

DOI: 10.5846/stxb201612262677

李晓峰, 姚晓军, 孙美平, 宫鹏, 安丽娜, 祁苗苗, 高永鹏. 2000—2014 年我国西北地区湖泊面积的时空变化. 生态学报, 2018, 38(1): 96–104.

Li X F, Yao X J, Sun M P, Gong P, An L N, Qi M M, Gao Y P. Spatial-temporal variations in lakes in northwest China from 2000 to 2014. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(1): 96–104.

2000—2014 年我国西北地区湖泊面积的时空变化

李晓峰¹, 姚晓军^{1,*}, 孙美平^{1,2}, 宫 鹏¹, 安丽娜¹, 祁苗苗¹, 高永鹏¹

¹ 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070

² 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈国家重点实验室, 兰州 730000

摘要:以 2000—2014 年 Landsat TM、ETM+ 以及 OLI 影像为基础, 通过人工目视解译方法提取我国西北地区 111 个面积 10.0 km² 以上湖泊矢量数据, 并对湖泊面积变化总体趋势、空间分异特征以及成因进行分析。结果表明: (1) 2000—2014 年期间, 西北地区湖泊总面积呈整体增加的态势, 由 1.58×10^4 km² 增加为 1.74×10^4 km²。(2) 在研究时段内, 我国西北地区湖泊面积在整体增加的同时也表现出明显的空间差异。根据湖泊面积变化不同, 研究区可以被划分为稳定、扩张、萎缩 3 种类型和 5 个区域: 新疆维吾尔自治区北部与青海省南部为湖泊面积稳定区; 塔里木盆地、昆仑山北麓、阿尔金山、柴达木盆地、可可西里地区、祁连山南麓至三江源北部大片区域为湖泊面积扩张区; 由准噶尔盆地和吐鲁番盆地组成的北疆中部地区和喀喇昆仑山北坡山区为湖泊萎缩区。(3) 受研究区复杂的自然人文环境影响, 在不同区域引起湖泊面积变化的原因不尽相同: 总体而言, 降水增加、气温上升导致的冰川融水增加和冻土水分释放是湖泊面积呈现扩张趋势地区的最主要原因; 在湖泊面积稳定区, 湖泊所处的地形条件以及湖泊与河流间强烈的水量交换起着关键作用; 日益增强的人类活动是湖泊萎缩区的主要影响要素, 但在喀喇昆仑山北坡地区, 冰川物质平衡状态的变化也可能发挥着重要作用。

关键词:湖泊; 时空变化; 遥感; 西北地区

Spatial-temporal variations in lakes in northwest China from 2000 to 2014

LI Xiaofeng¹, YAO Xiaojun^{1,*}, SUN Meiping^{1,2}, GONG Peng¹, AN Lina¹, QI Miaomiao¹, GAO Yongpeng¹

¹ College of Geography and Environment Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

² State Key Laboratory of Cryospheric Science, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: Based on Landsat TM/ETM+/OLI remote sensing images in the period from 2000 to 2014, the vectorized boundary of 111 lakes with areas greater than 10 km² in northwest China were obtained by artificial visual interpretation technology and the causes of lake variations were analyzed. Several conclusions can be drawn from the present study: (1) From 2000 to 2014, the lakes in northwest China have expanded, with lake areas increasing from 1.58×10^4 km² to 1.74×10^4 km². (2) The lakes showed an overall expansion trend; however, several regional differences were noted and, thus, as shown in the figure 4, the study area could be divided into five sub-regions based on changes in the area of the lakes. The lakes in northern Xinjiang Uygur Autonomous Region and southern Qinghai Province remained stable. The lakes showing an expanding trend were widely distributed in the Inner Mongolia-Xin Jiang Lake Zone and the Tibetan Plateau Lake Zone. This region from west to east included the Tarim Basin, northern piedmont of Kunlun Mountains, Altun Mountains, Hoh Xil, Qaidam Basin, southern piedmont of Qilian Mountains, and the northern Three-River source region. The lakes that were shrinking were primarily located in two regions that consisted of the central northern Xinjiang including Junggar Basin

基金项目:国家自然科学基金项目(41261016, 41561016); 中国科学院冰冻圈科学国家重点实验室开放基金项目(SKLCs-OP-2016-10); 西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目(NWNU-LKQN-14-4)

收稿日期: 2016-12-26; 网络出版日期: 2017-09-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yaoxj_nwnu@163.com

and the Turpan Depression, and the northern Karakorum Mountains. (3) The reasons behind the lake area changes in the different regions differed owing to the complex environment in the study area. For the region where the lakes were expanding, an increase in precipitation and melt water from glaciers and frozen soil due to climate warming were the dominant factors behind the changes. The state of glacier mass balance and human activities played an important role in the region where the lakes were shrinking in area, while in the region where the lakes remained stable, the topographic characteristics of the lakes such as intensive hydraulic connection between lakes and rivers were the main factors behind the observed results.

