

# 艾比湖面积变化及其径流特征变化的响应

苏向明<sup>1,2</sup>, 刘志辉<sup>1,2,3,4</sup>, 魏天锋<sup>1,2</sup>, 王月健<sup>1,2</sup>, 刘洋<sup>1,2</sup>

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 教育部绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046;  
3. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 乌鲁木齐 830046; 4. 干旱半干旱区可持续发展国际研究中心, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:**近年来随着艾比湖湖面的不断退化,其环境问题日益严重。研究艾比湖面积变化对于艾比湖地区的生态环境保护、社会经济发展,乃至整个北疆地区的生态都有着重大的作用。利用 2008—2015 年逐月的高分遥感影像信息源,提取湖泊边界归一化坐标系和投影方式并以 GIS 工具对湖泊分析获取湖面变化信息。并提取年 2013 年 3—10 月份的艾比湖湖面边界,进行边界叠加对年内湖面动态变化进行分析。结合博乐市水文水资源局所实测的 1989—2007 年的艾比湖湖面面积对其年际变化进行分析。同时对博尔塔拉河和精河的 1992—2012 年的径流数据、降水量数据、平均气温数据进行统计,分析河流的径流特征,探讨支流径流变化对艾比湖面积变化的影响。结果表明:(1) 利用湖泊动态度对艾比湖湖面面积进行分析,其部分年份有增加的时期,但是整体上呈现减少的趋势;(2) 以 2013 年为例对艾比湖 3—10 月份的动态变化进行了监督,发现从 3 月份开始艾比湖的面积在不断减少,在 10 月份湖面面积最小,且大部分水体变化发生在西北方;(3) 对艾比湖入湖水量与湖面面积进行统计分析,二者具有很好的相关性,相关系数  $R=0.71$ 。

**关键词:**艾比湖; 动态变化; 径流特征

**中图分类号:** P343.3; TV121

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2016)03-0252-05

## Change of Ebinur Lake Area and Its Response Characteristics of the Runoff Change

SU Xiangming<sup>1,2</sup>, LIU Zhihui<sup>1,2,3,4</sup>, WEI Tianfeng<sup>1,2</sup>, WANG Yuejian<sup>1,2</sup>, LIU Yang<sup>1,2</sup>

(1. School of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3. Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 4. International

Center for Desert Affairs-Research on Sustainable Development in Arid and Semi-arid Lands, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** In recent years, with the deterioration of the Ebinur Lake area, the increasingly serious environmental problems occurred. Study on the Ebinur Lake area change for the protection of the ecological environment in Ebinur Lake area, the ecology of social and economic development, and even the entire northern region of Xinjiang Uygur Autonomous Region plays the significant role. Using the monthly high resolution remote sensing image information source from 2008 to 2015, extraction of lake boundary normalized coordinate system and projection methods and using GIS as a tool, the change information of the surface of the lake was obtained. Ebinur Lake boundary from March to October in 2013 was extracted, the dynamic change of lake superposition boundary was to analyzed. Combining with the Bole City Bureau of hydrology and water resources data of 1989—2007 of the Ebinur Lake area, we analyze the interannual variation. We also used the annual runoff data of Bortala River and Jinghe, data of precipitation, average temperature data statistics to analyze the runoff characteristics of the Jinghe, Bole River, to study the influence of tributary of the runoff variation of runoff in the Ebinur Lake area. The results showed that: (1) dynamic lake utilization degrees of the Ebinur Lake area were analyzed, the part of the years had increased, but the overall presented decrease trend; (2) taking 2013 as the example, the dynamic changes of the Ebinur Lake from March to October were monitored, it was found that Ebinur Lake area continued to decline from March, in October the lake area was the smallest, and most of the water change occurred in the northwestern part; (3) taking water inflow of Ebinur Lake and lake area for statistical analysis, these two parameters have the good correlation, and the correlation coefficient is 0.71.

