

采用水量平衡法分析呼伦湖水域面积变化因素

张璐, 张生, 孙标, 赵胜男, 田野, 赵水霞

(内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要:为摸清呼伦湖水位下降而导致周边生态环境恶化的原因,以呼伦湖为研究对象,通过 Landsat ETM + 和 OLI 影像资料得到呼伦湖面积变化情况,将 1960 - 2013 年共分为 4 个时期,利用水量平衡法分析影响呼伦湖水量的主要因素。结果表明:不同时期影响因素及影响程度均不同,径流量的 R 值分别为 0.42、0.93、0.60、0.86,每个时期影响最大值,面积减小了 213 km²,水位降低了 3.35m。综合以上所述,得出入湖河流的径流量为调控呼伦湖水量的主控因子,其水域面积的持续萎缩主要是受气候变化和人类活动影响。

关键词:水量平衡;水文特征;水面变化;呼伦湖

中图分类号:P333.1

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2016)02-0080-06

Analysis of variation factors of Hulun lake area by using water balance method

ZHANG Lu, ZHANG Sheng, SUN Biao, ZHAO Shengnan, TIAN Ye, ZHAO Shuixia

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: In order to investigate the reason why the deterioration of ecological environment surrounding Hulun Lake result from the decrease of water level, the paper took Hulun Lake as a research object, and used Landsat ETM + and OLI image information to obtain the situation of area change of the lake. It divided 1960 - 2013 into four periods and used water balance method to analyze the main factors that affect water quantity in the lake. The results showed that the influence factors and degree are different in different periods, the runoff value R were 0.42, 0.93, 0.6, 0.86, among them, the maximum factor value in each period, the area reduced 213 km² and the water level decreased 3.35 m. Comprehensive discussed above, the runoff of input lake is the main control factor of water quantity in Hulun Lake, and the sustainable shrinking of water area is mainly affected by climate change and human activities.

Key words: water balance; hydrological characteristics; variation water surface; Hulun lake

1 研究背景

随着社会经济的发展,环境问题日益突出,水资源的重复利用也成为人们重点关注的问题^[1]。地处半干旱地区的呼伦湖在自然因素和人为因素的双重影响下,湖泊面积不断萎缩、污染日益严重、湖泊富营养化等一系列环境问题随之而来,因此湖泊的保护和治理具有非常重要的意义^[2]。

近年来,对于呼伦湖水位、面积变化及环境问题的研究有很多。利用 1961 - 2005 年气温、降水、蒸发量、及水体面积、水质状况、水位深度等资料,运用

回归统计方法得出气候变化呈现出暖干化趋势是造成水资源短缺和周边地区生态环境恶化等问题的重要原因^[3-4]。基于 1963 - 1980 年间的水位实测数据,利用水量平衡原理及辅助计算得出湖泊与周边区域具有地下水交换的一定规律,利用水量平衡方程式推算出 1981 - 2008 年月水位变化情况,得出不同气候条件下,径流量对湖泊水位影响最大,且利用敏感性分析得出气候是影响水面蒸发的主要原因^[5-6]。采用 Spearman 方法及一元回归方程分析了 1991 - 2009 年呼伦湖面积变化情况,得出秋季温度显著升高是呼伦湖面积变化的主要影响因素^[7]。

运用 ICESat 和 Landsat 对中国十大湖泊进行水量平衡估算,得出呼伦湖面高程和面积与降水、蒸发、径流量紧密相关^[8]。监测结果显示,近年来湖泊水位持续下降并且水量不断减少,造成了湖泊水生态环境逐步恶化、水质质量下降等生态环境问题^[9]。本文在前人研究的基础上,搜集近年各水文站降雨、蒸发等水文数据,通过 Landsat ETM+ 和 OLI 影像资料得到呼伦湖近年面积,采用水量平衡法并且结合水文气象历史数据,对呼伦湖各项水平衡要素进行了分析,其目的是揭示呼伦湖水域面积近年来的演变过程、发展趋势及其影响因素。

