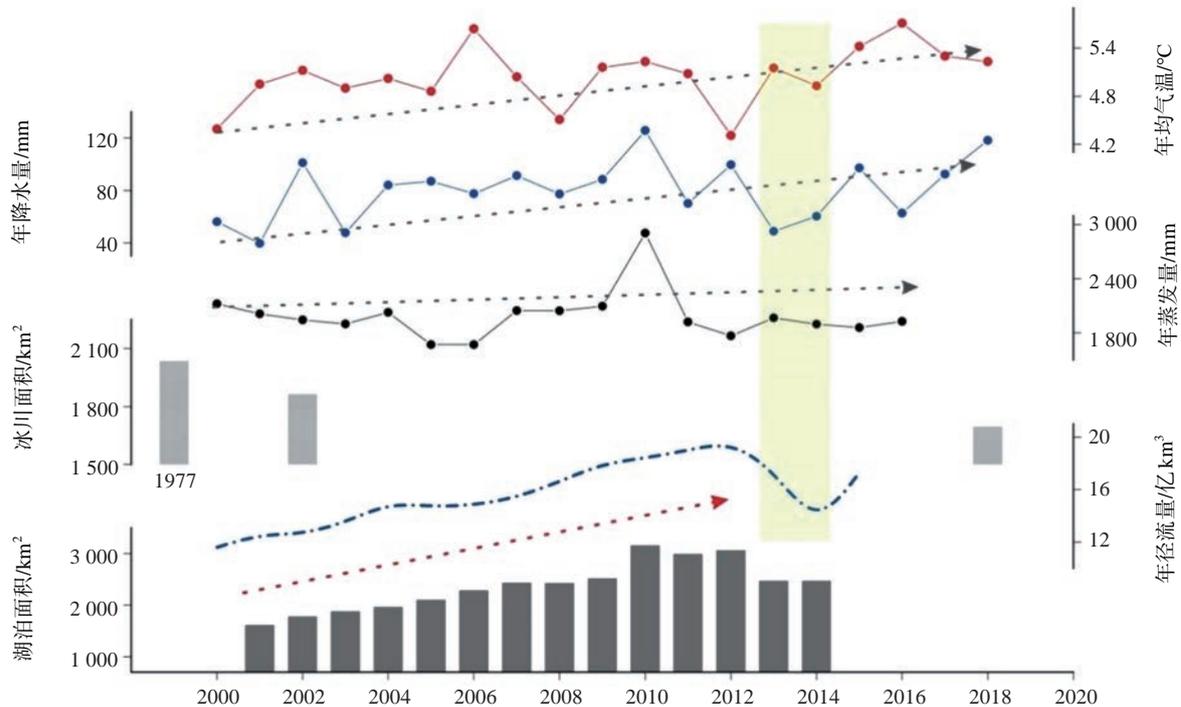


图3 2000—2018年柴达木盆地气象因子和湖泊面积变化

Fig. 3 Changes of meteorological factors and lakes in Qaidam basin during 2000—2018