**Keywords:** Ebinur Lake; dynamic change; runoff characteristic

收稿日期: 2015-06-09

修回日期: 2015-06-30

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(41130531); 水利部公益性行业科研专项(201301103)

第一作者: 苏向明(1989—), 男, 陕西延安人, 硕士研究生, 研究方向为水文学与水资源。E-mail: sxmj0214@163.com

通信作者: 刘志辉(1957—), 男, 新疆乌鲁木齐人, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源与环境生态及环境规划、土地资源规划与评价等研究。

E-mail: lzh@xju.edu.cn

湖泊是重要的国土资源,对发展经济维持区域生态环境平衡起到重要的作用。艾比湖流域位于中国新疆西部,天山北麓,毗邻哈萨克斯坦共和国,为准噶尔盆地西部最低的集水中心,是奎屯河、精河、博尔塔拉河等河流的尾间。其地理位置正好处在阿拉山口大风通道的下沉气流区,具有典型的干旱区生态环境特征,独特的自然地理因素决定了流域内生态环境极其脆弱,加之人类的不合理的利用,导致湖泊水量减少。作为新疆第一大咸水湖,艾比湖曾经像一把保护伞维持着该地区乃至整个新疆北部的生态平衡。西部干旱区湖泊萎缩干涸的现象较多,艾丁湖、罗布泊都是鲜活的实例。艾比湖流域是一个典型的干旱生态环境退化区<sup>[1]</sup>,然而一般认为北方地区尤其是干旱区年径流量随森林覆盖率增大而减小(石质山区除外),南方湿润地区则相反,所以文章不考虑植被覆盖的情况<sup>[2]</sup>。近年来国内学者对于艾比湖地区已做了不少研究<sup>[3-5]</sup>,但是在这些研究中缺乏对于艾比湖湖面面积年内变化及其径流特征变化的响应和艾比湖年内动态变化趋势研究。无可否认的是从 20 世纪 50 年代至 70 年代末,湖面面积以每年 10.3 km<sup>2</sup> 的速度从 1 200 km<sup>2</sup> 萎缩至 522 km<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。近年来由于本流域人口以及种植面积的增加使得艾比湖有限的水资源与生态用水间的矛盾日益突出,人类在艾比湖退化的过程中影响比重较大。人们在上游地区开荒造田拦坝建库,下游出现断流的现象,甚至导致大量植被衰败,对当地生态系统都有危害<sup>[7]</sup>。湖泊面积大,且由于条件的限制,很难对其整体湖面信息进行检测。近年来随着遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术的发展,高分辨率的卫星遥感影像相对于常规的湖泊调查方法,其全面、快速、数据量大和更新快的优势<sup>[8-9]</sup>,被广泛地应用在水质监测、湖泊的动态环境变化和盐湖开发等领域<sup>[10-13]</sup>,且技术也已经比较成熟。

表 2 HJ-1A 卫星主要载荷参数

平台	有效载荷	波段	光谱范围/ μm	空间分辨率/ m	幅宽/ km	侧摆能力	重访时间/d	数传数据率/Mbps
HJ-1A 星	CCD 相机	1	0.43~0.52	30	360(单台),700(二台)	—	4	120
		2	0.52~0.60	30				
		3	0.63~0.69	30				
		4	0.76~0.90	30				
	高光谱成像仪	—	0.45~0.95 (110~128 个谱段)	100	50	±30°	4	

下载的遥感影像数据是合成的标准产品 2 级产品,表 3 是对产品的介绍。

1 研究区概况

艾比湖位于 44°43′—45°12′N,82°35′—83°11′E,处于精河县北部,东部与古尔特通古特沙漠相连,北临托里县,西北与哈萨克斯坦共和国相连,属于博尔塔拉蒙古自治州,是新疆维吾尔自治区第一大咸水湖。艾比湖流域的补给河流主要有精河、博尔塔拉河和奎屯河。20 世纪 50 年代奎屯河区兴建 10 多座水库,总库容 2 108 m<sup>3</sup>,加之引水工程的完善,地表径流基本上被全部引用,到 70 年代末期几无水量注入艾比湖<sup>[14-16]</sup>,导致艾比湖水量在 70 年代时剧减。80 年代以来艾比湖人湖地表径流主要来自博尔塔拉河和精河,其中博尔塔拉河的多年平均径流量为 5.25 亿 m<sup>3</sup>,精河的多年平均径流量为 4.7 亿 m<sup>3</sup>。通过对两河的多年观测值的计算,博尔塔拉河水量占总入湖水量的 71.3%,精河占 28.7%<sup>[17]</sup>。

2 数据获取及研究方法

2.1 数据获取

数据来源,文章中主要用到两部分的数据,第一部分是关于艾比湖地区的一些气象和径流数据,还有部分遥感数据。其中气象数据包括 1992—2012 年的精、博河地区的降水、径流数据、气温数据,其次还有艾比湖历年入湖水量数据,入湖站点信息如表 1 所示。

