

# 黄河三角洲刁口河流路湿地恢复遥感监测与评价

黄 翀<sup>1</sup>, 刘高焕<sup>1</sup>, 傅 新<sup>1</sup>, 李亚飞<sup>1</sup>, 刘庆生<sup>1</sup>, 王新功<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 黄河流域水资源保护局, 郑州 450004)

**摘 要:**利用卫星遥感技术对生态调水及湿地恢复进行实时动态监测,不仅可以及时掌握宏观地表的快速变化,还可以为长期的区域生态效应评价提供支持。基于国产自主环境一号小卫星遥感数据,对2010年黄河三角洲生态调水暨刁口河流路恢复过水试验进行动态监测和初步评价。研究表明,刁口河流路恢复过水后,原废弃河道过流条件得到提高,部分被开发利用的河滩地得到恢复,水文条件好转,河流水面面积总体上增加了526 hm<sup>2</sup>,有利于河道生态条件的改善。通过对湿地引水修复,自然保护区试验区块共有437 hm<sup>2</sup>的退化湿地得到了较大程度的改善。同时,湿地景观多样性提高,对维持区域景观多样性、改善鸟类栖息地质量具有重要意义。研究结果表明,国产环境一号卫星遥感数据能提供丰富的地面信息,其数据具有较高的时间分辨率,可以作为中国湿地调查和监测的重要数据源。考虑到大尺度调水和湿地恢复对区域生态环境的影响是一个长期的过程,今后应进一步挖掘环境一号卫星现有波段的光谱信息,对湿地恢复进行长期跟踪监测,为湿地恢复生态效应综合评估提供技术支撑。

**关 键 词:**环境一号; 黄河三角洲; 湿地; 恢复; 遥感; 刁口河流路

## 1 引言

大范围的湿地恢复活动是一项复杂系统工程,对区域生态与环境变化具有直接而深远的影响<sup>[1]</sup>。对湿地恢复过程进行动态监测,及时掌握区域生态环境变化,可以为湿地恢复效益评估提供基础数据,并进一步为湿地恢复方案的不断完善提供技术支撑。遥感可以在多个尺度上对许多地表生态参数,包括土地覆盖、植被结构、生物物理特征以及栖息地面积等进行估算<sup>[2-4]</sup>,尤其是针对大区域地表环境快速变化的连续监测,遥感已成为一个必不可少的工具<sup>[5-7]</sup>。尽管利用遥感进行湿地调查和监测的研究非常之多<sup>[8-9]</sup>,但是将遥感技术应用于湿地恢复监测的研究仍然有限<sup>[10-11]</sup>。Phinn等<sup>[8]</sup>基于多光谱航空遥感影像分类技术,获取Sweetwater国家野生动物保护区潜在栖息地范围进行了估算。通过野外验证表明,利用遥感的方法能够以非干扰的方式为南加州保留湿地恢复监测提供有价值的生态信息。Melesse等<sup>[12]</sup>基于MODIS数据,利用植被盖度变化和潜热通量变化,对Kissimmee河流域生态水文恢复活动进行了监测和评估。Tuxen等<sup>[13]</sup>利用彩

红外航空影像,利用NDVI(Normalized Difference Vegetation Index, 归一化植被指数)对加州Petaluma河沼泽湿地恢复前后的植被变化进行了监测和对比分析,认为遥感在潮滩沼泽生态系统恢复监测中是非常有用的,因为它允许对难以进入地区或敏感地区进行高时空分辨率的量测,而不会像传统的野外方法那样造成有可能的入侵破坏。目前,在湿地恢复卫星遥感监测研究中,基于光学遥感的Landsat TM/ETM+数据和MODIS数据是国内外最为常用的数据源<sup>[12,14-15]</sup>。但是,Landsat卫星较长的重访周期(16 d)以及MODIS数据较粗的空间分辨率,使得其在快速地表环境变化监测应用中受到一定的限制<sup>[16]</sup>。近年来,随着中国卫星传感器技术的不断改进,一系列国产自主卫星无论在时间分辨率还是空间分辨率上都已经能够满足生态环境宏观动态监测的需要。本文利用国产环境一号小卫星数据,对2010年实施的黄河三角洲生态调水暨刁口河流路恢复过水试验进行了动态监测,并对流路过水和湿地恢复的生态影响进行了分析,以期为基础于国产自主卫星数据开展大尺度水利工程的长期生态效应评估奠定基础。

收稿日期:2012-01; 修订日期:2012-03.

