

近20年青海湖的面积变化特征 及其与周围气候变化的响应

曾 昔¹, 肖天贵¹, 假 拉²

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 西藏自治区气象局, 西藏 拉萨 850000)

摘要:为充分分析青海湖湖泊面积变化特征及与周围气象要素变化的关系,利用近20年来青海湖地区的Landsat 卫星遥感影像资料,提取水体和计算各年湖泊面积,并结合近20年野牛沟、祁连、德令哈和刚察4个较靠近青海湖的基础气象站点的年降水量、平均气温、日照和风速的地面气象资料月值数据进行处理并分析。分析表明,青海湖湖泊面积整体变化表现为先减小后增大两个阶段,2004年为湖泊面积变化的拐点,1995–2004年面积减小92.7 km²,2004–2015年面积增大138.8 km²;青海湖东岸与西岸均出现不同程度的面积先减小后增大的趋势;湖泊周围的年平均气温、年降水量、年蒸发量和日照时数均呈现不同幅度的波动变化,并且均在2004年前后出现明显的指数突变,由相关性分析得出年平均降水和蒸发量的变化主要影响青海湖面积变化的整体趋势,而年平均气温、日照和风速对湖泊面积变化的影响并不明显;湖泊周围地势构造、人类活动和湖泊的补给排泄都会对湖泊面积造成一定影响。

关键词:气象学;青海湖面积变化;青海湖气候变化;遥感

中图分类号:P463.21

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2018.04.014

0 引言

青海湖位于青藏高原东北部、青海省境内,是西部荒漠化向东蔓延的天然屏障^[1],长105 km,宽63 km,湖面海拔为3196 m是中国最大的内陆湖,也是中国最大的咸水湖。青海湖是由祁连山脉的大通山、日月山与青海南山之间的断层陷落形成,湖盆边缘多以断裂并与周围山脉相连接,因此其构造也为断陷湖。青海省居于亚欧大陆中心,风沙多、降水少、高海拔且蒸发量大,具有明显的高原大陆性气候。

近20年来,通过一系列遥感影像资料的解释结果,青海湖的面积大小呈现一种先萎缩而后扩张的趋势。文中主要以遥感资料的借鉴和处理,并结合一系列气象观测数据作为基础,探究近20年来青海湖的面积动态变化及其对周围气候的影响。

基于气候对青海湖面积变化的研究很早以前就开展了。杨沈斌等^[2]分析了1961–2007年逐日气候资料和青海湖面积资料,采用主成分分析、小波分析等多种方法,揭示青海湖面积变率与气候变化的关系。刘瑞霞等^[3]采用NOAA/AVHRR的卫星遥感资料,对青

海湖1988–2000年的湖面进行水体判识,进一步采用主成分分析和回归分析方法对青海湖地区降水、气温和蒸发量做了初步气候分析,表明青海湖地区降水减少、气温升高、蒸发量增加是青海湖湖水面积逐年减少的主要原因。李凤霞等^[4]通过对环青海湖地区近44年平均气温、降水、蒸发量、风速及大风日数等气候要素的定量化统计分析及环青海湖地区草地、青海湖变迁、沙漠化等具指示性意义的生态要素指标进行研究,揭示了气候变化对青海湖及其周围生态与环境的影响效应。陈桂琛等^[5]对青海湖地区人类活动和环境现状的调查,例如人工蓄水、农业灌溉、盐湖工业开发和生态环境改造等,分析了人类活动对生态与环境影响的空间、时间及动态特征。李岳坦等^[6]对青海湖周围流域布哈河和沙柳河50年来的河川径流量分析,认为河川径流是水循环的基本环节,也是造成湖泊水量平衡的基本要素,因此河川径流作为湖泊的补给源或排泄口对于湖泊的湖面面积、水循环和生态环境都具有重要的影响。蒋文轩等^[7]利用青藏高原55个气象站近40年的逐月降雪量资料分析了冬季降雪特征得出,降水趋势逐步增加,冰雪融化加快,冰川退缩水量增加,青海湖地处青藏高原,因此可以推断冰雪覆盖与冰川消融对青海湖的面积变化也存在一定影响。

通过遥感技术(RS)对青海湖进行面积等一系列的分析,也是当今对湖泊研究一个比较热门的方法。

收稿日期:2018-02-26

基金项目:国家科技支撑资助项目(2015BAC03B05);国家自然科学基金重点基金资助项目(91337215);国家重点基础研究发展计划资助项目(2013CB733200);四川省应用基础研究计划资助项目(2013JY0063)

冯钟葵等^[8]选用 1986–2005 年的美国 Landsat5 卫星图像数据对青海湖地区进行长达 20 年的跟踪监测研究结果表明,2004 年青海湖水域面积比 1986 年缩小了约 80 km²,与 1989 年相比,水域面积缩小了 129 km²。李燕等^[9]基于卫星影像数据,从湖水位、水面面积、湖岸线三个方面分析了 1956–2011 年青海湖的变化特征,结果表明:56 年间水位累计下降 3.28 m;2005 年是青海湖由萎缩转为扩张的转折年份,2005–2011 年湖水位累计涨幅 1.01 m;水面面积与湖水位有很好的正相关关系,1956–2004 年萎缩了 397.5 km²,2005–2011 年扩张了 80.4 km²;1995 年以来沙岛湖一直与大湖水体分离,湖岸线变化不均匀。李晓东等^[10]选取青海湖周边地区气候资料及青海湖近 10 年的 MODIS 遥感资料,通过分析水体面积和水位、年均气温和年降水量的变化揭示青海湖面积的变化趋势。

综上所述,利用遥感技术(RS)和对气象要素的多样化分析是对湖泊面积变化研究的较为实用和有效的研究方法。基于前人的研究工作,对各个因素进行更细致的对比研究。主要以借鉴和拼接处理后的遥感资料,并结合一系列气象观测数据作为基础,对近 20 年来青海湖的面积动态变化及其对周围气候的影响进行探讨。

充分了解了前人的研究工作后,提出以下问题:青海湖近 20 年的面积特征是怎样的?近 20 年青海湖周围的气象要素有怎样的变化?青海湖周围的气象要素变化与青海湖面积变化是否存在联系?各个气象要素与面积变化的相关性又怎么样?