Key Words: lake; spatial-temporal variations; remote sensing; northwest China

湖泊是指陆地上的盆地或洼地积水形成的、有一定水域面积、换水较为缓慢的水体^[1]。作为陆地水圈的重要组成部分,湖泊不仅参与自然界的水分循环,而且对气候变化极为敏感,是揭示全球气候变化与区域响应的重要信息载体^[1-3]。我国西北地区大部属于干旱半干旱气候区,水资源一直是制约区域社会经济活动与流域生态环境建设的关键因素,因此湖泊水资源-环境在社会经济可持续发展和生态环境保护中扮演着重要角色^[4-5]。

近 50 年来,伴随我国西北地区土地资源的大规模开发,人类活动通过修筑大量水利设施拦截入湖地表径流,加剧下游湖泊水资源的短缺,导致湖泊迅速萎缩、咸化甚至干涸等问题,严重危及湖泊及其毗邻区域的生态环境,造成湖泊生物多样性丧失、湖滨地区荒漠化加剧等问题^[6-7]。2014 年,中国科学院启动科技服务网络(STS)计划项目——“西北地区生态变化综合评估”,任务之一是结合遥感资料对西北地区过去 15 年的生态变化过程进行详细评估。作为此次综合评估的重要内容之一,认识西北地区湖泊当前状况及变化特征是制订科学保护对策的基础。纵观现有文献资料,关于西北地区湖泊研究成果颇多,如马荣华等^[1]基于 1960—1980 年地形图和 2005—2006 年遥感影像数据,对我国湖泊变化进行了系统研究,结果表明西北地区湖泊萎缩(或消失)与扩张(或新生)并存;闫丽娟和郑绵平^[8]建立了新疆和内蒙古两个自治区的湖泊数据库,发现 2000—2010 年期间内蒙古东部和新疆西部湖泊呈现萎缩趋势,其余地区湖泊呈现扩张趋势;姚晓军等^[9]对青海省可可西里地区湖泊变化研究表明,2000—2011 年湖泊面积快速增加,个别湖泊出现溃坝或溢流现象;三江源地区湖泊大致以 2000 年为界经历了先萎缩后扩张的变化过程,但萎缩强度大于扩张强度^[10]。此外,一些学者对于大型湖泊也开展了较详细的研究工作,如青海湖^[11]、博斯腾湖^[12]、艾比湖^[13]、卓乃湖^[14]等。然而,由于研究目的不同,与此次评估研究区域和时段相吻合的文献甚少,亟需应用遥感资料和地理信息技术建立我国西北地区 2000 年以来较长时间序列的湖泊空间数据库,从而为提出适合于西北地区和丝绸之路经济带的生态保护建设对策提供数据支撑和理论依据。

1 研究区概况

我国西北地区在行政区划上包括陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆 5 省(自治区)和内蒙古自治区阿拉善盟、乌海市和鄂尔多斯市,介于 31°36′—49°36′N, 73°29′—111°27′E 之间,面积 $33.4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占我国国土面积的 35%(图 1)。西北地区地形以高原、盆地和山地为主,并呈现山脉与盆地相间分布的特征。本区域光热资源丰富,蒸发强烈,干燥少雨,昼夜温差大,属温带大陆性气候和温带/亚寒带草原气候区,年降水量多在 400 mm 以下,由东南和西北向中部递减,植被覆盖稀疏,主要以草原、荒漠为主^[15]。

据“中国 2005—2006 年 1:25 万面积 1.0 km^2 以上湖泊分布数据集”统计^[16],我国共有面积大于 1.0 km^2 的自然湖泊 2693 个,面积 $8.14 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中西北地区湖泊共 437 个,面积 $2.03 \times 10^4 \text{ km}^2$,分别占全国湖泊相应总量的 16.2% 和 24.9%。西北地区面积大于 10.0 km^2 的湖泊共 143 个,面积 $1.93 \times 10^4 \text{ km}^2$,占西北地区湖泊总面积的 95.1%,为本区湖泊主体^[1]。考虑到干盐湖受季节性降水影响强烈,以及建有拦水坝或大量引水设施的湖泊无法反映自然状态下的湖泊自身变化,因此挑选了 111 个面积大于 10.0 km^2 的湖泊作为研究对象,其

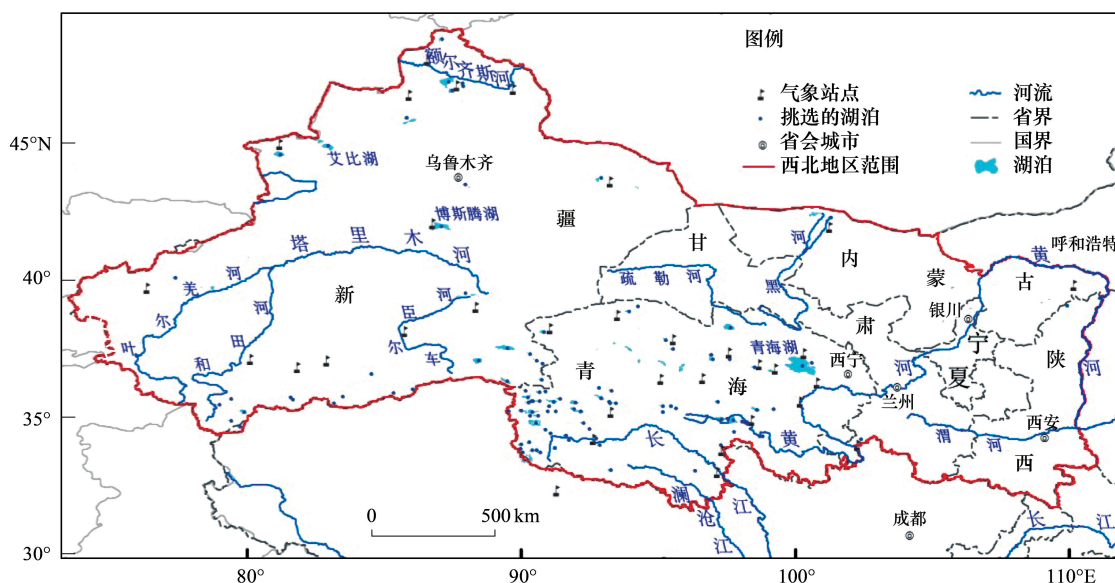


图1 研究区

Fig.1 The study area

中青海 75 个,新疆 33 个,甘肃、陕西和内蒙古各 1 个,这些湖泊总面积占研究区湖泊总面积(1.0 km²以上湖泊)的 81.76%,基本可以代表西北地区湖泊变化总体特征。

