

2000—2010 年东北地区湖泊动态变化及驱动力分析^{*}

李 宁^{1,2}, 刘吉平¹, 王宗明^{2**}

(1: 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 四平 136000)

(2: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102)

摘要: 以 2000、2005 和 2010 年的 Landsat TM 和 ETM 遥感影像为主要数据源, 利用面向对象的分类方法, 提取 3 期东北地区湖泊数据; 在 GIS 技术的支持下, 分析了过去 10 年东北地区湖泊的时空变化特征, 并对导致湖泊面积变化的自然和人文驱动因素进行分析。结果表明: 2000—2010 年间, 东北地区湖泊面积由 12234.02 km² 减少至 11307.58 km², 其中, 2005—2010 年间湖泊萎缩剧烈程度大于 2000—2005 年; 湖泊数量先增加后减少, 10 年间共减少了 4092 个; 10 年间天然湖泊面积大幅减少, 人工湖泊面积略增加; 研究区内西北方向湖泊萎缩程度小于东南方向, 质心向西北偏移; 湖泊变化受自然因素和人类活动的共同影响, 人类活动叠加在自然因素之上, 对湖泊变化产生了放大作用。

关键词: 湖泊面积; 动态变化; 驱动力; RS/GIS; 中国东北

Dynamics and driving force of lake changes in northeast China during 2000—2010

LI Ning^{1,2}, LIU Jiping¹ & WANG Zongming²

(1: College of Geography and Tourism, Jilin Normal University, Siping 136000, P. R. China)

(2: Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, P. R. China)

Abstract: Based on Landsat TM and ETM remote sensing images in 2000, 2005 and 2010 and an object-oriented classification method, this paper extracted information on the temporal and spatial change characteristics and the driving forces for lake areas in northeast China during the past 10 years (2000—2010). The results showed that during the past 10 years, the area of those lakes has reduced from 12234.02 km² to 11307.58 km², with a greater shrinking rate in the later five years (2005—2010). Meanwhile, natural lake area has significantly reduced while artificial lake area slightly increased during the past 10 years. In the study area, lake shrinkage in the northwest is less than that in the southeast, resulted in the centroid moving to the northwest. Those changes resulted from both natural factors and human activities, and the coupled effects greatly accelerated local environment changes.

Keywords: Lake area; dynamic change; driving force; RS/GIS; northeast China

湖泊是湿地的重要形式, 是地表特殊的自然综合体, 同时又是重要的国土资源。湖泊能够调节径流、防洪减灾、沟通航运、发电、提供工农业生产及生活用水, 具有重要的生态和经济效益^[1]。湖泊是对全球气候变化的响应最敏感的地理单元之一, 同时也受到人类活动的影响。因此, 湖泊的变化又会进一步影响自然界和社会经济结构。

湖泊对自然界和人类社会有重要的意义, 因此一直是众多科研工作者的研究重点和热点。近年来随着遥感技术和地理信息技术的发展和应用, 不少学者借助遥感影像和土地利用数据获取湖泊动态变化信息, 并分析导致湖泊面积变化的自然和人文驱动因素。如 Guirguis 等选择多时段的假彩色合成图像用主成分分析方法对埃及的 Brullus 湖从 1983—1991 年的动态变化进行了研究, 结果表明由于围垦等原因, 湖泊面积显

* 国家自然科学基金项目(41071037)、国家重点基础研究发展计划“973”项目(2012CB956103)、中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA05050101)和教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-12)联合资助。2013-06-17 收稿; 2013-09-08 收修改稿。李宁(1988 ~), 男, 硕士研究生; E-mail: li8732643@163.com.

