吉林省西部主要水体面积动态变化遥感监测

马艳敏[1,2], 郭春明[1,2], 王 颖[1,2], 李建平[1,2], 唐晓玲[1,2], 陈立文[1,2]
(1. 吉林省气象科学研究所, 吉林 长春 130062; 2. 长白山气象与气候变化吉林省重点实验室, 吉林 长春 130062)

摘 要: [目的] 分析吉林省西部主要水体的动态变化,了解西部水资源现状,为水资源保护、利用和可持续发展提供有力支持。[方法] 利用 2000 年以来的 MODIS 数据,采用目视解译的方法提取吉林省西部主要水体分布及面积数据,对年际、年内变化规律及影响因素进行分析。[结果] 2000 年以来,月亮泡水库、向海水库和查干湖均表现出向北部推进和水域面积增加的趋势;水体面积表现出明显的年周期变化规律,雨季期间及后期一般会出现较大的水域面积,形成了与季节性气候相适应的年周期变化状态;气候变化趋势,特别是降水对水体面积的影响较为显著,人类活动也起到了明显的推动作用。[结论] 2000 年以来,受气候变化及人类活动的影响,西部主要水体的水域面积有增加的趋势。

关键词: 水体面积; 动态变化; 遥感监测; MODIS; 吉林省西部
文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2018)05-0249-07 **中图分类号**: P343.3

文献参数: 马艳敏, 郭春明, 王颖, 等. 吉林省西部主要水体面积动态变化遥感监测[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 249-255. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.040. Ma Yanmin, Guo Chunming, Wang Ying, et al. Remote sensing monitoring on area dynamic change of major water bodies in Western Jilin Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 249-255.

Remote Sensing Monitoring on Area Dynamic Change of Major Water Bodies in Western Jilin Province

MA Yanmin[1,2], GUO Chunming[1,2], WANG Ying[1,2], LI Jianping[1,2], TANG Xiaoling[1,2], CHEN Liwen[1,2]
(1. *Meteorological Institute of Jilin Province, Changchun, Jilin* 130062, *China*; 2. *Jilin Provincial Key Laboratory of Changbai Mountain Meteorology and Climate Change, Changchun, Jilin* 130062, *China*)

Abstract: [Objective] To analyze the dynamic change of the major water bodies in Western Jilin Province in order to understand the current situations of water resource in the area, and to provide strong support for the protection, utilization and sustainable development of water resources. [Methods] We extracted the area and spatial distribution of major water bodies in Western Jilin Province by visual interpreting, based on MODIS images from 2000 to 2017. Moreover, the inter-annual and intra-annual variations of water area and the corresponding impact factors were analyzed. [Results] Since 2000, a northward tendency was showed in Yueliangpao reservoir, Xianghai reservoir and Chagan Lake, and the water area had increased. There was an obvious annual periodic change of the water area. Specifically, relatively larger water areas were found during the rainy season, which were compatible with the seasonal climate. The climate change, especially changes of precipitation had significant impacts on water area. In addition, human activities also played a significant role in promoting the growth of water area. [Conclusion] Affected by climate change and human activities, the water area of the major water bodies in Western Jilin Province has increased since 2000.

Keywords: **water area; dynamic change; remote sensing monitoring; MODIS; Westen Jilin Province**

水资源是一种非常重要的资源,也是一个独立的环境因子,受到人们格外的重视[1]。水体动态监测是当今资源与环境变化研究的一个热点与重点。及时、准确地获得水体变化信息是对水资源保护、利用和可持续发展的有力支持,而遥感技术的快速、周期性等特点为水体变化监测提供了技术手段[2]。水体面积

收稿日期: 2018-04-11 **修回日期**: 2018-05-31
资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目"东北玉米干旱和低温冷害混合发生过程监测评估技术研究"(2018SYIAEHZ1)
第一作者: 马艳敏(1987—),女(汉族),河北省唐山市人,硕士,工程师,主要从事卫星遥感在生态和气象方面的应用研究。E-mail: mayanmin87@sina.com。

