

呼伦湖水面动态变化遥感监测及气候因素驱动分析

万华伟¹,康峻^{2,3},高帅²,申文明^{1*} (1.环境保护部卫星环境应用中心,北京 100029; 2.中国科学院遥感与数字地球研究所,北京 100101; 3.中国科学院大学资源与环境学院,北京 100049)

摘要: 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,并结合区域气候数据进行了驱动力分析.结果表明:2000~2012 年期间,呼伦湖流域水体面积从 2286km² 减少至 1773km²,减少 22.4%,主要减少部分分布在湖体东北部和南部;2013 年水体面积尤其是南部水域水体面积略有所恢复.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.

关键词: 呼伦湖; 水体面积; 时间序列; 气候因素

中图分类号: X524,TP751

文献标识码: A

文章编号: 1000-6923(2016)03-0894-05

Study on dynamic change of hulun lake water area and climate driving force analysis. WAN Hua-wei¹, KANG Jun^{2,3}, GAO Shuai², SHEN Wen-ming¹ (1.Satellite Environmental Application Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100029, China; 2.Institute of Remote sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3.College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China). *China Environmental Science*, 2016,36(3): 894~898

Abstract: Water area dynamic change of the Hulun lake was analyzed from 2000 to 2013 using long time-series MODIS data and water index dynamic analysis method. The driving force of the change was also analyzed by combining meteorological data. The preliminary results showed that the water area of the lake decreased from 2286km² in 2000 to 1773km² in 2012 and the decreasing rate was 22.4%. The drastic changes mostly happened in the northeast and south of the lake. Due to the great increase of precipitation in 2013, the water area restored to 1883km² and the main growth happened in the south of the lake. The driving force analysis showed the variation of water area correlated negatively with an average annual temperature and positively with the annual total precipitation. However, the level of significance was for the precipitation higher than temperature.

Key words: Hulun Lake; water area; time series; climate

呼伦湖是我国东北部以保护草原生态、湿地系统和珍稀濒危鸟类为主的最大的综合性自然保护区,在呼伦贝尔草原的生态保护和经济发展中发挥着不可替代的重要作用^[1-2].受全球变化和人类活动的共同影响,呼伦湖出现水量减少、面积萎缩、水位下降等问题,备受关注^[3-6],因此,开展呼伦湖流域及湖区水体面积的动态监测并分析其影响因素具有重要意义.

遥感技术以及数据处理能力的迅速发展,使得大尺度全球地表水体面积变化过程的定量、动态观测成为可能,通过遥感手段来获取水体面积及其动态变化的遥感过程模型构建亦取得了较大的进步^[7].

为摸清呼伦湖近年来的水体面积变化状况,本研究通过搜集呼伦湖流域中国境内部分(包括新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗、满洲里市)2000~2013 年的 MODIS 数据、气候数据和其他辅助数据,对呼伦湖丰水期水体面积进行动态监测,并对其驱动力进行了初步分析.

1 数据与方法

1.1 MODIS 数据和气候数据搜集

收稿日期: 2015-06-23

基金项目: 国家“863”项目(2012AA12A310);国家高分重大科技专项(05-Y30B02-9001-13/15-9)

* 责任作者, 正高级工程师, shenwenm@sepa.gov.cn

$$NDWI = \frac{Band4 - Band6}{Band4 + Band6} \quad (1)$$

取 $NDWI > 0$ 的点即视为该点在该时间被淹没一次,将 24 景图像被淹没的次数进行累加,即取得每个像元在一年丰水期当中被水覆盖的次数,淹没次数 ≥ 10 次的区域,视为当年呼伦湖的丰水期水体范围,根据得到的淹没像元数目和像元大小计算水体面积.最后得到呼伦湖流域和呼伦湖主体湖区丰水期水体面积图(图 3)和呼伦湖流域丰水期水体面积提取结果时序图(图 4).

