

文章编号: 1672-3031(2013)01-0020-07

呼伦湖湿地动态变化遥感监测及驱动力分析

吴亚男, 庞治国, 路京选, 曲 伟

(中国水利水电科学研究院 遥感技术应用开发中心, 北京 100048)

摘要: 基于 Landsat MSS/TM/ETM+、HJ-1A 等多源多期卫星遥感数据, 采用归一化水指数(NDWI)模型、监督分类结合人机交互式解译的方式, 对呼伦湖湿地 1975—2011 年的湿地面积变化特征进行了动态监测, 并从自然和社会经济两个方面进行了驱动力分析。结果表明: 呼伦湖湿地近 36 年来呈现出萎缩和退化的趋势。该区域水体面积较 1975 年减少了 22.7%, 非水体湿地面积较 1975 年减少了 25.9%, 自然因素是造成呼伦湖湿地面积减少的最主要原因, 社会经济因素也在一定程度上加速了呼伦湖湿地的退化。

关键词: 遥感; Landsat MSS/TM/ETM+; HJ-1A; 呼伦湖; 湿地

中图分类号: P343

文献标识码: A

1 研究背景

在全球性气候变化、人口过快增长的背景下, 由于不合理开发以及人类活动, 导致湿地环境遭到严重的干扰和破坏, 生态环境受到严重影响, 湿地的动态变化已成为当前研究的热点问题。随着遥感技术的快速发展, 各国相继推出了多种空间分辨率和多种用途的遥感卫星。目前, Landsat MSS/TM/ETM+、HJ-1A 以其较高的空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率, 成为研究湿地变化监测的主要数据源。王颖等^[1]将 Landsat TM 影像和印度 IRS 影像进行融合处理, 通过统计植被覆盖变化对北京野鸭湖湿地资源变化特征做了分析研究, 李东东等^[2]采用 Landsat TM/ETM+、SPOT 和 CBERS 等多源遥感数据组合, 利用空间叠加分析方法分别在时间和空间上对珠海地区的湿地资源动态变化和驱动力进行了分析, 詹华明等^[3]以 Landsat TM/ETM+ 遥感数据为信息源, 通过构建湿地动态变化指标体系定量分析了天津市宁河湿地资源动态变化。

近年来, 呼伦湖湿地生态环境正急剧恶化, 严重威胁着东北乃至华北地区的生态安全, 一些学者对该地区进行了研究。赵慧颖等^[4-5]和白美兰等^[6]对呼伦湖地区多年的气温、降水量、蒸发量与水体面积、水位深度、水质状况进行了回归统计分析, 认为气候暖干化趋势是造成呼伦湖湿地水资源短缺和生态环境恶化的重要原因。严登华等^[7]分析了呼伦湖流域地质历史时期、人类历史时期及近代的生态水文过程和水环境系统的演化过程, 认为呼伦湖水环境系统受到流域内生态水文过程的影响十分明显。本文以多源多期遥感影像为主要数据源, 运用 GIS 技术对呼伦湖湿地近 36 年的面积动态变化情况进行分析, 并分析其变化的驱动力, 为呼伦湖区域生态环境综合治理提供参考依据。

呼伦湖位于我国东北地区内蒙古自治区的呼伦贝尔市新巴尔虎右旗、新巴尔虎左旗及满洲里之间, 东经 117°00′10″—117°41′40″, 北纬 48°30′40″—49°20′40″, 毗邻俄罗斯和蒙古国(如图 1)。呼伦湖湖面呈不规则斜长方形, 轴线方向为东北至西南, 湖水面积约 2 339 km², 加上周边草原共 7 400 km², 平均水深 5.7 m, 最大水深 10 m。呼伦湖湿地属于温带半干旱大陆性季风气候, 冬季漫长而冷, 夏季并不炎热, 年平均气温为 -0.1℃, 多年平均降水量为 247~319 mm, 且多集中在 6—9 月份(约占全年降

收稿日期: 2012-10-08

基金项目: 国家 863 重大项目(2012AA12A309)