的监测是调查水资源的一个重要方面,也是洪水监测的重要内容。因此利用遥感影像的波普特征和水体在影像上的特征提取水体信息,获取它的范围甚至其他特征,是十分有意义的工作[1]。目前,许多学者基于多源卫星数据,利用RS和GIS技术对研究区水体进行了监测和分析,例如臧菁菁等[3]监测了1975—2014年巴尔喀什湖水体面积的变化,文雄飞等[4]基于Landsat卫星数据对洪湖水体进行遥感监测,雷璇等[5]基于SPOT-VGT数据对洞庭湖水体面积进行变化分析,李辉等[6]基于MODIS影像对鄱阳湖湖面积及与水位关系进行研究,常利等[7]基于资源三号卫星对丹江口水库面积季节变化进行遥感监测,张行清等[8]基于HJ-1卫星数据对广西水库面积进行了监测,刘宝康等[9]基于环境减灾卫星对青海湖面积进行动态监测,郭鹏[10]和梁文广等[11]分别基于MODIS,HJ和航片对宿鸭湖水库、江苏省水域的面积变化进行遥感监测。吉林省西部自然资源丰富,生态系统脆弱,草原退化、盐碱化和沙化问题比较突出,水资源是生态系统的重要组成部分,也是生态修复和可持续发展的重要内容,但针对吉林省西部水体的动态监测还不多见,因此,对吉林省西部主要水体面积进行动态监测和分析有着重要的意义。本文拟利用2000年以来的MODIS数据,采用目视解译等方法获取研究区水体分布以及面积变化信息,并从自然和人为两方面原因对湖泊、水库的变化影响因素进行探讨,以期及时了解西部生态环境动态及生态治理效果。

1 研究区概况

吉林省西部的主要水体包括查干湖、向海水库和月亮泡水库。查干湖大部位于前郭尔罗斯蒙古族自治县境内,是吉林省内最大的天然湖泊,也是全国十大淡水湖之一,为国家级自然保护区。向海水库位于白城市通榆县境内,是向海自然保护区内唯一的大型蓄水工程,也是向海湿地的水源储备库。月亮泡水库位于大安市月亮泡镇,为白城内流区最大调蓄水利枢纽及淡水鱼主要产区。这些湖泊水库大大降低了洪水对下游的损害,排涝灌溉,同时改善了西部的生态环境。

2 数据来源与数据处理

2.1 数据来源与处理

采用美国NASA对地观测系统(EOS)系列遥感卫星中上午星Terra星MODIS数据,MODIS为中等分辨率成像仪,是平台上的主要传感器,能提供250,500,1 000 m这3种空间分辨率、分布在0.4～14.3 μm电磁波谱范围内36个通道的数据,扫描宽度为2 330 km,两颗卫星每天可对地球上同一个地方提供四景影像,时间分辨率高,并且免费提供各级产品。Terra卫星于1999年12月18日发射成功,已经获取了连续18 a的地球综合信息,为水体动态监测提供了长时间序列数据。

数据来自吉林省DVB-S接收系统接收及NASA官方网站下载的Terra星2000—2017年的MODIS遥感影像,空间分辨率为250 m。其中年际变化分析数据选择2000—2017年期间各年8月底至9月初(水面为每年最大值)的晴空数据,时间跨度不超过15 d,共18景。年内变化数据选取了2007—2017年每年5月末和8月末的晴空数据,2007和2016年1—12月的晴空数据,所用影像共计49景。

对MODIS遥感数据处理主要通过极轨卫星遥感生态环境监测软件和ENVI软件进行,经过几何校正、投影、裁剪、图像增强,最后输出TIFF格式。其中投影方式选择面积变形较小的Albers等面积圆锥投影,利于后续湖泊水库面积的计算提取。根据吉林省的地理位置设置投影参数第1条标准纬线为42°N,第2条标准纬线为46°N。

气象观测数据包括1961—2017年吉林省自动观测站观测的降水和气温数据。月亮泡水库选取大安站和镇赉站观测值的平均、向海水库选取通榆站的观测值、查干湖选取前郭站的观测值。面积及气象观测数据的统计分析主要采用趋势线分析、变异系数和相关分析方法。变异系数的计算公式为:变异系数 C_V =(标准偏差SD/平均值Mean)×100%。

2.2 水体提取

2.2.1 *水体提取原理与方法* 不同地物由于自身对太阳光的吸收和反射程度不同以及地物间性质的差异,导致了它们在卫星传感器上记录的电磁波谱信息也各不相同。天然水体在0.4～2.5 μm的吸收明显高于大多数其他地物,因此其反射率在这个波段范围都很低,可见光范围大都在3%左右,在彩色遥感影像上表现为暗色调;在红外波段,水体吸收的能量高于可见光波段,即使水很浅,水体也几乎全部吸收了全部入射能量,所以水体在近红外及中红外波段的反射能量很少,而植被、土壤在这两个波段内有较高的反射特性,这使得水体在这两个波段上与植被和土壤有明显的区别。反映在影像上,水体呈现出暗色调,而土壤植被则相对较亮[12]。水体的这种光谱特性是遥感提取水体的重要依据。MODIS数据的第1波段

是红光区,第 2 波段是近红外区。在第 2 波段内,植被的反射率明显高于水体;而在第 1 波段内,水体的反射率高于植被。因此对 MODIS 数据进行 121 波段组合,采用人机交互式目视解译的分类方法,主要通过 ArcGIS 软件的 Editor 工具解译出查干湖、月亮泡水库、向海水库水面的矢量数据集。