基金项目:中国科学院地理科学与资源研究所野外台站开放基金和海洋公益性行业科研专项项目(201105020)。

作者简介:黄翀(1975-),男,安徽六安人,博士,主要从事遥感、地理信息系统建模与湿地生态研究。

E-mail: huangch@lreis.ac.cn

## 2 试验概况

黄河尾间在1976年5月由刁口河道改道清水沟流路入海,至今已有30多年。由于水沙变化、海洋动力作用及人类活动影响,原刁口河故道自然形态和生态环境发生较大改变,刁口河流路日益干涸,河槽严重萎缩,刁口河口所在的一千二保护区管理站范围内的湿地生态系统每况愈下,植被从淡水湿地草甸为主,逐步退化为盐碱滩;由于没有泥沙入海,海水不断入侵,岸线蚀退,淡水湿地面积萎缩,重要栖息地受到破坏<sup>[17-20]</sup>。1992年,原国家计委批准了黄河水利委员会编制的《黄河入海流路规划报告》,确定将刁口河流路作为黄河最近的备用流路。2009年,国务院批复的《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》提出:“加大黄河口治理力度,完善分洪、退洪设施,提高防洪减灾和利用洪水能力。稳定现有黄河入海流路,留足备用流路”。作为国家规定的黄河近期备用流路和生态保护的重点区域,如何保持刁口河流路行洪功能、维持故道河口良好的生态环境成为亟须解决的重大课题。经过详细调研论证,黄河水利委员会在2010年6月黄河实施第10次调水调沙期间,开展了“黄河三角洲生态调水暨刁口河流路恢复过水试验”项目,以刁口河流路恢复过水、自然保护区湿地最大限度进水为目标,向刁口河生态补水,修复刁口河河口生态环境(图1)。

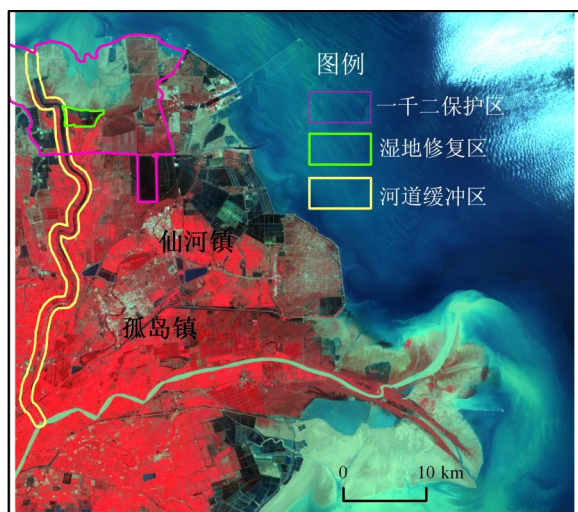


图1 研究区示意图

Fig.1 Study area

### 3 数据收集与处理

### 3.1 遥感数据源

本研究利用2010年覆盖黄河三角洲的“环境一号”小卫星数据进行刁口河流路恢复过水试验监测。环境一号小卫星于2008年9月在中国发射升空,其A、B星各自搭载了两个宽覆盖CCD相机,空间分辨率是30 m,幅宽分别是360 km,2个单景的CCD影像拼接后可覆盖地面720 km的空间范围,具有很好的宽覆盖特征<sup>[21]</sup>。CCD影像的重访周期设计为4 d,由于A星和B星轨道完全相同,相位相差180°,A、B星协同,同一地区大约2 d即可重复覆盖。根据本次刁口河流路恢复过水试验时间安排,本研究采用2010年6-9月的系列“环境一号”卫星CCD影像数据。

### 3.2 土地利用/湿地景观分类

参照 2007 年发布的《土地利用分类》国家标准,采用一级、二级两个层次的分类体系,二级类包括旱地、有林地、机关团体用地、河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、沿海滩涂、沼泽地以及盐碱地,其中,盐碱地指表层盐碱聚集,生长天然耐盐植物的土地;沼泽地指经常积水或渍水,一般生长沼生、湿生植物的土地。在土地利用一、二级分类基础上,考虑现状土地覆被或湿地植被类型,对土地利用分类二级类的盐碱地和沼泽地,进一步细分为不同的湿地类型。盐碱地分为草甸湿地(包括芦苇草甸、翅碱蓬草甸、芦苇-柽柳-翅碱蓬草甸、翅碱蓬-柽柳草甸)和灌丛湿地(柽柳-芦苇-翅碱蓬灌丛、柽柳-芦苇灌丛、柽柳灌丛),沼泽湿地进一步分为芦苇沼泽、柽柳-芦苇沼泽和柽柳沼泽。需要指出的是,自黄河改道清水沟流路以来,刁口河流路停水时间已达 30 多年,原来水分条件良好的湿地绝大部分出现不同程度的退化,有些甚至已经无法满足湿地最基本的水分条件。但考虑到其土地覆被仍然为典型湿生植被类型,从湿地修复的角度出发,仍然将其列入湿地类型。

