

近 20 年青海湖湖水面积变化遥感*

刘瑞霞, 刘玉洁

(中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室, 国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要: 采用 NOAA/AVHRR 资料, 对青海湖湖面进行水体判别, 并利用线性混合模式对混合象元进行处理, 定量估算了近 20 年青海湖湖水面积并分析了变化趋势, 表明近 20 年青海湖湖水面积在不断减小, 每年减少约 4km², 并且青海湖干涸部分主要在其北部. 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.

关键词: 青海湖; 湖水面积减小; 混合象元; 气候分析

Area changes of Lake Qinghai in the latest 20 years based on remote sensing study

LIU Ruixia & LIU Yujie

(Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellite, China Meteorological Administration National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, P.R.China)

Abstract: The water areas of Lake Qinghai in the past twenty years have been identified using NOAA/AVHRR satellite data. The results show that the area of Lake Qinghai has been decreased in these years, and the area of decreasing is mainly in the north of Lake Qinghai. To find out the climate elements which affect the area of Lake Qinghai, precipitation, temperature and evaporation in the region of Lake Qinghai are analyzed. The results show that increasing in temperature and evaporation, and the decreasing in precipitation are the main reasons for the decreasing in the area of Lake Qinghai.

Keywords: Lake Qinghai; area decreasing; mixed pixel; climate analysis

青海湖是国家级自然保护区, 也是我国最大的湖泊. 近年来, 青海湖生态环境的恶化是不争的事实, 在青海湖东北部有小的水体与青海湖主体分离的现象已经引起国内外许多专家的关注. 国内很多学者研究了青海湖水位的变化情况, 并对青海湖的水量收支以及青海湖地区的气候作了分析, 探讨了自然因素和人为因素对湖水水位升降的影响, 认为青海湖萎缩主要是气候变化所致^[1-12]. 沈芳等^[13]也计算了 1975 和 2000 年的湖水面积, 并遥感分析了湖水面积萎缩的原因; 殷青军等^[14]利用 EOSMODIS 数据检测了青海湖 2003 年 6、7 月份青海湖面积的变化情况. 这些都为青海湖的研究奠定了基础. 但是目前还没有通过卫星反演建立的长时间序列的青海湖湖水面积气候资料, 并对长时间序列青海湖湖水面积变化的研究, 本文采用近 20 年 NOAA/AVHRR 遥感资料, 建立了较长时间序列的青海湖湖水面积数据, 分析了青海湖湖水面积变化趋势, 就影响青海湖面积变化的气候因子做了初步探讨.

1 青海湖湖水面积定量监测方法

1.1 水体识别

遥感监测水体的方法关键是将水体与周围地物区别开来, 从而准确地确定水体面积. 由于要调研近 20 年青海湖湖水面积, 因此选用有较长时间序列的 NOAA AVHRR 资料. NOAA 资料的分辨率为 1.1km, NOAA15 之前, AVHRR 有可见光 0.58–0.68 μm (CH1), 近红外 0.725–1.0 μm (CH2)和 3.55–3.93 μm (CH3), 热

* 国家自然科学基金项目(90102010)资助. 2006–12–01 收稿; 2007–04–20 收修改稿. 刘瑞霞, 女, 1975 年生, 助理研究员; E-mail: ruixl@nsmc.cma.gov.cn.

红外 10.3–11.3 μm (CH4)和 11.5–12.5 μm (CH5)5 个探测通道,到 NOAA15、16、17 又增加了近红外通道 1.58–1.64 μm (CH6). 尽管 NOAA AVHRR1.1km 的粗分辨率给水体的监测带来很多局限,但它时间频率高、时间序列长、覆盖面积大、数据获取方便等优势决定了它较适用于对水体变化的连续监测.

首先,利用 NOAA 实时更新的定标系数进行可见光辐射定标以及红外辐射定标计算,采用地标点自动匹配的方法实现准确的地理定位,定位精度可以达到一个象元^[15-16]. 分析几种常见地物的光谱特征得到,AVHRR 通道 2 是水汽的强吸收带,水体的反射率较其它地物要低. 因此,首先采取 AVHRR 通道 2^[17]来识别水体. 通道 2 反射率的直方图呈明显的双峰型分布,于是根据直方图可以确定水体、混合象元、陆地的阈值 T_1 、 T_2 . 然后由计算机对该区域所有象元点逐个扫描,高于 T_2 的认为是陆地,低于 T_1 的认为是水体,处于二者之间的为混合象元. 根据目标物的光谱特征,盛永伟等^[18]也设计了 $R_{\text{CH}_2}/R_{\text{CH}_1}$ (通道 2 反射率/通道 1 反射率)方案. 这种方法拉大了水陆差距,并可以在一定程度上减少云和植被的影响. 根据其直方图确定阈值 T_0 ,高于 T_0 为陆地,低于 T_0 为水体和混合象元. T_0 随目标物不同而变化,但总体上保持在 1.0 左右. 结合通道 2 反射率、 $R_{\text{CH}_2}/R_{\text{CH}_1}$ 可以较准确地识别青海湖水体.