1 数据与方法

1.1 湖泊面积数据

为了充分了解青海湖面积变化情况,发现卫星遥感影像数据是对湖泊面积变化研究较为理想的数据源。因此选取青海湖 1995–2015 年,近 20 年的 Landsat 卫星遥感资料进行研究,所有影像资料均为筛选的 7–9 月湖泊处于丰水期的影像且所有影像资料均为无云或少云图像,湖泊呈像及其边界信息清晰。通过对青海湖面积的观察,为了进行合理分析,将近 20 年的时间分为 2 个时期,2004 年前和 2004 年后。

由于部分遥感影像的缺失,借鉴部分研究湖泊面积的文献资料的遥感数据作为补充,遥感影像资料来源和其详细信息见表 1。图 1 为实时的青海湖 Landsat8 卫星遥感影像。

表 1 青海湖遥感影像及来源

年份	影像	来源
1995–2013 年	Landsat7 ETM	美国地质调查局官网(USGS)
2013–2015 年	Landsat8 OLI	中科院遥感数据共享网
缺失资料	Landsat TM ETM	文献[11]、[12]、[13]

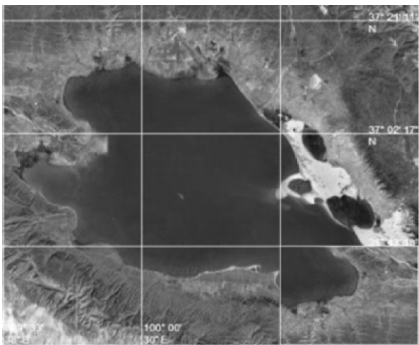


图 1 青海湖遥感影像

1.2 气象数据

气象数据来源于国家气象信息中心西藏地区野牛沟、祁连、德令哈和刚察 4 个较靠近青海湖的基础气象站点的年降水量、平均气温、日照和风速的地面气象资料月值数据进行处理并分析,由于资料缺失,蒸发量资料仅选择恰卜恰气象站的蒸发量日值数据做处理分析,并通过降水量和蒸发量计算干旱指数,从而进一步进行分析。

1.3 处理分析方法

1.3.1 遥感影像资料处理

利用 Envi 软件和 Arcgis 软件对青海湖的遥感影像资料做矢量化处理和水体提取,不全的图像进行无缝拼接,地理坐标选用 GS-84,投影坐标选用 UTM,综合 7 个波段的影像资料,又因为改进归一化水指数=(绿波段–中红外波段)/(绿波段+中红外波段),将得出的水体和其他典型地物的灰度值进行统计分析,得到水体的分割阈值大于 0.5,提取出白色高亮度水体,计算并统计出水体的像元个数,单位像元个数的面积为 30×30 m²,从而得出青海湖湖泊面积(湖泊面积存在一定误差)。

1.3.2 气候倾向率

气象要素的气候变化趋势选用气候倾向率法,即:

$$Y = a_0 + a_1t$$

式中:Y 为气象要素值,t 为时间,a₀ 为常数项,a₁ 为线性趋势项。通过已处理的气象要素资料,画出其变化折线图,并得出其倾向方程和倾向率,观察之后的变化趋势。

1.3.3 小波周期分析

近年来,在中国的大气科学研究领域中,小波周期分析已经成为天气分析、气候变化等研究的重要分析手段,利用已有的气象要素资料,通过 grads 画图,观察气象要素的周期变化。

1.3.4 皮尔逊相关性分析

两变项间的相关可以用许多统计值来测量,最常用的是皮尔森相关性分析,通过对湖泊面积的变化与不同气象要素进行相关性分析,可以判断出不同的气象要素对湖泊面积变化作用的大小,即:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{s_X} \right) \left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{s_Y} \right)$$

式中: r 为皮尔逊相关系数, n 为样本量, X 为湖泊面积, Y 为气象要素值。通过观察 r 确定不同气象要素与湖泊面积之间的相关性大小。

2 青海湖湖泊面积动态变化

由于近几年的全球气候变暖和多种极端天气的影响,青海湖的面积也发生了较大的波动变化,其主要补

给源为地表径流和大气降水,选取青海湖湖区 1995–2015 年丰水期的遥感影像资料,通过提取水体,统计像元个数,计算水体面积,统计结果如表 2。通过观察可以看出,从 1995–2004 年面积呈逐步减小的趋势,而从 2004–2015 年面积成扩张趋势。由图 2(a) 可以看出,近 20 年的青海湖湖泊面积变化明显且具有一定特征:青海湖面积变化整体上呈现先减小后增大的趋势,从 1995–2004 年,青海湖面积总体呈现下降趋势,而从 2004 年后,青海湖面积呈现增长趋势,因此以 2004 年作为一个拐点;在个别年份呈现突变趋势,如 1995 年及 2004 年,湖泊面积骤然减少和增加;总体而言,青海湖面积呈现不同程度的波动,但波动的持续时间不是很长,大致在 1~2 年。

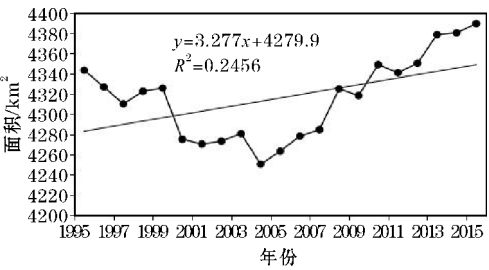
取 20 年的青海湖湖泊面积平均值约为 4315.93 km²,分析每年的湖泊面积与平均值之间的累计距平面积变化。湖泊面积的累计距平曲线的上升段和下降段分别代表着面积的增大和减小。由图 2(b) 可以看出,从 1995–1999 年,面积变化不太明显,为平稳变化;从 1999–2007 年面积呈现明显的减小;而从 2007 年后,面积明显增大。