2.2.2　解译精度检验　分类精度是指所获得的图像分类与现实吻合的程度,利用高分辨率影像进行检验是常用的一种方式,目前所用的 Google Earth 采用的是 Landsat 数据,分辨率为 30 m,向海水库为 2012 年 5 月 15 日影像,查干湖为 2015 年 7 月 31 日影像,月亮泡水库为 2015 年 5 月和 2017 年 3 月,5 月影像拼接而成。因此选取向海水库 2012 年 5 月 28 日解译结果和查干湖 2015 年 7 月 31 日解译结果进行精度的检验。在解译出的矢量文件中选取检验点:向海水库 50 个,查干湖 65 个,并计算经纬度,利用 GoogleEarth 查询,检验点落在相应的水体区域内,视为该点正确。经计算向海水库和查干湖的精度在 76%和 80%左右,能够满足水体面积动态变化特征分析要求。

3　结果与分析

3.1　吉林省西部主要水体的年际变化特征

3.1.1　空间变化　对解译出的水体进行空间叠加,得到 2000—2006,2006—2017 和 2000—2017 年的水域面积空间变化情况(图 1)。2000 年以来的 17 a 期间,月亮泡水库、向海水库和查干湖均表现出向北部推进的趋势。变化明显区于位于水库和湖泊的北岸和西南岸,北部以扩展为主、西南部则有明显的缩减。2000—2006 年期间,3 个水体均表现出空间上的缩减趋势,主要表现在月亮泡水库的西部、向海水库一场泡的西、南侧和二场泡的西部、查干湖的西南岸和东北角。2006—2017 年的近 10 a 间,3 个水体均表现出向北部推进的趋势,面积均有所扩大。