1.2 水体面积计算

水体的面积是所有判识为水体的象元与混合象元中水体部分的面积的和. 混合象元中水体面积的计算我们借鉴了 Sheng Y., Gong P.和 Xiao Q.^[19]的线性混合模式,并作了一定改进. 下面简述其原理.

假设一个混合象元面积为 S , 水体所占比例为 α , 则陆地为 $(1-\alpha)$. 对通道 1 和通道 2 分别表示为:

$$R_{\text{CH}_1\text{混合}} = \alpha R_{\text{CH}_1\text{水体}} + (1-\alpha) R_{\text{CH}_1\text{陆地}}; \quad R_{\text{CH}_2\text{混合}} = \alpha R_{\text{CH}_2\text{水体}} + (1-\alpha) R_{\text{CH}_2\text{陆地}}$$

其中, $R_{\text{CH}_i\text{陆地}}$ 和 $R_{\text{CH}_i\text{水体}}$ 分别是纯陆地和纯水在通道 i 的反射率; $R_{\text{CH}_i\text{混合}}$ 是混合象元在通道 i 的反射率

设 $R_{\text{CH}_2\text{混合}}/R_{\text{CH}_1\text{混合}} = R_{\text{混合}}$. 求解 α , 得到:

$$\alpha = \frac{R_{\text{CH}_2\text{陆地}} - R_{\text{混合}} R_{\text{CH}_1\text{陆地}}}{R_{\text{混合}} R_{\text{CH}_1\text{水体}} - R_{\text{混合}} R_{\text{CH}_1\text{陆地}} - R_{\text{CH}_2\text{水体}} + R_{\text{CH}_2\text{陆地}}}$$

α 的取值范围为 $[0, 1]$. 于是, 水体面积 = $S \times \alpha$.

2 近 20 年青海湖湖水面积变化

利用上述方法采用 NOAA AVHRR 卫星遥感资料计算得到近 20 年 7 月、10 月份青海湖湖水面积(图 1). 从 1988-1991 年青海湖湖水面积增加, 1991 年后青海湖湖水面积呈不断下降趋势, 1988-2000 年实测的青海湖水位变化曲线显示, 青海湖湖水面积和水位变化趋势基本一致, 二者相关系数达到 0.81(图 1a). NOAA AVHRR 判识得到的 1991 年与 2004 年青海湖湖体对比(图 2a), 白色部分表示青海湖湖体缩小部分, 可见 2004 年比 1991 年青海湖湖水面积(7 月)减少了 105.73 km^2 , 青海湖干涸在其东北部表现尤为明显.

10 月份, 由于晴空资料所限, 没有获得 1998 年之后青海湖面积, 绘制 1989-1998 年青海湖面积变化曲线(图 1b). 1989-1998 年, 青海湖面积基本上呈缩小趋势. 而对应时间实测的水位也表现为下降, 二者的变化趋势基本一致, 相关系数达到 0.93. 说明卫星遥感青海湖面积是可信的. 1998 年相对于 1989 年青海湖湖水面积减少了约 89.87 km^2 , 湖体干涸部分主要在北部边缘地带(图 2b).

3 青海湖湖水面积减小原因分析

由于青海湖是中国西北部以降水补给为主的封闭湖泊, 其水体面积的变化代表了半干旱地区以降水补给为主的内陆水域对气候变化的响应. 下面就影响青海湖湖水面积的降水、气温以及蒸发量几个因子逐一分析, 来说明青海湖湖水面积变化的原因. 我们选用了青海湖周边刚察、都兰、茶卡、恰卜恰四个气象站的降水、气温、蒸发量资料, 采用主成分分析^[20] 和回归分析的方法研究降水、气温以及蒸发量对青海湖湖水面积的影响. 由于四站分布在湖区四周, 有较长的观测资料, 在一定程度上能反映青海湖地区的气候特征, 因而具有一定的代表性.