2 材料与方法

2.1 研究区概况

呼伦湖位于内蒙古满洲里市及新巴尔虎右旗和左旗之间,是内蒙古第一大湖,地理坐标介于 116°58′~117°48′E,48°33′~49°20′N 之间。湖面为不规则的斜长方形,周长约 480 km,长度约为 93 km,最大宽度约为 41 km。当湖泊水位最高时,最大水深可达 10 m 左右^[10]。呼伦湖冬季漫长且寒冷(封冻期一般为 11 月至翌年 5 月),春季干旱多风沙,夏季温凉短促,秋季降温急剧。近 54 年来平均降水量为 228.1 mm,受季风影响降水量年内时空分布不均,降水主要集中在 6~9 月份,其降雨量占全年的 74% 左右,最高降水量为 573.3 mm。该地区因受日照、植被、风速、气温等因素的影响,近年来平均蒸发量为 1411.5 mm,约为降水量的 6 倍左右^[11-12]。

呼伦湖地处半干旱地区的高纬度地带,冬长夏短,冬季气候寒冷干燥。湖水的补给除降雨和地下水外主要来自克鲁伦河和乌尔逊河,随着气候变迁和地质构造运动,其水域范围曾不止一次的扩大和缩小,由于呼伦湖流域近代水文过程受气候变迁和人类活动影响,导致流域内生态紊乱、环境退化,主要表现为呼伦湖水域面积萎缩、水位降低、湖水污染、草原沙化退化等问题。

2.2 水量平衡模型

某时段湖泊库容差与增(减)水的关系,可用水量平衡方程式表示为:

$$\Delta V / \Delta t = A(h)(P - E) + Q_{in} + Q_{out} \quad (1)$$

式中: Δt 为计算时段, a; ΔV 为湖泊库容差, 10^8 m^3 ; A 为湖泊水面面积, m^2 ; A 是水位 h 的函数; P 为湖面降雨量, 10^8 m^3 ; E 为湖面蒸发量, 10^8 m^3 ; Q_{in} 为入湖水量, 10^8 m^3 ; Q_{out} 为出湖水量, 10^8 m^3 。

水量平衡方程式具体表示为:

$$\begin{aligned} \Delta V / \Delta t &= A(h)(P - E) + Q_{\text{河流入}} + Q_{\text{坡面汇流}} + \\ &\quad Q_{\text{地下入}} - Q_{\text{河流出}} - Q_{\text{地下出}} \quad (2) \\ &= A(h)(P - E) + Q_{\text{河流入}} - Q_{\text{河流出}} + Q_{\text{余项}} \end{aligned}$$

因为 Q_{out} 无法监测到具体数据,所以本文忽略此项。因此呼伦湖水量平衡计算方程式为:

$$\Delta V / \Delta t = A(h)(P - E) + Q_{\text{河流入}} + Q_{\text{余项}} \quad (3)$$

式中: $Q_{\text{河流入}}$ 、 $Q_{\text{河流出}}$ 为河流入、出湖水量, m^3/a ; $Q_{\text{地下入}}$ 、 $Q_{\text{地下出}}$ 为地下水入、出湖水量, m^3/a ; $Q_{\text{坡面汇流}}$ 为湖周区间坡面汇流, m^3/a 。

余项表示为:

$$Q_{\text{余项}} = Q_{\text{坡面汇流}} + Q_{\text{地下入}} - Q_{\text{地下出}} \quad (4)$$

2.3 湖泊历年水域面积的确定

文献报导显示,利用遥感影像数据可较准确地反演湖泊水域面积的历史变化过程,本文在前人研究结果的基础上,呼伦湖 1960 年至 2007 年的水域面积直接引用了文献[13]结果,利用与文献结果相同的数据源 Landsat ETM+ 和 OLI 影像资料,针对研究区实际情况及研究需求,减少云层影响,对 2008 年至 2013 年每年 7、8 月份的较佳成像效果的影像数据进行了解析,通过 7、4、3 波段彩色合成图像和分类提取,得到了对应年份的呼伦湖水域面积如图 1 及图 2。



(a) 彩色合成 (RGB=743)