** 通信作者; E-mail: zongmingwang@neigae.ac.cn.

著缩小^[2]. 张继承等研究了西藏地区湖泊动态变化,结果表明气候因子是该地区湖泊变化的驱动因子^[3]. 李卫红等研究了博斯腾湖水环境恶化的原因,并提出了相关的防治措施^[4]. 邵明诚等研究了巴音郭楞蒙古自治州湖泊动态变化,表明湖面蒸发量和人类活动是造成该州湖泊水位下降和水质下降的主要原因^[5]. 张凤太等研究了近40年江苏省湖泊动态变化,结果表明受人类活动的严重影响湖泊公益性功能(养殖、防洪、灌溉等)严重衰减^[6]. 朱宣清用多时段的TM卫星图像、雷达图像等多种遥感数据和历史、地理、考古等方面的资料,分别用密度分割、反差拉伸、比值合成等图像处理方法对白洋淀的历史演变和近期变化做了定量分析,为白洋淀的综合治理提出了建设性的意见,对促使社会经济与生态环境的良性循环大有裨益^[7]. 李晶晶等利用决策树分类法提取松嫩平原大安湖泊群近30年来4个不同时期的空间分布数据,并总结了其面积动态变化的影响因素^[8]. 桂智凡等研究了松嫩平原区湖泊对气候变化的响应,结果表明:在气候变化和人类活动共同影响下,松嫩平原湖区环境发生显著变化,这些变化可能会导致社会和经济的巨大风险^[9]. 许诗等研究了吉林省湖泊的时空变化特征,并提出气候变化、人口增加带来的压力和水利工程修建等因素对吉林省湖泊萎缩产生了重要影响^[10]. 以上研究成果主要集中在特定地区或特定湖泊的水质、水域面积、数量等方面,解读湖泊动态变化特征和驱动因子等科学问题,缺少对较大范围地理区域内湖泊的认识.

本文运用遥感和地理信息技术,对整个东北地区过去10年的湖泊动态化进行分析研究,提取天然湖泊和人工湖泊面积和数量变化参数,并分析湖泊变化的主要原因. 运用动态度和质心偏移模型来研究东北地区湖泊的时空变化特征,并从气候变化和人类活动两方面来研究其变化的驱动因子. 该研究成果有助于提高对东北地区地表水资源空间变化特征的认识,并将为本区的生态环境演变研究和资源环境保护提供科学依据.

1 研究区概况、数据来源及方法

1.1 研究区概况

东北地区($38^{\circ}72' \sim 53^{\circ}55'N, 115^{\circ}52' \sim 135^{\circ}09'E$)呈三面环山、中部敞开的地表结构. 行政区划上包括黑龙江、吉林、辽宁3省的全部和内蒙古东北部的呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市、赤峰市,面积为 $124.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全国总面积的13.5%,人口近1.2亿,是我国经济实力雄厚的大经济区域,在全国经济发展中占有重要地位. 研究区属温带大陆性季风气候,冬季寒冷,夏季气温不高,东部地区的年降水量为400~700 mm,西部仅为250~400 mm,属于中国寒温带、温带、暖温带湿润、亚湿润和亚干旱地区. 研究区内主要河流包括黑龙江、松花江、嫩江和辽河. 区内湖泊众多,分布于平原区的湖泊成因多与地壳沉陷、地势低洼、排水不畅和河流的摆动等因素有关;分布于山区的湖泊,其成因多与火山活动密切相关;人工湖多是在自然湖盆基础上拦蓄围堰建成的^[1].

1.2 数据资料来源

本研究以2000、2005和2010年的Landsat TM和ETM遥感影像为数据源,利用面向对象的分类方法,提取3期东北地区湖泊数据. 湖泊数据获取流程如下:在Envi软件中将Landsat TM和ETM影像进行预处理(TM和ETM影像均拍摄于雨水较少的月份,数据来源于美国地质调查局网站,网址为<http://glovis.usgs.gov/>),包括几何纠正、图像融合和图像裁剪. 在eCognition 8.7支持下,利用面向对象的分类方法对3期遥感影像进行湖泊信息提取,获取湖泊的空间信息. 最后利用2010年3次野外考察的GPS定位点和通过Google Earth高分辨率影像获取样点,对解译结果进行修正和评价. 结果表明,提取的湖泊信息精度为90.4%. 提取湖泊后,结合相关资料及参考2000年NLCD中的东北土地利用数据区分天然湖泊(指天然形成的积水区常年水位以下的土地)和人工湖泊(指人工修建的蓄水区常年水位以下的土地). 本文中的气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网^[11].

1.3 湖泊变化动态度

应用湖泊动态度分析湖泊变化特征^[12]. 湖泊动态度是指某研究区一定时间范围内湖泊数量(或面积)在时间上的变化,其表达式为:

$$K = (U_b - U_a) / U_a \times 1/T \times 100\% \quad (1)$$

式中, K 为研究时段内湖泊变化动态度; U_a 、 U_b 分别为研究初期及研究末期的湖泊面积(或数量); T 为研究时段长, 当 T 的时段设定为年时, K 值就是该研究区湖泊面积(或数量)的年变化率.