2 数据和方法

2.1 数据

为建立 2000—2014 年西北地区湖泊时空数据库,从 USGS (<http://glovis.usgs.gov>) 网站上下载了 590 景 Landsat TM/ETM+/OLI 遥感影像(Level 1T,数据量约为 450 GB),作为解译湖泊的基础数据。受季节性降水影响,湖泊面积年内波动往往较为剧烈,为便于比较应尽可能选择湖泊范围年内较为稳定时期的遥感影像。以距离最近为原则,从中国气象数据网(<http://data.cma.cn>)下载并整理了 33 个气象站点自建站以来的逐月气温与降水数据,通过分析各站点年内降水变化特征并选择降水较少的月份作为适合的遥感影像获取时间。据统计,10 月和 11 月的遥感影像数量最多,分别为 256 景和 179 景,二者占遥感影像总数量的 73.38%;其次为 9 月、8 月和 12 月,共 136 景;受云遮盖影响,少量湖泊在个别年份选用了 1 月、2 月和 7 月的遥感影像,共 19 景。

此外,本文同时参考了“中国 2005—2006 年 1:25 万面积 1.0 km²以上湖泊分布数据集”^[16]、“2000—2011 年可可西里地区主要湖泊边界矢量数据”^[9]以及《中国湖泊志》^[17]用以确定湖泊的位置和名称,从地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)下载的 SRTM 数据用作湖泊变化分区的地形参考底图。

2.2 研究方法

湖泊水体信息提取方法包括自动提取和人工目视解译两大类,前者主要包括单波段阈值法、比值法、水体指数法、光谱分类法、特征变换法、特征分割法、基于水体光谱知识的水体自动判别法以及分步迭代法等^[18-20]。自动提取方法主要是利用水体在红光、近红外和短波红外波段上的强吸收特性,通过一系列运算实现水体与背景地物的分离^[21],这类方法具有自动化程度高、工作量小等优点,但通常对于遥感影像的质量要求较高且阈值确定难度较大。人工目视解译方法主要是对假彩色合成后的遥感影像进行目视判别,通过数字化方式获得湖泊矢量边界,此方法的优点是解译精度高,缺点则是工作量大且对工作人员的要求较高。由于本研究区湖泊数量多且类型多样,为保证湖泊提取精度,统一采用人工目视解译方法提取湖泊矢量边界。为保证矢量化过程中解译标准的统一,参照科技部科技基础性工作专项“中国湖泊水质、水量与生物资源调查”

制定的原则^[1],对每个湖泊一次性解译其 15 期数据,精度控制在一个像元。

考虑到湖泊人工目视解译自身存在的误差(如混合像元的影响),为科学评判湖泊变化状况,采用如下公式提取各湖泊面积变化状态:

$$C_i = \begin{cases} \text{Increase, if } \Delta S > 0 \text{ and } \Delta S > \Delta E \\ \text{Decrease, if } \Delta S < 0 \text{ and Abs}(\Delta S) > \Delta E \\ \text{Stable, if Abs}(\Delta S) \leq \Delta E \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta S = S_j - S_i \quad (2)$$

$$\Delta E = \frac{(P_j + P_i) \times H_c}{2} \quad (3)$$

式中, ΔS 为两期湖泊面积的差值, i 和 j 分别为年份; ΔE 为两期湖泊矢量化数据的面积误差; P_i 和 P_j 分别为 i 和 j 时刻湖泊多边形周长; H_c 为 Landsat TM/ETM+/OLI 遥感影像像元边长的一半,取值为 15 m。

3 结果与讨论

3.1 西北地区湖泊现状

根据统计(表 1),2014 年我国西北地区 111 个湖泊总面积为 $1.74 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其中,青海省湖泊数量和面积最多(大),分别占西北地区湖泊相应总量的 67.57% 和 67.48%;新疆维吾尔自治区湖泊数量和面积位居第 2 位,所占比重分别为 29.73% 和 32.01%;青海与新疆两个省(自治区)所拥有的湖泊构成我国西北地区湖泊的主体。甘肃、陕西和内蒙古境内面积 $\geq 10.0 \text{ km}^2$ 的湖泊各有 1 个,分别为尕斯库勒湖(22.74 km^2)、红碱淖(31.68 km^2)和东居延海(34.60 km^2)。从湖泊所属湖区来看,位于青藏高原湖区的湖泊共 75 个,面积 $1.17 \times 10^4 \text{ km}^2$;隶属于蒙新湖区的湖泊共 36 个,面积 $0.57 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

在 111 个湖泊中,面积大于 1000.0 km^2 的特大型湖泊只有 1 个,即青海湖(4355.50 km^2)。面积介于 $500.0—1000.0 \text{ km}^2$ 的湖泊共有 8 个,分别为阿牙克库木湖(980.68 km^2)、博斯腾湖(909.50 km^2)、布伦托海(857.68 km^2)、鄂陵湖(655.89 km^2)、乌兰乌拉湖(652.62 km^2)、哈拉湖(606.33 km^2)、阿其格库勒(540.25 km^2)和扎陵湖(539.77 km^2),湖泊总面积为 5742.72 km^2 ;面积介于 $100.0—500.0 \text{ km}^2$ 和 $50.0—100.0 \text{ km}^2$ 的湖泊有 19 个和 18 个,总面积分别为 4497.16 km^2 和 1257.76 km^2 ;面积介于 $10.0—50.0 \text{ km}^2$ 的湖泊数量最多(60 个),总面积为 1484.00 km^2 。在“中国 2005—2006 年 1:25 万面积 1.0 km^2 以上湖泊分布数据集”^[18]中,位于本研究区且面积 $\geq 10.0 \text{ km}^2$ 的湖泊中有 5 个湖泊至 2014 年由于面积萎缩而小于 10.0 km^2 ,为便于比较本文保留了这些湖泊,分别为巴里坤北湖(8.45 km^2)、S63005(7.97 km^2)、土布拉克湖(7.33 km^2)、台特玛湖(7.24 km^2)和柴窝堡湖(6.13 km^2)。