1.3 水体面积与气候要素相关性分析方法

呼伦湖流域丰水期水体面积与气候要素相关性分析采用偏相关分析的方法,通过去除另外的随机变量的影响,来度量两组随机变量之间的关联程度的方法.若随机变量只有 3 组,则去除第 3 组变量的影响,来考虑 1、2 组变量之间的偏相关关系 $r_{12,3}$,可由公式(2)表示:

$$r_{12,3} = \frac{r_{12} - r_{13}r_{23}}{\sqrt{1-r_{13}^2}\sqrt{1-r_{23}^2}} \quad (2)$$

式中: r_{12} 表示变量 1 与变量 2 的相关性,如公式(3)所示,并以此类推.

$$r_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \quad (3)$$

式中: x_i 与 y_i 分别表示变量 1 与变量 2 的个体.研究假设年均温、年总降水量对丰水期水体面积变化均产生一定的作用,在分别研究年均温、年总降水量这两个变量与水体面积变化的驱动力影响关系时,偏相关分析可以只分析一个变量与水体面积变化之间的相关程度,而将另一个变量的影响剔除.

2 结果与分析

2.1 呼伦湖水体面积变化分析

从图 3、图 4 可以看出,2000~2012 年期间,呼伦湖流域丰水期水体面积呈现出加速减小的趋势.2012 年呼伦湖流域丰水期水体面积比 2000 年减少了 539 km^2 .其中呼伦湖东北部和南部水域减少非常显著,至 2005 年呼伦湖东北部水域已经

完全消失.2006 年以后呼伦湖南部开始逐步缩小,至 2012 年南部突出水域也趋于消失.相关研究综合各种资料得到的水体面积结果也表明,呼伦湖的水体面积 21 世纪初(2000~2006 年)由于干旱的影响,出现了快速的萎缩^[5].同时,本研究遥感监测结果表明在呼伦湖周边地区,出现了一批面积较小的新增水域,主要集中在新巴尔虎左旗中南部地区.呼伦湖主体湖区丰水期面积也呈现加速减小的趋势,与流域丰水期水体面积减小相趋势一致,主要体现在呼伦湖南部突出水域.2008 年起,呼伦湖南部突出水域与主体湖区分离,形成南北两小片独立水域,并继续缩小.2010 年南部独立水域的北片水域完全消失.

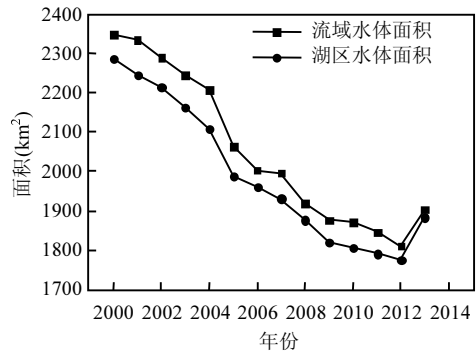


图 3 2000~2013 年呼伦湖流域和湖区水体面积逐年变化
Fig.3 Yearly variation of water area in the Hulun Lake watershed from the year 2000 to 2013

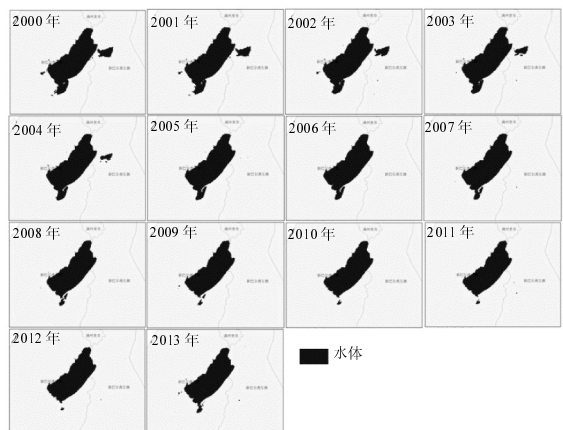


图 4 2000~2013 年呼伦湖流域水体面积变化影像
Fig.4 The images of water area variation in the Hulun Lake watershed from 2000 to 2013

2013 年由于呼伦贝尔地区百年一遇的暴雨,呼伦湖流域水体和主体湖区丰水期面积均有所增长,体现在呼伦湖南部突出水域的面积部分恢复,以及主体湖区周围地区新巴尔虎左旗中部和新巴尔虎右旗中西部地区水体面积的恢复.流域和主体湖区丰水期面积均恢复到 2008 年左右的水平.

2.2 呼伦湖流域气候要素变化分析

从图 5 可以看出,2000~2013 年期间,呼伦湖流域年均温平均为 2.1℃,呈现波动中降低的趋势,年均温约以 3 年为一个波动周期;2003、2006、2009、2012 和 2013 年年均温低于平均水平,分别为 1.8、1.9、1.6、1.3 和 0.9℃;2007 年年均温达到 14 年来最高值(3.2℃),2013 年年均温达到 14 年来最低值(0.9℃);自 2010~2013 年,年均温连续降低,降温幅度平均为 0.63℃/a.