1.4 质心偏移模型

通过质心分布变化来进一步分析不同时期湖泊在空间分布上的差异, 公式为:

$$X_t = \sum_{i=1}^N (C_{ti} \cdot X_i) / \sum_{i=1}^N C_{ti} \quad (2)$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^N (C_{ti} \cdot Y_i) / \sum_{i=1}^N C_{ti} \quad (3)$$

式中, X_t 、 Y_t 分别表示第 t 年该湖泊分布质心的经纬度坐标; C_{ti} 表示第 t 年第 i 个湖泊斑块的面积; X_i 、 Y_i 分别表示第 i 个湖泊斑块的经纬度坐标^[13-14].

质心偏移的方向可以说明湖泊在此方向上扩张或者在此方向上缩减. 当湖泊在某方向上增加时, 质心会向该方向上偏移; 而当湖泊在某方向上减少时, 质心会向该反方向偏移; 质心偏移距离的大小可以反映出湖泊增加或减少的剧烈程度.

2 结果与分析

2.1 东北地区湖泊面积和数量动态变化

2000、2005 和 2010 年东北地区湖泊分布情况见图 1. 遥感数据解译结果表明: 2000、2005 和 2010 年东北地区湖泊总面积分别为 12234.02、11890.24 和 11307.58 km². 2000—2010 年间湖泊面积共减少了 926.44 km², 湖泊面积缩小了 7.57%, 湖泊面积动态度为 -0.76%. 其中 2000—2005 年间, 湖泊面积减少了 2.81%, 湖泊面积动态度为 -0.56%. 2005—2010 年间, 湖泊面积减少了 4.90%, 湖泊面积动态度为 -0.98%. 湖泊萎缩有加速的趋势. 10 年间, 面积大于 1 km² 的湖泊面积分别为 10217.44、10082.35 和 9682.67 km², 缩小了 4.75%, 湖泊面积动态度为 -0.48%.

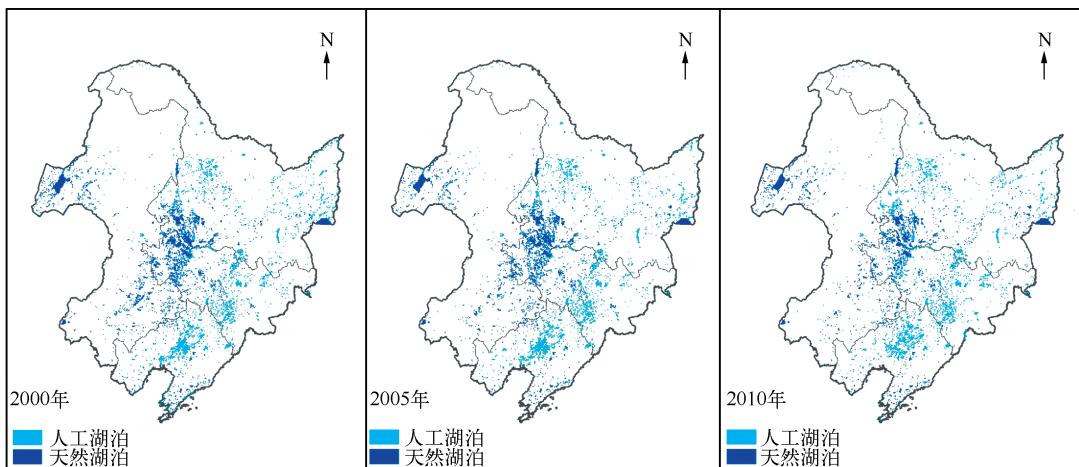


图 1 2000—2010 年东北地区湖泊分布变化

Fig. 1 Changes of the lake distribution in northeast China from 2000 to 2010

2000、2005 和 2010 年东北地区湖泊数量分别为 21030、22583 和 16938 个, 10 年间共减少了 4092 个, 其中面积大于 1 km² 的湖泊数量分别为 1043、950 和 882 个, 10 年间减少了 160 个.

为进一步说明湖泊动态变化情况, 结合研究区内湖泊分布并参考文献[15], 将湖泊按照面积大小分为 4 个等级: 1~10、10~50、50~100 和 100 km² 以上(表 1).