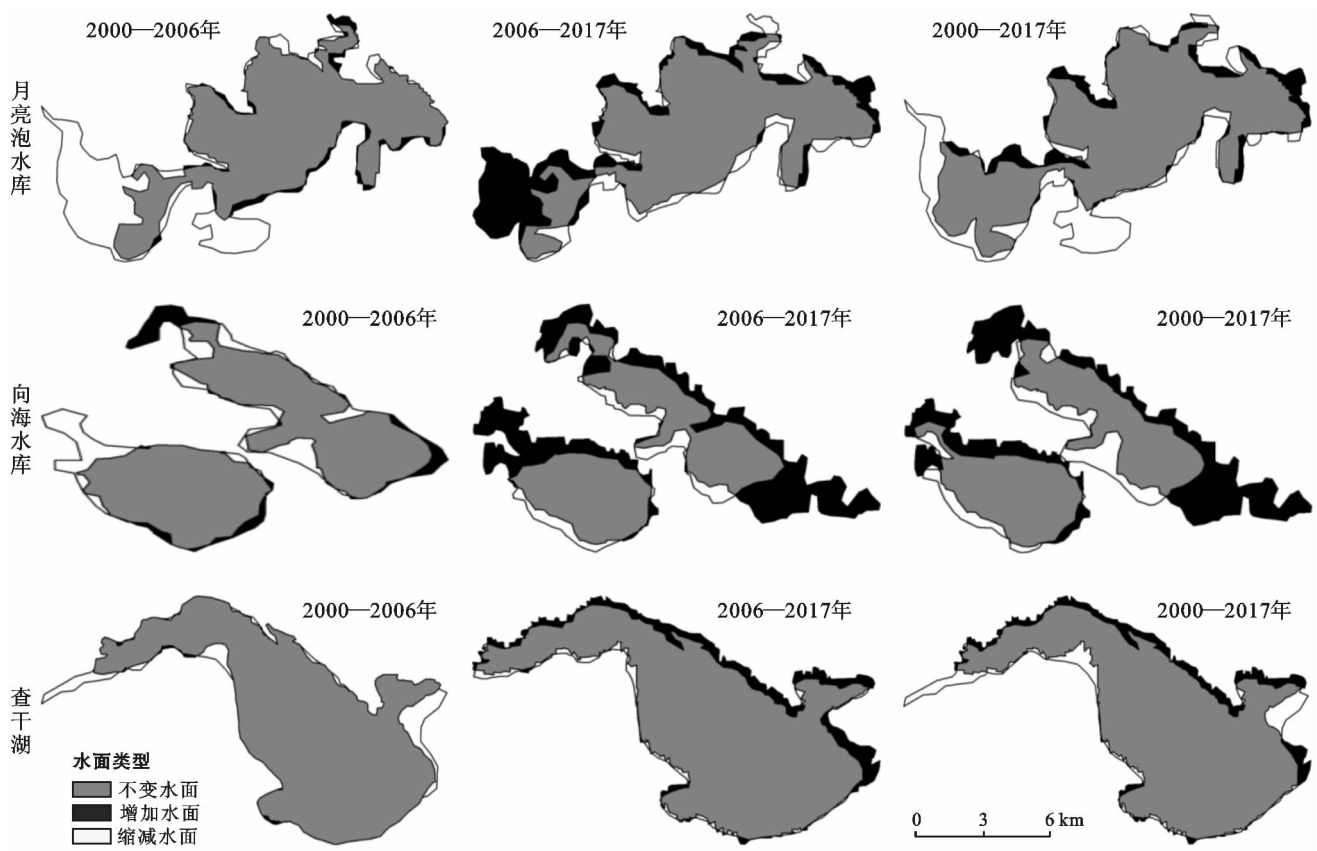


图 1　2000－2017 年吉林省西部湖泊水库空间变化监测

3.1.2　时间变化　对 2000—2017 年吉林省西部 3 个主要水体面积进行年际统计,结果如图 2 和表 1 所示。由图 2 可以看出近 18 a 来吉林省西部 3 个水体的水域面积总体均呈增加趋势。增加趋势最明显的是月亮泡水库,其次是向海水库、查干湖。2000—2017 年,水域面积均有所增加,增加面积由大到小依次为向海水库 32.6 km^2,月亮泡水库 8.3 km^2,查干湖 2.6 km^2。对 3 个水体 2000—2017 年面积的变异系数进行计算,向海水库的变异系数最大,达到 37.83%,离散程度较大。其次是月亮泡水库 29.33%。查干湖最小,只有 3.58%,从趋势线也可以看出,总体变化幅度比较小,面积相对稳定。

从表 1 可以看出，月亮泡水库与前一年相比面积增加最明显的年份为 2003 年，其次为 2015，2011 年，面积减少最明显的是 2014 和 2001 年；向海水库与前一年相比面积增加最明显的年份为 2011 年，其次为 2015 年，面积减少最明显的是 2009 年和 2014 年；查干湖与前一年相比面积增加最明显的年份为 2011 年，面积减少最明显的是 2014 年；2011 年 3 个水体面积均较上一年明显增加，2014 年则均表现出明显的减少，主要是由于 2011 年降水量均较上一年增加显著，而 2014 年 7—8 月吉林省西部发生比较严重的伏旱，特别是月亮泡水库所在的大安旱情显著。

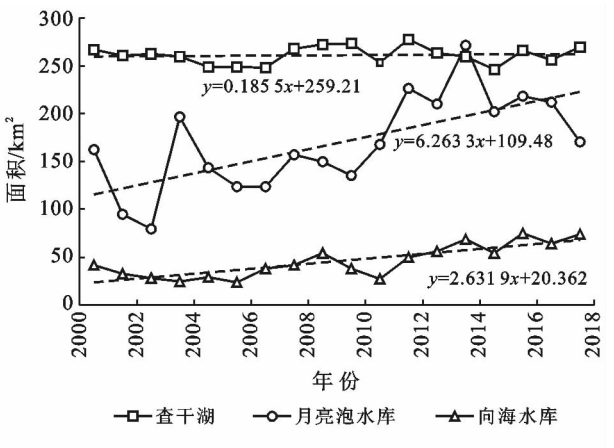


图 2 2000－2017 年吉林省西部湖泊水库面积变化趋势

表 1 2000－2017 年吉林省西部湖泊水库面积年变化幅度及年波动度统计

水体	项目	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
查干湖	年变幅	－6.40	2.50	－2.90	－10.7	－0.10	－0.70	19.50	4.70	0.40
	年波动度	－0.02	0.01	－0.01	－0.04	0.00	0.00	0.07	0.02	0.00
月亮泡水库	年变幅	－68.20	－14.90	116.80	－52.80	－19.90	－0.10	33.30	－6.70	－14.60
	年波动度	－0.40	－0.09	0.69	－0.31	－0.12	0.00	0.20	－0.04	－0.09
向海水库	年变幅	－9.00	－4.80	－3.20	4.80	－5.50	14.20	3.70	12.60	－16.50
	年波动度	－0.20	－0.11	－0.07	0.10	－0.12	0.31	0.08	0.28	－0.36

水体	项目	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
查干湖	年变幅	－19.80	24.90	－14.70	－3.30	－13.60	19.50	－9.80	13.10
	年波动度	－0.08	0.10	－0.06	－0.01	－0.05	0.07	－0.04	0.05
月亮泡水库	年变幅	32.50	58.70	－16.50	61.60	－69.70	16.50	－7.10	－40.70
	年波动度	0.19	0.35	－0.10	0.36	－0.41	0.10	－0.04	－0.24
向海水库	年变幅	－10.70	22.60	6.50	12.10	－14.10	21.20	－11.30	10.00
	年波动度	－0.24	0.50	0.14	0.27	－0.31	0.47	－0.25	0.22