表 1 入湖站点信息

河流	入湖站点名	纬度	经度	海拔/m
博尔塔拉河	五支渠	82°39′52″E	44°53′28″N	194
	总排	82°40′48″E	44°51′57″N	193
	90 团大桥	82°39′10″E	44°45′59″N	238
精河	82 团大桥	82°49′53″E	44°41′37″N	235

文章中用到的遥感数据获取自中国资源卫星中心下面的环境与灾害监测预报小卫星星座 A,B 星的数据(以下简称 HJ-A,B 卫星),各载荷的主要参数如表 2 所示。

2.2 Mann-Kendall 单调趋势检验

Mann-Kendall 检验法<sup>[18]</sup>是世界气象组织推荐

并广泛使用的非参数检验方法,它不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,且不需要作统计分析,适用于水文、气象等非正态分布的数据,计算简便。下面分别介绍其趋势检验的原理。

表 3 产品介绍

产品分级	产品名称	产品说明
0 级	原始数据产品	分景后的卫星下传遥感数据
1 级	辐射校正产品	经波谱复原和辐射校正,没有经过几何校正的产品数据
		经波谱复原、辐射校正和系统几何校正,并将校正后的图像映射到指定的地图投影坐标下的产品数据
2 级	系统几何校正产品	

M-K 检验首先对时间序列  $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$  依次比较,结果记为  $\text{sgn}(\theta)$ :

$$\text{sgn}(\theta)=\begin{cases} 1 & \theta>0 \\ 0 & \theta=0 \\ -1 & \theta<0 \end{cases} \quad (1)$$

然后计算出 Mann-Kendall 统计量:

$$S=\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k-x_i) \quad (2)$$

式中: $x_k, x_i$ ——进行检验的随机变量; $n$ ——所选数据序列的长度。则与此相关的检验统计量为:

$$Z_c=\begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & s>0 \\ 0 & s=0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & s<0 \end{cases} \quad (3)$$

当  $-Z_{1-a/2} \leq Z_c \leq Z_{1-a/2}$  时,接受原假设,表明样本没有变化趋势。其中  $\pm Z_{1-a/2}$  为标准正态分布中值为  $1-a/2$  时对应的显著性水平  $a$  下的统计量。

$$\beta=\text{Median}\left(\frac{x_i-x_j}{i-j}\right) \quad \forall j<i \quad (4)$$

式中: $1<j<i<n$ 。当  $\beta>0$  时,反映出呈上升趋势,反之则呈下降的趋势<sup>[19-20]</sup>。

2.3 湖泊面积动态度

湖泊面积动态度可以反映不同时期湖泊面积变化情况,本研究采用湖泊面积动态度分析湖泊的变化特征。湖泊面积动态度是指某一地区一定时间范围内湖泊面积的变化,其表达式为<sup>[21]</sup>:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a} \cdot \frac{1}{T} \times 100 \% \quad (5)$$

式中: $K$ ——研究时段内湖泊面积动态度; $U_a, U_b$ ——研究初期和研究末期的湖泊面积; $T$ ——研究时段长,当  $T$  的时段设定为年时, $K$  值就是该研究区湖泊面积的年变化率。

3 结果与分析

3.1 湖面面积变化分析

从图 1 中可以看出,近年来艾比湖湖面面积从 1989—2012 年总共经历了 2 次波动,第 1 次是 1992—1994 年的小波动;第 2 次是 2000—2007 年的一个大波动,波动范围为 502~891 km<sup>2</sup>,湖面面积达到最大值的时候比上年增加了 240.72 km<sup>2</sup>,但是这一年的入湖水量较上年变化不大。这可能是因为在此之前注入艾比湖的部分水转入地下水,而当入湖水量稍微减少的情况下,地下水反过来补给湖泊水量,所以湖泊的面积变化有一定的滞后性。

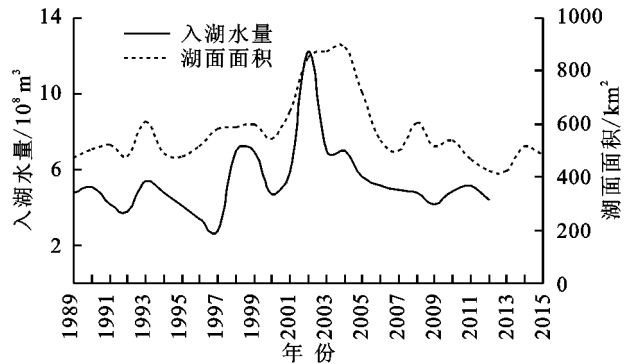


图 1 艾比湖历年入湖流量与艾比湖面积变化

图 2 是对艾比湖湖面面积与入湖水量的相关分析,得出二者相关性较大。艾比湖湖面面积与入湖水量的关系密切,相关系数  $R=0.71$ ,由此说明,入湖水量对湖面面积的影响较大。