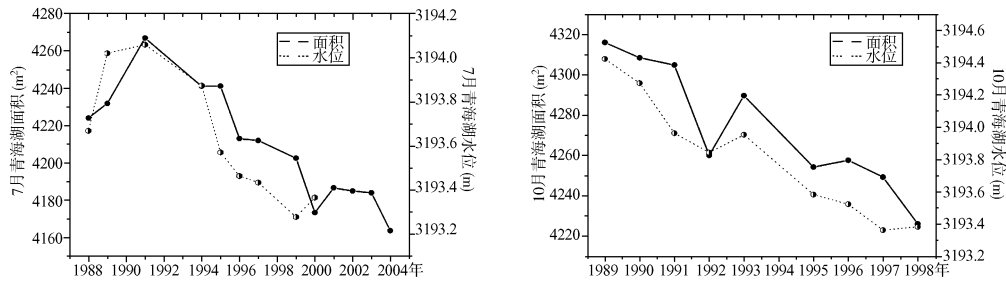


图 1 青海湖湖水面积和水位变化趋势(a: 7 月; b: 10 月)

Fig.1 The variation of Lake Qinghai area and water level in July(a) and October(b)



图 2 1991 年与 2004 年青海湖湖体比较(白色为青海湖缩小部分)(a: 7 月; b: 10 月)

Fig.2 The area decrease of Lake Qinghai in 1991 and 2004(a: July;b: October)

3.1 降水

对刚察、都兰、茶卡、恰卜恰 4 站 1988-2000 年春夏秋冬以及全年降水做主成分分析, 春夏秋冬的第一主成分的方差贡献分别为 72.1%、67.1%、58.8%、77.92%, 而全年平均降水的第一主成分方差贡献也达到了 71.04, 因此选用第一主成分完全可以表示青海湖地区降水的情况. 1988-2000 年, 四季降水都有不同程度的减少, 其中春季降幅最大, 达到-0.64, 其次为夏、秋季, 冬季降水减少趋势不是很明显, 全年平均降水的降幅总体为-0.38. 因此对于湖区降水的减少贡献最大的为春夏季, 而全年降水曲线与夏季降水的变化趋势一致, 这主要是该地区降水主要集中在夏季所致. 近年青海湖地区降水呈持续减少趋势, 而青海湖又没有其它的补给水源, 因此, 湖区降水的减少是青海湖湖水面积减少的极其重要的因子之一.

3.2 气温

对 4 站 1988-2000 年的春夏秋冬以及全年平均气温做主成分分析, 四季以及全年气温的第一主成分分析的方差贡献分别为 79.4%、85.42%、93.67%、86.57%、85.58%, 因此第一主成分可以反映青海湖地区气温的变化情况(图 4). 1988-2000 年, 青海湖地区气温总体趋势为上升, 春、夏、秋季增幅都很大, 夏季温度变化曲线的线性拟合斜率达到 0.548, 冬季气温在 1994 年之前有所下降, 但 1994 年之后温度升高很快, 全年平均气温增幅达到了 0.55. 由于青海湖地区气温的升高将导致蒸发量的增加, 因此气温升高也是青海湖湖水面积减小、水位下降的重要原因之一.

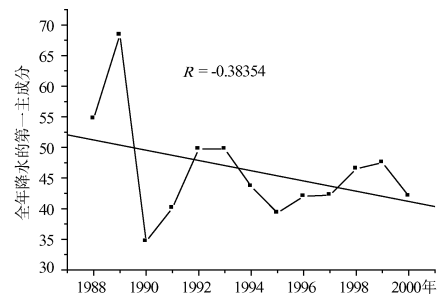


图 3 青海湖地区全年平均降水第一主成分的年际变化和线性拟合

Fig.3 Curves of first principal component of yearly-mean precipitation in Lake Qinghai basin

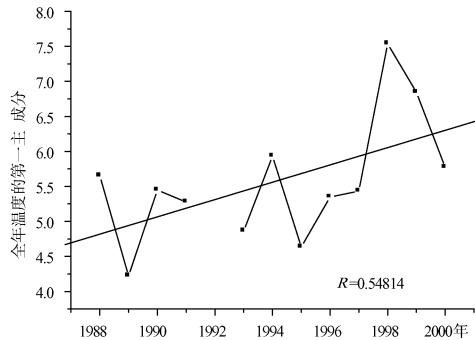


图4 青海湖地区全年平均气温第一主成分的年际变化曲线

Fig.4 Curves of first principal component of yearly-mean temperature in Lake Qinghai basin

