

近40年来中国西北内陆5个典型湖泊面积变化遥感分析

岳辉, 刘英, 杨维涛, 王欣悦

(西安科技大学测绘科学与技术学院, 陕西西安710054)

摘要: 在全球气候变暖的背景下, 研究中国西北内陆地区湖泊的面积变化不仅对水资源管理和可持续发展战略有着重要意义, 也为评价气候变化与人类活动对湖泊的影响提供参考。以中国西北内陆区5个典型湖泊为研究对象, 利用1970-2015年的Landsat MSS/TM/ETM+/OLI影像数据, 利用归一化差异水体指数(Normalized Difference Water Index, NDWI)和改进型归一化差异水体指数(Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI)分别提取5个典型湖泊边界并获取湖泊面积, 同时利用5个典型湖泊周边的气象站降雨量、蒸发量等气象数据, 尝试分析湖泊面积发生变化的原因。结果表明: 红碱淖近30年来面积呈减小趋势, 入湖河流拦蓄和煤炭地下开采等是导致面积减少的原因; 博斯腾湖近40年来的面积呈先增加后减少的趋势, 其面积变化主要受地表径流和积雪融水的影响; 呼伦湖近40年来面积呈减少的趋势, 其面积变化主要受入湖径流量的影响; 贝尔湖近30年来呈相对稳定的趋势, 其面积变化主要受入湖径流量的影响; 青海湖近40年来面积呈现先减小后增大的趋势, 其面积变化主要受区域降水和入湖径流量的影响。

关键词: 西北内陆湖泊; 湖泊面积变化; Landsat; 动态监测

中图分类号: P343.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)06-0027-06

Remote sensing analysis on lake area variations of 5 typical lakes in the Northwest of China over the past 40 years

YUE Hui, LIU Ying, YANG Weitao, WANG Xinyue

(College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In the context of global warming, study on the change of inland lakes in Northwest China not only has great significance in inland water resources management and sustainable development strategy, but also provides reference for assessing the impact of climate change and human activities on lakes. This paper selects five inland lakes in Northwest China, using Landsat MSS/TM/ETM+/OLI data from 1970 to 2015, normalized difference water index (Normalized Difference Water Index and NDWI) and modified normalized difference water index (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI) to extract five typical lake boundaries and obtain the annual precipitation, evaporation and temperature from meteorological station data of 5 lakes were used to analyze reasons for the area change. The results showed that area of Hongjiannao in the past 30 years overall was reduced, and the groundwater impoundment and underground coal mining were the main causes for area reduction. Bosten Lake in recent 40 years area showed a decreasing trend after the first increase, whose area was mainly affected by the surface runoff and snowmelt. The area of Hulun Lake tended to decrease in the past 40 years, and its area change was mainly affected by the runoff into the lake. Baer lake is relatively stable in recent 30 years, and its area was mainly affected by the runoff; the area of Qinghai Lake in the past 40 years showed a trend of decreasing and then increasing, and the change of its area was mainly affected by the regional precipitation and the inflow of lake.

Key words: Inland lakes of Northwest China; lake area change; landsat; dynamic monitoring

收稿日期: 2017-06-19; 修回日期: 2017-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401496); 中国博士后科学基金项目(2016M592815)