表 2 青海湖各年份湖泊面积统计表 km²

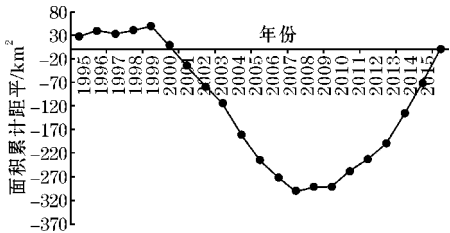
年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Landsat 面积	4343.21	4326.72	4310.12	4322.48	4325.62	4375.09	4270.34	4273.25

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Landsat 面积	4280.73	4250.50	4263.33	4278.23	4287.57	4324.78	4318.28	4348.71

年份	2011	2012	2013	2014	2015
Landsat 面积	4340.72	4350.23	4378.40	4380.21	4389.36



(a) 面积变化曲线



(b) 面积累计距平变化

图 2 1995–2015 年青海湖面积变化曲线及累计距平变化

通过图 2 对青海湖面积变化趋势的分析,选择了具有明显面积变化的 1999 年、2004 年和 2015 年的青海湖遥感影像资料进行湖泊提取,如图 3 所示。从遥感影像资料上可以大体看出青海湖湖泊面积的变化,特别是 2004 年青海湖的东岸和西岸相比于 1995 年,都出现了明显的湖面面积萎缩趋势,而 2015 年青海湖的东岸和

西岸相比于 2004 年,均出现了明显的扩张趋势。为了更加明显地观察青海湖湖泊面积的变化情况,作出青海湖不同时期的 RGB 融合图像(图 4),由图 4 可以看出:青海湖的东岸沙岛湖和海燕湾湖均出现湖泊面积的变化;青海湖西岸的鸟岛和海色皮地区湖泊面积变化也较大。

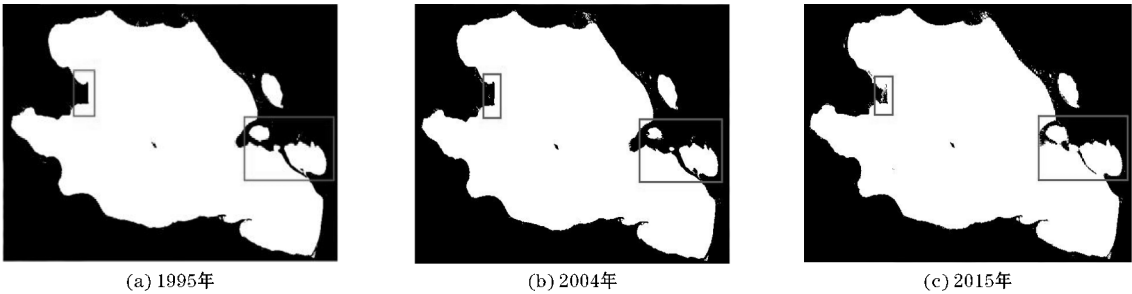


图 3 不同时期的青海湖面积遥感提取图

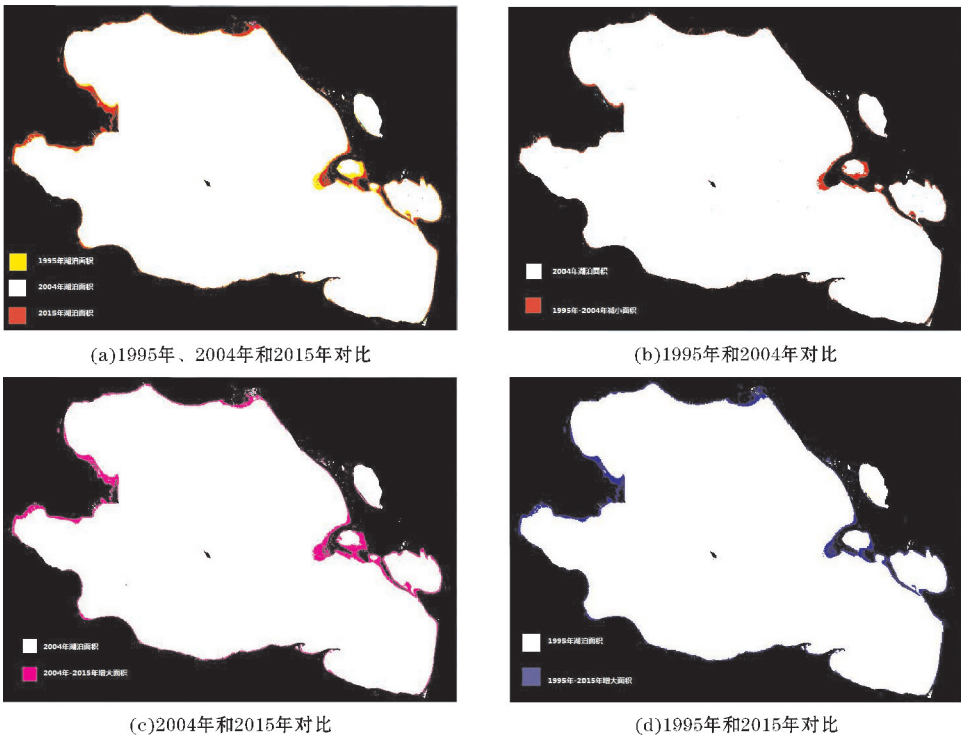


图 4 不同时期的 RGB 融合图像对比

2.1 1995–2004 年青海湖面积变化

通过对图 2 青海湖面积波动图的观察,将 2004 年作为一个分界点,先对 2004 年前的湖泊面积作分析。点绘青海湖水域面积在 1995–2004 年近 10 年的变化,如图 5 所示。

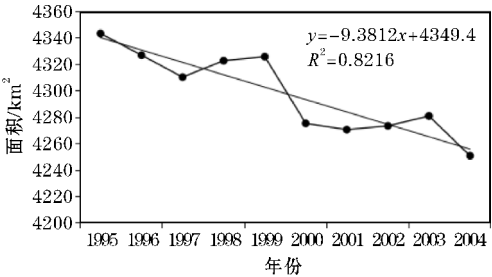


图 5 1995–2004 年青海湖面积变化

青海湖的湖面面积从 1995 年的 4343.2 km²降低至 2004 年的最低值 4250.5 km², 减少了 92.7 km², 可以明显看出每年青海湖的面积平均减少约 9.3 km², 湖