3.2 吉林省西部主要水体的年内变化

3.2.1 月际变化 选取 2007 与 2016 年各月水体面积数据，由于 11—3 月，水面处于全部和部分结冰状态，因此主要分析 4—10 月的面积变化情况（如图 3 所示）。湖泊和水库的面积表现出明显的年周期变化规律：4 和 10 月水面面积一般相近，相对较小，5 月开始呈缓慢增加趋势，一般到 9 月达到最大值，10 月有所下降。

雨季期间及后期一般会出现较大的水域面积，形成了与季节性气候相适应的年周期变化状态。2007 年月亮泡水库降水少，有干旱发生，7 月面积明显减少，8 月恢复到春季水平，后期面积又明显减少。

对 2007—2017 年吉林省西部 3 个湖泊水库 5 和 8 月的水域面积情况进行统计，结果如图 3 所示。可以看出，受汛期降水的影响 8 月的水域面积一般均较 5 月有明显的增加，只有少数年份会出现水域面积减小的情况。通过查阅相关资料可以发现，这些年份基本有干旱发生、降水量较少。8 与 5 月相比差值较大的年份，一般是降水量多，甚至是发生洪涝灾害的年份。

3.2.2 季节变化 对 2016 年逐月数据进行分季节统计，4，5 月平均作为春季的数据，6，7，8 月数据作为夏季的数据，9，10 月数据作为秋季的数据。春、夏、秋 3 个季节中春季的水域面积最小，主要是由于此时气温较低，降水量较少，所处流域支流水流量最小，春耕时期农业用水增加；夏季气温升高，进入汛期，降水增多，月亮泡水库、向海水库和查干湖比春季的水域面积分别增加了 9.3，6.8，9.8 km^2；秋季两个水库的水域面积继续有所增加，主要是由于水库面积在 9 月达到最大值，月亮泡水库增加 5.6 km^2，向海水库增加 0.7 km^2，查干湖的面积较夏季有所减小，减小了 1.5 km^2。