### 3.3 信息提取

遥感特征信息的自动提取能够大大减轻工作量,提高工作效率。国内外学者针对湿地尤其是水体遥感信息的自动提取技术和方法进行了较为深入的研究。总的来说,水体信息提取模型包括单波段法、多波段法和比值法等<sup>[22-23]</sup>。由于水体的反射从可见光到中红外波段逐渐减弱,在近红外



和中红外波长范围内吸收性最强,几乎无反射(图2),因此,采用可见光波段和近红外波段的反差构成的植被水分指数(Normalized Difference Water Index, NDWI)可以突出影像中的水体信息<sup>[24]</sup>。本研究采用比值法模型中的归一化差异水体指数<sup>[25]</sup>进行水体信息自动提取。其中,

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

式中:Green 代表绿光波段;NIR 代表近红外波段。在环境一号卫星影像中,第2波段和第4波段分别为绿波段和近红外波段。

归一化差异水体指数方法能够自动提取绝大部分的水体信息,一定程度上提高了工作效率、减少了手工操作的工作量,但仍有错提、漏提现象。比如人工水库、池塘与天然湖泊、河流与水渠都作为水体提取,但类别属性需要目视判别确定;而其他湿地类型尤其是沼泽湿地的不同类别还需要根据空间地理位置和其他辅助数据才能判定。因此,还需要利用人机交互解译进行补充和修正,提取刁口河两侧沿岸2 km 范围以及湿地恢复区的土地利用/湿地信息。

4 结果分析

4.1 生态补水过程监测

黄河刁口河流路停止行河至今已有 30 多年。停河期间,由于水沙条件变化及人类活动影响,使作为黄河备用流路的刁口河故道河道地形地貌和生态环境发生较大改变(图3)。利用引水前6月15日的环境一号卫星影像提取的水体信息可以看出,

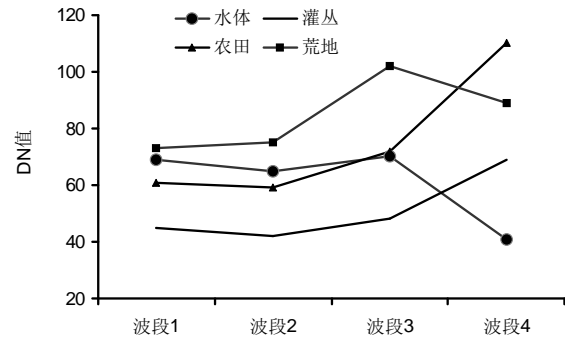


图2 环境一号卫星黄河三角洲典型地类的波谱曲线  
Fig.2 HJ-1 Satellite spectral signatures of four major land use classes in the Yellow River Delta