泊呈现明显的萎缩趋势。总体而言,截至 2004 年,湖泊面积减小了整个平均湖泊总面积的 2.2%。

由于青海湖东部为季风区、西部为干旱区,又是青藏高原的交汇地,地区环境非常脆弱敏感^[14]。通过对 1995–2004 年青海湖遥感影像资料的分析,结果表明近 10 年来青海湖的湖岸总体变化趋势为陆地相对向湖水推进,变化较大的地带主要为东部地区的沙岛湖和海晏湾湖地带、西部地区的鸟岛和海色皮地带等。因此,选取青海湖两个陆湖变化最为明显的地带进行研究。

2.1.1 东岸

图 6 为 1995–2004 年青海湖东岸的 RGB 对比图,反映了青海湖东岸 1995–2004 年的整体变化状况。白色区域为 2004 年湖泊面积,红色区域为 1995–2004 年缩小的湖泊面积,可以明显看出 2004 年沙岛湖的面积明显减小,其周围陆地面积在逐步增大;同时,海晏湾湖与青海湖之间的长条形沙堤也呈明显的增大,沙

岛湖与海晏湾湖几乎整体与青海湖分离。

青海湖东岸湖体分离,主要是移动型风成沙堆积湖岸,湖流进一步改造形成的^[15]。在风积和湖水流动作用的共同参与使得青海湖东岸的湖体呈进一步分离的趋势。因此,为了预防风沙对青海湖的进一步侵蚀,有必要对东岸自北至南的移动型砂丘采取固沙治沙措施防止移动沙体进一步扩展和湖泊萎缩。



图 6 1995–2004 年青海湖东岸 RGB 对比图

2.1.2 西岸

图 7 为 1995–2004 年青海湖西岸的 RGB 对比图,反映了青海湖西岸 1995–2004 年的整体变化状况。白色区域为 2004 年湖泊面积,红色区域为 1995–2004 年缩小的湖泊面积,可以明显看出 2004 年鸟岛周围的陆地面积明显增大,海色皮的西北局部与陆地相连;鸟岛已名存实亡,海色皮西岸全部与陆相连,影像上已看不出湖区西部有岛的存在,青海湖西岸鸟岛、海色皮完全连陆。

近年以来,布哈河多次改道,在陆源补给丰富,及湖流对湖岸改造作用的参与下,湖西岸地貌变化很大^[13]。



图 7 1995–2004 年青海湖西岸遥感影像资料

2.2 2004–2015 年青海湖面积变化

从图 8 可以看出,2004 年的最低值到 2015 年的 4389.3 km²,青海湖面积呈现增长趋势,湖泊面积增大了 138.8 km²,根据气象要素倾向率方程,可以明显看出每年青海湖的湖泊面积平均增加约 12.9 km²,湖泊呈现出明显的增长趋势。总体而言,截至 2015 年,湖

泊面积增大了整个平均湖泊总面积的 3.2%。同样,2004 年后期的湖泊面积变化特例依然选择东部的沙岛湖、海晏湾湖地带和西部鸟岛、海色皮地带。

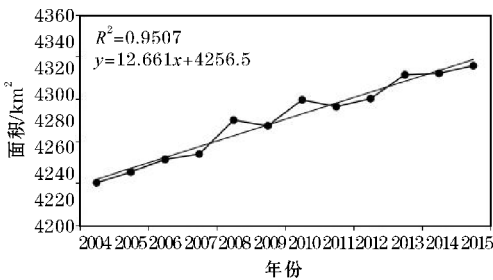


图 8 1995 年–2004 年青海湖面积变化

2.2.1 东岸

图 9 为 2004–2015 年青海湖东岸的 RGB 对比图,反映了青海湖东岸 2004–2015 年的整体变化状况。白色区域为 2004 年湖泊面积,桃红色区域为 2004–2015 年间增大的湖泊面积,可以明显看出 2015 年沙岛湖的面积明显增大,其周围的陆地面积在逐步缩小;同时,海晏湾湖与青海湖之间的长条形沙堤也呈明显的减小趋势。

近年来,沙岛湖和海晏湾湖面积不断扩大的最主要原因是,由于全球气候变暖使得湖区气候有所改变,降水量增加。另外,湖区周围草场的过度放牧得到了抑制,使植被的生长环境得以改善,蕴水良好。



图 9 2004–2015 年青海湖东岸遥感影像资料

2.2.2 西岸

图 10 为 2004–2015 年青海湖西岸的 RGB 对比图,反映了青海湖西岸 2004–2015 年的整体变化状况。白色区域为 2004 年湖泊面积,桃红色区域为 2004–2015 年增大的湖泊面积,可以明显看出 2015 年鸟岛周围的陆地面积明显减小。海色皮周围逐渐被湖水包围,陆地面积明显减小,鸟岛周围的湖水面积也增多,鸟岛重新出现。

近年来鸟岛周围湖泊面积不断扩大的最主要原因是湖区气候有所改变,降水量不断增大导致布哈河的补给水量增多,周边沙化面积逐渐减小,湿地也逐步增多。

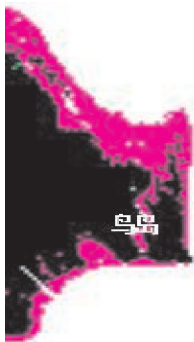
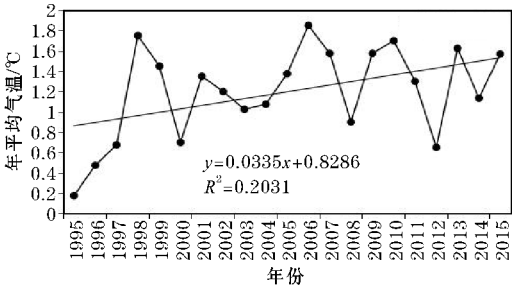


图 10 2004–2015 年青海湖西岸遥感影像资料

3 青海湖周围气候波动

为了精确分析青海湖周围气候变化情况,选择的
气象数据来源于西藏地区野牛沟、祁连、德令哈和刚察
4 个较靠近青海湖的基础气象站点的年降水量、平均
气温、日照和风速的地面气象资料月值数据进行处理
并分析,由于蒸发量资料缺失与不完整,仅选择恰卜恰
气象站的蒸发量日值数据做分析。