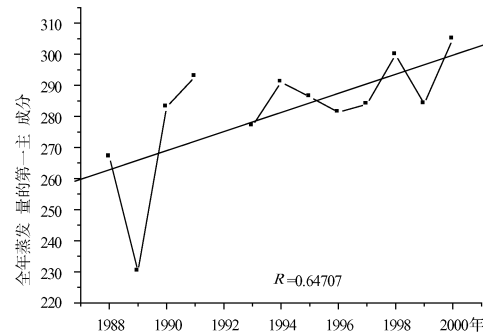


图5 青海湖地区全年平均蒸发量第一主成分的年际变化曲线和线性拟合曲线

Fig.5 Curves of first principal component of yearly-mean evaporation in Lake Qinghai basin

3.3 蒸发量

对4站1988–2000年春夏秋冬以及全年平均蒸发量做主成分分析,四季以及全年平均蒸发量的第一主成分的方差贡献分别为:79.51%、81.82%、74.21%、80.99%和77.1%。因此第一主成分完全可以表示青海湖地区蒸发量的变化情况。1988–2000年,青海湖地区蒸发量增幅非常明显,春季蒸发量增幅达到0.817,其次为冬、秋季,夏季增幅最小,但也达到了0.241,全年平均变化曲线的线性拟合曲线达到0.647(图5)。可见,湖区蒸发量大幅增加也是导致湖面积减小、水位下降的重要原因之一。

4 参考文献

- [1] 冯松, 汤懋苍, 周陆生等. 青海湖近600年的水位变化. 湖泊科学, 2000, 12(3): 205-210.
- [2] 马钰. 青海湖水位变化与湖区气候要素的相关分析. 湖泊科学, 1996, 8(2): 103-106.
- [3] 刘小园. 青海湖水位变化趋势分析. 干旱区研究, 2001, 18(3): 58-62.
- [4] 李林, 王振宇, 秦宁生等. 环青海湖地区气候变化及其对荒漠化的影响. 高原气象, 2002, 21(1): 59-65.
- [5] 李林, 朱西德, 王振宇等. 近42a来青海湖水位变化的影响因子及其趋势预测. 中国沙漠, 2005, 25(5): 689-696.
- [6] 丁永建, 刘凤景等. 近三十年来青海湖流域气候变化对水量平衡的影响及其趋势预测. 地理科学, 1995, 15(2): 128-135.
- [7] 周陆生, 汪青春. 青海湖水位年际变化规律的分析和预测. 高原气象, 1996, 15(4): 478-484.
- [8] 王黎军. 青海湖水位下降的成因分析与对策. 青海大学学报, 2003, 21(5): 28-31.
- [9] 彭敏, 陈桂琛, 周立华. 青海湖水位下降与湖区人为耗水关系的研究. 地理科学, 1994, 14(2): 127-135.
- [10] 朱琰, 崔广柏, 杨珏. 青海湖萎缩干涸原因、发展趋势及对生态环境的影响. 河海大学学报, 2001, 29(4): 104-108.
- [11] 高华中, 贾玉连. 西北典型内陆湖泊近40年来的演化特点及机制分析. 干旱区资源与环境, 2005, 19(9): 93-96.
- [12] 郭武. 青海湖水位下降与湖区生态环境演变研究. 干旱区资源与环境, 1997, 11(2): 75-80.
- [13] 沈芳, 匡定波. 青海湖最近25年变化的遥感调查与研究. 湖泊科学, 2003, 15(4): 289-296.
- [14] 殷青军, 杨英莲. 基于EOSMODIS数据的青海湖遥感监测. 湖泊科学, 2005, 17(4): 356-360.
- [15] 张斌, 朱正中, 吴佑寿. 极轨气象卫星NOAAVHRR数据的高精度定位. 清华大学学报, 1999, 39(9): 81-85.
- [16] George W Rosborough, Daniel G Baldwin *et al.* Precise AVHRR image navigation. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 1994, 32(3): 644-657.
- [17] Sheng Y and Xiao Q. Challenging the cloud-contamination problem in flood monitoring with NOAA/AVHRR imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1998, 64: 191-198.
- [18] 盛永伟, 肖乾广, 陈维英. 应用FY-1B气象卫星监测1991年江淮洪水的研究. 环境遥感, 1994, 9(3): 228-233.
- [19] Sheng Y, Gong P, Xiao Q. Quantitative dynamic flood monitoring with NOAAVHRR. *Int J Remote Sensing*, 2001, 22(9), 1709-1724.
- [20] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法. 北京: 气象出版社, 1995: 134-200.