(b) 水面提取效果

图 1 波段 7、4、3 彩色合成及水面提取效果图

由图 3 可以看出,呼伦湖面积在 2000 年之前整体波动较小,其中 1963 年至 1983 年为缓慢下降趋势,1983 年至 1986 年缓慢上升,随后一直到 2000 年变化都比较稳定,没有大的波动。从 2000 年至 2011 年期间湖泊面积迅速下降,并且到 2011 年时湖泊面积已成为历史最低值 $1\,730 \text{ km}^2$ 。呼伦湖是我国北方生态屏障的重要组成部分,也是我国东部内陆鸟类迁徙的重要通道,其水位及面积的变化在很大程度上影响了湿地生态环境,面积迅猛减小严重影响了湖区渔业、鸟类迁徙和周边生态环境。但从 2012 年开始湖泊面积又开始缓慢上升。

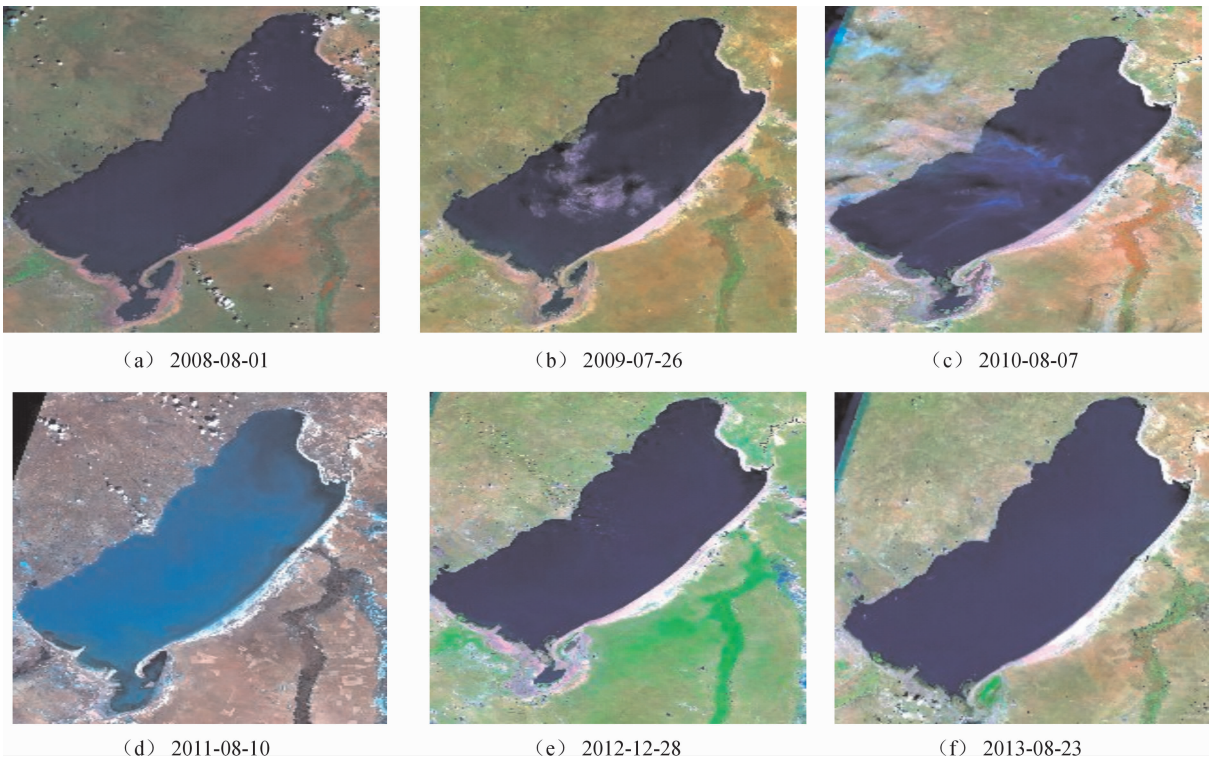


图2 呼伦湖近6年的影像图

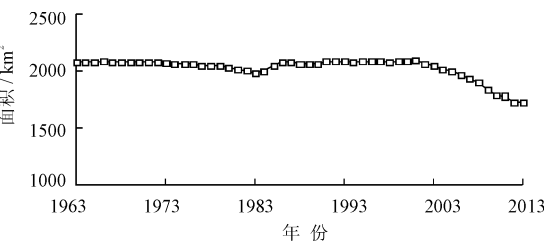


图3 呼伦湖近50年来水面面积变化图

2.4 水位水量关系

呼伦湖水位随气候的年际变化而涨落,且涨落周期长^[14]。根据呼伦湖近50年的水位监测资料,绘制的水位变化曲线如图4,每年的水位选取时间为夏季的8月前后。

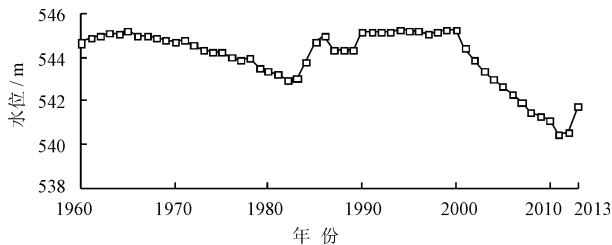


图4 呼伦湖水位变化图

由图4可以看出,呼伦湖近50年来水位经历了多次大的波动,从1960年到1965年为逐年上升趋势,之后到1983年为下降趋势,且在1983年水位达

到2000年之前的最低;1983-1986年湖水涨势迅猛,而此时克鲁伦河和乌尔逊河的径流量也呈现出相同的趋势,所以水位上涨应该和两条河的径流量有直接关系;1986-1990年5 a间水位下降又上涨;从1990-2000年10 a间,呼伦湖的水位是有记载以来的最高值时段,且波动较小;历史最高水位为2000年的545.24 m;从2001年至今,呼伦湖水位由于入湖水量的不断减少出现了迅速下降趋势,2005年以后已经低于历史水位,水位下降速度较快,湖泊面积也随之快速萎缩。到2011年水位达到至今为止最小值。从2012年开始水位又有明显的上升趋势。