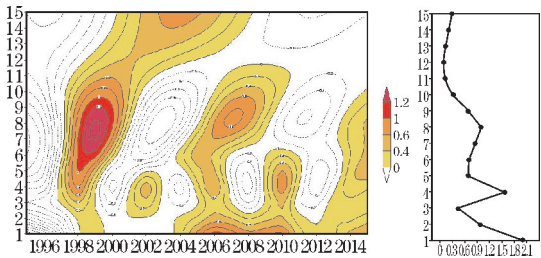


(a) 年平均气温变化折线图

3.1 气温

青海湖流域面积宽广,气温特征分布大致表现为
西北向东南逐步增长的趋势。由图 11(a)可以看出,
1995–2004 年气温变化迅速,增幅为0.07 ℃/年,2004
–2015 年温度呈波动变化。近 20 年来青海湖周围的
气温呈明显的波动变化,除 1998 年、2006 年和 2010
年出现了明显的转折,使得年平均气温骤降,然而由气
象要素倾向方程可以看出,整体的平均气温依然呈现
逐步上升趋势与全球气候变暖的趋势相呼应。

通过小波分析检测年平均气温的周期性变化,如
图 11(b)所示,得到年平均气温近 20 年时间序列经小
波变换后的能量谱图,可以观察出年平均气温在不同
时间序列上的振荡周期,具有明显的4 a、8 a振荡周
期。4 a的振荡周期在 2000–2012 年较为明显,经历了
气温的低–高–低–高–低–高–低 7 个循环交替;8 a的
振荡周期在整个近 20 年的时间变化都较为明显,经
历了气温的低–高–低–高–低–高 6 个循环交替。

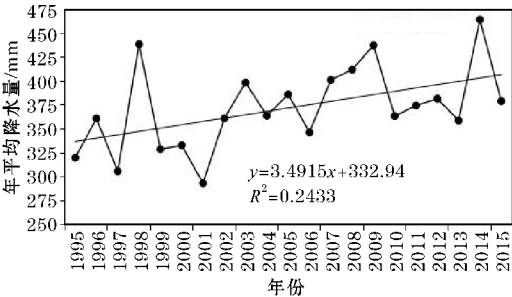


(b) 年平均气温小波分析

图 11 1995–2015 年青海湖年平均气温变化及小波分析

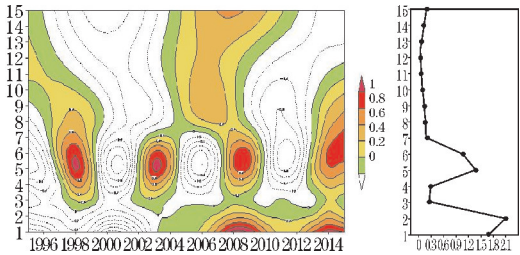
3.2 降水量

为提高降水资料的代表性,使用了均匀分布于青
海湖内部以及周边的 4 个气象站的 1996 至 2015 年的
逐日降水资料并进行处理分析,并分析这 4 个气象站



(a) 年平均降水变化折线图

平均年降水量与青海湖面积长期变化趋势,站点分别
为野牛沟、祁连、德令哈和刚察。由于这 4 个基础站点
均分布在青海湖湖区的四周,观测时间较长且数据充
分,在一定程度上可以反映青海湖地区的降水特征且
具有一定代表性。



(b) 年平均降水小波分析

图 12 1995–2015 年青海湖年平均降水变化及小波分析

由图 12(a)可以看出,1998–2001 年平均降水量
一直呈下降趋势且非常明显,减幅约为36.3 mm/年;

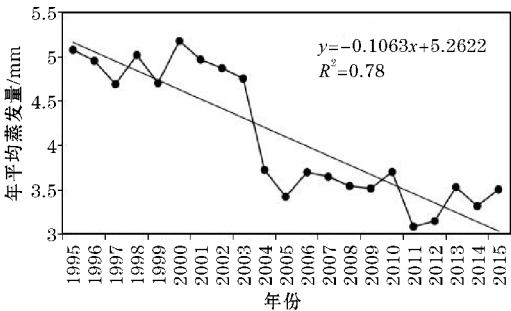
2001–2009 年平均降水量有所增加但相对平缓,增幅
为16 mm/年。由气象要素倾向方程可以看出,降水量

依然呈整体上升的趋势。

通过小波分析检测年降水量的周期性变化,如图 12(b),得到年平均降水量近 20 年时间序列经小波变换后的能量谱图,可以观察出年平均降水量在不同时间序列上的振荡周期,在整个近 20 年里具有明显的 5a 振荡周期,在 5a 的时间变化层次上经历了降水的偏少-偏多-偏少-偏多-偏少-偏多...,8 个循环变化。

3.3 蒸发量

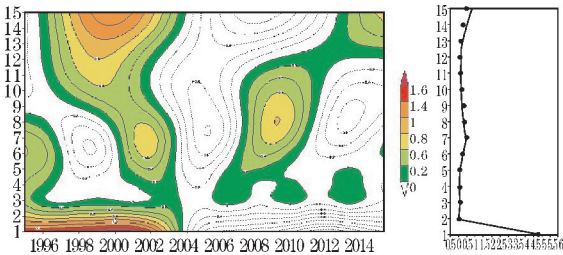
蒸发是水循环过程中一个重要的环节,蒸发量的波动变化会直接影响水平衡,因此,青海湖地区蒸发量的变化也会严重影响青海湖湖泊面积的变化。图 13



(a) 年平均蒸发变化折线图

为恰卜恰气象站的年平均蒸发量折线图。

由图 13(a) 可以看出,1995-2003 年蒸发量呈现波动趋势,蒸发量一直处于居高不下的事态;从 2003-2015 年蒸发量呈现巨大的下滑趋势,其年平均蒸发量减幅约为 1.1 mm/年,特别是 2003-2004 年,年平均蒸发量就减小了近 10 mm。由图 13(b) 可以明显地观察到蒸发量的变化在 2004 年以前异常增大为正距平且成波动变化,在 2004 年以后蒸发量的负异常明显且数值越来越大。通过小波分析检测年平均蒸发量的周期性变化,并没有发现蒸发量在近 20 年里有明显的周期变换。



