

基于 MODIS 卫星数据的中亚地区水体动态监测研究

程彦培¹, 张发旺¹, 董 华¹, 王海平², 冯仲科²

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 正定 050803;
2. 北京林业大学测绘与 3s 技术中心, 北京 100083)

摘要: 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湿地资源保护、利用和可持续发展的有力支持, 而遥感技术的快速、周期性等特点为湿地变化监测提供了技术手段。本文的研究区是中亚地区, 结合该地区的光谱和时相特征, 利用三个时相的 MODIS 数据, 采用监督分类以及人工解译等方法获取了研究区水体分布以及变化信息, 并从自然和人为两方面原因对咸水湖泊、淡水湖泊以及含水沟渠的变化情况进行进一步分析评价。

关键词: MODIS; 中亚; 水体; 动态监测

中图分类号: P641.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010)05-0033-05

中亚地区的河流主要有阿姆河、锡尔河等内流河, 大部分发源于中亚高山, 湖泊有里海、咸海、巴尔喀什湖等, 冰雪融水为主要水源。由于中亚深居世界最大的大陆——亚欧大陆内部, 海洋上的水汽难以到达, 形成了冬冷夏热, 降水稀少, 常年干燥的气候特点。而 20 世纪以来, 在中亚地区发生多起严重干旱事件^[1-2], 严重影响人们的生活与发展。因此, 研究该地区湿地资源的特征和演变规律, 进而利用湿地资源、发展地区经济和实现经济-生态的良性循环, 对现在和未来都有深远的意义。

湿地研究起源于 16 世纪欧洲泥炭的利用。到 20 世纪 50 年代, 湿地研究得以发展并逐渐走向国际化。由于遥感技术具有观测范围广、获取信息快、信息量大, 尤其是访问周期短等特点, 使得遥感技术成为湿地监测研究中最有利的技术手段^[3]。近年来 MODIS 数据作为一个重要的数据源, 在大气、植被、雪域、火灾监测、海洋等方面都有应用。水文学工作者运用 MODIS 数据做了大量的工作, 比如洪涝灾害过程和范围监测, 积雪覆盖与径流预测, 土壤水分和蒸发的研究, 湿度和温度的反演, 水文模型的研究, 水质监测, 湿地研究等。其中在水文监测方面, 张树誉等利用 MODIS 数据资料对 2003 年渭河洪涝灾害进行了动态监测^[4]; 龟山哲等

应用 MODIS 数据完成了洞庭湖蓄水量变化的监测^[5]。

1 MODIS 遥感数据介绍

MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 是美国 NASA 对地观测系统 (EOS) 系列遥感卫星平台上的主要传感器, 也是当前世界上新一代“图谱合一”的光学遥感仪器。MODIS 分别搭载在上午星 Terra 和下午星 Equa 上, 能提供 250m, 500m, 1 000m 三种空间分辨率的 36 个通道的数据, 分布在 0.4 ~ 14.3 μ m 的电磁波谱范围内, 扫描宽度为 2 330 km, 对地球上同一个地方, 每天可以提供四景影像, 并且免费提供能满足多个研究领域需求的各级产品。NASA 计划利用 MODIS 至少获取了连续 15 年的地球综合信息, 这些数据对于开展自然灾害与生态环境监测、全球环境和气候变化、全球变化综合性研究具有重要意义^[6]。

本文采用了 Terra 时相分别为 1989 年、1999 年和 2009 年的中亚地区影像, 数据 MODIS1B 产品, 经度范围 66.65° ~ 100.72°, 纬度范围 31.24° ~ 52.86°, 1 ~ 7 波段的 (其中 1, 2 波段经重采样) 500m 分辨率的数据。利用专业遥感图像处理软件 ENVI 对 MODIS 数据进行辐射、几何校正以及去除 Bowtie, 大气校正等预处理工作。

本文 MODIS L1B 数据下载地址: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>

2 研究原理与方法

2.1 数据选取与预处理

收稿日期: 2010-02-27; 修订日期: 2010-06-16

基金项目: 亚洲地下水资源与环境地质编图 (1212010813090)