作者简介: 吴亚男(1988-), 女, 山西临汾人, 硕士生, 主要从事 3S 技术在水文水资源领域中的应用研究。

E-mail: barryzoe@163.com

水的76%),年蒸发量达1400~1900mm。呼伦湖区域内共有高等植物653种,植被覆盖率在70%以上,湖区地带性植被为草原,主要有草甸草原、干草原、沙生植被、盐生植被、草甸植被和沼泽植被等,主要植物种类有贝加尔针茅、羊草、荫菅、克氏针茅、沙蓬(沙生植被)、芦苇、柳灌丛等。呼伦湖湿地被称为呼伦贝尔“草原之肾”,于1992年经国务院批准升级为国家级自然保护区,2002年列入《国际重要湿地名录》,属典型的内陆湿地,主要湿地类型包括永久性河流、湖泊、灌丛湿地等。保护区的保护类型是内陆湿地及水域生态系统,主要保护对象是湿地生态系统和以鸟类为主的珍稀濒危野生动物。

2 数据与方法

2.1 数据源介绍 对于大区域尺度的湿地遥感监测^[8],采用中高分辨率遥感影像数据结合地面调查

和各种参考资料,研究结果精度基本能满足要求。湿地光谱信息是湿地植被、水文和土壤等光谱特性的综合反映,而水文、植被、土壤状况具有季节性变化的特征,因此需选取同一时相或相邻时相的影像进行研究。本研究综合考虑空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率等因素,采用的数据源包括:7景Landsat MSS/TM/ETM+影像,时间分别为1975年4月、1987年6月、1993年9月、2000年9月、2002年8月、2005年8月和2006年8月;1景环境减灾小卫星(HJ-1A)CCD影像,时间为2011年8月。其中,1975年的MSS影像分辨率为80m,其余7景影像分辨率均为30m。

2.2 研究方法 《国际湿地公约》对湿地的定义是“包括沼泽、滩涂、低潮时水深不超过6m的浅海区、河流、湖泊、水库、水稻田等”,它有利于将湿地及附近的水体、陆地形成一个整体,便于保护和管理。本文以呼伦湖(包括新开湖和新达赉湖)作为研究对象,为了研究需要,本文将呼伦湖湿地划分为水体湿地(湖泊、河流)和非水体湿地(沼泽、滩涂)。对该区域1975—2011年的8景影像进行裁剪拼接、波段组合、几何校正、图像增强等预处理的基础上,首先利用基于绿光波段和近红外波段的归一化水指数(NDWI)模型^[9]提取水体信息,同时根据遥感影像的颜色(灰度)、斑块形状、质地、结构及其周边环境的关系,建立呼伦湖及其周边2种不同类型湿地的遥感解译标志,采用监督分类结合人机交互式解译的方式提取非水体湿地信息,由此得到不同年份呼伦湖湿地遥感解译结果;然后利用ArcGIS的空间分析功能动态分析其变化特征,并从自然和社会经济两个方面进行驱动力分析。技术路线如图2所示。

2.2.1 水体提取 由于水体在近红外波段有强吸收性,而从绿光波段到近红外波段反射率逐渐降低,利用绿光波段和近红外波段的归一化差值运算,能够将水体和其他背景地物最大程度的分离,因此本文采用归一化水指数(NDWI)模型进行水体信息的提取,其计算公式如下:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (1)$$

式中:Green为陆地卫星第二波段;NIR为陆地卫星第四波段。将波段运算结果灰度图进行色彩密度分割,并分为几个大类,其中水体的值最大,在0.93到1之间,其他背景地物的值在0到1之间。根据以上公式计算得到呼伦湖湖区水体范围。

2.2.2 非水体湿地提取 湿地研究的关键在于量化获取,本文根据影像特征建立解译标志,采用监督分类为主、人机交互式解译为辅的方式进行呼伦湖非水体湿地信息的提取。在解译过程中,选择对湿地信息反应良好的波段进行假彩色合成,经过反复比较试验,得出4、3、2波段组合能较好地