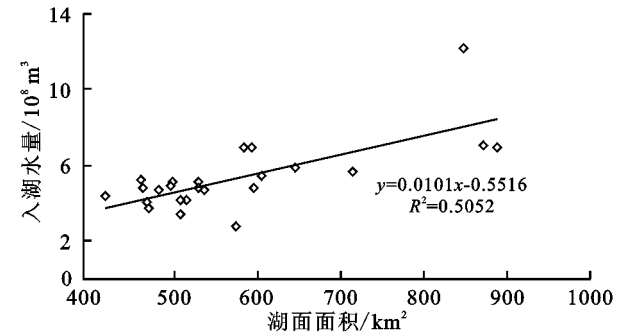


图 2 湖面面积与入湖水量关系

图 3 是对艾比湖 2013 年 3—10 月的湖面面积进行的统计,艾比湖湖面面积从 3 月份开始依次减少,在 10 月份最小,这个变化的原因主要是从 4 月份开始新疆地区进入春灌期,艾比湖的补给量变少。随着季节的推移,用水量不断增加,艾比湖湖面面积不断减小。冬季新疆灌溉用水少,河流都处于自然状态,净补给量大。

艾比湖 3—10 月湖面变化主要集中在西北方,这主要因为艾比湖补给河流的入口大都集中在东南方,加之流动过程中蒸发、下渗等因素,致使到西北方以后水量减少,当然也有可能与艾比湖湖底的地形有关。

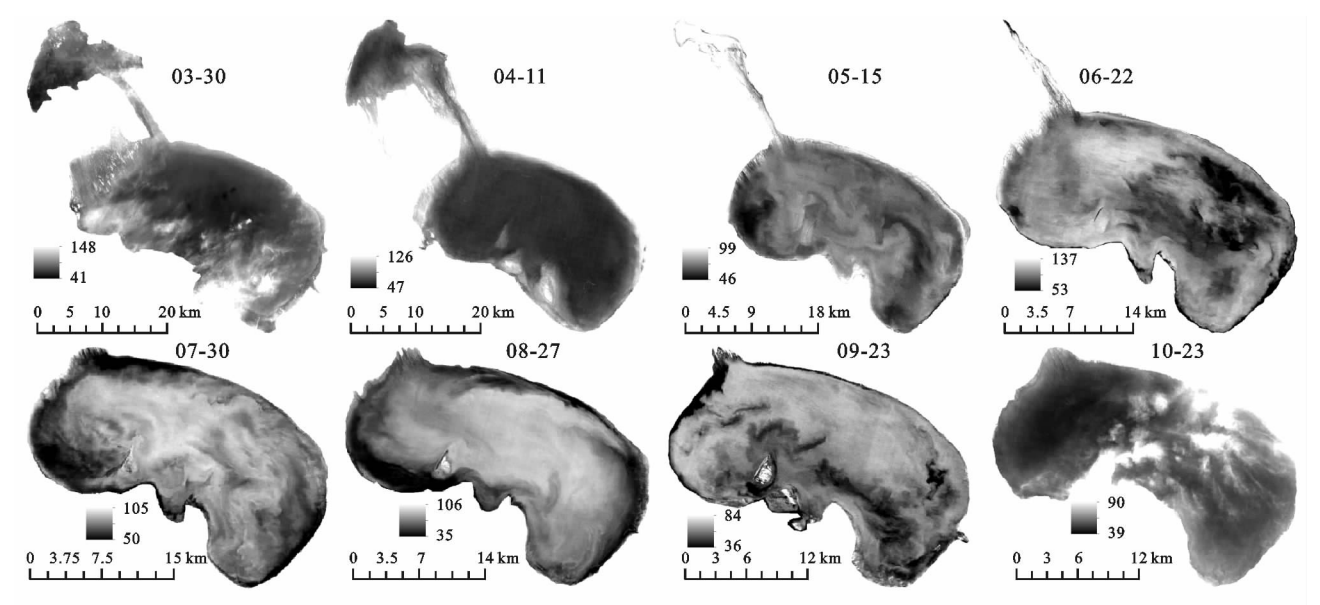


图 3 艾比湖 3—10 月湖面变化

3.2 支流径流变化特征

由图 4A 可以看出,精河站平均气温呈现明显的上升趋势,这与何毅等<sup>[22]</sup>对南北疆气温、降水及相对湿度趋势分析研究结果一致。如图 4B 所示,1992—2012 年博乐站的径流量变化呈现先升高后降低的趋势,呈现上涨趋势。博乐站的降水量与径流量的变化