表 1 东北地区不同面积等级湖泊动态变化^{*}
Tab. 1 Dynamic changes of lake area at different levels in northeast China

面积分级/km ²	湖泊面积/km ²			湖泊数量		
	2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年
1 ~ 10	2374.11	2178.01	2041.40	931	838	769
10 ~ 50	1740.87	1800.48	1739.87	88	89	90
50 ~ 100	823.60	680.21	757.85	12	10	11
>100	5278.86	5423.65	5143.55	12	13	12
总计	10217.44	10082.35	9682.67	1043	950	882

* 不含面积 < 1 km² 的湖泊.

2000—2010 年, 面积大于 1 km² 的湖泊处于萎缩状态, 总面积减小了 534.77 km², 缩小了 5.23%. 其中, 10 ~ 50 km² 和 100 km² 以上的湖泊 10 年间呈先增加后减少的态势, 前者总面积减少了 1 km², 后者总面积减少了 135.31 km²; 1 ~ 10 km² 的湖泊萎缩较为明显, 湖泊总面积减少了 332.71 km², 平均每年减少 33.27 km²; 50 ~ 100 km² 的湖泊总面积减少了 66.01 km², 前 5 年面积大幅减少, 后 5 年面积略有增加.

表 2 东北地区重点湖泊面积变化情况
Tab. 2 Area changes of key lakes in northeast China

湖泊名称	面积/km ²			面积变化
	2000 年	2005 年	2010 年	
呼伦湖	2113.89	1952.89	1753.26	-17.06%
兴凯湖	1220.87	1226.13	1259.13	3.13%
连环泡	360.23	354.20	355.06	-1.44%
查干湖	323.36	317.00	329.39	1.86%
达里湖	212.45	197.79	191.76	-9.43%
月亮泡	147.45	111.85	126.75	-14.04%
大龙虎泡	123.62	123.65	124.18	0.45%

2000—2010 年, 面积大于 1 km² 的湖泊减少了 161 个. 其中, 1 ~ 10 km² 的湖泊数量变化较大, 减少了 162 个; 10 ~ 50 km² 的湖泊增加了 2 个; 50 ~ 100 km² 的湖泊 2000—2005 年减少 2 个, 2005—2010 年增加 1 个; 100 km² 的湖泊 2000—2005 年增加 1 个, 2005—2010 年减少 1 个.

从研究区内 7 个面积大于 100 km² 的湖泊变化情况(表 2)来看: 呼伦湖、连环泡、达里湖和月亮泡处于萎缩状态; 兴凯湖和查干湖为扩张性湖泊; 大龙虎泡处于稳定状态.

2000—2010 年间, 东北地区天然湖泊面积不断减少, 人工湖泊面积先减少后增加. 2000、2005 和 2010 年东北地区天然湖泊面积分别为 9231.58、9004.30 和 8207.08 km², 共减少了 1024.5 km² (11.10%). 同期人工湖泊的面积分别为 3002.44、2885.95 和 3100.50 km², 共增加了 98.06 km² (3.27%). 天然湖泊减少了 4080 个, 人工湖泊增加了 62 个.

2.2 湖泊变化空间差异分析

虽然整个东北地区湖泊面积持续减少, 但不同地区、不同类型的湖泊面积变化却存在差异. 天然湖泊、人工湖泊在不同时期、不同地区的面积和数量变化情况(表 3)表明, 内蒙古东部地区和吉林省天然湖泊面积呈持续减少趋势, 分别减少了 556.83 和 281.24 km²; 辽宁省天然湖泊面积持续增加, 增加了 96.45 km²; 黑龙江省天然湖泊面积先增加后减少, 2010 年比 2000 年减少了 183.13 km².

人工湖泊面积变化特点是: 内蒙古东部地区人工湖泊面积先缓慢增加后急剧减少, 2000—2005 年增加了 4.02 km² (2.96%), 2005—2010 减少了 94.82 km² (67.92%), 总体面积减少了 90.87 km² (66.97%); 黑龙江省和吉林省人工湖泊面积有所增加, 前者先减少后增加, 后者先增加后减少; 辽宁省人工湖泊面积持续减少(表 3).