作者简介: 岳辉(1983-), 男, 山东淄博人, 博士, 讲师, 主要从事环境遥感研究。

通讯作者: 刘英(1982-), 女, 山东滨州人, 博士, 副教授, 主要从事环境遥感研究。

内陆湖泊是干旱或半干旱地区水资源的重要组成部分。近年来,由于气候变暖,加之人类不合理地开发利用,导致了若干内陆湖泊濒临干涸,例如我国西北的罗布泊、玛纳斯湖、艾比湖等。伴随着湖泊水位下降与湖泊面积收缩,致使湖滨地区的大片沼泽与森林消失、沙漠发展、水质恶化而使鱼类生长环境日益恶化,给当地居民生活及工农业生产造成严重的影响^[1]。开展干旱、半干旱地区内陆湖泊的演变与成因分析,评价气候变化与人类活动对湖泊的影响,是一项非常重要、具有前瞻性的工作,对于合理开发、利用干旱与半干旱地区的湖泊资源具有指导意义。关于内陆湖泊面积变化已有不少学者做出了相关研究,姜丽光等^[2]对多种遥感影像的湖泊动态变化进行了研究,并做了较为系统的总结,进而对研究方法进行了详细分析,对当前湖泊动态变化遥感研究发展趋势进行了展望。成晨等^[3]获取1978年MSS、1989年TM、1998年TM及2010年ETM的同季4期遥感图像数据,通过人工解译提取中亚地区7个湖泊信息,获得近30年的湖泊面积变化。杨日红等^[4]通过解译1992-1999年期间3个时期的西藏色林错湖泊Landsat遥感影像,得出该湖泊这个时间段内面积呈增长趋势,并对其原因进行了分析,发现该湖泊面积变化的原因是气温升高导致的冰雪融化。万华伟等^[5]利用长时间序列的MODIS数据,采用水体指数动态分析的方法,对2000-2013年呼伦湖的水体面积进行了动态变化分析,结果表明2000-2012年期间,呼伦湖流域水体面积减少。

本文以1970-2015年的Landsat MSS/TM/ETM+/OLI影像为数据源,利用归一化差异水体指数NDWI和改进型归一化差异水体指数MNDWI提取水体边界并计算水域面积,得到近40年来西北内陆5个典型湖泊——红碱淖、青海湖、呼伦湖、贝尔湖和博斯腾湖的面积变化的动态变化趋势,以年净蒸发量和温度为主要影响因素对湖泊面积变化特征和规律进行初步分析,以期为湖泊的水文监测和管理提供数据和参考。

1 研究湖泊

中国西北内陆区主要包括新疆维吾尔自治区、内蒙古自治区、宁夏回族自治区、青海省、陕西省以及甘肃省。由于西北内陆区内陆湖泊众多,本文选取5个典型湖泊即陕西省的红碱淖、新疆的博斯腾湖、内蒙古的呼伦湖和贝尔湖、青海省的青海湖为研究对象进行分析。

2 数据和方法

本文选择1970-2015年的Landsat MSS/TM/ETM+/OLI影像为数据源,时间选取无云覆盖且集中在5-8月的影像进行面积提取。数据处理过程包括大气校正、图像镶嵌、Landsat-7 ETM+条带修复等,湖泊边界提取的方法采用归一化水体差异指数(NDWI)^[6]和改进的归一化水体差异指数(MNDWI)^[7],其公式为:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (1)$$

式中:Green和NIR分别表示绿色和近红外波段反射率,例如Green对应Landsat MSS影像的波段4;NIR对应Landsat MSS影像的波段6。

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR) \quad (2)$$

式中:Green和MIR分别表示绿色和中红外波段反射率,例如Green分别对应TM/ETM+影像的波段2和OLI影像的波段3;MIR分别对应TM/ETM+影像的波段5和OLI影像的波段6。为更加准确的提取湖泊边界,本文采用最大类间方差法(Otsu法)进行水体阈值的动态提取^[8]。湖泊的蒸发量、降雨量和温度数据来源于中国气象局气象数据中心(<http://data.cma.cn/>),方法为选择湖泊周边多个气象站数据求其平均值,红碱淖选取伊金霍洛旗(53545)和神木(53651);博斯腾湖选取焉耆(51567)和库尔勒(51656);贝尔湖选取新巴尔虎左旗(50618);呼伦湖选取新巴尔虎右旗(50603)、新巴尔虎左旗(50618)和满洲里(50514);青海湖选取刚察(52754)和茶卡(52842)。