作者简介: 程彦培 (1965-), 男, 硕士, 副研究员, 从事国土环境监测研究, 国际合作水工环编图工作。

E-mail: yanpeicheng@tom.com

不同的地物其本身的结构和理化等性质不同^[7], 导致其对电磁波的反射、发射信息的差异,这种差异通过传感器的接收和记录,在影像上反应就是灰度值的大小,是地物相互区别的依据。

在 MODIS 数据中,地表自然水体的显著反射特征是:在可见光和近红外波段(0.4 ~ 2.5 μm, 相对应于 MODIS 数据中的 1 ~ 19 波段)的电磁波吸收率明显高于其它地物。其中在可见光波段水体反射率总体较低(一般为 4% ~ 5%),并且随着波长增大还会逐步降低,在 0.6μm 处反射率约为 2% ~ 3%;在近红外波段,水体几乎吸收了其全部能量,近似于一个“黑体”^[8]。依据研究需要,把实际地物概化为三大类:水体、陆地和植被。为了分析水体以及背景地物在 MODIS 影像上的光谱灰度值特征,对三类地物进行采样,测得各地物在 MODIS 影像前 7 个波段的光谱灰度值(图 1)(2009 年)。其中 1989 和 1999 年的各地物光谱曲线走势于 2009 年基本一致,只是受到季节、光照强度等因素的影响,光谱曲线灰度值整体偏低。

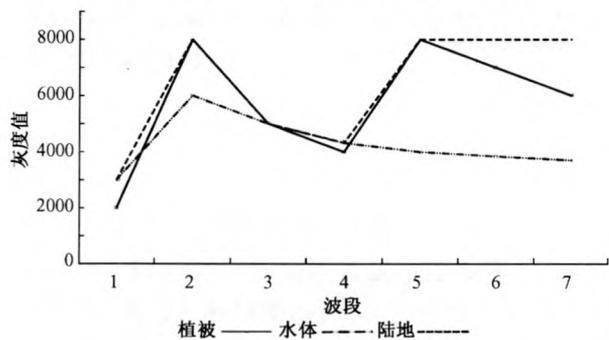


图 1 不同土地类型的灰度值曲线

Fig. 1 The gray value curve of different land types

从图 1 中可以看出:波段 1, 水体与陆地灰度值基本一致, 植被的灰度值偏低; 波段 2, 植被和陆地的灰度值相差甚少, 水体的最低; 3、4 波段, 三类地物的灰度值比较接近; 第 5 波段, 陆地与植被的灰度值相差不多, 而水体的灰度值明显偏低, 但是由于该波段经常出现条带噪声, 导致灰度值发生异常, 因此本研究中未用该波段参与水体的判别; 在 6、7 波段, 陆地灰度值最高, 水体的最低, 植被则介于两者之间。

选取影像中的 1、2、6 波段数据做处理。首先对所选范围数据做几何校正^[9]。其中投影采用积斜方位投影(Azimuthal Equal Area Projection), 将三个波段的数据均投影至 250m 分辨率。用 6S 模式完成大气校正, 还原地物的真实反射率^[10]。然后依据影像投影一致的边界图, 筛选校正好的影像, 并选取无云的影像进

行裁剪、拼接, 从而获得 1989、1999 和 2009 年份覆盖整个研究区的 1:500 万遥感影像图。

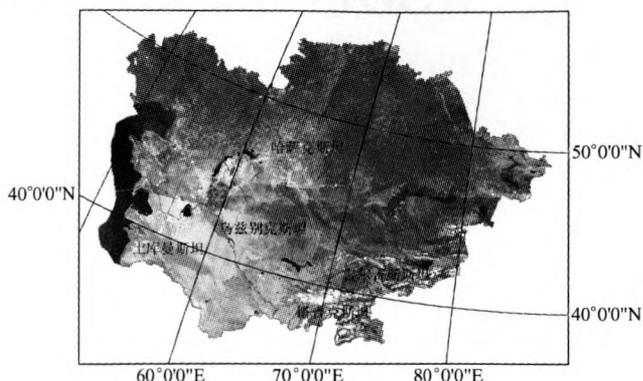


图 2 中亚地区遥感影像图(2009 年)