天然湖泊的数量变化中, 内蒙古东部地区 10 年间共减少了 1432 个, 其中 2000—2005 年间减少了 319 个, 2005—2010 年间减少了 1113 个; 黑龙江省共减少了 641 个, 其中 2000—2005 年间减少了 22 个, 2005—2010 年间减少了 619 个; 吉林省 10 年间减少了 2007 个, 其中 2000—2005 年间增加了 1879 个, 2005—2010 年间减少了 3886 个; 辽宁省共减少了 6 个, 其中 2000—2005 年间减少了 51 个, 2005—2010 年间增加了 45

个。人工湖泊的数量变化中,内蒙古东部地区 10 年间共减少了 59 个,其中 2000—2005 年间增加了 87 个,2005—2010 年间减少了 146 个;黑龙江省 10 年间增加了 37 个,其中 2000—2005 年间减少了 61 个,2005—2010 年间增加了 98 个;吉林省 10 年间增加了 19 个,其中 2000—2005 年间增加 3 个,2005—2010 年间增加 61 个;辽宁省共减少 74 个,其中 2000—2005 年间增加了 34 个,2005—2010 年间减少了 108 个(表 3)。

综上所述,10 年间,内蒙古东部地区天然湖泊和人工湖泊数量均在减少,其中前者持续减少,后者先增加后减少;黑龙江省天然湖泊数量持续减少,人工湖泊数量总体增加,呈先增加后减少的趋势;吉林省天然湖泊数量总体减少,呈先增加后减少的趋势,人工湖泊数量持续增加;辽宁省天然湖泊和人工湖泊的数量均在减少,其中天然湖泊数量先减少后增加,人工湖泊数量先增加后减少。

表 3 东北地区天然、人工湖泊面积和数量

Tab. 3 The area and number of natural and artificial lakes in northeast China

指标	地区分布	天然湖泊			人工湖泊		
		2000 年	2005 年	2010 年	2000 年	2005 年	2010 年
面积/km ²	内蒙古东部	3669.36	3375.22	3112.53	135.69	139.71	44.82
	黑龙江省	3526.35	3728.39	3343.22	1216.89	1155.33	1275.00
	吉林省	1758.70	1569.14	1477.46	895.42	972.66	940.82
	辽宁省	303.40	344.26	399.85	832.64	698.27	569.31
	内蒙古东部	3848	3529	2416	292	379	233
	黑龙江省	1983	1961	1342	3046	2985	3083
	吉林省	3927	5806	1920	2897	2900	2961
	辽宁省	564	513	558	4501	4535	4427

2.3 湖泊质心偏移

2000—2010 年间,湖泊质心向西偏移 2°30',向北偏移 2°20',整体向西北偏移 327.07 km. 2000—2005 年间,湖泊质心向西北偏移 342.72 km. 2005—2010 年间湖泊质心向东南偏移 20.39 km. 研究区内湖泊整体萎缩状态下,湖泊质心向西北偏移,说明西北方向湖泊萎缩面积相对较少。湖泊质心向西北方向偏移的原因可能为^[16]:研究区东南方向综合经济发展水平及人口比重相对西北方向较大,东南方向工农业生产及生活用水量相应增加,造成东南方向湖泊萎缩程度大于西北方向,导致湖泊质心向西北方向偏移。

3 湖泊动态变化驱动力分析

湖泊水量变化主要受入湖径流、湖面降水、湖面蒸发和湖泊用水影响。研究区内湖泊处于萎缩状态,而引起湖泊萎缩的驱动因素主要有人文因素和自然因素 2 个方面,其中人文因素包括人口增加带来的压力和水利工程建设对水循环过程的破坏,自然因素包括气候变化及河川径流量的变化。

近代湖泊环境的变化,特别是短时间尺度百—十年尺度的环境变化与人文因素密切相关^[17],人文因素是研究区内湖泊动态变化的主要影响因素。水利工程的修建直接影响人工湖泊面积变化(表 4)的同时,还导致下游及沿岸天然湖泊不断萎缩和消亡。研究区内天然湖泊的大幅减少是湖泊面积减少的主要原因。

表 4 东北地区重点人工湖泊面积变化

Tab. 4 Area changes of key artificial lakes in northeast China

湖泊名称	面积/km ²		
	2000 年	2005 年	2010 年
松花湖	209.5	207.9	185.0
二龙山水库	102.5	112.5	78.4
库里泡水库	97.2	89.5	96.5
恒仁水库	85.7	83.2	85.5
石头口门水库	61.3	88.3	81.1
大伙房水库	71.3	71.5	74.3
山口湖水库	65.0	65.1	65.0
大庆水库	59.9	58.4	60.0