(b) 年平均蒸发小波分析

图 13 1995-2015 年青海湖年平均蒸发变化及小波分析

3.4 干旱指数

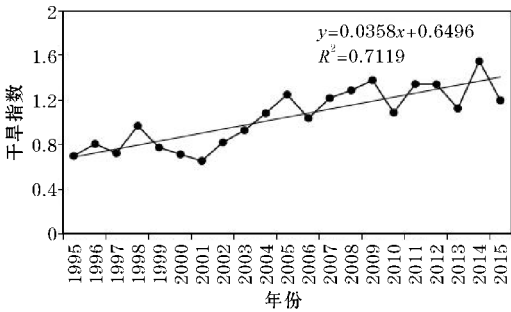
青海湖地处干旱内陆地区,因此水资源量主要收到降雨量和蒸发量的影响,且降水量与蒸发量相互影响和制约。为了综合分析降水和蒸发对青海湖面积的影响,使用了恰卜恰气象站 1996-2015 年的干旱指数,进一步分析三者的内在联系。干旱指数计算公式如下:

$$K = P' / E'$$

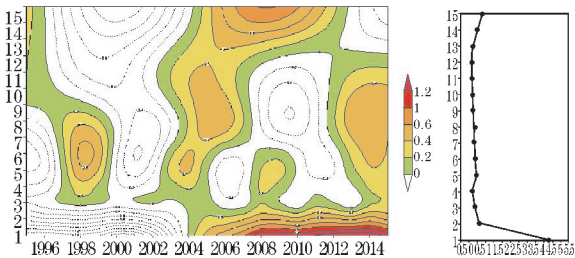
式中:K 为干旱指数,P' 为年降水量的相对变率, $P' = P / \bar{P}$,P 为年降水量, \bar{P} 为多年平均降水量 (1996-2015 年);E' 为年蒸发量的相对变率, $E' = E / \bar{E}$,E' 为年降水量, \bar{E} 为多年平均蒸发量 (1996-2015 年)。通过对干旱指数的分析,可以同时考虑到降水量和蒸发量,且减小了单因素分析的误差,也消除了量纲^[16]。

由图 14(a) 可以看出,青海湖流域的干旱指数变化呈现平稳波动变化的过程,2001 年、2005 年、2009 年和 2013 年为重要的转折点,干旱指数整体呈现一定的上升趋势。1995 年到 2001 年波动幅度均不是太大,在 2001 年降到最低值约 0.6;2001 年后干旱指数出现大幅上升,在 2014 年达到最大值约 1.5,之后出现少许回落。通过小波分析检测干旱指数的周期性变化,并没有发现干旱

指数在近 20 年里有明显的周期变换。



(a) 干旱指数变化折线图



(b) 干旱指数小波分析

图 14 1995-2015 年青海湖干旱指数变化及小波分析

3.5 日照

日照时数可以有效表征当地的气候和描述过去的天气状况,通过分析日照时数的变化趋势对气候预测

也有一定的帮助。由图 15(a)可以看出,青海湖的年日照时数的变化趋势,在 1995–2004 年,日照时数呈现波动变化,整体为缓慢减弱趋势;2004 年后,日照时数呈现快速的减弱趋势,并在 2012 年出现最低值 2691.78 h,之后有所回升。

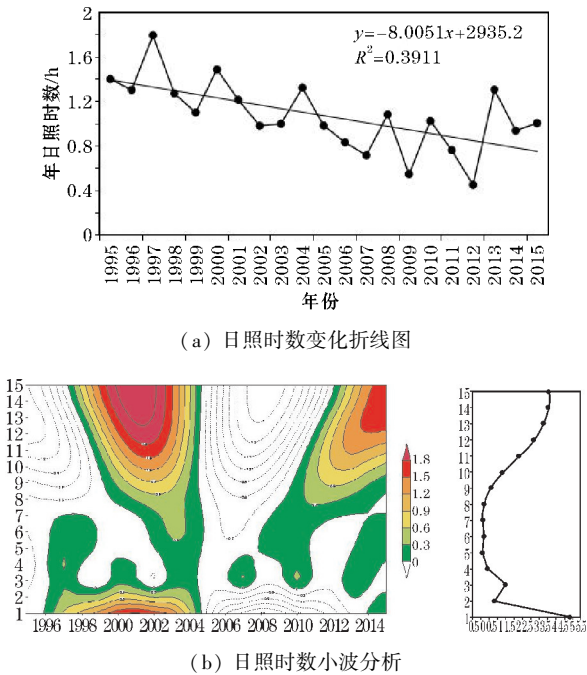


图 15 1995–2015 年青海湖日照时数变化及小波分析

通过小波分析检测年日照时数的周期性变化,如图 15(b)所示,得到年日照时数近 20 年时间序列经小波变换后的能量谱图,近 20 年青海湖地区经历了由日照数相对偏少到相对偏多到偏少再到偏多的过程。突变时间在 2004 年左右,在 3 a 的时间变化层次上经历了日照时数偏少–偏多–偏少–偏多–偏少–偏多…,12 个循环变化。

3.6 风速

综合 1995–2015 年青海湖周围的野牛沟、祁连、德令哈和刚察 4 个气象站点 20 多年的平均风速数据,分析青海湖近 20 年的平均风速变化。由图 16(a)看出,年平均风速总体上呈平稳变化,略有下降趋势,倾向率为–0.0019。

通过小波分析检测年平均风速的周期性变化,由图 16(b)得到年平均风速近 20 年时间序列经小波变换后的能量谱图,可以观察出年平均风速在不同时间序列上的振荡周期,具有明显的 5 a、11 a 振荡周期。5 a 的振荡周期在 2001–2013 年较为明显,经历了风速的高–低–高–低–高–低 6 个循环交替;10 a 的振荡周期在整个近 20 年的时间变化都较为明显,经历了风速的高–低–高–低 4 个循环交替。