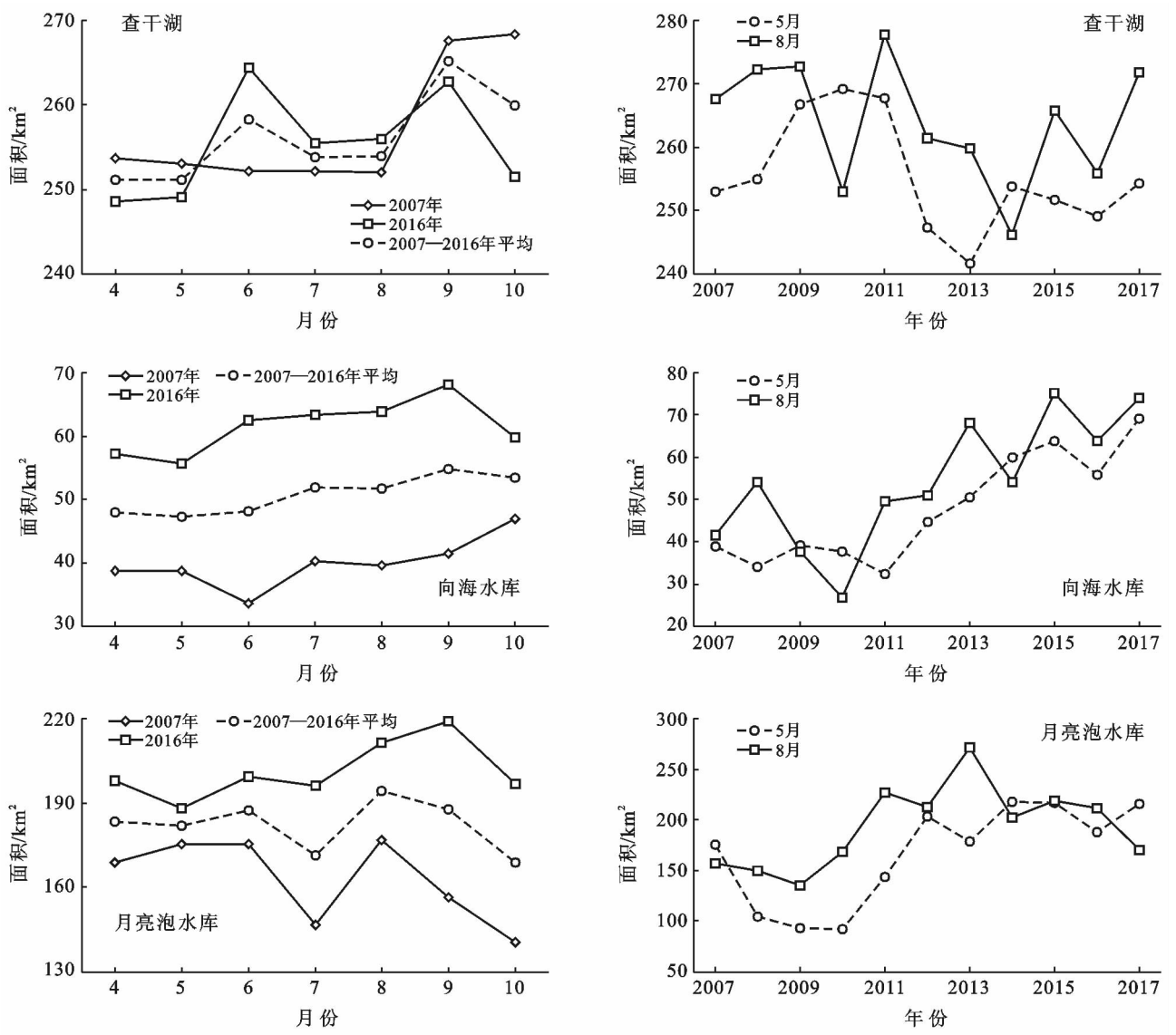


图 3　吉林省西部主要湖泊水库月际变化与 5,8 月面积比较

将 2016 年 4,7,10 和 1 月矢量数据叠加反映水体水域面积的季节空间变化,冬季,湖泊水库水面基本结冰、向海有部分水面。月亮泡水库从春季开始面积的变化主要体现在北岸,其次南岸和东岸有小幅变化;查干湖空间变化不显著,只是整体沿岸的小幅度扩展与缩减;向海水库的扩展主要体现在一场泡的东南侧和二场泡的西北侧。

3.3　吉林省西部主要水体面积变化的影响因素分析

水体面积的变化是受自然因素和人为因素相互作用、共同影响的结果。自然因素如大气降水、水汽蒸发和植被水源涵养等;人为因素主要包括工程建设、水库的调蓄、人类活动对生态环境的影响等。

3.3.1　气候变化趋势的影响　受全球气候变暖趋势的影响,1961—2017 年吉林省西部气候变化呈现出气温升高,降水略有增加的趋势。平均气温在以每 0.29 ℃/10 a 的速率递增,降水量增幅为每 10 a 增加 2.19 mm,2000—2017 年降水量的增加趋势尤其明显(如图 4 所示)。

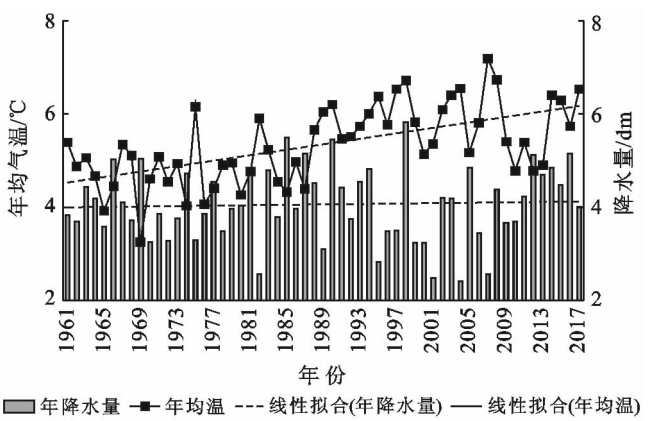


图 4　1961—2017 年吉林省西部湖泊水库所在区域年平均气温与年平均降水量变化

将2000—2017年月亮泡水库、向海水库、查干湖水库面积变化曲线分别与大安和镇赉站的平均、通榆站、前郭站的年降水量变化曲线进行叠加分析(图5),可以看出,水域面积与降水量的变化有一定的变化一致性。对水域面积与当年降水进行相关性分析,月亮泡水库、向海水库、查干湖相关系数分别为0.539,0.439,0.100,其中月亮泡水库通过了0.05的显著性检验。对水域面积与前一年降水进行相关性分析,月亮泡水库、向海水库、查干湖相关系数分别为0.525,0.614,0.008,其中月亮泡水库通过了0.05的显著性检验,向海水库通过了0.01的显著性检验。说明上一年的的降水对水库蓄水有一定的影响。同时,从前文3.1,3.2的分析中也可以看出年际变化中年变幅、年波动度、极值的特征及年内面积变化规律均表现出与降水的密切联系。降水量是影响湖泊水库面积的重要和直接的因素之一。