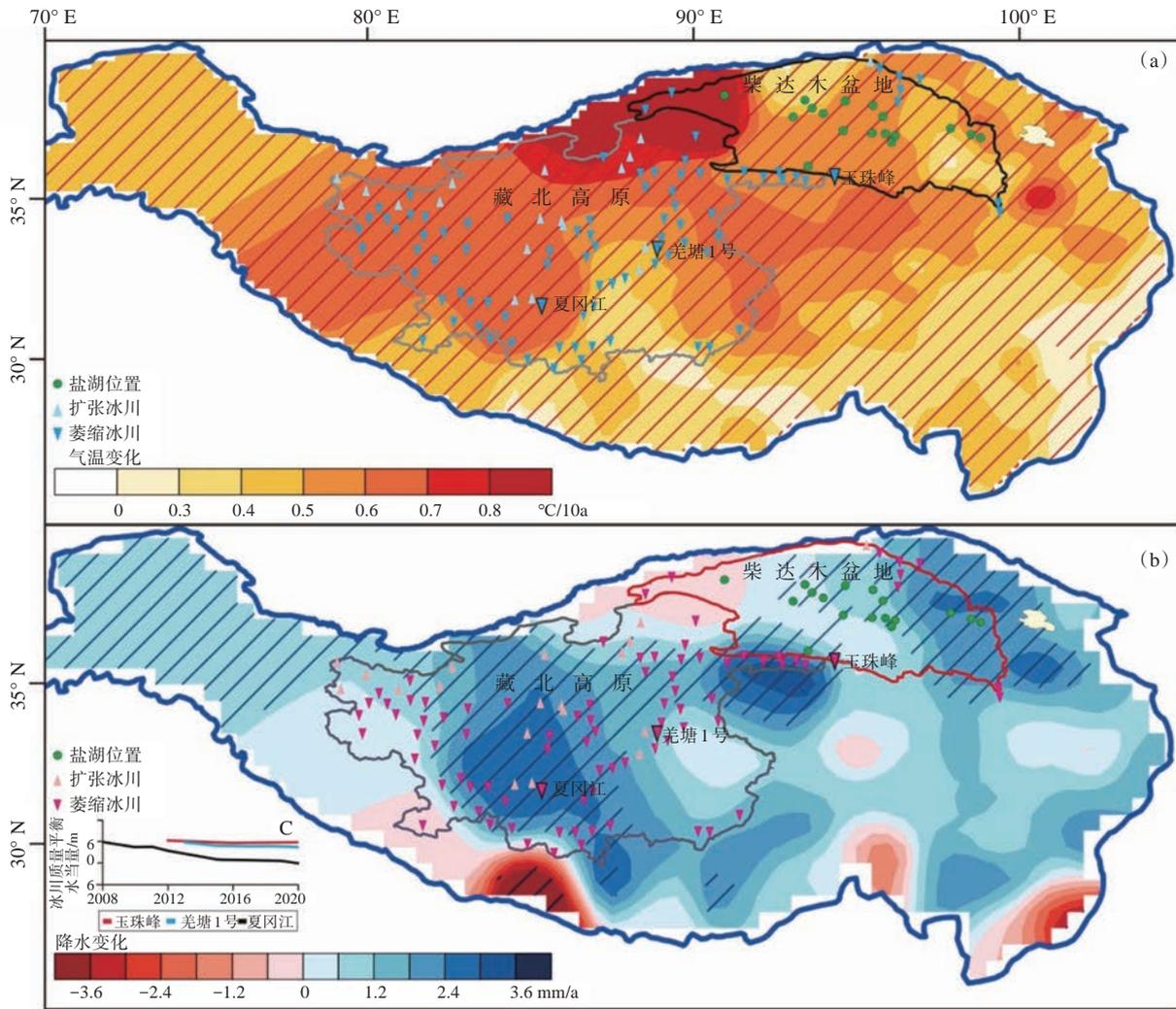
### 3.3 柴达木盆地湖泊扩张影响因素

对于内流盆地湖泊,气象因素(温度、降水和蒸发)是影响湖泊变化的重要因素<sup>[32,33]</sup>。伴随着盆地气候暖湿化,河流域径流量和尾间盐湖面积呈现逐步增加的变化趋势,在2013—2014年受降水量明显下降的影响,流域河水径流量和湖泊面积均有突降的现象(图3中绿色条柱),说明干旱的柴达木盆地降水量的多寡直接影响着整体湖泊面积的变化。

柴达木盆地湖泊多分布于盆地中东部,尾间湖居多,湖泊水量主要来源于周围山系经河水补给。祁连山、昆仑山是盆地众多河流的发源地,源区降水、冰雪融水及地下水共同汇入径流补给湖泊。因柴达木盆地流域水文分布、冰川储量分布和物质平