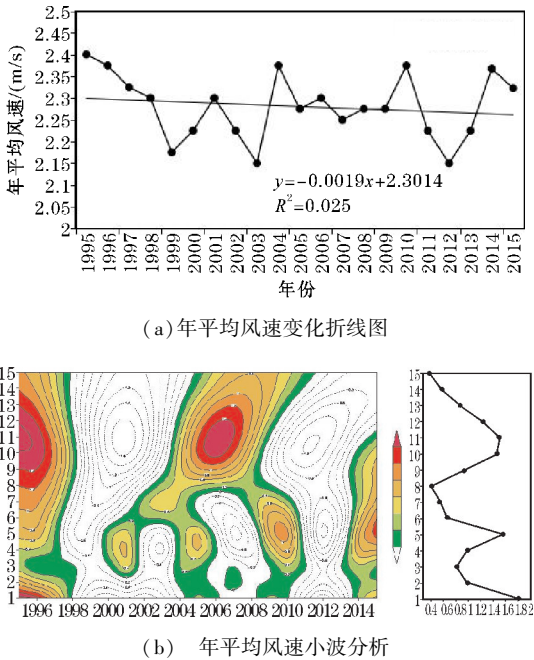


图 16 1995–2015 年青海湖年平均风速变化及小波分析

4 湖泊面积变化与其周围气候波动的响应

总体而言,青海湖面积在近 20 a 里呈现先萎缩后扩张的趋势,这与其周围的气温、降水量、蒸发量和日照有着密切的关系,如图 17 所示,分别将年平均气温、年降水量、年蒸发量和年日照时数与青海湖面积做比较,得出结论:

(1)由图 17(a)可以看出,从 1995–2015 年青海湖流域的平均气温为波动变化,整体变化趋势为先增长后降低;而面积变化则是先减小后增大,说明气温增高面积减小,气温降低面积增大。求出气温与面积的相关系数约为 0.009,没有通过显著性检验,说明面积变化与平均气温之间基本无相关性。

(2)由图 17(b)可以看出,多站的平均降水量大致呈先减小后增大的趋势,与湖泊面积变化一致,特别是 1999–2000 年降水量的减少使得湖泊面积有所减小。求出降水量与面积的相关系数约为 0.268,通过了 0.1 显著性检验,说明面积变化与年平均降水量之间具有一定的相关性。

(3)由图 17(c)可以看出,从 1995–2015 年青海湖流域的年平均蒸发量呈下降趋势,1995–2003 年下降平缓,2004 年后蒸发量下降迅速而青海湖面积却迅速增长,正好与青海湖的面积变化相反。求出蒸发量与面积的相关系数约为 –0.346,通过了 0.1 显著性检验,说明面积变化与蒸发量具有一定的相关性。

(4)由图 17(d)可以看出,日照时数大致呈先增

大后减小的趋势,在 1995–2003 年日照时数为缓慢的波动变化,但在 2004 年日照时数大幅度减小成为一个转折点,2004 年后蒸发量继续呈波动变化趋势。求出日照时数与面积的相关系数约为 -0.16 ,没有通过显著性检验,说明面积变化与年日照时数之间基本无相关性。

(5)由图 17(e)可以看出,年平均风速大致呈波动变化,在 1999 年、2003 年和 2012 年出现较低值,其变化趋势大致与面积变化相同。求出年平均风速与面积的相关系数约为 0.133 ,没有通过显著性检验,说明面积变化与年平均风速之间基本无相关性。

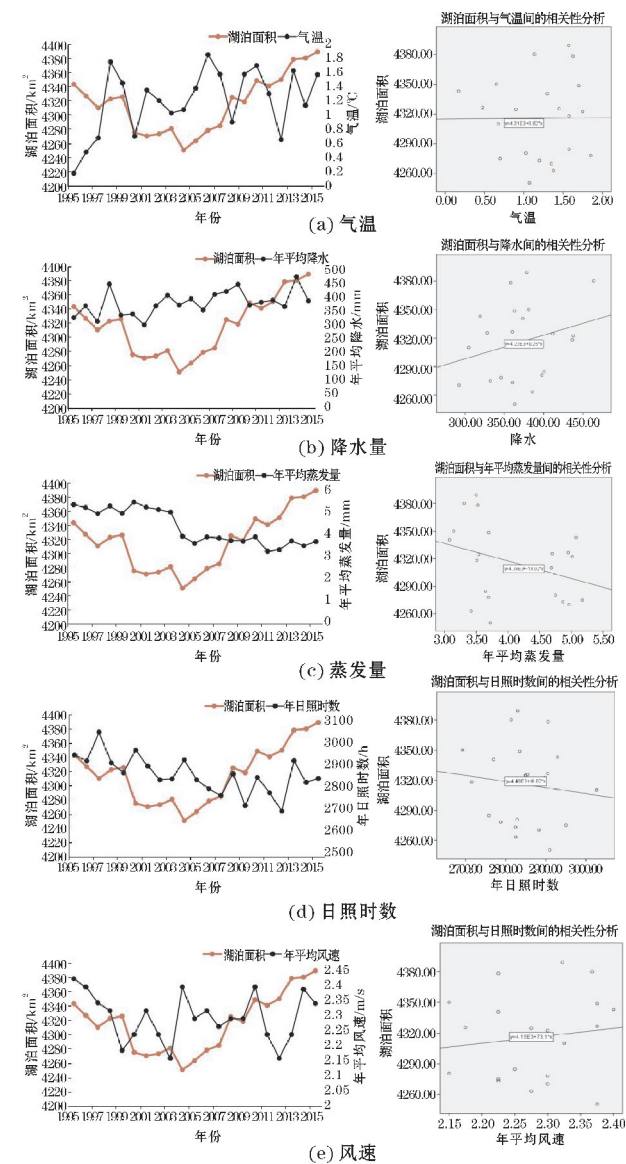


图 17 青海湖面积与各气象要素之间的相关性

5 结论

应用青海湖近 20 年的 Landsat 卫星遥感资料,提

取了青海湖的水体和计算其多年面积变化趋势,并分析了其周围气象站点的多个气象要素的长期变化,同时探求它们与青海湖面积变化的关系,主要结论如下:

(1)青海湖湖泊整体变化表现为一条凹形曲线,即湖泊面积经历了从逐步减小到逐步增大的过程,2004 年为湖泊面积变化的拐点且为研究时间段的最低值点。1995–2004 年面积减小 92.7 km^2 ,2004–2015 年面积增大 138.8 km^2 。青海湖近 20 年的湖泊面积在小范围内出现不同程度的波动,并在个别年份出现突变点,如 1997 年、2000 年以及 2004 年。通过遥感影像资料对青海湖的东部沙岛湖和海晏湾湖地带、西部鸟岛地带进行面积变化个例分析,进一步探讨青海湖面积变化的特征。

(2)选取了近 20 年青海湖周围的气象要素资料进行分析,并利用小波分析法对这些要素进行能量周期分析,其中主要有气温、降水量、蒸发量和日照时数。气温变化主要影响青海湖面积变化的整体趋势;降水量和蒸发量是造成湖泊面积变化的主要因素;日照也主要影响湖泊面积变化的整体趋势。通过相关性分析,整体而言,青海湖面积的变化与气温和蒸发量存在一定的相关性。

(3)提出了除气象要素外的其他一定因素会对青海湖的面积造成影响,分别为湖泊周围的地势构造影响湖盆形状,从而引起湖泊对水量变化的响应速度的不同;湖泊周围的人类活动如人工蓄水、农业灌溉、盐湖工业开发和生态环境改造等,也对湖泊面积变化产生影响;湖泊的补给区与排泄区也是造成湖泊面积变化的因素之一。

青海湖是中国最大的内陆湖,湖泊周围地势复杂气候多变,湖泊周围人群居住密集,流经的湖泊众多。单从气候变化的角度入手讨论其对青海湖的影响是远远不够的,还有其他许多未知的不定性因素共同影响着青海湖周围的气候和湖泊面积,例如湖泊地势构造、人类活动、川流补给排泄、冰川退缩等。因此,除了讨论其周围气象要素的变化以外,还应该对其周围其他因素可能对湖泊面积造成的影响做出说明和解释。这些因素同样也影响这青海湖的面积,希望之后能通过更多的资料对这些除气象要素以外的因素做分析探讨,更全面地诠释湖泊面积变化特征。

参考文献:

[1] 邵玉红,张占峰. 青海湖地区 40 多年来的气候变化[J]. 青海气象,2001(1): 22–25.
[2] 杨沈斌,吕开龙,王文玉,等. 气候变化对青海湖

- 面积变化的影响[A]. 中国气象学会. 中国气象学会年会[C]. 2011.
- [3] 刘瑞霞,刘玉洁. 近20年青海湖湖水面积变化遥感[J]. 湖泊科学,2008,20(1):135-138.
- [4] 李凤霞,伏洋,杨琼,等. 环青海湖地区气候变化及其环境效应[J]. 资源科学,2008,30(3):348-353.
- [5] 陈桂琛,彭敏,周立华. 青海湖地区人类活动对生态环境影响及其保护对策[J]. 干旱区地理,1995,18(3):57-62.
- [6] 李岳坦,李小雁,崔步礼,等. 青海湖流域50年来(1956-2007年)河川径流量变化趋势[J]. 湖泊科学,2010,22(5):757-766.
- [7] 蒋文轩,假拉,肖天贵,等. 1971-2010年青藏高原冬季降雪气候变化及空间分布[J]. 冰川冻土,2016,38(5):1211-1218.
- [8] 冯钟葵,李晓辉. 青海湖近20年水域变化及湖岸演变遥感监测研究[J]. 古地理学报,2006,8(1):131-141.
- [9] 李燕,段水强,金永明. 部分正交析因法在浮选流程优化试验中的应用[J]. 人民黄河,2014(6):87-89.
- [10] 李晓东,肖建设,李凤霞,等. 基于EOS/MODIS数据的近10a青海湖遥感监测[J]. 自然资源学报,2012(11):1962-1970.
- [11] 闫丽娟,郑绵平,魏乐军. 近40年来青藏高原湖泊变迁及其对气候变化的响应[J]. 地学前沿,2016,23(4):310-323.
- [12] 沈芳,匡定波. 青海湖最近25年变化的遥感调查和研究[J]. 湖泊科学,2003,12(4):289-296.
- [13] 沈亚文,陈华,许崇育. 1973-2013年青海湖水面面积变化遥感动态分析[J]. 水资源研究,2013,2:309-315.
- [14] 中国科学院兰州分院. 青海湖近代环境的演化和预测[M]. 北京:科学出版社,1994:5,71-73.
- [15] 徐叔鹰,徐德馥. 青海湖东岸的风沙堆积[J]. 中国沙漠,1983,3(3):11-17.
- [16] 韩元红,郝乐伟,王琪,等. 盛行风控制下的青海湖水动力特征[J]. 人民黄河,2016,38(3):51-55.

Characteristics of Area Change of Qinghai Lake and its Response to the Climate Change in the Nearly 20 Years

ZENG Xi¹, XIAO Tian-gui¹, JIA La²

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Tibet Meteorological Bureau, Lhasa 850000, China)

Abstract: In order to fully analyze the variation relationship between lake area and meteorological elements around Qinghai lakes, this paper extracted the water, calculated the lakes area of every year and combined with the ground meteorological data of average temperature, sunlight intensity and wind speed, which have been recorded in the four meteorological stations near Qinghai lakes in Yeniuogou, Qilian, Delingha, and Gangcha in recent 20 years. Analysis shows that the whole variation of Qinghai lakes' area was divided into two stages, first shrank and then enlarged. There was a turning point of lake area variation in 2004. The area shrank 92.7 km² from 1995 to 2004, and it enlarged 1338 km² in 2004-2015. The phenomenon appeared in the east coast and west coast of Qinghai lakes accordingly. The average temperature, sunlight intensity and wind speed around lakes have a different range of fluctuation and they have a sharp fluctuation around 2004. It indicates that the average temperature and evaporation capacity mainly affect the whole trend of the lake area variation, but the effect of average temperature, sunlight intensity and wind speed are not obvious. Terrain construction, human activities, supply and drainage of lake have a certain effect on it.

Keywords: meteorology; the change of Qinghai Lake area; climate change in Qinghai Lake; remote sensing