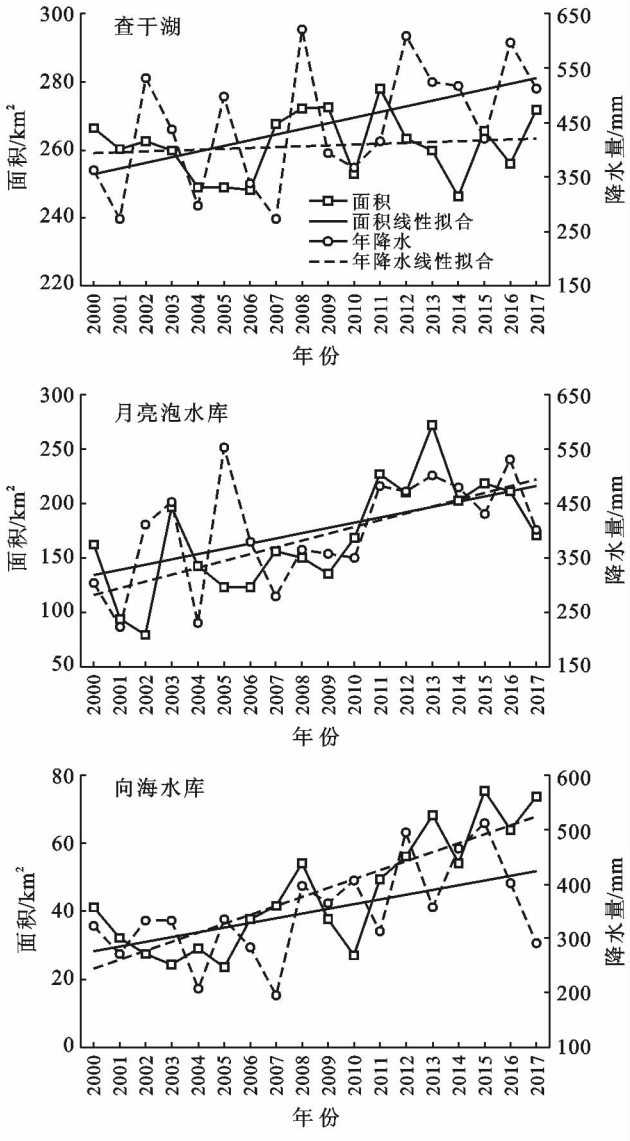


图5 2000—2017年吉林省西部水体面积与年平均降水量关系

3.3.2 入湖、入库径流的影响 入湖入库径流主要受气候背景、特别是降水量的影响,降水量的增加导致入湖入库流量的增加,有研究利用历史数据分析得出,松花江、嫩江、辽河三流域夏季径流和夏季降水的相关系数分别为0.78,0.85,0.81,均通过0.01的显著性检验,说明降水是影响径流变化的一个重要气候因子[13],同时,降水量达到一定水平所在流域发生洪涝灾害时,要进行泄洪。对于水库来说人为因素主要是指水库排水,包括常态性和非常态性放水蓄水,非常态性放水蓄水包括汛期泄洪、非汛期拦蓄、水库维修加固的放水和蓄水,以及灌溉、人畜用水控制等调水。

月亮泡水库位于洮儿河下游,嫩江西北侧,对洮儿河、嫩江有调洪作用。向海水库是洮儿河、霍林河的重要分洪工程,洮儿河洪水经引洮工程从二场泡东北部进入水库,霍林河洪水经引霍工程由一场泡西侧的东风口入库,该工程于2002年始建,2005年完成。查干湖的主要水源为引松花江水通过引松工程自流水和前郭灌区排水,以及天然降水,霍林河、洮儿河来水、深重涝区排水、嫩江洪水倒灌等。前郭灌区设计灌溉面积3.79×10^4 hm^2,实际灌溉面积达到3.00×10^4 hm^2,其80%的灌溉回归水通过引松干渠排入查干湖,多年平均回归水量1.31×10^8 m^3。几年来虽然罐区不断进行节水改造工程,但随着灌区灌溉面积的扩大,回归水量仍有增加趋势[14]。

3.3.3 人类活动的影响 长期以来,人类活动对吉林省西部生态环境有一定的影响,特别是在短缺经济条件下,过度开垦、过度放牧、过度开采,致使草原退化、盐碱化和沙化的'三化'现象日趋严重,同时抽水灌溉减少了水体的水量补给。长期下去,对全省乃至东北亚地区的可持续发展也将构成严重威胁[15-16]。近年来,随着退耕还草、退耕还林等生态环境保护措施的大力实施,综合治理西部盐碱地发展盐碱地生态经济的西部治碱工程的实施,河湖连通工程的实施,西部生态经济区建设的推进,人类活动对生态环境的不利影响进一步减缓。人类活动趋缓减少了流域农业、生活用水,从而有利于河流径流量对湖泊的补给,对面积的增大有推动作用。研究表明,在不考虑蒸散和地下水变化可能的影响下,1999年以来人类活动对松花江径流量的贡献率为57%~75%,可见人类活动是最主要的影响因素,贡献率明显小于前一时段,不过仍大于降水量的影响程度。表明自然与人类之间的矛盾有所缓解,期间的和谐程度已显著提升[17]。