衡等有所不同,加之盆地个别盐湖资源受到大规模人工开采与干预,故盆地各湖泊变化的主要控制因素是不同的。

柴达木盆地内最为发育的水系来源于昆仑山,其次是祁连山<sup>[34]</sup>,以柴达木盆地内三条大型内陆河巴音河、格尔木河和察汗乌苏河为例,2000—2015年总径流量呈明显上升状态,增加了约 $5 \times 10^8$  km<sup>3</sup>,同时盆地中 $>1$  km<sup>2</sup>的湖泊面积增加了约400 km<sup>2</sup><sup>[15]</sup>。分析柴达木盆地温度、降水量增幅及空间变化趋势及冰川质量平衡数据可知,在盆地东部降水速率快速增加、温度增幅较缓及冰川质量损失较小的趋势下,昆仑山和东祁连山区降水量增多使得流域河流径流增加(图4b),是柴达木盆地中东部尾间湖泊水



(a) 温度增幅及冰川变化趋势;(b) 降水增幅及冰川变化趋势;(c) 典型冰川物质平衡变化;青藏高原年温度和降水量增幅及冰川物质平衡数据引自文献<sup>[3]</sup>

图4 1980—2018年青藏高原温度和降水量增幅及冰川变化趋势

Fig. 4 Increase of temperature, precipitation and changes of glacier mass balance on the Qinghai-Xizang Plateau during 1980—2018

量增加和面积扩张的主要影响因素。比如,东昆仑山系尾间盐湖,包括西台、东台和一里坪盐湖,因修建人工堤坝使其鸭湖快速扩张<sup>[22]</sup>,2021年鸭湖面积相较2003年增长了约388 km<sup>2</sup>;东祁连山系尾间湖泊或盐湖,包括托素湖<sup>[21]</sup>、小柴旦湖<sup>[19]</sup>以及盆地东部青海湖<sup>[35]</sup>,湖泊面积快速扩张。与此相反,在盆地西部温度增幅大、降水量增幅小和冰川质量损失趋势下,温度升高引起的冰雪融水补给增加,是湖泊水量增加和面积扩张的主要原因,如苏干湖、尕斯库勒湖<sup>[36]</sup>。

柴达木盆地西部湖泊分布较少,湖泊扩张带来的影响相对较小。盆地湖泊主要分布在中东部,且以盐湖为主,气象水文条件变化带来的中东部湖泊

快速扩张,直接影响到盐湖资源的开发利用,同时也会引发洪涝灾害。如1989年的大洪水使得察尔汗的达布逊北滨沉积多年的光卤石全部消溶,2022年8月格尔木市的持续升温引起的那棱格勒河水流量激增,造成周围公路及桥体不同程度受损,交通受阻,大量人员滞留。为防范水量增补对盐湖资源带来的影响,盐湖企业相继在台吉乃尔湖及达布逊湖等修建了阻水坝,阻断河水进入湖区。但未来青藏高原将持续变暖变湿,据预测,湖泊面积、水位及水体近期(~2035年)继续增长<sup>[30]</sup>,这将更大程度地影响盆地中的盐湖资源及周围环境。本文对柴达木盆地不同空间位置湖泊扩张程度及主要影响因素做了初步总结,这对盆地盐湖资源和水资源的管理、水文

风险防范和湖区生态环境的保护提供了参考意义。

## 4 结 论

本文通过分析柴达木盆地 2000—2018 年气象数据、选取的 17 个典型盐湖在 2000—2010 年间面积变化情况,结合 1980—2018 年间青藏高原温度和降水增幅率及冰川物质平衡数据,探究在青藏高原暖湿化背景下柴达木盆地湖泊快速扩张主要影响因素,获得如下认识。

1) 在 2000—2010 年间柴达木盆地湖泊整体呈现扩张趋势,但在空间上扩张程度不均匀,表现为盆地中东部的湖泊面积增加较明显,盆地西部的湖泊面积增加较缓。

2) 近年来柴达木盆地的温度和降水量呈现同步增加、但增幅不同且不同位增长的特征,该特征是引起不同空间位置湖泊扩张的主要影响因素。

3) 近年来,柴达木盆地中东部尾间湖泊扩张明显,降水增幅引起的流域水量增补是中东部湖泊快速扩张的主要原因;盆地西部湖泊扩张较缓,温度增幅明显引起的冰雪融水补给增加是西部湖泊缓慢扩张的主要原因。