表 1 2014 年西北地区各省(自治区)湖泊($\geq 10.0 \text{ km}^2$)统计

Table 1 Statistics of lakes with area above 10 km^2 in northwest China in 2014

省(自治区) Province(Municipality)	湖泊 Lake			
	数量 Quantity/个	面积 Area/ km^2	平均面积 Mean area/ km^2	最大面 积 Maximum area/ km^2
青海	75	11723.91	156.32	4355.50
新疆	33	5561.33	168.53	980.68
甘肃	1	22.74	22.74	22.74
陕西	1	31.68	31.68	31.68
内蒙古	1	34.60	34.60	34.60
合计 Total	111	17374.26	156.52	4355.50

3.2 西北地区湖泊总体变化特征

我国西北地区面积 $\geq 10.0 \text{ km}^2$ 的湖泊遥感影像解译结果统计显示(图 2),2000—2014 年时段内湖泊面积

总体呈现增加态势,由 2000 年的 $1.58 \times 10^4 \text{ km}^2$ 增加为 $1.74 \times 10^4 \text{ km}^2$,扩张幅度达 10.13%。其中,2000—2002 年和 2009—2012 年两个时段内湖泊规模扩张最为明显,湖泊面积分别增加 708.44 km^2 和 775.66 km^2 。对各湖泊面积变化分析发现,2000—2002 年期间西北地区湖泊规模扩张的主要原因是艾比湖和阿牙克库木湖面积的急剧增加,二者面积分别增加 245.01 km^2 和 105.72 km^2 ,约占此时段湖泊总面积变化的一半;尽管以青海湖、岗纳格玛错和隆热错等为主的 16 个湖泊面积萎缩超过 1.0 km^2 ,但其面积总减少量远小于面积增加超过 1.0 km^2 的湖泊(53 个)。2009—2012 年,湖泊面积增幅大于 10.0 km^2 的湖泊共有 27 个,其中阿牙克库木湖、盐湖、青海湖、乌兰乌拉湖、阿其格库勒、西金乌兰湖和库赛湖 7 个湖泊面积增加超过 50.0 km^2 ;相比较而言,此时段湖泊呈现萎缩的数量较少,仅有卓乃湖、宰日子下湖和东居延海 3 个湖泊面积减少幅度超过 10.0 km^2 ,且卓乃湖面积减少(-105.43 km^2)是由于前期规模快速扩张而溃决所导致^[14]。图 2 的另一显著特征是 2004 年湖泊总面积有所减少,其原因是艾比湖和博斯腾湖的面积较 2003 年分别减少了 157.06 km^2 和 87.43 km^2 。

就研究区所在的青藏高原湖区和蒙新湖区湖泊面积变化来看(图 3),二者呈现不同的变化规律。青藏高原湖区湖泊整体呈现规模扩张态势(图 3),尤其是 2006 年之后,湖泊面积增加速率高达 $99.05 \text{ km}^2/\text{a}$ 。蒙新湖区湖泊面积表现为剧烈波动(图 3),以 2003 年、2009 年和 2012 年为时间节点可划分为 4 个变化阶段,依次为增加—减少—增加—减少。在研究时段内,青藏高原湖区面积变化排名前 5 的湖泊分别为乌兰乌拉湖($+140.02 \text{ km}^2$)、西金乌兰湖($+127.53 \text{ km}^2$)、盐湖($+107.01 \text{ km}^2$)、卓乃湖(-94.87 km^2)和青海湖($+93.51 \text{ km}^2$),面积最大的湖泊依然是青海湖;蒙新湖区相应为阿牙克库木湖($+335.00 \text{ km}^2$)、艾比湖(-238.93 km^2)、博斯腾湖(-216.31 km^2)、阿其格库勒($+174.23 \text{ km}^2$)和阿克赛钦湖($+88.71 \text{ km}^2$)。需要指出的是,由于博斯腾湖面积锐减和阿牙克库木湖面积激增,后者于 2010 年面积超过前者而成为新疆维吾尔自治区第一大湖泊。