3.1 自然因素的影响

降水和径流作为湖泊的重要补给水源,其变化对湖泊的变化有重要影响。随着全球气候变暖,东北地区气候趋于干旱化。贺伟等^[18]研究显示,1961—2005年东北地区总体气候呈现明显暖干化趋势。干燥的气候不仅导致湖泊萎缩,也促使湖泊湿地向草原和盐碱地转化,同时,湖泊湿地的退化改变了下垫面性质,更加剧了局部气候的干旱化。俞方圆^[19]研究显示:1958—2008年,松花江流域降水量和气温分别呈微弱的下降和显著的上升趋势,同时,2000—2008年松花江流域主要水文站径流量均呈下降趋势。董李勤等对1978—2008年嫩江流域年均径流深进行分析发现,嫩江流域干支流径流深均有不同程度的减少^[20]。河川径流的减少直接导致入湖水量的减少,造成湖泊面积萎缩。

对东北地区气温和降水的研究结果(图2)表明,10年间东北地区降水呈上升趋势,气温变化不大。结合表3可知,人工湖泊面积变化对近10年气候变化的响应较为明显,天然湖泊面积变化对10年间气候变化的响应不明显。

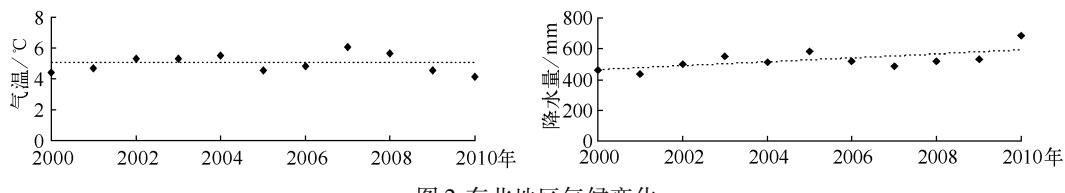


图2 东北地区气候变化

Fig. 2 Changes of climatic factors in northeast China

3.2 人类活动的影响

随着人口的不断增加,粮食需求量增大,人地矛盾加剧,许多湖泊湿地被改造成耕地,直接导致了湖泊萎缩甚至干涸。工农业生产、生活用水量的不断增加,加大了对地表及地下水资源的索取量,致使地表径流减少和地下水位下降,影响了入湖水量,地下水位的下降反过来加剧了地下水与湖泊水量的交换,为达到新的水量平衡,使湖泊水体大量补给地下水^[21],导致湖泊面积减少,水质咸化。

水库和堤防的修建改变了水文过程,截断了下游湖泊的补给水源,这些湖泊因得不到充足的水源而缺水,出现萎缩和干涸现象。据统计,松嫩水系已建有中型水库67座,小型水库413座,堤防长度达到6338 km,并修建了许多引水灌区^[22]。嫩江流域“南引”、“中引”、“北引”等引水工程的建设,虽然满足了工农业用水需要,却减少了下游河流径流,给下游湖泊湿地带来负面效应,影响其生态、水文过程。研究表明,洮儿河上游察尔森水库以及灌溉水渠的建设使下游河流径流量减少^[23],“引洮入向(海)”和“引洮济霍(林河)”等工程进一步加剧了下游水资源短缺的问题,下游月亮泡等湖泊湿地因入水量逐年减少而出现萎缩、退化趋势。嫩江流域上游营建水库或引水用于农田灌溉,水源被大量截流或分流,使莫莫格保护区失去了补水源泉,改变了莫莫格湿地原来的水资源空间分布格局和自然水文情势,莫莫格由于得不到足够的水量补给,面积呈现出逐年下降的趋势^[24]。

4 结论与建议

2000—2010年间东北地区湖泊处于萎缩状态,湖泊总面积减少了926.44 km²,其中天然湖泊面积减少了1024.5 km²,人工湖泊面积增加了98.06 km²。湖泊面积萎缩受自然因素和人类活动的共同影响,气候变化是湖泊面积萎缩的内在因素,而人类活动却加速了这种变化,即人类活动叠加在气候变化之上,对湖泊的变化产生了放大作用。干旱的气候和人类活动使湖泊湿地退化日益严重,而退化和减少的湖泊又加剧了局部气候的干旱化。

为了保护和改善湖泊生态环境,目前应该加强水资源的合理开发和高效利用;进一步重视流域内水利工程的系统化建设,统一协调上下游和湖区内外的关系;有效控制围垦规模,科学利用和管理土地;正确处理湖泊保护和合理利用的关系,促进人与湖泊的和谐发展和湖泊资源的可持续利用。深入开展湖泊的基础与应用研究工作,加强开展湖泊在气候变化和人类活动胁迫下的变化趋势研究,有助于我们应对区域日益

严重的水资源危机和水安全风险,趋利避害,实现人类与自然的和谐共处^[8-10].