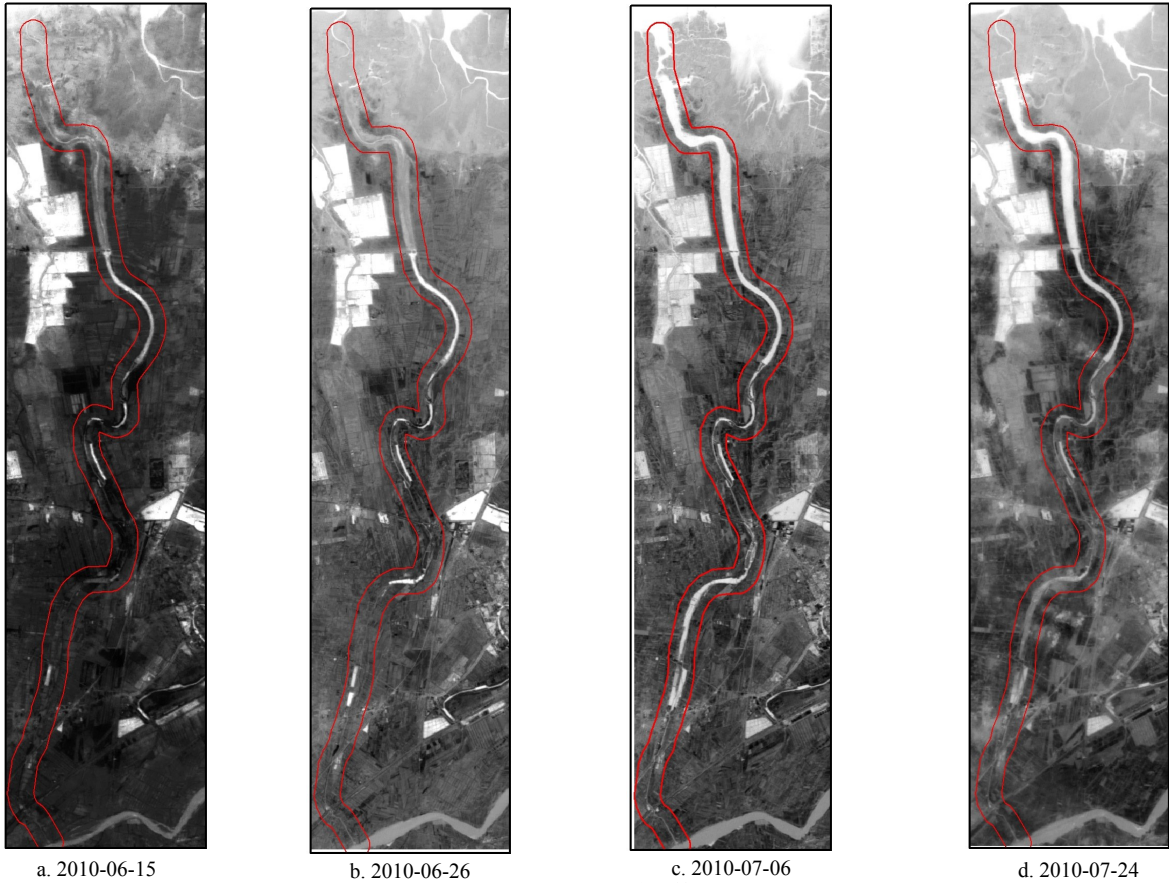


图3 试验期间刁口河道水体指数图  
Fig.3 Water body index of Diaokou River during the experiment period

河槽严重萎缩,除保护区界以南约7 km的河段保留较为完整的水体外,大部分河段河道窄浅,甚至干涸,河两岸堤防工程已残缺不全,河道形态模糊不清(图3a)。刁口河流路恢复过水试验于2010年6月24日开始,由于初期引水流量较小,平均流量为16.47 m<sup>3</sup>/s,河道过流较窄,同时引水中含沙量较高,从6月26日的影像看,提取的河道水体信息并不明显。但是由于过水影响,河道形态已清晰可辨。此时,保护区内河道尚无明显变化发生,表明水头尚未进入保护区(图3b)。从7月6日的水体分布信息看,经过十多天的引水,由南至北,刁口河流路水体连续,流路清晰,保护区内河道水面宽广,并有水流入海,说明刁口河实现全线过流(图3c)。从水流演进的过程看,通过河槽流量的逐渐加大,水位抬高,水面扩大,面积达1200 hm<sup>2</sup>,河道生态补水得以实现(图3d)。

自然保护区补水可分为2个方面:①随着水位上涨,形成自然漫流补水;②通过人工干预,在挡水坝上安装涵管自流补水,在补水流量较小时,采用提水泵提水,以增加引水量。根据试验安排,自然保护区补水修复区于7月13日下午开始自流进水,至7月24日,水体主要汇集在保护区管理站北部的地势最为低洼的地带,水体蓄积面积达85.6 hm<sup>2</sup>(图4a);补水至8月6日,修复区自西向东均有较大面积水面形成,水体面积达111.15 hm<sup>2</sup>(图4b);由于修复区西部为刁口河故道的河成高地,8月6日停止补水后,水流在重力作用下继续向东分配,从8月16日的影像看,补水结束10天后,水体主要汇集在修复区的东部,面积为157.68 hm<sup>2</sup>(图4c)。由于8-9月份为研究区的雨季,降雨量较大,尽管停止补水,但在降雨的作用下,修复区水体面积进一步扩大,至9月12日,蓄水体面积已达224.28 hm<sup>2</sup>,自西向东均有分布(图4d),实现了预期修复目标。