### 参考文献:

- [1] Immerzeel W W, Lutz A F, Andrade M, *et al.* Importance and vulnerability of the world's water towers[J]. *Nature*, 2019, 577(7790).
- [2] Lei Y B, Yang K, Wang B, *et al.* Response of inland lake dynamics over the Tibetan Plateau to climate change[J]. *Climatic Change*, 2014, 125(2): 281-290.
- [3] Yao T D, Bolch T B, Chen D L, *et al.* The imbalance of the Asian water tower[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2022, 3(10): 618-632.
- [4] Treichler D, Käab A, Salzmann N, *et al.* Recent glacier and lake changes in High Mountain Asia and their relation to precipitation changes[J]. *The Cryosphere*, 2019, 13(11): 2977-3005.
- [5] Wang L, Liu H, Zhong X Y, *et al.* Domino effect of a natural cascade alpine lake system on the Third Pole[J]. *PNAS*, 2022, 1(3): 1-9.
- [6] Song C Q, Huang B, Ke L H. Modeling and analysis of lake water storage changes on the Tibetan Plateau using multi-mission satellite data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 135, 25-35.
- [7] Lei Y B, Yang K. The cause of rapid lake expansion in the Tibetan Plateau: climate wetting or warming?[J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2017, 4(6): e1236.
- [8] Zhu L P, Wang J B, Ju J T, *et al.* Climatic and lake environmental changes in the Serling Co region of Tibet over a variety of timescales[J]. *Sci. Bull.*, 2019, 64(7): 422-424.
- [9] 郑绵平. 青藏高原盐湖[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1989, 97-102.
- [10] 蔡永青. 柴达木盆地盐湖矿产资源开发利用现状及对策[J]. *中国地质矿产经济*, 2003, 2: 11-13.
- [11] 樊启顺, 程雅平, 陈天源, 等. 柴达木盆地北缘水量增补对盐湖资源及生态环境的影响[J]. *盐湖研究* 2022, 30(2): 11-18.
- [12] 闫立娟, 郑绵平, 袁志洁. 近 40 年来气候变化对青海盐湖及其矿产资源开发的影响—以小柴旦湖为例[J]. *矿床地质*, 2014, 33(5): 921-929.
- [13] 杨阳. 柴达木地区盐湖资源开发对生态环境的影响评估研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [14] 杜玉娥, 刘宝康, 贺卫国, 等. 1976—2017 年柴达木盆地湖泊面积变化及其成因分析[J]. *冰川冻土*, 2018, 40(6): 1275-1284.
- [15] 段水强. 1976—2015 年柴达木盆地湖泊演变及其对气候变化和人类活动的响应[J]. *湖泊科学*, 2018, 30(1): 256-265.
- [16] 徐浩杰, 杨太保. 1981—2010 年柴达木盆地气候要素变化特征及湖泊和植被响应[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(6): 868-879.
- [17] 张超, 韩琳, 陈亮. 柴达木盆地湖泊水面变化遥感监测分析[J]. *人民黄河*, 2010, 32(12): 54-58.
- [18] 田华, 魏超, 宁世雄, 等. 达布逊湖面积变化及其影响因素研究[J]. *河南科技*, 2018(29): 89-91.
- [19] 卢娜. 柴达木盆地湖泊面积变化及影响因素分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28(8): 83-87.
- [20] 魏善蓉, 金晓媚, 王凯霖, 等. 基于遥感的柴达木盆地湖泊面积变化与气候响应分析[J]. *地学前缘*, 2017, 24(5): 427-433.
- [21] 刘晓雪, 温忠辉, 束龙仓, 等. 近 40 年可鲁克湖-托素湖面积变化及影响因素分析[J]. *水资源保护*, 2014, 30(1): 28-33.
- [22] 毛晓长, 刘祥, 董颖, 等. 柴达木盆地鸭湖地区水上雅丹地貌成因研究[J]. *地质论评*, 2018, 64(6): 1505-1518.
- [23] 张彭熹. 柴达木盆地盐湖[M]. 北京: 科学技术出版社, 1987.
- [24] 周苏刚, 姚晓军, 张圆, 等. 1977-2018 年柴达木盆地冰川矢量数据集[J]. *中国科学数据(中英文网络版)*, 2021, 6(2): 175-182.
- [25] 杨惠安, 安瑞珍. 柴达木盆地现代冰川分布及其数量统计[J]. *冰川冻土*, 1986(2): 171-175.
- [26] 唐发满, 解安福, 咎超, 等. 东、西台吉乃尔盐湖及一里坪盐湖卤水资源开发现状及对策研究[J]. *化工矿物与加工*, 2020, 49(2): 48-56.
- [27] 郑绵平, 张永生, 刘喜方, 等. 中国盐湖科学技术研究的若干进展与展望[J]. *地质学报*, 2016, 90(9): 2123-2166.
- [28] 党学亚, 常亮, 卢娜. 青藏高原暖湿化对柴达木水资源与环境的影响[J]. *中国地质*, 2019, 46(2): 359-368.
- [29] 车正. 2000—2016 年藏北高原内流区冰川变化及其对湖泊变化的影响[D]. 西安: 西北大学, 2021.
- [30] Zhang, G Q, Yao T D, Xie H J, *et al.* Response of Tibetan Plateau lakes to climate change: Trends, patterns, and mechanisms-ScienceDirect[J]. *Earth-Science Reviews*, 2020, 208: 103269-103291.
- [31] Zhang G Q, Ran Y H, Wan W, *et al.* 100 years of lake evolution over the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8): 3951-3966.
- [32] 李均力, 盛永伟. 1976—2009 年青藏高原内陆湖泊变化的时空格局与过程[J]. *干旱区研究*, 2013, 30(4): 571-581.