孙标^[15]应用 Arc GIS 的3D分析工具对呼伦湖湖盆 TIN 模型进行三维分析,来计算不同水位情况下的呼伦湖库容,并作水位与库容相关分析图如图5。

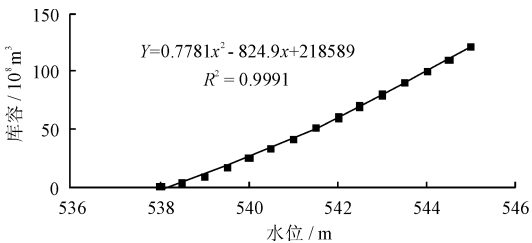


图5 水位与库容关系分析图

由图6可知,库容与水位的变化曲线基本一致。近年来呼伦湖库容一直保持在 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以内。

1960–1966年呈缓慢上升趋势,1966–1983年为下降趋势,且在1983年时降为同期最低。1983年至1990年有较大的波动,库容急剧上升后又下降,可能因为径流量、降雨量和蒸发量变化较大而导致。1990–2000库容变化比较平缓。从2000年以后库容逐渐降低,主要是因为径流量的逐步降低以及气候原因和人类活动影响导致。到2011年时库容将为最低值,2012年开始库容又有所上升,可能是因为当年径流量较大和降雨量增加的原因。同时可以看出近年来呼伦湖的库容差均在 $-25 \times 10^8 \sim 25 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以内变动,1984–1990年变化较为剧烈。2000年以后持续为负数,说明入湖水量持续降低,而同期的蒸发量和降雨量并无较大变化,所以库容差的降低主要是因为径流量的减少而导致。2012年以后库容差又开始上升,说明湖泊水量较之前又开始增加。

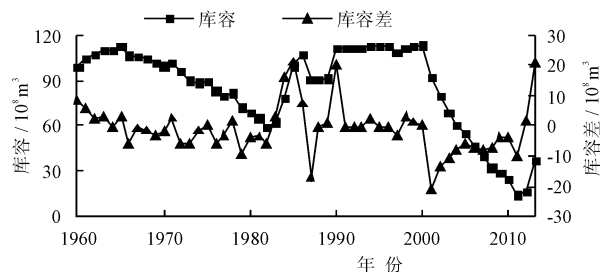


图6 呼伦湖地区库容年际变化情况

3 呼伦湖水平衡分析

3.1 径流量

呼伦湖水系主要包括乌尔逊河、克鲁伦河、哈拉哈河、新开河等主要支流。呼伦湖水的补给除降水以外,主要来自克鲁伦河和乌尔逊河,而新开河由于水闸控制的原因,近年来流入呼伦湖的水量很小,也无具体水文数据。根据克鲁伦河与乌尔逊河的水文监测资料,绘制了两条河的径流情况如图7所示。