3 结果与分析

3.1 红碱淖

红碱淖被誉为沙漠明珠,是我国最大的沙漠淡水湖,也是全球最大的珍稀濒危鸟类——遗鸥繁殖与栖息地,位于毛乌素沙地的东缘风沙区的相对低洼处,在当地的生态、经济、社会发展中起到了重要作用。近年来,相关研究报道指出,红碱淖湖面面积不断萎缩,水深和蓄水量不断下降,使得原本就十分脆弱的生态环境进一步恶化^[9-11]。由图1可知,红碱淖面积变化趋势整体上可分为两个阶段:1988-1997年,湖泊面积变化不太大,基本处于稳定阶段,面积维持在55.00 km²左右;1997-2015年,红碱淖面积急剧减少,处于不断萎缩阶段,至2014年其面积缩减为33.32 km²。

3.2 博斯腾湖

博斯腾湖属于山间陷落湖,是我国最大的内陆淡水吞吐湖,湖周围有国家一级自然保护区和新疆重要农业基地焉耆盆地,在当地经济发展和生态环境保护中博斯腾湖都起了重要作用^[12-13]。由图 2 可知,以 1988 年和 2002 年为界,博斯腾湖的面积变化大体上可以划分为 3 个阶段:1973 - 1988 年呈不

断减小的趋势,1973 年的湖泊面积为 984.69 km²,1988 年的湖泊面积约为 912.35 km²,减少了约 72 km²;1988 - 2002 年面积除 2001 年略有下降之外,整体上呈不断上升趋势,15 年来面积约增加了 286.50 km²;2002 - 2014 年间湖泊面积呈迅速的下降趋势,面积减少了 281.22 km²。历年来边界变化较大的位置位于博斯腾湖西北部的湖滨湿地。

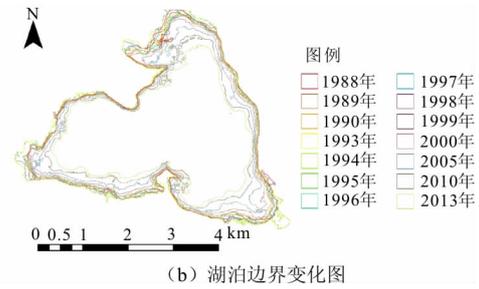
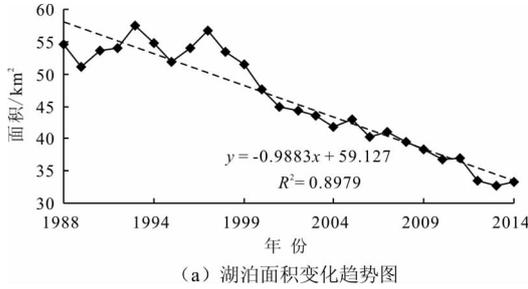


图 1 红碱淖面积变化动态图

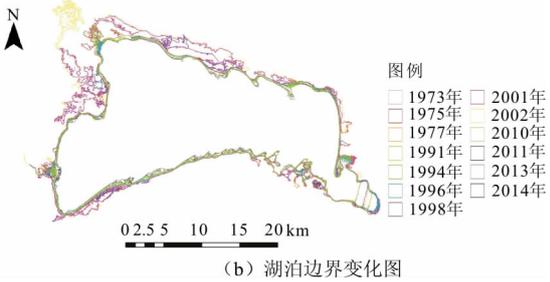
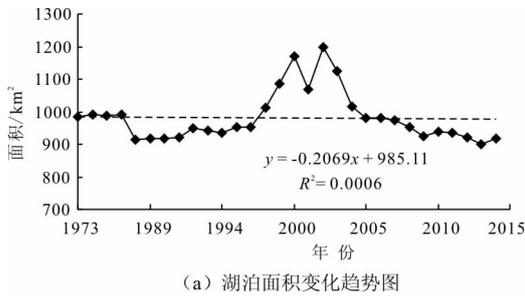