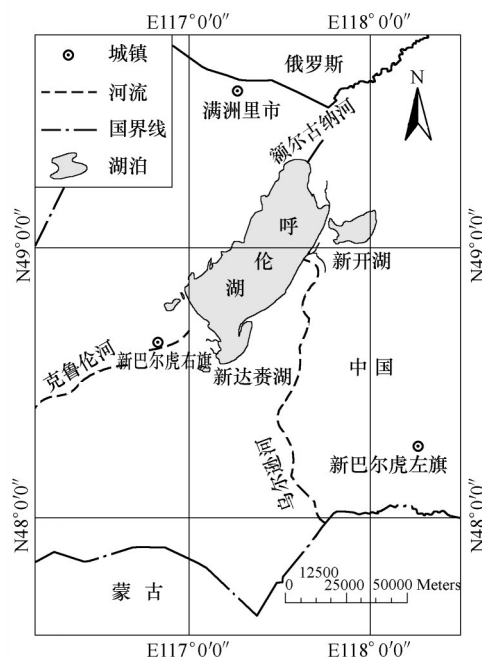


图1 研究区地理位置示意

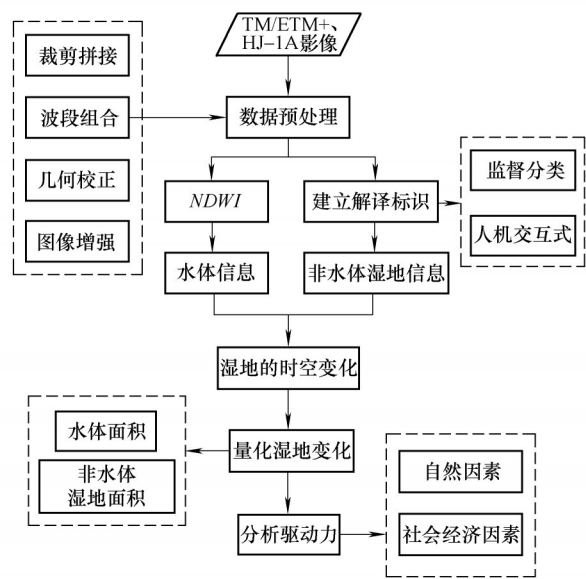


图2 研究技术路线

反映湿地信息，色彩反差明显，层次丰富，而且地物的色彩显示规律与常规合成片相似，与目视判读习惯相符。在ERDAS中对各类地物建立AOI，然后利用Majority方式对训练区进行纯化处理，以消除训练区内部的噪声，采取无参数最大似然分类法对图像进行监督分类^[10]；为提高图像分类的精度，考虑结合实际情况，通过人机交互的方式对分类结果进行识别和修改，在呼伦湖区域的8景影像中，非水体湿地都呈片状分布于水面及河道周围，颜色较周围地物偏红。

3 结果分析

3.1 湿地变化动态特征 根据上节提出的提取湿地方法得到研究区水体和非水体湿地不同时期的动态分布图(如图3所示)。利用ArcGIS的统计功能分别计算该区域8期的水体和非水体湿地面积，结果如表1所示，不同时期的面积值变化趋势及其相对于1975年的变化率如图4所示。统计结果表明，呼伦湖湿地退化趋势明显，主要表现在该地区的水体和非水体湿地面积呈减少趋势。从时间上看，1975年呼伦湖水体面积为2 299km²，2011年水体面积为1 777km²，较1975年减少了22.7%；1975年的非水体湿地面积为425km²，2011年为315km²，较1975年减少了25.9%。从空间分布上看，呼伦湖水体面积显著缩小，非水体湿地退化较为严重。从图5中可以看出位于呼伦湖东北部的新开湖到2011年已完全干涸，位于其东南部的新达赉湖也大面积萎缩。湖周的非水体湿地主要是分布在呼伦湖东北、东侧和西南的三大块，从2011年与1975年的非水体湿地对比也可以明显看出非水体湿地周边大面积萎缩。

表1 1975—2011年呼伦湖湿地面积变化

年份	水体面积/km ²	变化比例/%	非水体湿地面积/km ²	变化比例/%
1975	2 299		425	
1987	2 144	-6.7	496	16.7
1993	2 309	1.4	440	3.5
2000	2 312	0.6	405	-4.7
2002	2 065	-10.3	392	-7.8
2005	1 983	-13.7	358	-15.8
2006	2 004	-12.8	334	-21.4
2011	1 777	-22.7	315	-25.9

从图5中可以看出位于呼伦湖东北部的新开湖到2011年已完全干涸，位于其东南部的新达赉湖也大面积萎缩。湖周的非水体湿地主要是分布在呼伦湖东北、东侧和西南的三大块，从2011年与1975年的非水体湿地对比也可以明显看出非水体湿地周边大面积萎缩。