4　结论与讨论

基于 MODIS 数据对吉林省西部水体进行遥感动态监测,MODIS 数据的时间分辨率高,每天可获取,时间序列也较长,空间分辨率也可满足水体监测需要。研究得到 3 个水体 2000—2017 年的面积数据,并分析了年际、年内变化特征,初步分析动态变化的影响因素。

(1) 2000 年以来的 17 a 期间,月亮泡水库、向海水库和查干湖均表现出向北部推进和水域面积增加的趋势。增加趋势最明显的是月亮泡水库,其次是向海水库、查干湖。增加面积由大到小依次为向海水库、月亮泡水库、查干湖,向海水库的变异系数最大,其次是月亮泡水库,查干湖最小总体变化幅度比较小,面积相对稳定。

(2) 湖泊和水库的面积表现出明显的年周期变化规律:4 和 10 月水面面积一般相近,相对较小,5 月开始呈缓慢增加趋势,一般到 9 月达到最大值,10 月有所下降。雨季期间及后期一般会出现较大的水域面积,形成了与季节性气候相适应的年周期变化状态。

(3) 水体面积的变化是受自然因素和人为因素相互作用、共同影响的结果。气候变化趋势,特别是降水的影响较为显著。近年来,随着生态环境保护措施的大力实施,人类活动对生态环境的不利影响进一步减缓。

在今后的研究中需进一步加强对高分数据的应用,加强地面验证工作。扩展除面积以外的研究内容,例如水面监测分析结合高程观测、分析蓄水量或水位等水体信息,能更好地满足动态管理需要,促进水库科学管理。

[参 考 文 献]

[1] 马丹. 基于 MODIS 数据的水体提取研究[J]. 地理空间信息,2008,6(1):25-28.

[2] 程彦培,张发旺,董华,等. 基于 MODIS 卫星数据的中亚地区水体动态监测研究[J]. 水文地质工程地质,2012,37(5):33-37.

[3] 臧菁菁,李国柱,宋开山,等. 1975—2014 年巴尔喀什湖水体面积的变化[J]. 湿地科学,2016,14(3):368-375.

[4] 文雄飞,蔡斌,陈蓓青,等. 基于 Landsat 卫星数据的洪湖水体遥感监测研究[J]. 人民长江,2012,43(8):43-47.

[5] 雷璇,杨一鹏,蒋卫国,等. 基于 SPOT-VGT 数据的洞庭湖水体面积变化分析[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(5):19-24.

[6] 李辉,李长安,张利华,等. 基于 MODIS 影像的鄱阳湖湖面积与水位关系研究[J]. 第四纪研究,2008,28(2):332-337.

[7] 常利,裴亮. 丹江口水库面积季节变化遥感监测[J]. 测绘与空间地理信息,2017,40(5):152-156.

[8] 张行清,丁美花,陈燕丽,等. 基于 HJ-1 卫星遥感的广西水库水面监测[J]. 水利学报,2014,45(4):427-434.

[9] 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.

[10] 郭鹏. 基于 MODIS 和 HJ-1 数据的宿鸭湖水库面积遥感监测研究[J]. 气象与环境科学,2014,37(3):49-54.

[11] 梁文广,钱钧,高士佩,等. 2012—2014 年江苏省水域面积变化遥感监测研究[J]. 水利信息化,2017(5):27-31.

[12] 梅安新,彭望琭,秦其明,等. 遥感导论[D]. 北京:高等教育出版社,2001:237-249.

[13] 涂钢,李尚锋,孙力,等. 松花江、辽河流域实测径流的变化趋势及其与降水的关系[J]. 气候变化研究进展,2012,8(6):456-461.

[14] 董建伟,包文军. 查干湖水量平衡差异及不明水量的探究[J]. 吉林水利,2009,320(1):25-28.

[15] 王明全,王金达,刘景双. 吉林省西部资源环境和人口经济发展的耦合性分析[J]. 水土保持通报,2008,28(2):167-172.

[16] 许晓鸿,刘肃,赵英杰,等. 吉林省西部不同环境因子对苏打盐碱地分布的影响[J]. 水土保持通报,2018,38(1):89-95.

[17] 王彦君,王随继,苏腾. 降水和人类活动对松花江径流量变化的贡献率[J]. 自然资源学报,2015,30(2):304-314.