图 2 博斯腾湖面积变化动态图

3.3 贝尔湖

贝尔湖、呼伦湖为姊妹湖,贝尔湖位于呼伦草原的西南部边缘,目前为中蒙两国共有,生产鱼类,乌尔逊河水从北面将其同呼伦湖连接在一起^[14]。由图 3 可知,1982 - 2003 年贝尔湖面积相对比较稳定,大体维持在 610.00 km² 左右;2003 - 2007 年湖泊面积略有减少;2007 - 2015 年贝尔湖面积极续增加,贝尔湖近 40 年来面积变化主要部分分布在水深较浅湖体南部,湖体北部为哈拉哈河和乌尔逊河汇入之处历年边界变化较小。

为 2 042.56 km²。近 40 年来,呼伦湖边界变化最大的区域位于湖体南部突出部。

3.4 呼伦湖

呼伦湖是因地壳运动而形成的构造湖,现为中国第五大淡水湖,呼伦湖水质优良,渔业和水产品养殖业较为发达。呼伦湖在维持生物多样性和丰富的生物资源方面发挥着巨大作用,在区域环境保护中具有特殊的地位。图 4 可知,1975 - 1999 年呼伦湖面积呈相对增加的趋势发展;1999 - 2009 年湖泊面积急剧下降,1999 年呼伦湖面积 2 105.41 km²,2009 年面积骤减为 1 770.97 km²,10 年间面积约减少了 335 km²;2009 - 2015 年呈回升趋势,由 1 770.97 km² 逐渐增加

3.5 青海湖

青海湖为构造断陷湖,湖盆边缘以断裂与周围山相接,青海湖现为我国最大的内陆湖和咸水湖。由图 5 可知,青海湖近 40 年来的面积变化整体上呈现先减小后趋于平稳而后增大的趋势。1974 年青海湖的湖区面积为 4 479.72 km²,是监测年代内的最大值,2005 年面积 4 240.19 km²,为最低值;1994 - 2005 年,青海湖面积逐年减少;2005 - 2015 年青海湖的湖区面积逐年增大,至 2015 年青海湖湖区面积为 4 424.96 km²,达到近年来的峰值。青海湖是我国面积最大的湖泊,其湖水补给主要我降雨和地表径流,近 40 年来,湖泊边界变化最大的区域位于湖体东岸和西岸,其推进距离为 100 ~ 630 m 不等^[15-16]。