3.2 湿地变化驱动力分析 湿地作为一个完善的自然生态系统，对外界的干扰具有一定的免疫能力，当免疫能力不足以抵御外界影响时，系统受到破坏，湿地发生退化，如无法及时进行补救则会彻底消失^[10]。湿地退化是生态环境脆弱性的具体表现，其诱因可分为自然因素和社会经济因素两个方面，本文从以上两个方面对造成呼伦湖湿地退化的驱动力进行定量分析。

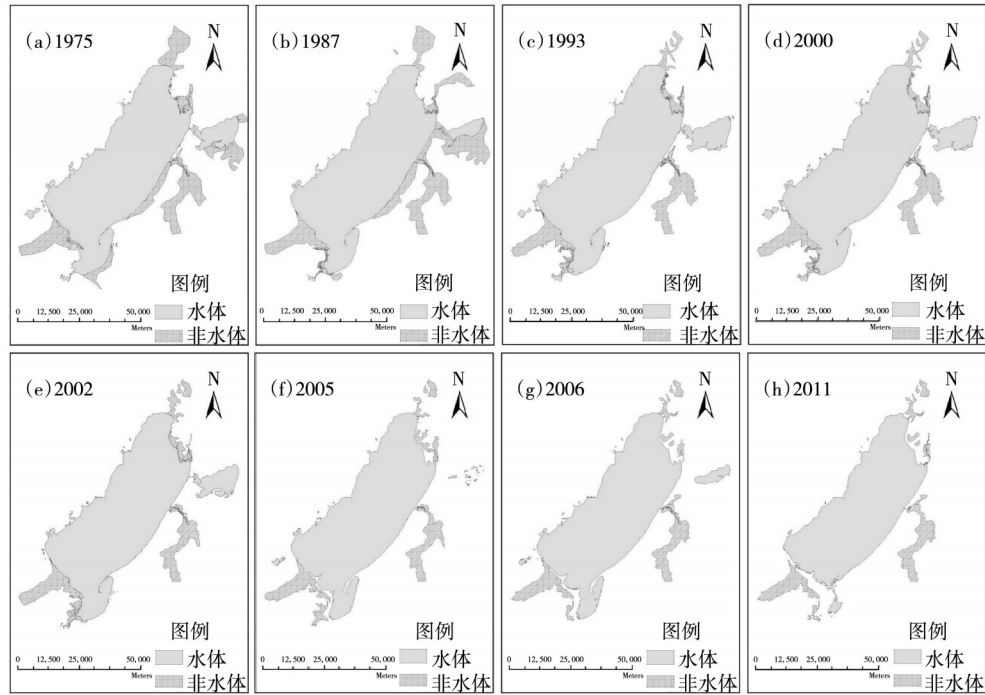


图3 1975—2011年呼伦湖湿地动态分布

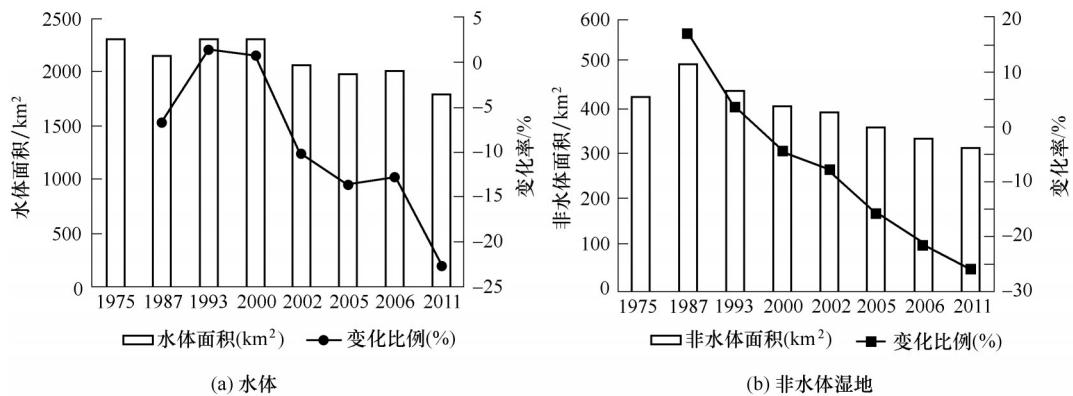


图4 呼伦湖湖区面积变化

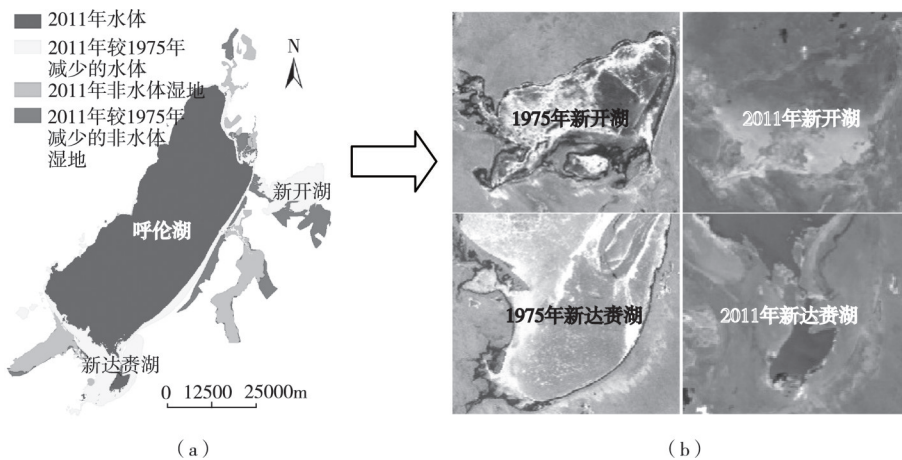


图5 1975—2011年呼伦湖湿地变化

3.2.1 自然因素 (1)气温升高。呼伦湖区域近50多年(1960—2011年)平均气温增高趋势明显,20世纪60年代的气温均值为0.26℃,70年代为0.47℃,80年代为0.76℃,到了90年代达到1.96℃,2000年以后为2.14℃,从1987年开始气温发生了突变,增温速度加快,90年代后升温幅度进一步加大。

年平均气温变化趋势如图 6(a); (2)降水减少。赵慧颖等^[4]人对呼伦湖湿地 1961—2005 年的降水量进行研究, 结果表明呼伦湖湿地年平均降水量呈减少趋势, 为了进一步分析 2000 年以来该区域降水的演变规律, 本文结合 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 卫星 3B43 降雨资料分析了呼伦湖流域 1961—2011 年的降水量变化(如图 6(b))。