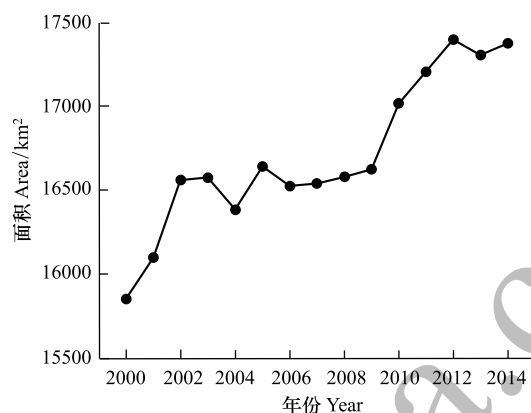


图 2 2000—2014 年西北地区湖泊面积变化

Fig.2 Area change of lakes in northwest China from 2000 to 2014

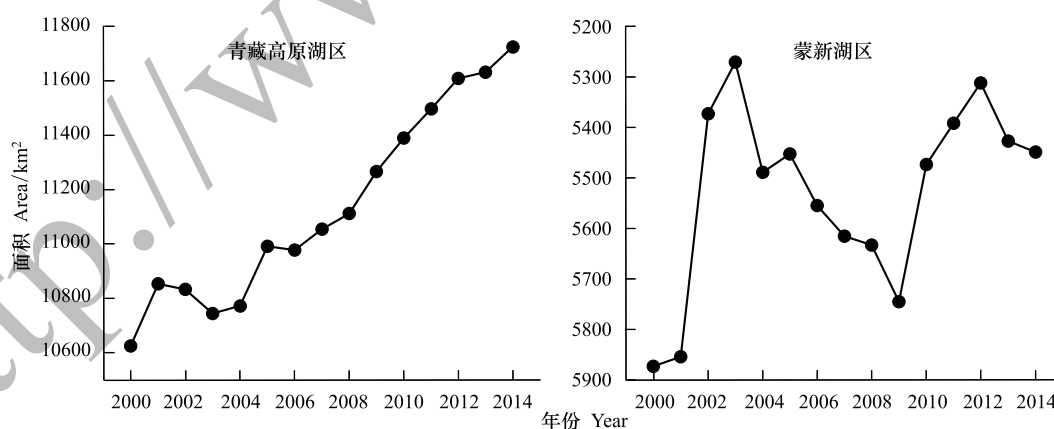


图 3 2000—2014 年青藏高原湖区与蒙新湖区湖泊面积变化

Fig.3 Area change of lakes in Tibetan Plateau Lake Zone and Inner Mongolia-Xinjiang Lake Zone from 2000 to 2014

3.3 西北地区湖泊变化空间分异规律

2000—2014 年西北地区湖泊在总体上表现为面积增加态势的同时,其内部也呈现出明显的地域分异特征。根据研究区各湖泊面积变化趋势,西北地区大致可划分为 A、B、C、D、E 的 5 个区域(图 4),其中, A 和 E 区域为湖泊面积稳定区, B 和 D 区域为湖泊面积萎缩区, C 区域为湖泊面积扩张区。需要说明的是,由于研究

区内蒙古自治区和陕西省各仅拥有 1 个湖泊,因此在本分区方案中将这两个湖泊纳入 B 区。

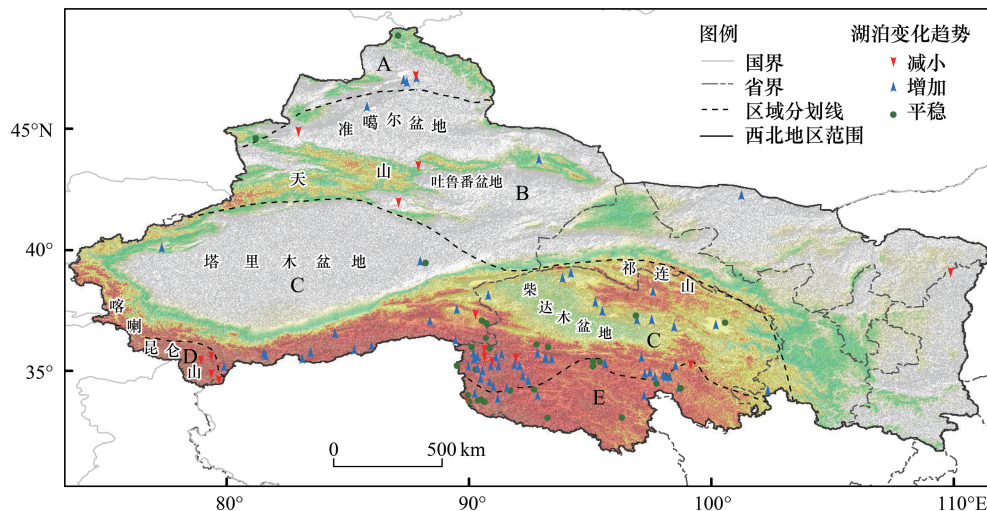


图 4 2000—2014 年西北地区湖泊面积变化空间分异

Fig.4 Spatial difference of lake area change in northwest China from 2000 to 2014

湖泊面积变化呈现稳定的 A 区和 E 区分别位于新疆北部和青海南部,前者南界大致为准噶尔盆地北缘—阿拉山口,后者北界沿岗钦扎仲—各拉丹冬峰—多索岗日—昆仑山口—雅拉达泽峰—巴颜喀拉山—玛卿岗日分布。在 A 区,除布伦托海东侧的 65—111 和 65—010 两个湖泊在 2000—2014 年分别表现为面积持续减少和面积持续增加趋势外,布伦托海、赛里木湖、吉力湖、哈纳斯湖和艾里克湖面积整体变化不大,尤其是 2000—2009 年期间,湖泊面积标准差均小于 1.0 km^2 。在 E 区共分布有 23 个湖泊,除燕子湖、诺多错、错江钦、星星海、阿涌吾尔玛错、阿涌尕玛错和岗纳格玛错 7 个湖泊面积呈现较强的年际波动外,其他湖泊总体表现为稳定。

位于准噶尔盆地和吐鲁番盆地的博斯腾湖、艾比湖和柴窝堡湖构成北疆湖泊面积减少区(B 区,图 4),这 3 个湖泊在近 14 年间面积分别减少了 216.31 km^2 (-19.21%)、 238.93 km^2 (-39.52%) 和 23.45 km^2 (-79.27%)。本区内的巴里坤北湖和艾里克湖面积虽有所增加,但变化较为复杂,如巴里坤北湖面积年际波动极为剧烈,2012 年面积为 8.65 km^2 ,2013 年骤减为 2.58 km^2 ,2014 年又恢复为 8.45 km^2 ;艾里克湖则由于上游水库截流而于 20 世纪 90 年代末期干涸^[22],随着引水入湖工程的实施,艾里克湖面积迅速增加,由 2001 年的 21.65 km^2 扩张为 2004 年的 54.70 km^2 ,尽管在 2005 年、2007—2008 年面积有所减少,但总体呈现增加趋势,至 2014 年面积为 63.19 km^2 。另一湖泊萎缩区(D 区,图 4)包括土布拉克湖、红山湖、列腾格湖和萨力吉勒干南库勒 4 个湖泊,位于国道 219 与喀拉喀什河流域之间。在这 4 个湖泊中,列腾格湖和土布拉克湖萎缩最为明显,二者面积分别减少 34.49 km^2 (-77.09%) 和 17.98 km^2 (-71.04%);萨力吉勒干南库勒和红山湖面积减少主要发生在 2012 年之后,较 2000 年面积分别减少 2.51 km^2 (-3.72%) 和 1.63 km^2 (-11.02%)。