4 讨论

湖泊面积的变化与湖泊流域地表径流、湖面降雨和蒸发和地下水的补给与泄漏相关^[17-18]。

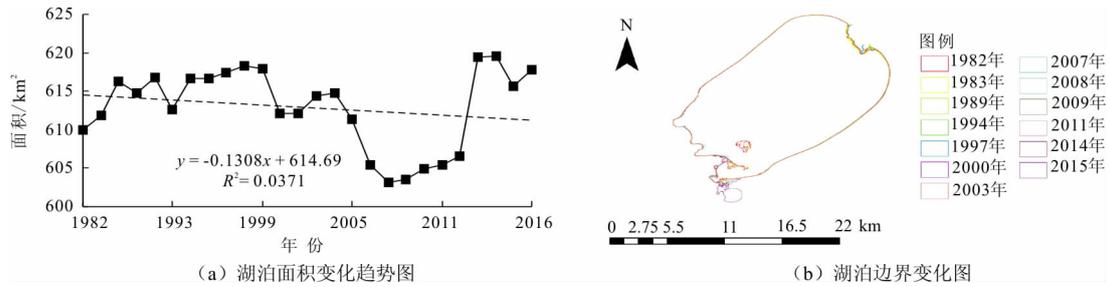


图3 贝尔湖面积变化动态图

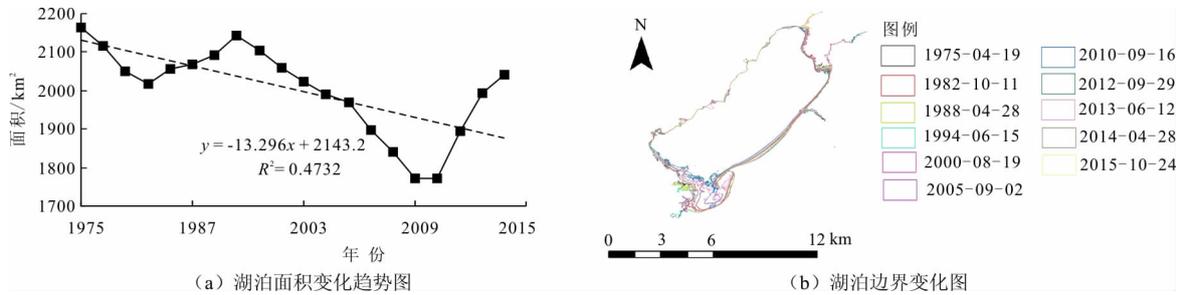


图4 呼伦湖面积变化动态图

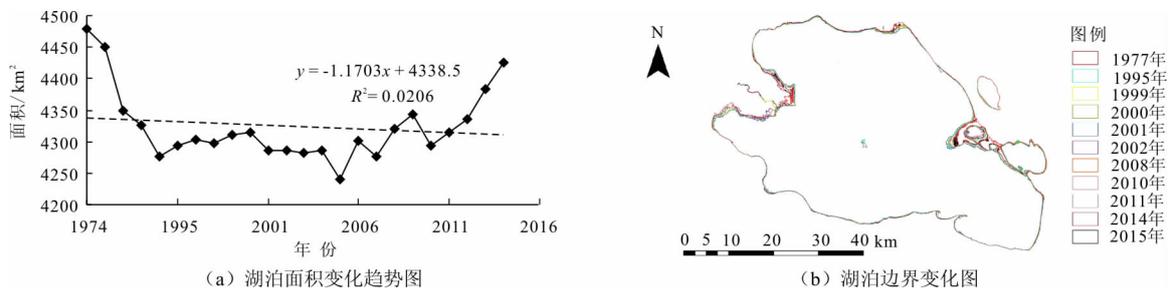


图5 青海湖面积变化动态图

本文通过统计每个湖泊周边气象站的年均降雨量、年均蒸发量和年均气温对湖泊面积变化的原因进行了初步分析。图6显示了红碱淖1988-2014年面积与年均气温和年均净蒸发量的对照,年净蒸发量为年蒸发量与年降雨量的差值,其中1988-2000年和2011-2014年这两个时间段年均气温增加,湖泊面积减少,2001-2010年年均气温降低,湖泊面积仍呈减少趋势;2000-2003年和2009-2014年这两个时间段年净蒸发量降低而湖泊面积也在减少,这说明气象因素不是影响红碱淖面积变化的主导因素^[19]。博斯腾湖年净蒸发量的变化与面积变化趋势正好相反,博斯腾湖面积增加的趋势对应着年净蒸发量减少的趋势(图7)。40年以来博斯腾湖年均气温变化较为平缓,总体上呈上升趋势,而湖泊面积变化则处于不断的波动之中。气温升高可促进冰雪融水形成而增加流域内径流量,从而影响湖泊面积^[20]。近年来,人类多项水利工程项目的不断实施使得湖泊自然功能逐渐转为水库功能^[21]。呼伦湖和贝尔湖的面积增加对应着年净蒸发量减少的趋势(图8、9),呼伦湖主体湖区面积的变化与年均温呈现

不显著的负相关关系,贝尔湖年均气温变化趋势与面积变化趋势正好相反,二者呈负相关关系,其原因为呼伦湖和贝尔湖面积主要受注入湖泊的河流径流量大小的影响,近年来随着河流净流量的较大波动,呼伦湖和贝尔湖面积也变化较大^[22-23]。青海湖1974-1995年年均气温处于增长趋势而面积不断减少,1995年以后年均气温整体呈下降趋势而面积却逐年增大;年净蒸发量呈减少趋势而面积呈波动变化(图10)。青海湖属内陆封闭湖,流域面积近 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$,目前较为一致的观点认为气候暖湿化导致的降水增加和地表径流量增加是青海湖面积逐渐增加的主要原因^[24-25]。