Fig. 2 The remote sensing image of central Asia

2.2 图像解译处理

水体与沼泽地、盐场等建筑因为含水量高, 泥沙含量而具有典型的水体反射特征, 在近红外、红外波段反射率最弱, 利用植被指数很容易与其他地物区分^[11]:

植被指数(VI)是遥感监测地面植物生长和分布的一种方法, 其中的归一化植被指数^[12](NDVI)应用最广。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

式中: NIR, R——近红外和红光波段的反射率。

通过计算不同时期影像的 NDVI 值, 将前后期的 NDVI 值相减, 所有差值不为 0 的像元即为发生变化的像元; 由于 NDVI 主要反映绿色植被的信息, 时间序列 NDVI 曲线是地表绿色植被生长动态过程的记录, 以最直观的形式反映绿色植被周期性的物理过程, 利用这个周期性循环规律, 对于湿地变化信息的监测是可行的。

湿地判别采用 NDVI 阈值并结合人机交互式调整的方法。首先设定 NDVI 阈值为 F_1 , 将湿地与非湿地区分开, 得到湿地的范围图像, 并将其目视解译湿地作比较, 调整 F_1 , 直到两者判别结果最接近时为止, 作为初步结果。最后用目视解译人机交互式方法调整判识错误像元(比如, 局部沙化草地的 NDVI 与沼泽地的 NDVI 相近), 得到最终湿地判识结果。在此结果的基础上, 再进行湿地内部沼泽地和水体判别, 判识原理还是根据沼泽地和水体的光谱特性差异, 进而造成的 NDVI 差异。判识方法和区分湿地与非湿地的方法相同。经多次调整, 得到区分湿地内部沼泽地和水体(河流、湖泊)的阈值 F_2 。不同时相 MODIS 影像, 阈值 F_1 、 F_2 取值不同。然后采用 PCI 命令行编程工具 EASI

+ 进行基于像元运算的湿地自动判识, EASI + 实现湿地判识关键词句是:

```

If %4 ≤ F1 then
  If F2 < %4 ≤ F1 then
    %5 = 100
  Else
    %5 = 50
  End If
Else
  %5 = 150
End If

```

其中,%4、%5 代表图像 4、5 通道。源文件 1、2、3 通道分别存储了 MODIS 的 1、2、6 波段;%4 存储 NDVI 值;%5 存储图像分类结果。当%5 取值为 150、100 和 50 时,分别代表该像元是非湿地沼泽和水体(河流、湖泊)。统计三类不同灰度值像元数即可计算得到各地类面积^[13]。最后结合地形图目视解译出咸水湖、淡水湖以及含水沟渠。

3 结果分析

从图 3 三时相的解译专题图可看出,变化最大的是位于哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦之间的咸水湖泊——咸海;另外含水沟渠大部分在哈萨克斯坦境内。

大量引阿姆河、锡尔河水灌溉发展农业生产,使入湖水量减少,湖的面积缩小。湖的含盐量增加,破坏了湖的生态平衡,湖面缩小,对气候的调节作用减弱,加剧了湖周围沙尘暴发生的程度。位于哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦的咸海被认为是历史上遭受人类造成的生态灾难最严重的湖泊之一。数十年来,由于流入该湖的河流用作灌溉中亚的棉田,造成该湖急剧收缩,最终分成两部分,破坏了曾经兴旺的捕鱼业,并给附近村庄的人民带来了致命的癌症。另外,咸海深处内陆环境,蒸发量大,降水量少,这更加剧了其面积的缩减。

过多的开发土地或者饮水灌溉可能是含水沟渠增加的原因。

在 GIS 中,对中亚地区三个时间段的湿地面积进行统计(表 1)。

表 1 显示中亚地区的湿地总面积 1989 年 ~ 1999 年 10 年间增加了 1 641 728 hm²,然而在 1999 年 ~ 2009 年 10 年间又减少 3 197 062 hm²,减少的程度是增加的两倍之多。原因主要可能有以下几点:

(1) 自然原因:中亚地区属于温带大陆性气候,夏季炎热干燥,冬季寒冷,降水稀少,气候干燥。尤其是



图 3 中亚地形图和解译专题图
Fig. 3 Central Asia geography diagram and interpret thematic map

东南缘高山阻隔印度洋、太平洋的暖湿气流,该地区气候为典型的大陆性气候,其降雨量地区差异较大。20 世纪 80、90 年代中亚五国山区降水量为 1 000mm,费尔干纳山西南坡甚至可达 2 000mm,年降水量在 300mm 左右。进入 21 世纪,中亚五国年降水量哈萨克斯坦 344mm,吉尔吉斯斯坦 533mm,塔吉克斯坦 691mm,乌兹别克斯坦 287mm,土库曼斯坦 191mm,咸

海附近和土库曼斯坦的荒漠年降水量仅为 75 ~ 100mm,但山地中有的地区水量小于沙漠地区,如帕米尔的年降水量仅 60mm。降水量明显较少。

表 1 中亚地区湿地面积

Table 1 An area of water in Central Asia

(hm ²)			
湿地类别	1989 年	1999 年	2009 年
含水沟谷	3 958 394	3 823 358	4 465 868
淡水湖泊	2 785 662	3 028 751	2 505 063
咸水湖泊	23 966 591	25 500 266	22 184 382
总计	30 710 647	32 352 375	29 155 313

本地区的大陆性较强,由于深居内陆,周围多山地,海洋水汽无法到达,本地区终年在大陆气团控制下,形成典型的温带大陆气候,由于受这里气候的影响,自然环境独特,草原、荒漠广布,湖泊多为咸水湖(咸海),流量较少(阿姆河、锡尔河),再加上近年来全球气候明显变暖,温度升高,降水较少,蒸发量增加,造成湿地面积变小。

(2)人为原因:依据有关资料显示,世界第三大淡水湖巴尔喀什湖,位于哈萨克斯坦东南角。该国 20% 以上的人口都靠巴尔喀什湖提供饮用水,经过附近工厂和农场数十年的取水,巴尔喀什湖受到“与悲惨的咸海同样命运”的威胁。

20 世纪 90 年代以来,淡水湖泊和咸水湖泊所占面积在总体变化是先增加后减少;而含水沟谷却是先减少后增加的变化趋势(表 1)。可能主要是由于人们过多的挖掘沟渠饮水灌溉或者建筑等造成含水沟渠过多。

4 结论及建议

(1)利用遥感技术,采用监督分类和人工解译的方法监测湿地动态变化。需要了解 MODIS 数据的湿地光谱特征。同时,还应该考虑不同湿地类型的分布差异,也就是要了解研究区域的湿地分布情况。采用多时相遥感数据提取湿地分布信息。

(2)监测结果表明,中亚地区降水量的减少加之人为活动造成的水资源不足,且分布不均使现有水资源日趋减少,尤以咸海最为严重,当前若没有得力措施,中亚旱情会越来越严重。

(3)中亚地区的湿地面积总体呈现减少趋势,主

要原因是全球气候变暖和人类的过度使用。另外淡水湖泊和咸水湖泊面积减少,而含水沟渠面积增加这一现象需要引起高度重视。

在湿地遥感变化监测研究中,选择的遥感数据质量直接影响到变化监测的精度和变化监测的结果。在数据预处理阶段,影像空间配准和校正是最重要的两个方面,针对研究的对象,选择合适的模型还是今后研究的一大难点。

参考文献:

- [1] Tannehill IR. Drought-its Causes and Effects [M]. Princeton: Princeton University Press, 1947:1-264.
- [2] 盛承禹. 世界气候[M]. 北京:气象出版社,1988:67-139.
- [3] 周维才,陈永富. 湿地资源遥感变化监测方法[J]. 世界林业研究,2007,4(20):45-49.
- [4] 张树誉,李登科,李星敏,等. MODIS 资料在 2003 渭河洪涝灾害动态监测中的应用[J]. 气象科学,2005,25(2):173-178.
- [5] 龟山哲,张继群,王勤学,等. 应用 Terra/MODIS 卫星数据估算洞庭湖蓄水量的变化[J]. 地理学报,2004,59(1):88-94.
- [6] 李博,周新志. 基于 MODIS 数据的川西山区河道水体提取方法研究[J]. 地理与地理信息科学,2009,3(25):59-62.
- [7] 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [8] 梅安新,彭望球,秦其明,等. 遥感导论[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [9] 徐萌,郁凡. 去除 EOS/MODIS 1B 卫星数据中的“弯弓”效应(Bowtie effect)的方法[J]. 气象科学,2005,25(3):257-265.
- [10] SZEKIELDA K H. Pattern recognition of marine provinces [J]. International Journal of Remote Sensing,2005,26(7):1499-2503.
- [11] 黄家洁,万幼川,刘良明,等. MODIS 的特性及其应用[J]. 地理空间信息,2003,1(4):45-51.
- [12] Nicoloyanni E. A diachronic change index applied to Landsat MSS images of Athens, Greece [J]. Int J Remote Sensing,1990,(11):1617-1623.
- [13] 许辉熙,何政伟等. 基于 EOS/MODIS 的若尔盖高原湿地定量遥感研究[J]. 冰川冻土. 2007,6(29):450-454.

Wetland dynamic monitoring in central Asia based on MODIS image

CHENG Yan-pei¹, ZHANG Fa-wang¹, DONG Hua¹, WANG Hai-ping², FENG Zhong-ke²

(1. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Zhengding 050803;*

2. *Beijing Forestry University, Beijing 100083*)

Abstract: Wetland dynamic monitoring is a hot issue in the study of natural resources and environmental change nowadays. In-time and accurate acquisition of information concerning wetland change is a powerful support for protection, use and successive development of wetland resources. Remote sensing technology can serve this purpose as a technological means because of its features of rapidity and cycle for wetland change monitoring. The study area of this paper is the region of central Asia. Combining the features of spectrum and time phase, three phrases of MODIS data are used to acquire the information of water distribution and change by the method of supervised classification and artificial interpretation. In addition, The change of salty lake, non-salty lake and water channel is made further analysis and evaluation from natural and artificial aspects respectively.

Key words: dynamic monitoring; water; MODIS; Central Asia

责任编辑:张若琳

(上接第 25 页)

A study of the variations in hydrology and hydrochemistry under the condition of a storm in a typical karst subterranean stream

GOU Peng-fei¹, JIANG Yong-jun^{1,2}, HU Zhi-yong¹,

PU Jun-bing¹, YANG Ping-heng¹

(1. *School of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;*

2. *Institute of Karst Environment and Rock Desertification Control, Southwest University, Chongqing 400715, China*)

Abstract: HOB0 automatic weather station, WGZ21 Photoelectric digital water table gauge and CTD300 on-line water quality analyzer were set up to monitor hydrology, hydrochemistry and precipitation at the catchment of a subterranean stream during a storm. According to the liner relationships, the saturation index of calcite (SI_c) and CO_2 partial pressure (P_{CO_2}) were calculated with the WATSPEC program. The hydrochemical variation in the subterranean stream was analyzed. Results show that hydrochemical variation in a subterranean stream was controlled by dilution effect and also responded to the rainfall rapidly. The hydrochemical variation of inlet was impacted by the rainfall events and the factor of environments. The hydrochemical variation of outlet was controlled by dilution effect, the variation was more regular than inlet of the subterranean stream. In the beginning of the storm, the main recharges of subterranean came from karst fissure and depressions. After the rain, the main recharges came from surface flow through the swallow holes. Rainfall went rapidly into the subterranean stream through depressions and karst fissures. As a result, the recharges from infiltration have a direct impact on water quality of the subterranean stream.

Key words: storm; variations of hydrology and hydrochemistry; subterranean stream; karst valley

责任编辑:张若琳