湖泊面积扩张区(C 区,图 4)包括塔里木盆地、昆仑山北麓、阿尔金山、可可西里地区、柴达木盆地、祁连山南麓至三江源北部的大片区域,涉及的湖泊数量最多(71 个)。在本区除卓乃湖、高台湖、饮马湖、太阳湖和依协克帕提湖等少数湖泊面积有所减少或保持稳定外,大多数湖泊呈现快速扩张趋势,如面积急剧增加的阿牙克库木湖、阿其格库勒、乌兰乌拉湖、西金乌兰湖、盐湖和青海湖均位于本区。尽管本区湖泊总体呈现扩张趋势,但内部依然呈现较为明显的差异性,如柴达木盆地和塔里木盆地内的湖泊扩张与萎缩相伴;位于祁连山的青海湖和哈拉湖在 2003 年和 2013 年出现萎缩,其他年份表现为扩张或稳定;可可西里地区、昆仑山北麓与阿尔金山间的湖泊规模持续增大。

3.4 西北地区湖泊变化成因

湖泊面积变化是其水量平衡的直接反映。当湖水收入超过支出,水量为正平衡,表现为湖泊面积增加或

水位上升,反之则表现为湖泊萎缩和水位下降。在湖泊水量平衡方程中,收入要素主要包括湖面降水量、湖面水汽凝结量和入湖地表(下)径流量,支出要素则包括湖面蒸发量、湖水渗透量和出湖地表径流量(闭流类湖不包含)。在我国西北高山地区,入湖地表径流不仅包括由降水形成的地表径流,而且还包括冰川融水径流和冻土水分释放。同时,对于盆地内低海拔湖泊,人类活动的干预也直接影响湖泊水量的收支情况。因此,影响西北地区湖泊变化的成因极其复杂,本文主要结合前人研究成果探讨影响各分区湖泊变化的主要成因。

在湖泊面积变化呈现稳定的 A 区和 E 区,影响湖泊变化的主要成因是湖区地形和人类活动。位于 A 区北部和西部的哈纳斯湖与赛里木湖属于高山湖泊,主要由冰川融水以及降水补给,虽然近来该地区气候呈增暖增湿的态势,但由于湖的四周紧靠山地,两岸多陡坡,因此湖泊面积表现为较稳定的态势。A 区南部的布伦托海(乌伦古湖)和吉力湖为乌伦古河的尾间,该地区受人为影响较大,湖河沿岸分布有大量的灌溉区,虽然 2005 年以来乌伦古河流量减少甚至断流,但由于流域规划管理的完善,湖泊表现出较为稳定的态势^[23]。虽然 E 区气候的暖湿化态势使该地区冰川融水、降水有所增加,但该地区湖面蒸发量也在随气温的上升而增加^[10,24],位于该区域湖泊的一个最主要特征是由湖区地形引起的湖泊与河道间存在着较强的水力联系。在丰水期,由于入湖水量增加,湖泊水位抬升,但受湖区地形限制,增加的湖水从湖泊出水口及时排出,维持着湖泊面积和水位的长期平衡。上述这些因素导致这两个分区内的湖泊总体上表现出较为稳定态势,这与段水强等^[24]在黄河源地区的研究结果较为一致。

在湖泊面积萎缩的 B 区和 D 区,造成湖泊面积减少的因素主要为降水、冰川和人类活动的变化。和田河与叶尔羌河发源于喀喇昆仑山北麓,该地区为典型的内陆性干旱气候,降水稀少,河流、湖泊主要靠冰川融水补给^[25]。据第一、二次冰川编目数据,喀喇昆仑山地区冰川处于较为稳定的状态^[26],Gardelle 等^[27]研究发现 2000—2008 年该地区冰川处于正物质平衡状态,中国区域高分辨率气象要素数据集中的降水资料(ITPCAS)显示^[28],该地区 2003—2009 年降水呈现减少的趋势,降水更多的以固态形式储存于山体,冰川融水的减少使受其补给的湖泊面积呈现萎缩态势。王圣杰等^[29]对天山地区 14 个气象站点数据分析表明,该地区 2000—2010 年气候呈现暖干化的趋势,张飞等^[13]对艾比湖的研究显示,1998—2013 年艾比湖面积的减少主要是由于温度升高、降水减少以及流域内人口数量的增加、耕地面积不断扩张和牲畜大量增加所致。伊丽努尔·阿力甫江等^[12]认为,博斯腾湖与艾比湖在湖泊动态变化以及驱动因素方面都存在非常大的相似性,并且从 2003 年开始该地区湖泊变化的主要驱动因素由自然向人为转变。因此天山周围盆地或低地内的湖泊在 2000—2014 年时段内并未因该地区气温升高而导致的冰川融水增加而呈现扩张态势,相反由于降水减少以及人为活动用水的增加呈现萎缩态势。需注意的是,艾里克湖为白杨河及周围地表径流的尾间,在 20 世纪 80 年代,由于白杨河上、中游乌尔禾平原的灌溉用水以及克拉玛依城市用水的增长,修建的白杨河水库、黄羊泉水库对白杨河河水的大量截流,使入湖水剧烈减少,到 2000 年艾里克湖干涸,2001 年以后克拉玛依引水工程的建成,额尔齐斯河的水被引入白杨河,白杨河的水不断补给艾里克湖,才使得该湖面积开始恢复并逐年扩大^[22]。