2000~2013 年期间,呼伦湖流域中国境内部分年总降水量平均为 321.4mm,呈现波动中增加的趋势,2001 年总降水量达到 14 年来最低值(205.3mm),2013 年总降水量达到 14 年来最高值(581.7mm);自 2010~2013 年,年总降水量连续增加,增加幅度平均为 93.7mm/a,与相关研究得到的结论相一致^[6].

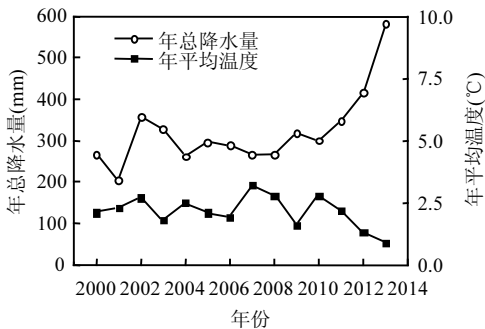


图 5 2000~2013 年呼伦湖流域年均气温、总降水量逐年变化

Fig.5 Yearly variation of average annual temperature and precipitation in the Hulun Lake watershed from the year 2000 to 2013

2.3 呼伦湖流域水体面积与气候要素相关分析

从图 5 可以看出,年均温和年总降水量呈现较为明显的负相关关系,在 2013 年年均温达到 14 年来最低值的同时,年总降水量达到 14 年来

的最高值.

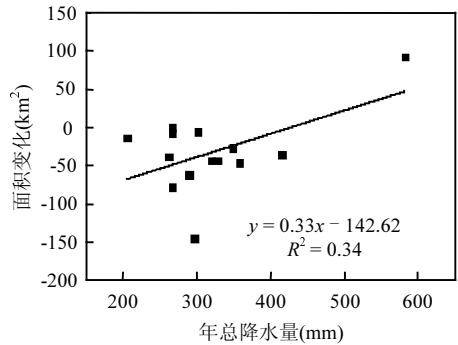


图 6 2000~2013 年呼伦湖流域水体面积变化与年总降水量相关性分析

Fig.6 Relationship between water area change and annual precipitation in the Hulun Lake watershed from 2000 to 2013

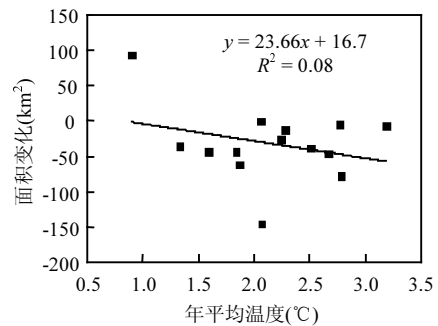


图 7 2000~2013 年呼伦湖流域水体面积变化与温度相关性分析

Fig.7 Relationship between water area change and average annual temperature in the Hulun Lake watershed from 2000 to 2013

对年均温(变量 1)、年总降水量(变量 2)和呼伦湖流域丰水期水体面积变化量(变量 3)进行回归分析(图 6~), r^2 分别是: $r^2_{12}=0.51, r^2_{13}=0.08, r^2_{23}=0.34$.对年均温(变量 1)、年总降水量(变量 2)和呼伦湖流域丰水期水体面积变化量(变量 3)进行偏相关分析,偏相关系数 r 分别如下: $r_{12,3}=-0.69, r_{13,2}=-0.22, r_{23,1}=0.56$;由此可知:年均温与年总降水量有明显的负相关关系($r_{12,3}=-0.69$),年均温较低的年份年总降水量往往较高,反之亦然;年均温与呼伦湖流域丰水期水体面积变化有一定负相关关系,年均温越高的年份呼伦湖流域丰水期水

体面积减少越明显,但关系并不显著($r_{13,2}=-0.22$);年总降水量与呼伦湖丰水期流域水体面积变化有明显的正相关关系,年总降水量越多的年份呼伦湖丰水期水体面积减少越不明显,甚至有所增大;年总降水量是决定呼伦湖丰水期水体面积变化的主要影响因素($r_{23,1}=0.56$),其他研究综合近50年气候数据分析也表明,降水、温度等气象因子对流域丰水期水体面积会产生影响,分析表明降水减少、温度增加等气候变化会造成相对蒸散提高,从而带来流域水体减少。