4.2 河道过水对土地利用变化的影响

根据对试验前后刁口河湿地恢复区及刁口河沿岸两侧2km范围内土地利用变化的对比分析(图5),共有1434.8 hm<sup>2</sup>的土地利用类型发生了转换。其中,旱地、林地、盐碱地和内陆滩涂面积分别减少了324.9 hm<sup>2</sup>、59.2 hm<sup>2</sup>、522.4 hm<sup>2</sup>和119.3 hm<sup>2</sup>。相应地,河流水面、湖泊水面和沼泽面积则分别增加了526.3 hm<sup>2</sup>、191 hm<sup>2</sup>和294.7 hm<sup>2</sup>。在发生土地利用类型改变的旱地和林地中,大部分由于河道过水而恢复为河滩地,这类土地的面积约320 hm<sup>2</sup>,占发生转换总面积的83.4%,小部分则直接转换为河流水面和坑塘水面,面积约55 hm<sup>2</sup>。新增加的河流水面绝大部分是从原来的河滩地转换而来,面积约440.6 hm<sup>2</sup>。湖泊水面和沼泽则全部由盐碱地转换而来,面积为分别为191.6 hm<sup>2</sup>和279.7 hm<sup>2</sup>。从土地利用变化看,流路过水对河道条件恢复效果明显。1976年刁口河道废弃后,由于河滩地势较高,

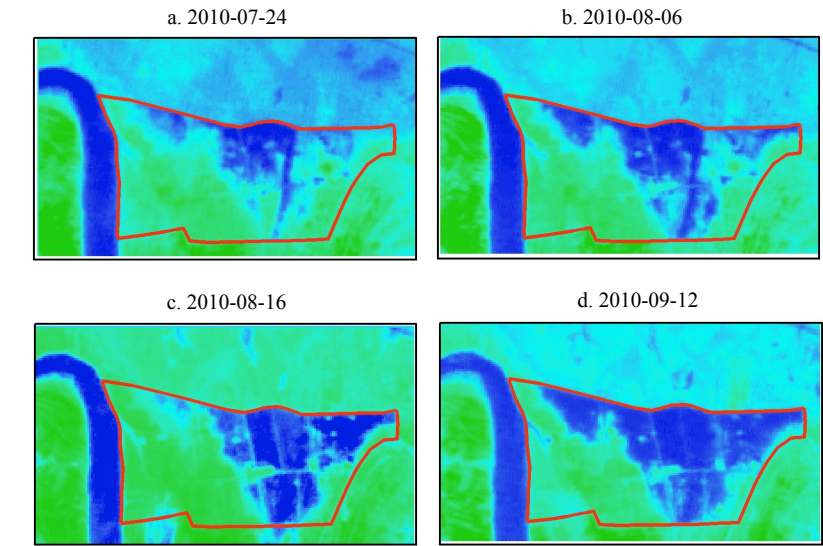


图4 一千二保护区湿地修复区水体指数变化图

Fig.4 Water body index of Yiqianer Reserve during the experiment period

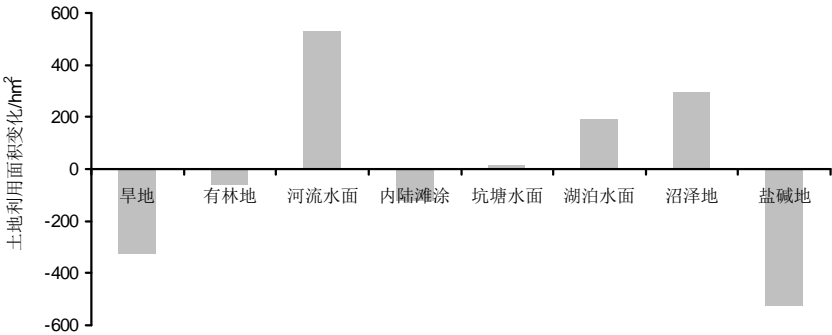


图5 调水前后土地利用面积变化

Fig.5 The land use change on the two sides of Diaokou river after the experiment

土壤条件较好,河道滩地周边很多被开垦成农田和林地。本次刁口河道恢复过水,不可避免对河道两侧滩地的农业土地利用造成了一定的负面影响。但是,通过堤坝加固和河道疏浚,有效地改善了河道条件,提高了防洪减灾能力,为备用流路启用奠定了基础。