湖泊面积呈现扩张趋势的 C 区地域跨度最大,地理环境和人类活动复杂,因此引起湖泊面积变化的要素不尽相同,主要包括降水增加、冰川融水增加以及冻土水释放。位于塔里木盆地的确尔库勒湖与康拉湖群面积扩张主要由附近的冰川融水以及降水的增加所导致,已有研究成果表明 1959—2007 年塔里木盆地南北缘近年来降水和潜在蒸散发量分别呈增多与减少的趋势^[30],天山南脉^[31]和昆仑山^[32,26]的冰川退缩使该地区冰川融水增加,入湖径流增加导致湖泊面积扩大。姚晓军等^[9]在研究可可西里地区湖泊面积变化时指出,该地区降水增多、蒸发减少是导致湖泊面积扩大的主要原因,而气候变暖引起的冰川融水增加、冻土水分释放是次要原因。位于昆仑山北麓的湖泊主要受昆仑山冰川融水的补给,西昆仑山地区近 50 年来气温呈现增加的趋势,并且东部增温大于西部^[32-33],气温的上升导致该地区冰川退缩^[32],进而引起受其补给的湖泊面积的扩张。杨建平^[34]与伊万娟^[35]研究表明,处于柴达木盆地东北部的青海湖流域,由于气温和降水的变化,其干旱指数在 2000—2010 年表现为增加的趋势,这说明该流域在此时段内处于一个湿润化的趋势,流域内地温在该时段也处于增加状态,地温的增加使得多年冻土与季节性冻土水释放,从而导致湖泊面积的扩张。卢娜^[36]及徐浩

杰和杨大保^[37]利用柴达木盆地及周边气象站点数据统计分析认为,受年可利用降水量增加以及气温上升引起的盆地内冰雪融水增多的影响,2001 年以来,该区湖泊面积显著扩张。

4 结论

(1)2000—2014 年我国西北地区面积 $\geq 10.0\text{ km}^2$ 湖泊整体上呈现扩张趋势,湖泊总面积从 $1.58\times 10^4\text{ km}^2$ 增加到 $1.74\times 10^4\text{ km}^2$,面积扩张幅度达 10.13%。青海和新疆是西北地区湖泊资源拥有量最多的两个省(自治区),二者湖泊数量与面积分别占西北地区湖泊相应总量的 97.30%和 99.49%。至 2014 年,青海湖(4355.50 km^2)、阿牙克库木湖(980.68 km^2)和博斯腾湖(909.50 km^2)为本区面积最大的 3 个湖泊,其中阿牙克库木湖于 2010 年面积超过博斯腾湖成为新疆维吾尔自治区第一大湖泊。

(2)在研究时段内,我国西北地区湖泊面积在整体增加的同时也表现出明显的空间差异。其中,蒙新湖区表现为剧烈波动,青藏高原湖区则整体呈现扩张态势。按照湖泊面积变化状态可划分为稳定、扩张、萎缩 3 种类型和 5 个区域,新疆北部(准噶尔盆地以北至阿尔泰山)与青海南部为湖泊面积稳定区,塔里木盆地、昆仑山北麓、阿尔金山、柴达木盆地、可可西里地区、祁连山南麓至三江源北部大片区域为湖泊面积扩张区,由准噶尔盆地和吐鲁番盆地组成的北疆中部地区和喀喇昆仑山北坡(喀拉喀什河流域至国道 219)山区为湖泊萎缩区。

(3)我国西北地区幅员辽阔,自然人文环境差异显著,导致不同区域湖泊变化的成因不尽相同。总体而言,降水增加、气温上升导致的冰川融水增加和冻土水分释放是湖泊面积呈现扩张趋势地区的最主要原因;在湖泊面积稳定区,湖泊所处的地形条件以及湖泊与河流间强烈的水量交换起着关键作用;日益增强的人类活动是湖泊萎缩区的主要影响要素,但在喀喇昆仑山北坡地区,冰川物质平衡状态的变化也可能发挥着重要作用。

参考文献(References):