- [33] 朱大岗,孟宪刚,郑达兴,等. 青藏高原近25年来河流、湖泊的变迁及其影响因素[J]. 地质通报,2007(1):22-30.
- [34] 杨暖. 柴达木盆地东部地下水稳定同位素组成特征及其对水汽来源与气候变化的指示[D]. 北京:中国地质大学,2021.
- [35] 白文蓉,余迪,刘彩红,等. 气候变暖背景下青海湖水位及面积变化趋势及成因分析[J]. 青海科技,2019,26(3):72-78.
- [36] 李晟铭,刘吉平,刘阁,等. 三个时期青藏高原冰川补给型湖泊的变化[J]. 湿地科学,2018,16(2):130-137.

## Main Influencing Factors for the Rapid Expansion of Lakes in the Qaidam Basin

CHENG Yaping<sup>1,2,3</sup>, FAN Qishun<sup>1,2\*</sup>, CHEN Tianyuan<sup>1,2</sup>, LI Qingkuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Yongxing<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China; 2. Qinghai Provincial Key Laboratory of Geology and Environment of Salt Lakes Xining, 810008, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China; 4. Xining Comprehensive Survey Center of Natural Resources, China Geological Survey, Xining, 810008, China)

**Abstract:** The Qaidam Basin is a concentrated distribution area of salt lakes and resource chemical industry base in China, and the rapid expansion of the lakes has obviously affected the utilization of water resources, protection of salt lake resources and ecological environment of the lake area. In this paper, we collect the meteorological data of the Qaidam Basin and the lake change data of previous studies, as well as the changes the area change data of 17 typical salt lakes in the inflow area of the Qaidam Basin, combined with the reported observation data on the temperature and precipitation increase rate and glacial mass balance of the Qinghai-Tibet Plateau, to explore the main influencing factors of the rapid expansion of lakes in the Qaidam Basin. The results show that the temperature and precipitation in the Qaidam Basin increased synchronously, but with different increases and different increasing rate, which were different influencing factors for lake expansion in different spatial regions. In detail, terminal lakes in the central-eastern basin, supplied by the hydrological supply of the eastern Kunlun Mountains and the Qilian Mountains, expanded significantly, which mainly affected by increase of water volume in the river catchment caused by the significant increasing precipitation. By contrast, the terminal lakes in the western basin expanded more slowly, which mainly affected by the increase in ice and snow meltwater replenishment along with significant increasing temperature.

**Key words:** Qaidam Basin; Lakes; Rapid expansion; Influencing factors