利用SPSS软件对湖泊面积与年均降雨量、年均蒸发量、年均净蒸发量和年均气温的相关性进行了分析,结果表明,呼伦湖面积和年均蒸发量达到显著负相关($P < 0.01, r = -0.575$),和年均净蒸发量达到显著负相关($P < 0.05, r = -0.496$);红碱淖面积和年均气温达到显著负相关($P < 0.01, r = 0.661$);其他的湖泊面积均与年均降雨量、年均蒸发量、年均净蒸发量和年均气温未达到显著性相关。

研究表明,湖泊面积与多种因素有关,包括湖面降雨和蒸发、湖泊的补给来源及湖泊的消耗等。湖泊面积和水位的存在一定的函数关系,而这种函数关系即为湖泊的水量(库容),在整体上满足湖泊的水量动态平衡^[26-27]。事实上,湖泊面积相对于湖泊水位与年均降雨量、年均蒸发量、年均净蒸发量和年均气

温的相关性不明显,以青海湖为例,研究已证实青海湖湖泊水位年际变化值与年均降雨量、年均蒸发量和入湖径流均存在显著相关性,而湖泊面积相对于湖泊水位因为不同湖泊湖盆地形以及湖泊周边地形构造的缘故,以及湖面面积可能受天气影响变化较快的原因导致其相关性并不明显^[28-29]。

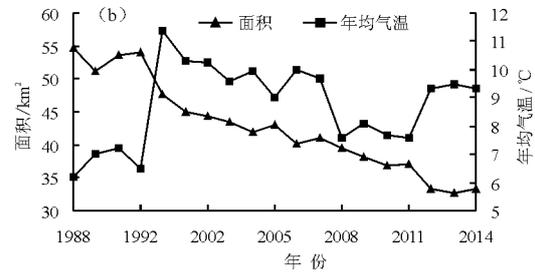
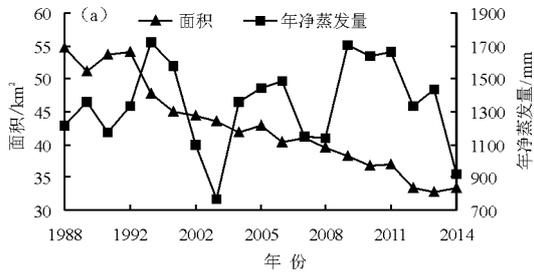


图 6 红碱淖面积和年净蒸发量、年均气温对照

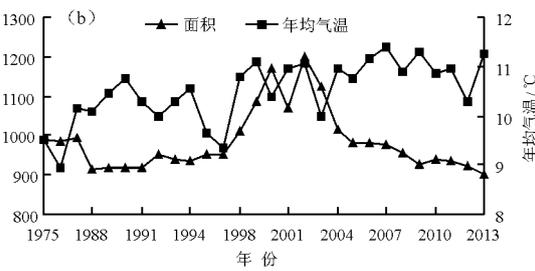
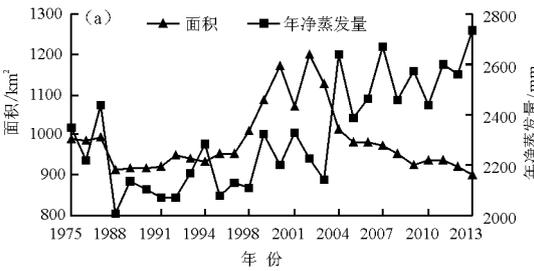


图 7 博斯腾湖面积和年净蒸发量、年均气温对照

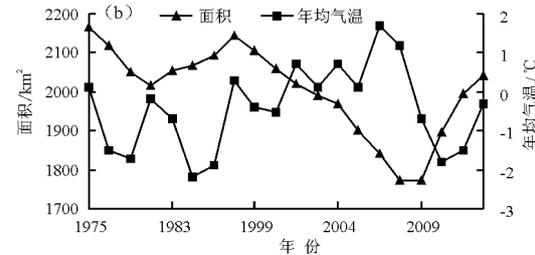
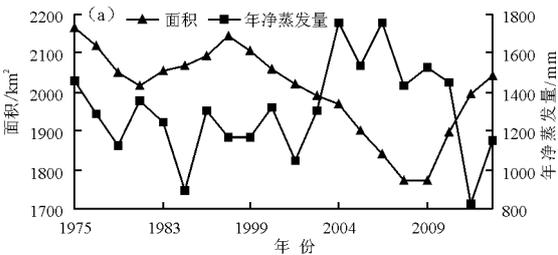