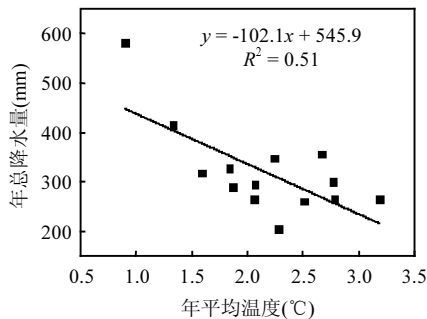


图8 2000~2013年呼伦湖流域年总降水量与年均气温相关性分析

Fig.8 Relationship between annual precipitation and average annual temperature in the Hulun Lake watershed from 2000 to 2013

3 结论

监测表明,2000~2012年期间,呼伦湖流域水体面积呈现出加速减小的趋势,其中,2000~2012年期间呼伦湖主体湖区面积从2286km²减少至1773km²,减幅22.4%,2013年面积回升至1883km²,约为2008年左右的水平。呼伦湖主体湖区水体面积减少部分主要分布在湖体东北部和南部水域,2005年呼伦湖东北部水域已经完全消失,2008年起,呼伦湖南部突出水域与主体湖区分离,形成南北两小片独立水域,并继续缩小,至2012年趋于消失。2013年,主要恢复区域为呼伦湖南部水域。分析呼伦湖主体湖区面积的变化与流域内气温和降水的关系,年均温与呼伦湖流域水体面积变化有一定负相关关系,但并不显著;年总降水量与呼伦湖流域水体面积变化有明显的

正相关关系。因此,年总降水量是决定呼伦湖水体面积变化的主要影响因素,尤其是2013年的湖体面积增加主要原因为降水因素。

参考文献:

- [1] 陈静生,周家义.中国水环境重金属研究 [M]. 北京:中国环境科学出版社,1992.
- [2] 顾润源,李思慧,赵慧颖,等.呼伦湖流域径流对气候变化的响应 [J]. 生态学报,2012,31(6):1517-1524.
- [3] 王苏民,龚鸿身.中国湖泊志 [M]. 北京:科学出版社,1998.
- [4] 孙 标.基于空间信息技术的呼伦湖水量动态演化研究 [D]. 内蒙古农业大学,2010.
- [5] 赵慧颖,乌力吉,郝文俊.气候变化对呼伦湖湿地及其周边地区生态环境演变的影响 [J]. 生态学报,2008,28(3):1064-1071.
- [6] 白美兰,郝润全,沈建国.近46a气候变化对呼伦湖区域生态环境的影响 [J]. 中国沙漠,2008(1):101-107.
- [7] 宋 平,刘元波,刘燕春.陆地水体参数的卫星遥感反演研究进展 [J]. 地球科学进展,2011,26(7):731-740.
- [8] Vermote E F, Vermeulen A. MODIS Algorithm Technical Background Document - Atmospheric Correction Algorithm: Spectral Reflectance (MOD09) Version 4.0 [EB/OL].
- [9] 周 沙,黄跃飞,王光谦.黑河流域中游地区生态环境变化特征及驱动力 [J]. 中国环境科学,2014,34(3):766-773.
- [10] 王 强,张 勃,戴声佩,等.三北防护林工程区植被覆盖变化与影响因子分析 [J]. 中国环境科学,2012,32(7):1302-1308.
- [11] Yang K, He J, Tang W, et al. On downward shortwave and longwave radiations over high altitude regions: Observation and modeling in the Tibetan Plateau [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010,150:38-46.
- [12] Chen Y, Yang K, He J, et al. Improving land surface temperature modeling for dry land of China [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2011,116(D20):1-15.
- [13] Glen E L, Kelly E. A meteorological distribution system for high-resolution terrestrial modeling (MicroMet) [J]. Journal of Hydrometeorology, 2006,7(2):217-234.
- [14] Peter E T, Steven W R, White M A. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain [J]. Journal of Hydrology, 1997,190(3):214-251.
- [15] Jain S K, Singh R D, Jain M K, et al. Delineation of flood-prone areas using remote sensing techniques [J]. Water Resources Management, 2005,19(4):333-347.

作者简介: 万华伟(1981-),女,山东东阿人,正高级工程师,博士,主要从事定量遥感应用、生态系统与生物多样性遥感监测与评价相关研究.发表论文20余篇.