从较长序列的年降水量数据可以看出, 1982—1998 年呼伦湖区域为多雨期, 1999—2007 年为极干燥的少雨期, 年降水量有减少趋势。而从 TRMM 数据可以直观看出降水量的空间分布情况, 近 10 年来呼伦湖湖区及其上游水源地降水量偏低。利用新巴尔虎右旗 2000—2011 年 TRMM 数据单像元值、2×2 像元值、3×3 像元值分别与气象站实测值进行相关分析, 得到 3×3 像元值与实测值吻合最好, 故本研究均选用 3×3 像元值进行分析, 得到新巴尔虎右旗近 10 年来的年均降水量仅 191mm, 新巴尔虎左旗年均降水量 298mm, 满洲里年均降水量 291mm, 均低于多年降水量平均值; (3)蒸发量增加。根据新巴尔虎右旗气象站实测年蒸发量数据表明, 呼伦湖区域近 50 多年的年蒸发量呈增高趋势, 增加趋势明显时期主要集中在 20 世纪 80 年代末期以后, 现正处在“峰值”区域。年蒸发量变化趋势如图 6(c)。呼伦湖水源主要由乌尔逊河、克鲁伦河和周边约 5 000km² 集水面积径流补给。根据克鲁伦河阿拉坦额莫勒站和乌尔逊河坤都冷站 1960—2007 年水文观测资料分析, 乌尔逊河、克鲁伦河 2000—2007 这 8 年间由于降水减少, 少补给水量 64.88 亿 m³, 同时由于气温升高、蒸发量增加, 多消耗水量约 3 亿 m³。因此, 气温升高、降水量减少、蒸发量加大, 致使所在区域的主要补给河流入湖量减少, 这是造成呼伦湖水位下降的主要原因。