- [1] 马荣华,杨桂山,段洪涛,姜加虎,王苏民,冯学智,李爱农,孔繁翔,薛滨,吴敬禄,李世杰. 中国湖泊的数量、面积与空间分布. 中国科学:地球科学, 2011, 41(3): 394-401.
- [2] 秦大河,丁一汇,苏纪兰,任贾文,王绍武,伍荣生,杨修群,王苏民,刘时银,董光荣,卢琦,黄镇国,杜碧兰,罗勇. 中国气候与环境演变评估(1): 中国气候与环境变化及未来趋势. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 4-9.
- [3] 常学礼,赵学勇,王玮,刘良旭. 科尔沁沙地湖泊消涨对气候变化的响应. 生态学报, 2013, 33(21): 7002-7012.
- [4] 饶恩明,肖燧,欧阳志云,江波,严登华. 中国湖泊水量调节能力及其动态变化. 生态学报, 2014, 34(21): 6225-6231.
- [5] 孙锐,崔国发,雷霆,郑姚闽. 湿地自然保护区保护价值评价方法. 生态学报, 2013, 33(6): 1952-1963.
- [6] 张振克,杨达源. 中国西北干旱区湖泊水资源——环境问题与对策. 干旱区资源与环境, 2001, 15(2): 7-10.
- [7] 丁永建,刘时银,叶柏生,赵林. 近 50a 中国寒区与旱区湖泊变化的气候因素分析. 冰川冻土, 2006, 28(5): 623-632.
- [8] 闫立娟,郑绵平. 我国蒙新地区近 40 年来湖泊动态变化与气候耦合. 地球学报, 2014, 35(4): 463-472.
- [9] 姚晓军,刘时银,李龙,孙美平,罗晶,冯娅娅. 近 40 年可可西里地区湖泊时空变化特征. 地理学报, 2013, 68(7): 886-896.
- [10] 李晖,肖鹏峰,冯学智,万玮,马荣华,段洪涛. 近 30 年三江源地区湖泊变化图谱与面积变化. 湖泊科学, 2010, 22(6): 862-873.
- [11] 金章东,张飞,王红丽,白爱娟,邱新宁. 2005 年以来青海湖水位持续回升的原因分析. 地球环境学报, 2013, 4(3): 1355-1362.
- [12] 伊丽努尔·阿力甫江,海米提·依米提,麦麦提吐尔逊·艾则孜,玉素甫江·如素力. 1958—2012 年博斯腾湖水位变化驱动力. 中国沙漠, 2015, 35(1): 240-247.
- [13] 张飞,王娟,塔西甫拉提·特依拜,周梅,王东芳,李瑞,李晓航. 1998—2013 年新疆艾比湖湖面时空动态变化及其驱动机制. 生态学报, 2015, 35(9): 2848-2859.
- [14] 姚晓军,刘时银,孙美平,郭万钦,张晓. 可可西里地区库赛湖变化及湖水外溢成因. 地理学报, 2012, 67(5): 689-698.
- [15] 韦振锋,王德光,张翀,刘宪锋,张晗. 1999—2010 年中国西北地区植被覆盖对气候变化和人类活动的响应. 中国沙漠, 2014, 34(6): 1665-1670.
- [16] 国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据共享平台——湖泊-流域科学数据中心. <http://lake.geodata.cn>
- [17] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998.
- [18] 李均力,陈曦,包安明. 2003—2009 年中亚地区湖泊水位变化的时空特征. 地理学报, 2011, 66(9): 1219-1229.

- [19] 骆剑承, 盛永伟, 沈占锋, 李均力, 邵丽静. 分步迭代的多光谱遥感水体信息高精度自动提取. 遥感学报, 2009, 13(4): 610-622.
- [20] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.
- [21] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 北京: 科学出版社, 2003: 414-424.
- [22] 姚永慧, 汪小钦, 周成虎, 徐美, 张百平, 励惠国. 新疆玛纳斯湖近 50 年来的变迁. 水科学进展, 2007, 18(1): 17-23.
- [23] 吴敬禄, 马龙, 曾海鳌. 乌伦古湖水量与水质变化特征及其环境效应. 自然资源学报, 2013, 28(5): 844-853.
- [24] 段水强, 范世雄, 曹广超, 刘希胜, 孙永寿. 1976—2014 年黄河源区湖泊变化特征及成因分析. 冰川冻土, 2015, 37(3): 745-756.
- [25] 冯童, 刘时银, 许君利, 郭万钦, 魏俊锋, 张震. 1968—2009 年叶尔羌河流域冰川变化——基于第一、二次中国冰川编目数据. 冰川冻土, 2015, 37(1): 1-13.
- [26] 刘时银, 姚晓军, 郭万钦, 许君利, 上官冬辉, 魏俊锋, 鲍伟佳, 吴立宗. 基于第二次冰川编目的中国冰川现状. 地理学报, 2015, 70(1): 3-16.
- [27] Gardelle J, Berthier E, Arnaud Y. Slight mass gain of Karakoram glaciers in the early twenty-first century. Nature Geoscience, 2012, 5(5): 322-325.
- [28] 阚宝云, 苏凤阁, 童凯, 张磊磊. 四套降水资料在喀喇昆仑山叶尔羌河上游流域的适用性分析. 冰川冻土, 2013, 35(3): 710-722.
- [29] 王圣杰, 张明军, 李忠勤, 王飞腾, 李慧林, 利亚举, 黄小燕. 近 50 年来中国天山冰川面积变化对气候的响应. 地理学报, 2011, 66(1): 38-46.
- [30] 谢姆斯叶·艾尼瓦尔, 塔西甫拉提·特依拜, 买买提·沙吾提, 张飞, 杨建军. 近 50 年来塔里木盆地南、北缘干湿状况变化趋势分析. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 40-46.
- [31] 沈永平, 刘时银, 丁永建, 王顺德. 天山南坡台兰河流域冰川物质平衡变化及其对径流的影响. 冰川冻土, 2003, 25(2): 124-129.
- [32] 李成秀, 杨太保, 田洪阵. 近 40 年来西昆仑山冰川及冰湖变化与气候因素. 山地学报, 2015, 33(2): 157-165.
- [33] 赵传成, 王雁, 丁永建, 叶柏生, 姚淑霞. 西北地区近 50 年气温及降水的时空变化. 高原气象, 2011, 30(2): 385-390.
- [34] 杨建平, 杨岁桥, 李曼, 谭春萍. 中国冻土对气候变化的脆弱性. 冰川冻土, 2013, 35(6): 1436-1445.
- [35] 伊万娟, 李小雁, 崔步礼, 马育军. 青海湖流域气候变化及其对湖水位的影响. 干旱气象, 2010, 28(4): 375-383.
- [36] 卢娜. 柴达木盆地湖泊面积变化及影响因素分析. 干旱区资源与环境, 2014, 28(8): 83-87.
- [37] 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. 地理科学进展, 2013, 32(6): 868-879.