4.3 湿地修复对保护区景观的影响

根据对2010年6月环境一号卫星遥感影像解译结果,在引水之前,恢复区内主要湿地覆被类型为草甸和灌丛(图6a)。以柽柳灌丛、柽柳-芦苇灌丛和柽柳-芦苇-翅碱蓬灌丛为主的灌丛湿地面积达437.9 hm<sup>2</sup>,占恢复区全部面积的52.6%。这类灌丛湿地多分布在地势较高处,土壤盐分大,由于长时间缺乏淡水资源补给,土壤湿润度下降,其湿地特征已不明显。以翅碱蓬滩涂和翅碱蓬-柽柳滩涂为主的草甸湿地多分布在沿海滩涂地带和高潮线的上部,面积为312.9 hm<sup>2</sup>,占恢复区全部面积的37.6%。由于尾间改道,翅碱蓬草甸湿地失去了咸淡水交汇的环境,加之海潮和风暴潮的影响,曾经成片分布的翅碱蓬草甸出现不同程度的退化和死亡。以芦苇为主的淡水草甸湿地面积约56.6 hm<sup>2</sup>,仅占恢复区面积的6.8%,其退化的表现形式为曾经占绝对优势的芦苇群落出现稀疏柽柳和翅碱蓬等盐生植被。

由于监测时间较短,湿地植被演替尚难以发生,引水对恢复区生态环境的影响更多地表现在改善了过水区的土壤水分条件上。恢复区内约53%

的退化湿地水文条件明显改善。最明显的变化是新出现了大面积的湖泊水面湿地和沼泽湿地景观(图6b),其面积分别为191 hm<sup>2</sup>和245 hm<sup>2</sup>,占恢复区面积的22.96%和29.45%。通过对不同湿地景观类型面积转移分析表明,分布在地势低洼处的翅碱蓬草甸和翅碱蓬-柽柳草甸,由于水资源的大量蓄存而转化形成大面积的开阔湖泊水面,面积为176.2 hm<sup>2</sup>。而少量分布在翅碱蓬草甸外围的柽柳-芦苇灌丛由于地势较低,也转变为湖泊水面,面积为16 hm<sup>2</sup>。此外,在湿地蓄水的作用下,根据群落组成特点的不同,翅碱蓬-柽柳草甸、芦苇-柽柳-翅碱蓬草甸以及柽柳-芦苇-翅碱蓬灌丛则而分别形成了柽柳沼泽、芦苇沼泽以及柽柳-芦苇沼泽3种沼泽湿地景观,面积分别为137 hm<sup>2</sup>、56.5 hm<sup>2</sup>和51.4 hm<sup>2</sup>。柽柳灌丛和大部分柽柳-芦苇灌丛由于分布在地势高处,没有受到湿地引水的直接影响,其景观类型和面积无明显变化。

5 结论

刁口河流路恢复过水试验是治黄历史上的一次崭新尝试。探索废弃流路重新行河的可能性、退化湿地恢复的前景以及由此而带来的各种生态环境效应问题是目前人们极为关注的一个重大课题。本研究基于2010年环境一号小卫星数据,对刁口流路调水及湿地生态恢复试验进行了动态监测和初步评价。研究表明,国产环境一号卫星遥感