5 参考文献

- [1] 王苏民,窦鸿身.中国湖泊志.北京:科学出版社,1998:i-iii.
- [2] Guirguis SK, Hassan HM, El-Raey ME. Technical note multi-temporal change of Lake Brullus, Egypt, from 1983 to 1991. *Remote Sensing*, 1996, **17**(15) : 2915-2921.
- [3] 张继承,姜琦刚,李远华等.基于 RS/GIS 的西藏地区湖泊变化动态监测及气候背景. 地球科学与环境学报,2008, **30**(1) :87-93.
- [4] 李卫红,陈跃滨,郭永平等.博斯腾湖环境与资源的保护和可持续利用. 干旱区地理,2002, **25**(3) :225-230.
- [5] 邵民诚,邵 年,沈 强等.新疆巴音郭楞蒙古自治州湖泊动态变化及分析. 干旱区研究,2009, **26**(3) :318-325.
- [6] 张凤太,王腊春,冷 辉等.近 40 年江苏省湖泊形态特征动态变化研究. 灌溉排水学报,2012, **31**(5) :103-107.
- [7] 朱宣清.白洋淀水域动态与演变的遥感研究. 地理科学,1992, **12**(4) :371-378.
- [8] 李晶晶,贾建华,郝景研.基于 RS 的松嫩平原大安湖泊群面积提取与动态变化分析. 遥感信息,2009, **3**:44-53.
- [9] 桂智凡,薛 滨,姚书春等.东北松嫩平原区湖泊对气候变化响应的初步研究. 湖泊科学,2010, **22**(6) :852-861.
- [10] 许 诗,刘志明,王宗明等.1986—2008 年吉林省湖泊变化及驱动力分析. 湖泊科学,2010, **22**(6) :901-909.
- [11] 中国气象科学数据共享服务网. <http://cdc.cma.gov.cn/>.
- [12] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨. 地理科学进展,1999, **18**(1) :81-87.
- [13] 郭跃东,何艳芬.松嫩平原湿地动态变化及其驱动力研究. 湿地科学,2005, **3**(1) :54-59.
- [14] 王宗明,于 磊,张 柏等.过去 50 年吉林省玉米带玉米种植面积时空变化及其成因分析. 地理科学, 2006, **26**(3) :299-305.
- [15] Fang JY, Rao S, Zhao SQ. Human-induced long-term changes in the lakes of the Jianghan Plain, central Yangtze. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2005, **3**(4) : 186-192.
- [16] 韩增林,张云伟.东北地区经济综合发展能力时空差异分析. 经济地理,2010, **30**(5) :716-722.
- [17] 王苏民,薛 滨,沈 吉等.我国湖泊环境演变及其成因机制研究现状. 高校地质学报,2009, **15**(2) :141-148.
- [18] 贺 伟,布仁仓,熊在平等.1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势. 生态学报,2013, **33**(2) :519-531.
- [19] 俞方圆.近 50 年东北地区气候变化及其对河川径流和泥沙的影响研究[学位论文]. 杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [20] 董李勤,章光新.嫩江流域沼泽湿地景观变化及其水文驱动因素分析. 水科学进展,2013, **24**(2) :177-183.
- [21] 王国平,张玉霞.水利工程对向海湿地水文与生态的影响. 水土保持通报,2002, **22**(3) :5-9.
- [22] 姜 明,吕宪国,许林书等.松嫩平原湿地生态系统扰动因子及其反馈. 资源科学,2005, **27**(6) :125-131.
- [23] 张艳红.洮儿河沿岸地区水利工程建设的生态水文影响初探. 干旱区资源与环境,2006, **20**(4) :133-137.
- [24] 王秀梅,杨连俊.莫莫格国家级自然保护区水环境问题和措施. 吉林水利,2010, (9) :39-41.