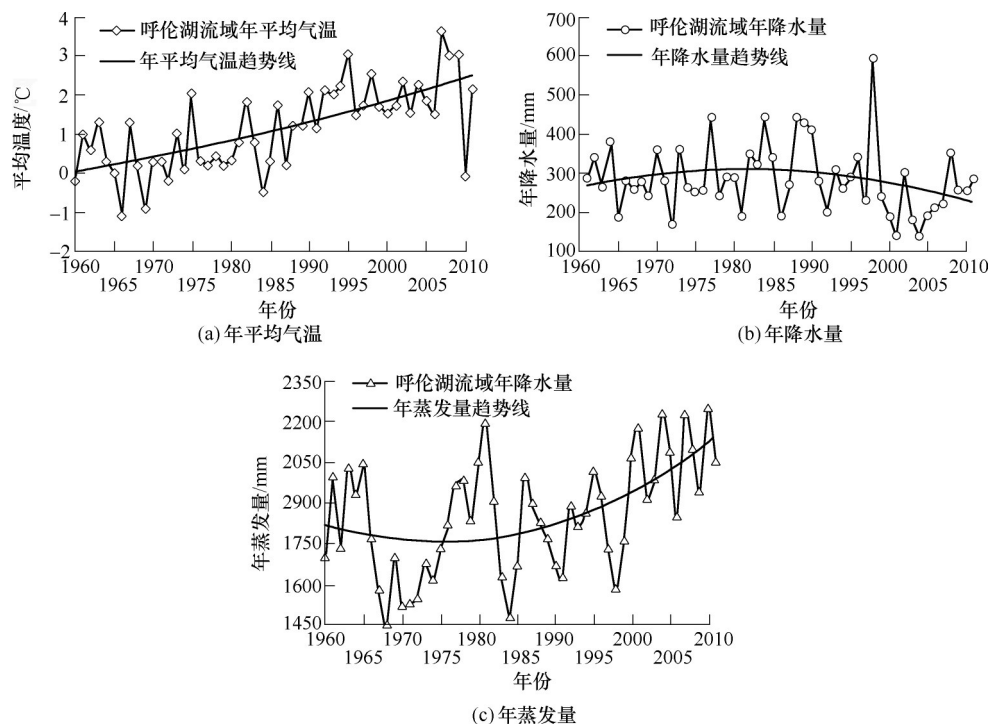


图 6 呼伦湖流域的 3 项指标

3.2.2 社会经济因素 (1)人口增加与耕地沙化。近 20 年研究区的人口和耕地呈增长趋势。根据 1990 年全国第四次人口统计数据显示, 1990 年满洲里市人口为 137 000 人, 新巴尔虎左旗 39 600 人, 新巴尔虎右旗 30 736 人; 2000 年全国第五次人口普查时, 满洲里市人口较 1990 年增加了 44 112 人, 新巴尔虎左旗人口较 1990 年增加了 2 047 人, 新巴尔虎右旗人口较 1990 年增加了 6 028 人; 到 2010 年第六次全国人口普查, 满洲里市人口较 1990 年增加 112 473 人, 新巴尔虎左旗人口较 1990 年增加了 658 人, 新巴尔虎右旗人口较 1990 年增加了 5 620 人。人口的增加伴随着对粮食需求的增加, 耕地面积逐年增加, 但有些土地是宜牧或宜林区, 气候条件和土壤类型根本不适合农耕, 因此在开垦几年后就被弃耕, 造成大量水土流失和沙漠化的发展。从 1994 年第一次全国荒漠化普查以来, 新巴尔虎

左旗沙地一直呈扩展趋势。20世纪90年代初新巴尔虎左旗沙化土地面积占全旗总面积的11%，1997年沙化土地面积占全旗土地总面积27.1%，2004年该地区沙化土地面积占全旗总面积的36.8%，占呼伦贝尔市沙地面积的61%，与1994年对比，沙地面积增加56万 hm^2 ，年平均净增5.6万 hm^2 ，增速为23.9%；(2)超载过牧。巴尔虎草原是呼伦湖湿地的主要组成部分，也是呼伦贝尔市重要的生态区。据统计，该区域2000—2007年牧业年度牲畜存栏量由123万头(只)增加到144.7万头(只)，而此间，草原沙化、退化面积由58.7万 hm^2 扩大到79.7万 hm^2 ，草原载蓄量由135万羊单位下降到74.7万羊单位，牲畜头数增加与草场退化、草原生产能力下降之间呈现明显的正相关，长时间超载过牧^[11]导致呼伦湖沿湖植被退化，对呼伦湖湿地造成进一步的破坏。