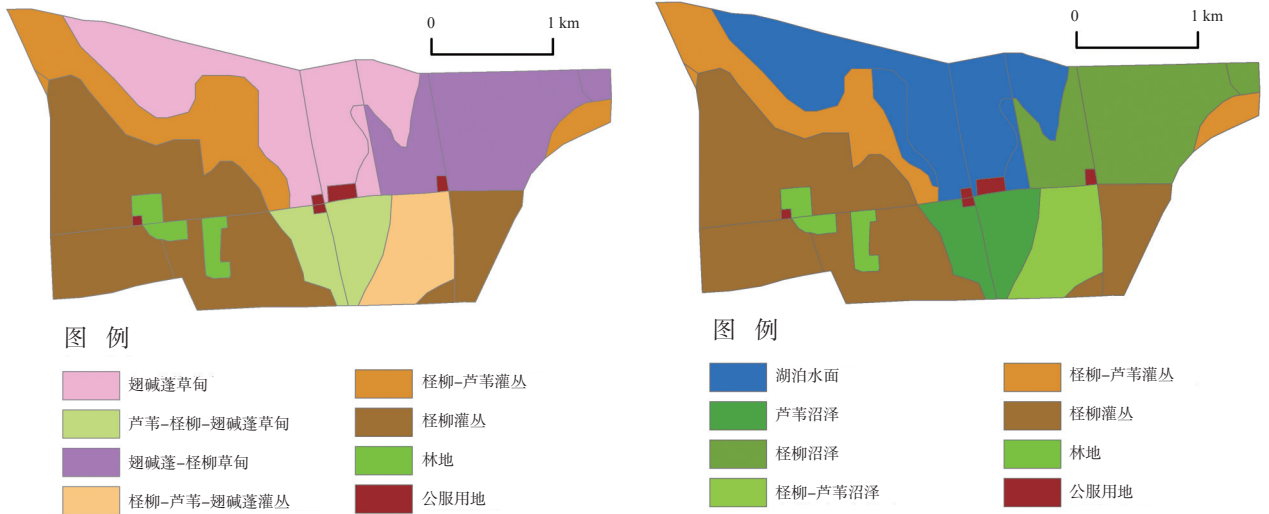


图6 湿地恢复区引水前后的土地覆被变化

Fig.6 The wetland cover change in the restoration reserve after the experiment



数据,能提供丰富的地面信息,其数据具有较高的时间分辨率,可以实现对地表环境时空变化动态的宏观快速监测。较高的时间分辨率保障了生态监测的质量和连续性,尤其适合湿地修复环境变化监测快速、大范围的要求,可以作为中国湿地调查和监测的重要数据源。但是,研究中也发现,与同一类型的国外传感器如 Landsat TM 相比,环境一号卫星影像在色阶丰富度和纹理细节方面,还是要稍逊一筹。此外,环境一号卫星影像只包含 4 个光谱波段,光谱分辨率还有待提高。

基于环境一号卫星数据对刁口河流路调水试验前后研究区土地利用变化情况分析表明,流路恢复过水试验后,部分被开发利用的河滩地得到恢复,水文条件好转;河道过流条件得到提高,通过蓄水,河流水面面积总体上增加了 526 hm<sup>2</sup>,有利于河道生态条件的改善。通过对湿地引水修复,黄河三角洲一千二自然保护区试验区块共有 437 hm<sup>2</sup>的退化湿地得到了较大程度的湿地条件改善,同时,湿地景观多样性提高。保护区内新增加的两种典型湿地景观类型,即湖泊水面和灌丛沼泽,对于维持区域景观多样性、改善鸟类栖息地质量具有重要意义。但是,大尺度调水和湿地恢复对区域生态环境的影响是一个长期的过程。进一步工作将结合地表环境特征,充分挖掘环境一号卫星现有波段的光谱信息,推动环境一号卫星在湿地恢复乃至区域环境动态监测中的深入应用。