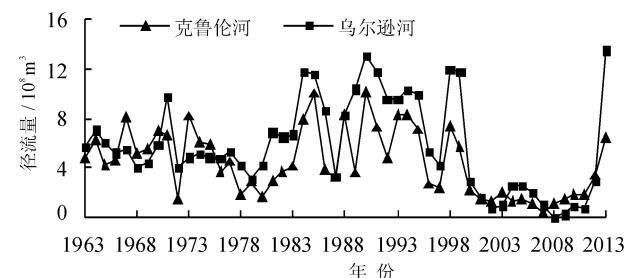


图7 两河近50年径流量变化图

由图7可知,乌尔逊河与克鲁伦河的丰水年、枯水年变化趋势基本一致。1963–1980年期间两河

的径流量基本相当;1981–1999年期间乌尔逊河的径流量要明显大于克鲁伦河,乌尔逊河约 $9 \times 10^8 \text{ m}^3$,克鲁伦河约 $6 \times 10^8 \text{ m}^3$,从2000年至今,两条河的水量出现了有记载历史以来的最小值,连续近10年为枯水年,两条河的平均径流量不足 $2 \times 10^8 \text{ m}^3$,到2008年时乌尔逊河已经全线断流。从2013年开始两河的径流量明显增加,尤其乌尔逊河出现了多年最大值。从两条河年内变化来看,两条河的月径流变化特征有明显不同,克鲁伦河的峰值出现在每年的10月,而乌尔逊河的峰值则出现在8月,这与两河的产流条件有关。克鲁伦河从每年的12月到翌年3月基本无径流量,而乌尔逊河这段时期则有少许。近年来,进入呼伦湖的总径流量在 $0 \sim 25 \times 10^8 \text{ m}^3$ 内变动,1990年达到最大值 $23.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从2012年开始,径流量又有明显增大趋势。

3.2 降雨量和蒸发量

本文根据乌尔逊河坤都冷水文站和克鲁伦河阿拉坦额莫勒水文站53 a降雨量和蒸发量的水文监测资料,绘制呼伦湖地区降雨量及蒸发量的年际变化曲线如图8。

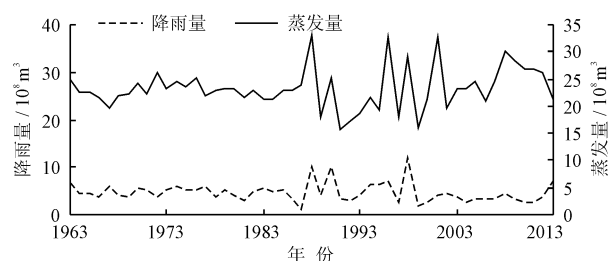


图8 呼伦湖地区降雨量和蒸发量年际变化图

由图8可以看出,近年来呼伦湖地区的蒸发量变化比较稳定,主要集中在 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右,无明显波动,1980年出现最大值 $36.1 \times 10^8 \text{ m}^3$,可能由于当年气温偏高,造成蒸发量偏大。整体来看,蒸发量的变化对库容差的大小影响比较小。呼伦湖地区降水量情况整体呈下降趋势,其中1988–1998年间起伏比较大,在1998年时出现了历史最高值573.3 mm,期间也出现了3次较高的降雨量,1999年至今的降水量要明显少于前期。1998年为近年最大值 $9.01 \times 10^8 \text{ m}^3$;而1999年至今平均降水量明显降低,连年的干旱已严重影响到了呼伦贝尔草原的生态。

3.3 其它余项

余项包括湖周坡面汇流和湖水与地下水的交换量,因为目前没有坡面汇流和地下水交换量的实际观测资料,所以余项的量值仅为其它水平衡项与库容差的差值。近50 a来余项的量值见图9。