综上所述，气温升高、降水量减少、蒸发量加大，致使所在区域的主要补给河流入湖量减少，这是造成呼伦湖水位下降的主要原因，人口耕地增加、长期超载过牧等社会经济因素也在一定程度上加速了呼伦湖湿地的退化。

4 结论

呼伦湖流域水资源短缺、湿地退化等生态环境问题日益突出，本文利用多源遥感与GIS技术对呼伦湖区域1975、1987、1993、2000、2002、2005、2006和2011年8个时期的湿地进行动态分析，发现该区域水体和非水体湿地大面积萎缩和退化，水体面积较1975年减少了22.7%，非水体湿地面积较1975年减少了25.9%。驱动力分析结果表明，气温升高、降水量减少等自然因素使得呼伦湖区域来水量减少，自身消耗增加，这是导致呼伦湖地区湿地退化的直接原因；同时人口增长、长期超载过牧等社会经济因素也在一定程度上对呼伦湖湿地造成破坏，加速了呼伦湖湿地的退化。呼伦湖湿地在呼伦贝尔草原的生态环境和社会经济效益中起着不可替代的重要作用，在气候暖干化趋势及人类活动加剧的干扰下，恢复湿地的水资源量，保护湿地的功能，任务十分艰巨。

参 考 文 献：

- [1] 王颖,宫辉力,赵文吉.北京野鸭湖湿地资源变化特征[J].地理学报,2005,60(4):656-664.
- [2] 李东东,乔玉良,张青海.基于遥感技术的珠海市湿地动态变化分析与研究[J].气象与环境科学,2011,34(2):14-19.
- [3] 詹华明,康慧,宋小军.天津市宁河湿地资源动态变化及生态环境影响分析[J].地质调查与研究,2007,30(4):307-314.
- [4] 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.
- [5] 赵慧颖,李成才,赵恒和.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.
- [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,2008,28(1):101-107.
- [7] 严登华,何岩,邓伟,等.呼伦湖流域生态水文过程对水环境系统的影响[J].水土保持通报,2001,21(5):1-5.
- [8] 李建平,张柏,张玲.湿地遥感监测研究现状与展望[J].地理科学进展,2007,26(1):33-43.
- [9] 李文波,等.基于归一化水体指数的水域面积估算研究[J].人民长江,2008,39(2):11-12.
- [10] PANG Zhiguo, GE Dexiang, Fu Jun E. Eco-environment evolvement analysis of Ertan Reservoir Catchment based on remote sensing[J]. SCIENCE CHINA-Technological Sciences, 2011, 54(1): 95-100.
- [11] 鄂云峰,孙辉成.呼伦湖湿地退化成因分析及对策建议[J].现代农业,2009(9):71-72.
- [12] 王素慧,梁宏伟,杨玉生.呼伦湖湿地水环境治理对策[J].内蒙古水利,2006(1):35-41.

Dynamic changes of Hulun Lake Wetland area through remote sensing monitoring and driving forces analysis

WU Ya-nan, PANG Zhi-guo, LU Jing-xuan, QU Wei

(Remote Sensing Technology Application Center, IWHR, Beijing 100048, China)

Abstract: Based on the multi-source remote sensing (RS) data of Landsat MSS/TM/ETM+ and HJ-1A, this paper reveals the dynamic variation of the wetland area in Hulun Lake monitored from 1975 to 2011 and analyzes the driving forces in aspects of nature and socio-economy, using the model of the normal differential water index (*NDWI*) and supervised classification method with man-machine interactive interpretation. The results show that the Hulun Lake has presented a trend toward shrinking and degradation in the past 36 years. The water body area of Hulun Lake decreased by 22.7% in 2011 compared with that in 1975, and the figure of wetland area declined by 25.9% in 2011 compared with that of 1975. It is believed that natural factors are the main causes that led to the reduction of water body and wetland area in Hulun Lake. Besides, socio-economic factors accelerate the degradation of the Hulun Lake wetland to some extent.

Key words: RS; Landsat MSS/TM/ETM+; HJ-1A; Hulun Lake; wetland