## 参考文献

- [1] 朱庆平,任建华,王建中,等. 我国内陆河流生态调水. 中国水利, 2003(6): 49-52.
- [2] Thomson A G, Fuller R M, Yates M G, et al. The use of airborne remote sensing for extensive mapping of intertidal sediments and salt marshes in eastern England. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(13): 2717-2737.
- [3] Wulder M A, Hall R J, Coops N C, et al. High spatial resolution remotely sensed data for ecosystem characterization. *BioScience*, 2004, 54(6): 511-521.
- [4] Higinbotham C B, Alber M, Chalmers A G. Analysis of tidal marsh vegetation patterns in two Georgia estuaries using aerial photography and GIS. *Estuaries*, 2004, 27(4): 670-683.
- [5] Alexandridis T K, Lazaridou E, Tsirika A, et al. Using Earth Observation to update a Natura 2000 habitat map for a wetland in Greece. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(7): 2243-2251.
- [6] Bock M, Rossner G, Wissen M, et al. Spatial indicators for nature conservation from European to local scale. *Ecological Indicators*, 2005, 5(4): 322-338.
- [7] 李建平,张柏,张冷,等. 湿地遥感监测研究现状与展望. *地理科学进展*, 2007, 26(1): 33-43.
- [8] Phinn S R, Stow D A, Zedler J B. Monitoring wetland habitat restoration in southern California using airborne multispectral video data. *Restoration Ecology*, 1996, 4(4): 412-422.
- [9] Zhang M, Ustin S L, Rejmankova E, et al. Monitoring Pacific coast salt marshes using remote sensing. *Ecological Applications*, 1997, 7(3): 1039-1053.
- [10] Phinn S R, Stow D A, Mouwerik D V. Remotely sensed estimates of vegetation structural characteristics in restored wetlands, Southern California. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1999, 65(4): 485-493.
- [11] Hinkle R L, Mitsch W J. Salt marsh vegetation recovery at salt hay farm wetland restoration sites on Delaware Bay. *Ecological Engineering*, 2005, 25(3): 240-251.
- [12] Melesse A M, Nangia V, Wang X, et al. Wetland Restoration Response Analysis using MODIS and Groundwater Data. *Sensors*, 2007, 7(9): 1916-1933.
- [13] Tuxen K A, Schile L M, Kelly M, et al. Vegetation Colonization in a Restoring Tidal Marsh: A Remote Sensing Approach. *Restoration Ecology*, 2008, 16(2): 313-323.
- [14] Shuman C S, Ambrose R F. A comparison of remote sensing and ground-based methods for monitoring wetland restoration success. *Restoration Ecology*, 2003, 11(3): 325-333.
- [15] Al-khudhairy D H A, Leemhuis C, Hoffmann V, et al. Monitoring wetland ditch water levels in the North Kent Marshes, UK, using Landsat TM imagery and ground-based measurements. *Hydrological Sciences Journal*, 2001, 46(4): 585-14.
- [16] 徐祎凡,李云梅,王桥,等. 基于环境一号卫星多光谱影像数据的三湖一库富营养化状态评价. *环境科学学报*, 2011, 31(1): 81-93.
- [17] 黄翀,刘高焕,王新功,等. 不同补水条件下黄河三角洲湿地恢复情景模拟. *地理研究*, 2010, 29(11): 2026-2034.
- [18] 刘高焕,叶庆华,刘庆生,等. 黄河三角洲生态环境动态监测与数字模拟. 北京: 科学出版社, 2003.
- [19] 陈建,王世岩,毛战坡. 1976-2008年黄河三角洲湿地变化的遥感监测. *地理科学进展*, 2011, 30(5): 585-592.
- [20] 黄翀,刘高焕,张海龙,等. 黄河河口湿地景观变化影响丹顶鹤生境的评价分析. *地球信息科学学报*, 2009, 11

- (4): 491-497.
- [21] 王桥, 吴传庆, 厉青. 环境一号卫星及其在环境监测中的应用. 遥感学报, 2010, 14(1): 104-121.
- [22] 李文波, 于春颖, 张秋文, 等. 基于归一化水体指数的水域面积估算研究. 人民长江, 2008, 39(2): 11-13.
- [23] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.
- [24] 汪宝存, 苗放, 陈建华, 等. 基于ASTER数据的归一化差异水体指数的建立及其应用. 测绘科学, 2008, 33(2): 177-179.
- [25] McFeeters S K. The Use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425-1432.

## Monitoring and Evaluation of Wetland Restoration in the Abandoned Diaokou Estuary of Yellow River Delta Based on HJ-1 Remote Sensing Data

HUANG Chong<sup>1</sup>, LIU Gaohuan<sup>1</sup>, FU Xin<sup>1</sup>, LI Yafei<sup>1</sup>, LIU Qingsheng<sup>1</sup>, WANG Xingong<sup>2</sup>

(1. State Key Lab. of Resources and Environment Informaton System,

Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Yellow River Basin Water Resources Protection Bureau, Zhengzhou 450004, China)

**Abstract:** As satellite remote sensing provides a large spatial view, combined with a relatively high return frequency, it is a very cost-effective tool for wetland restoration monitoring. In this paper HJ-1 micro satellite remote sensing data were used for monitoring and evaluating the effect of wetland restoration through water transfer project in the Yellow River Delta. The results showed that the flow conditions of the former abandoned channel have been greatly improved through water transfer from the Yellow River. The river water body area increased by 526 ha, and the hydrological situation of the river floodplain has much ameliorated. Some 437 ha of degraded wetlands in the nature reserve have been restored, which will be beneficial to biodiversity maintenance and habitat improvement in the Yellow River Delta. The paper argued that the Chinese HJ-1 remote sensing data, with rich ground spectrum information and a high temporal resolution, can be used as an important source for wetland surveying and monitoring. However, it is necessary to further explore the spectral information of HJ-1 to deeply understand the long-term effect of water transfer and wetland restoration on regional ecosystems at large spatial-temporal scales.

**Key words:** HJ-1; the Yellow River Delta; wetlands; restoration; remote sensing; Diaokou estuary

本文引用格式:

黄翀, 刘高焕, 傅新, 等. 黄河三角洲刁口河流路湿地恢复遥感监测与评价. 地理科学进展, 2012, 31(5): 570-576.