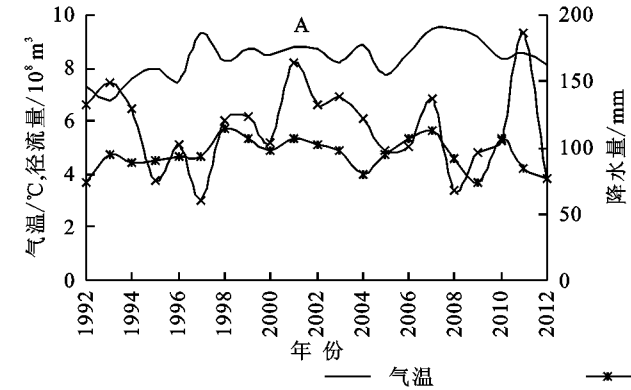


图 4 精河和博乐站平均气温、降水与径流量变化

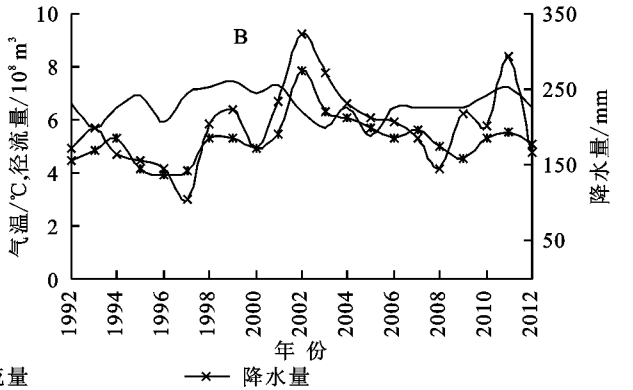
表 4 艾比湖流域两大支流径流量趋势检验					
站点	变异系数	$Z_c$	$\beta$	$H_0$	趋势
精河	0.14	4.59	0.43	R	递增
博尔塔拉河	0.2	-0.1	-0.007	A	微递减

注: $\beta$  值为年变化率。R 为拒绝原假设,差异性显著;A 为接受原假设,差异性不显著。

补给河流主要是通过入湖水量影响艾比湖面积,但是其二者之间并没有显示很好的相关性。这主要是由于人们引水过多改变了径流的自然规律,加之有部分水量是通过地下水的形式补给艾比湖的。以博尔塔拉河为例,其径流在年内甚至出现逆季节的现象,即夏季径流量小,而冬季径流量大,这就使得艾比湖夏季入湖水量减小。

趋势基本一致。平均气温基本保持稳定,变化不明显。

利用精河与博尔塔拉河 1992—2012 年实测的出山口径流量资料,分析了艾比湖二大支流在 1992—2012 年年径流量变化趋势。经过检验得出(表 4),精河站近年来径流属于递增趋势,而博尔塔拉河属于微递减趋势。



3.3 艾比湖湖面动态度分析

根据公式(4)对艾比湖湖面动态度进行分析,结果表明:1989—2015 年艾比湖面积减少了 47.27 km<sup>2</sup>,减少了 2.94%。1989—1993 年,艾比湖面积增加了 30.21%,湖泊面积动态度为 6.04%;1993—2004 年,艾比湖面积减少了 45.59%,湖泊面积动态度为 3.80%;2004—2015 年艾比湖面积较少了 45.70%,湖泊面积动态度为 -3.81。虽然艾比湖面积有阶段性增加的时段,但是整体上,艾比湖面积处于负增长的态势。

4 结论

(1) 以湖泊动态度对艾比湖湖面面积动态进行分析,1989—2014 年艾比湖面积减少了 47.27 km<sup>2</sup>,减少了

10.06%,表明了艾比湖面积正在萎缩。在 1989—1993 年、1993—2004 年和 2004—2013 年,艾比湖的湖面动态依次为 6.04%,3.80%,−5.26%,虽然艾比湖面积有阶段性增加的时期,但是整体上,艾比湖面积处于负增长的态势。