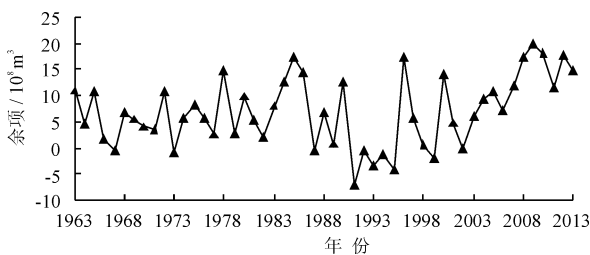


图9 呼伦湖地区水量余项年际变化情况

由图9可知,余项在 $-10\times10^8\sim25\times10^8\text{ m}^3$ 之间变动,2000年达到历史记载最大值 $25\times10^8\text{ m}^3$,当年可能由于气候的影响,湖水向地下水补给较多,或者以其它形式流出较多。1990年之前余项变化比较平稳,1990–2000年之间的余项值处于整个研究期的最低范围,2000年以后余项明显增加。20世纪90年代的值处于整个时期的最小范围内的原因为呼伦湖水外流。2000年以来在湖水水位不断的下降、降雨量有所减少、蒸发量有所增大的情况下,其他余项值有所增大说明呼伦湖应存在地下水补给,因为在降雨量有所减少的情况下,未知入湖的地面径流和地下径流也会随之减少,其他余项的增大应为地下水补给量的增加引起的,湖面水位的下降使得地下水水势加大,这符合地下水的补给特征^[15]。

4 水量变化影响因素分析

根据呼伦湖水位变化情况,本文将近50年的水位变化分为4个时期来分析。其中,1959–1983年水位缓慢下降;1984–1990年水位变化比较剧烈,具有明显的升降过程;1991–2000年水位基本持平,无明显的波动;2001–2013年水位下降比较迅速,直到2012年才缓慢回升。分别作库容差和径流量、降雨量、蒸发量、余项、面积的关系曲线图,比较各水平衡项和库容差的相关性(R)大小, R 计算结果见表1。

表1 不同时期呼伦湖水量平衡方程项相关系数表					
年份	径流量	降雨量	蒸发量	余项	面积
1959–1983	0.42	0.26	0.25	0.46	0.41
1984–1990	0.93	0.48	0.14	0.87	0.29
1991–2000	0.6	0.54	0.29	0.22	0.59
2001–2013	0.86	0.58	0.35	0.55	0.60

根据表1的相关性分析,可以看出,不同时期的主要影响因素不同且影响程度也不同。每个时期的

影响因素数量呈阶梯状增加,说明人类活动对湖泊影响越来越严重且情况越来越复杂。1983年之前,呼伦湖流域受气候变化和人类活动干扰比较少,各影响因子比较均衡,并没有显著的影响。20世纪80年呼伦湖水量主要受河川径流量和其它余项的影响;上世纪90年河川径流量为呼伦湖水量最主要影响因素,但是湖泊面积和降雨量也是重要影响因素;本世纪以来,河川径流量仍然为呼伦湖水量最主要的影响因素,降雨量、其它余项、湖泊面积对水量也有一定的影响。

通过对比分析,可得出呼伦湖水位不断下降、湖泊面积不断萎缩的主要原因是河川径流量的减少,即克鲁伦河、乌尔逊河的河水减少。在降雨量减少、蒸发量增加的情况下,河川径流量却显著减少,虽克鲁伦河和乌尔逊河的降雨数据不能代表呼伦湖区的降雨情况,但在一定程度上也反映出局部地区气候情况,由此可大致判断出克鲁伦河与乌尔逊河的水量减少可能存在上游河道截流用水的情况。因此,呼伦湖地区的气候呈干旱化趋势发展,呼伦湖湖泊的持续萎缩是由人类活动和气候变化影响的综合作用造成的。