图 8 呼伦湖面积和年净蒸发量、年均气温对照

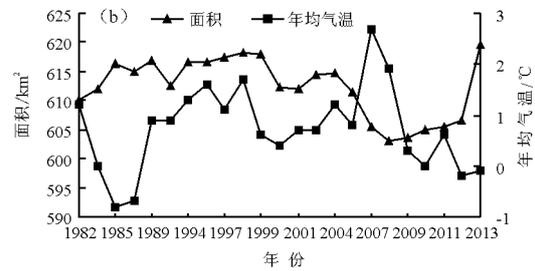
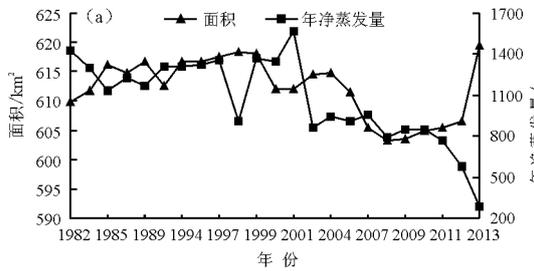


图 9 贝尔湖面积和年净蒸发量、年均气温对照

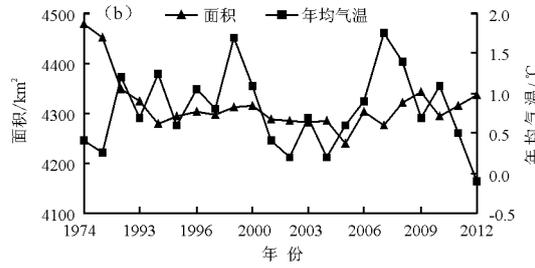
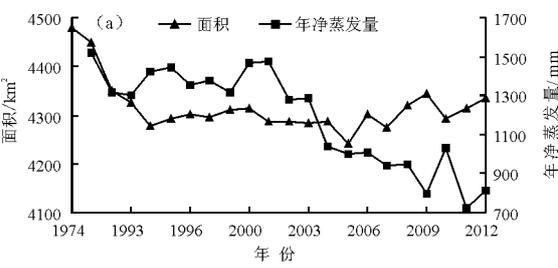


图 10 青海湖面积和年净蒸发量、年均气温对照

5 结论

(1) 红碱淖 1988 - 2014 年面积整体呈减少趋势, 导致面积减少的主要原因包括经济社会用水增加、入湖河流拦蓄以及煤炭地下开采等。

(2) 博斯腾湖 1973 - 2014 年面积呈先增加后减少的趋势, 其面积变化主要受地表径流和积雪融水的影响。

(3) 贝尔湖 1982 - 2016 年面积呈相对稳定的趋势大体维持在 610 km² 左右, 其面积变化主要入湖径流量的影响。

(4) 呼伦湖 1975 - 2015 年面积呈减少的趋势, 其面积变化主要受人湖径流量的影响。

(5) 青海湖 1974 - 2015 年面积呈现先减小后增大的趋势, 其面积变化主要受区域降水和入湖径流量的影响。

参考文献:

- [1] 秦伯强. 近百年来亚洲中部内陆湖泊演变及其原因分析[J]. 湖泊科学, 1999, 11(1): 11 - 19.
- [2] 姜丽光, 姚志君, 刘兆飞, 等. 湖泊动态变化遥感研究综述[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(5): 807 - 814.
- [3] 成晨, 傅文学, 胡召玲, 等. 基于遥感技术的近 30 年中亚地区主要湖泊变化[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(1): 146 - 152.
- [4] 杨日红, 于学政, 李玉龙. 西藏色林错湖面增长遥感信息动态分析[J]. 国土资源遥感, 2003, 15(2): 64 - 67.
- [5] 万华伟, 康峻, 高帅, 等. 呼伦湖水面动态变化遥感监测及气候因素驱动分析[J]. 中国环境科学, 2016, 36(3): 894 - 898.
- [6] Mcfeeters S K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water Features [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425 - 1432.
- [7] 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[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589 - 595.
- [8] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 1979, 9(1): 62 - 69.
- [9] 尹立河, 张茂省, 董佳秋. 基于遥感的毛乌素沙地红碱淖面积变化趋势及其影响因素分析[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1151 - 1156.
- [10] 李登科, 何慧娟, 刘安麟. 人类活动和气候变化对红碱淖植被覆盖变化的影响[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 831 - 836.
- [11] 马雄德, 范立民, 张晓团, 等. 榆神府矿区水体湿地演化驱动力分析[J]. 煤炭学报, 2015, 40(5): 1126 - 1133.
- [12] 金海龙, 王晓峰, 王哲, 等. 新疆博斯腾湖资源开发与环境保护研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 58 - 61.
- [13] 孙爱民, 冯钟葵, 葛小青, 等. 利用长时间序列 Landsat 分析博斯腾湖面积变化[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(8): 1122 - 1132.
- [14] 沈建国, 白美兰, 李云鹏. 气候变化和人类活动对内蒙古生态环境的影响[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 84 - 91.
- [15] 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.
- [16] 刘宝康, 卫旭丽, 杜玉娥, 等. 基于环境减灾卫星数据的青海湖面积动态[J]. 草业科学, 2013, 30(2): 178 - 184.
- [17] 张国庆, Xie H J, 姚檀栋, 等. 基于 ICESat 和 Landsat 的中国十大湖泊水量平衡估算[J]. 科学通报, 2013, 58(26): 2664 - 2678.
- [18] 闫强, 廖静娟, 沈国状. 近 40 年乌兰乌拉湖变化的遥感分析与水文模型模拟[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(1): 152 - 157.
- [19] 刘英, 岳辉. 基于 SMMI 的红碱淖湖区面积遥感分析[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(16): 122 - 127.
- [20] 刘丽梅, 赵景峰, 张建平, 等. 近 50a 博斯腾湖逐年水量收支估算与水平衡分析[J]. 干旱区地理, 2013, 36(1): 33 - 40.
- [21] 朱长明, 李均力, 张新, 等. 近 40a 来博斯腾湖水资源遥感动态监测与特征分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(1): 106 - 114.
- [22] 张璐, 张生, 孙标, 等. 采用水量平衡法分析呼伦湖水域面积变化因素[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(2): 80 - 85.
- [23] 李翀, 叶柏生, 杨玉生, 等. 呼伦湖水位变动与 20 世纪初干涸缘由探讨[J]. 水文, 2007, 27(3): 43 - 45.
- [24] 张金龙, 陈英, 葛劲松, 等. 1977 - 2010 年青海湖环湖区土地利用/覆盖变化与土地资源管理[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1256 - 1266.
- [25] 李林, 时兴合, 申红艳, 等. 1960 - 2009 年青海湖水位波动的气候成因探讨及其未来趋势预测[J]. 自然资源学报, 2011, 26(9): 1566 - 1574.
- [26] 秦伯强. 气候变化对内陆湖泊影响分析[J]. 地理科学, 1993, 13(3): 212 - 219 + 295.
- [27] 白丽, 张奇, 李相虎. 湖泊水量变化关键影响因子研究综述[J]. 水电能源科学, 2010, 28(3): 30 - 35.
- [28] 李林, 时兴合, 申红艳, 等. 1960 - 2009 年青海湖水位波动的气候成因探讨及其未来趋势预测[J]. 自然资源学报, 2011, 26(9): 1566 - 1574.
- [29] 闫立娟, 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]. 地学前缘, 2016, 23(4): 310 - 323.