(2) 3—10 月份艾比湖湖面面积的变化趋势为从 3 月份开始逐渐降低,在 10 月份达到最低。春季、夏季以及秋季湖面入湖水量少主要是农业灌溉用水的原因,西北地区汛期正是农业灌溉用水、鱼虾孵化的高峰时节,所以艾比湖湖面面积的最大值不出现在夏季。

(3) 对入湖水量与艾比湖湖面面积进行相关分析,得出二者具有很好的相关性,相关系数  $R=0.71$ 。2000—2004 年艾比湖面积不断增加,在 2004 年艾比湖湖面面积达到最大值。而艾比湖湖面面积与入湖水量存在不同步的现象,这是由于当入湖水量开始增加时,有部分入湖水量转为地下水,同时当地表水注入艾比湖的入湖水量减少时,其地下水补给艾比湖水量。

#### 参考文献:

- [1] 李遐龄. 艾比湖生态环境综合治理和经济可持续发展的研究[J]. 干旱区资源与环境,1997,11(2):27-36.
- [2] 李佳,张小咏,杨艳昭. 基于 SWAT 模型的长江源土地利用/土地覆被情景变化对径流影响研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):119-124.
- [3] Yao J, Zhao Q, Liu Z. Effect of climate variability and human activities on runoff in the Jinghe River Basin, Northwest China [J]. Journal of Mountain Science, 2015,12(2):358-367.
- [4] 苏宏超,巴音查汗,庞春花. 艾比湖面积变化及对生态环境影响[J]. 冰川冻土,2006,28(6):941-949.
- [5] 张飞,王娟,周梅,等. 1998—2013 年新疆艾比湖湖面时空动态变化及其驱动机制[J]. 生态学报,2015,35(9):2848-2859.
- [6] 吉力力,米热班,阿布里,等. 艾比湖干涸湖底不同景观类型下富盐沉积物盐分积聚特征[J]. 中国沙漠,2013,33(5):1426-1432.
- [7] 杨青,何清,李红军,等. 艾比湖流域沙尘气候变化趋势

及其突变研究[J]. 中国沙漠,2003,23(5):503-508.

- [8] Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery [J]. International Journal of Remote Sensing,2006,27(14):3025-3033.
- [9] Hinton J C. GIS and remote sensing integration for environmental applications [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1996,10(7):877-890.
- [10] 杜云艳,周成虎. 水体的遥感信息自动提取方法[J]. 遥感学报,1998,2(4):364-369.
- [11] 李永生,武鹏飞. 基于 MODIS 数据的艾比湖湖面变化研究[J]. 水资源与水工程学报,2008,19(5):110-112.
- [12] 于雪英,江南. 基于 RS, GIS 技术的湖面变化信息提取与分析:以艾比湖为例[J]. 湖泊科学,2003,15(1):81-84.
- [13] 刘志锋,朱卫红,南颖,等. 基于 Corona 和 Spot-5 影像的图们江下游敬信湿地变化研究[J]. 湿地科学,2009,7(3):237-242.
- [14] 杨利普,杨川德. 新疆艾比湖流域水资源利用与艾比湖演变[J]. 干旱区地理,1990,13(4):1-13.
- [15] 格丽玛,何清,冷中笑,等. 新疆艾比湖流域近 40 年来气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(1):54-58.
- [16] 苏颖君,包安明. 艾比湖生态环境恶化及防治对策[J]. 干旱区地理,2002,25(2):143-148.
- [17] 闫顺. 艾比湖及周边地区环境演变与对策[J]. 干旱区资源与环境,1996,10(1):30-37.
- [18] Yue S, Pilon P, Phinney B, et al. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series [J]. Hydrological Processes,2002,16(9):1807-1829.
- [19] Xu Z X, Takeuchi K, Ishidaira H. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation [J]. Journal of Hydrology,2003,279(1):144-150.
- [20] Burn D H, Elnur M A H. Detection of hydrologic trends and variability [J]. Journal of Hydrology, 2002,255(1):107-122.
- [21] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展,1999,18(1):81-87.
- [22] 何毅,杨太保,陈杰,等. 1955—2012 年南北疆气温,降水及相对湿度趋势分析[J]. 水土保持研究,2015,22(2):269-277.