综上所述,呼伦湖的保护与拯救已刻不容缓,否则我国北方重要的生态屏障将受到严重损害,此后引起的其他生态恶化现象和经济损失将无法估量。

5 结 论

本文针对上述情况,以呼伦湖为研究对象,利用水文数据及水量平衡法确定影响呼伦湖水量平衡的主要因素,主要的研究结论如下:通过对近50 a来呼伦湖水位分为4个时期进行分析,在每个时期内分别对库容差和径流量、降雨量、蒸发量、余项、面积作相关性分析,得出径流量是影响湖泊水量最主要的因素,尤其本世纪以来尤为明显,其它变量的变化较为稳定,只有径流量持续下降后又升高,与湖泊水量趋势几乎一致,因此,呼伦湖地区的气候呈干旱化趋势发展,呼伦湖湖泊的持续萎缩主要是受气候变化影响的结果,流域内的人类活动也在一定程度上影响了水域面积的变化。

参考文献:

[1] 李 翀,马 巍,叶柏生,等. 呼伦湖水面蒸发及水量平衡估计[J]. 水文,2006,26(5):41–44.
[2] 柯长青. 湖泊遥感研究进展[J]. 海洋湖沼通报,2004(4):81–86.

- [3] 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.
- [4] 赵慧颖,李成才,赵恒和,等. 呼伦湖湿地气候变化及其对水环境的影响[J]. 冰川冻土,2007,29(5):795-801.
- [5] 王志杰,李畅游,张生,等. 基于水平衡模型的呼伦湖湖泊水量变化[J]. 湖泊科学,2012,24(5):667-674.
- [6] 王志杰,李畅游,贾克力,等. 呼伦湖水面蒸发量计算及变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(3):88-95.
- [7] 张娜,乌力吉,刘松涛,等. 呼伦湖地区气候变化特征及其对湖泊面积的影响[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(7):192-197.
- [8] 张国庆,XIE HongJie,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.
- [9] 李畅游,张生,李卫平,等. 内蒙古呼伦湖水量平衡计算与分析[J]. 湖泊科学,2012,24(2):273-281.
- [10] 张岩,李畅游,张生,等. 呼伦湖冰封期污染特征分析及对水处理的意義[J]. 生态环境学报,2011,20(8-9):1289-1294.
- [11] 韩向红,杨持. 呼伦湖自净功能及其在区域环境保护中的作用分析[J]. 自然资源学报,2002,17(6):684-690.
- [12] 呼伦湖渔业有限公司编写委员会. 呼伦湖志(续志一,1987-1997)[M]. 呼和浩特:内蒙古文化出版社,1998.
- [13] 孙标,李畅游,张生,等. 基于空间信息技术的呼伦湖流域研究[J]. 环境污染与防治,2010,32(8):5-9+19.
- [14] 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.
- [15] 孙标. 基于空间信息技术的呼伦湖水量动态演化研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.

(上接第79页)

- [4] 孙美平,李忠勤,姚晓军,等. 近50a来乌鲁木齐河源区径流变化及其机理研究[J]. 干旱区地理,2012,35(3):430-437.
- [5] 吴景霞. 西安黑河流域水文要素变化特征分析[J]. 水利科技与经济,2008,14(11):874-875.
- [6] 马新萍,白红英,侯钦磊,等. 1959年至2010年秦岭灞河流域径流量变化及其影响因素分析[J]. 资源科学,2012,34(7):1298-1305.
- [7] 葛芬莉. 渭河水量减少原因及其南岸秦岭山区降水、径流变化分析[J]. 西北水利发电,2004,20(21):146-149.
- [8] 张静. 五十年来秦岭北麓(西安段)自然资源变化轨迹研究[D]. 西安:陕西师范大学,2006:7.
- [9] 张敬平,黄强,赵雪花. 漳泽水库径流时间序列变化特征与突变分析[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(1):131-135.
- [10] 雷璐,孙春敏. Mann-Kendall 检验方法在增江径流趋势分析中的应用[J]. 中国科技信息,2012,4(19):39+73.
- [11] Kahya E, Kalayc S. Trend analysis of stream flow in turkey [J]. Journal of Hydrology, 2004, 289(1-4):128-144.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:296.
- [13] 徐栋,张萍. 泾河流域径流量序列变化趋势和突变分析[J]. 中国科技论文在线,2009(3):6-10.
- [14] 宋佃星,延军平,马莉. 近50年来秦岭南北气候分异研究[J]. 干旱区研究,2011,28(3):492-498.