

引用格式:朱长明,李均力,沈占锋,等.塔里木河下游生态环境变化时序监测与对比分析[J].地球信息科学学报,2019,21(3):437-444. [Zhu C M, Li J L, Shen Z F, et al. Time series monitoring and comparative analysis on eco-environment change in the lower reaches of the Tarim River[J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21(3):437-444.] DOI:10.12082/dqxxkx.2019.180523

塔里木河下游生态环境变化时序监测与对比分析

朱长明¹,李均力^{2*},沈占锋^{3,4},沈 谦¹

1. 江苏师范大学地理与测绘学院, 徐州 221116; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 3. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101; 4. 中国科学院大学, 北京 100049

Time Series Monitoring and Comparative Analysis on Eco-environment Change in the Lower Reaches of the Tarim River

ZHU Changming^{1,2}, LI Junli^{2*}, SHEN Zhanfeng^{3,4}, SHEN Qian¹

1. Department of Geography and Environment, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China; 2. Institute of Xinjiang ecology and geography, Chinese Academy of Sciences, Urumuq 830011, China; 3. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The lower reaches of the Tarim River is a region with fragile ecology and significant environmental problems in an arid area of Western China. The local ecological environment has experienced tremendous degradation over the decades, due to water resource deficits from human activities and climate change. In the year 2000, the Tarim River Basin Administration Bureau (TBAB) initiated the Ecological Water Conveyance Project (EWCP) in an attempt to restore the downstream ecosystem. By the end of 2017, 18 water delivery projects had been completed, totaling 6.3 billion m³. Understanding the effect of water delivery on the ecological environment in the lower reaches of the Tarim River is of environmental importance. This paper monitors and analyses regional environmental changes and ecological responses before and after water conveyance from surface water (lakes, rivers and wetlands), groundwater and vegetation cover, using multi-source remote sensing and long-term series data. Wetland information and updated maps were produced using thematic map plaque knowledge transfer technology. Regional wetlands mapping and area change statistics were then completed for the years 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 and 2015. Finally, regional wetland and vegetation change characteristics were analyzed pre-EWCP period (before 2000) and post-EWCP (after 2000). Results indicate that: (1) Pre-EWCP period (1990-2000), the regional ecological environment in the lower reaches of the Tarim River continued to deteriorate (almost half of the swamp wetlands in the basin disappeared and the regional vegetation coverage decreased significantly). (2) Post-EWCP period (2000-2017), the regional ecological environment has been significantly improved. This was indicated by a “V” type reversal in the lakes and

收稿日期:2018-10-01;修回日期:2018-12-18.

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFB0504204);国家自然科学基金项目(41671034,41201460,U1178302)。[**Foundation items:** National Key Research and Development Program of China, No.2017YFB0504204; National Natural Science Foundation of China, No.41671034, 41201460, U1178302.]

作者简介:朱长明(1983-),男,安徽庐江人,博士,副教授,研究方向为遥感信息提取,生态环境遥感以及干旱区水文水资源研究。E-mail: zhuchangming@jsnu.edu.cn.

*通讯作者:李均力(1980-),男,湖北随州人,博士,研究员,研究方向为生态环境遥感和干旱区水文、水平衡研究。
E-mail: ljli@ms.xjba.ac.cn.

wetlands of the basin. In addition, the areas containing medium and sparse vegetation coverage had a significant increasing trend, and the ecological environment of wetland was gradually restored. Furthermore, the long-term dry and shut-off state of the downstream river channel has been changed. In particular, the Tail Lake (Taitema Lake) gradually regained its vitality after 30 years of becoming dry (area reached 147.87 km² in Aug. 2017). This research showed that the EWCP played a key role in the rescue and control of the ecological environment in the lower reaches of the Tarim River and hence, the regional ecological environment is gradually recovering. These findings are critical for environmental effect assessments by the EWCP and future ecological restoration effort in the lower reaches of the Tarim River. They may also provide useful technical support and decision-making references for ecological engineering construction and performance evaluation.

Key words: lower reaches of the Tarim River; ecological environment; remote sensing; ecological water conveyance; dynamic monitoring

*Corresponding author: LI Junli, E-mail: ljl@ms.xjb.ac.cn

摘要:塔里木河下游地区是我国西部干旱区生态环境问题比较突出的区域。本文主要从地表水(湖泊、河流和湿地)、地下水、地表植被覆盖的角度,基于多源遥感和长时间序列数据,监测和分析生态输水前后区域环境变化和生态响应。首先,采用基于知识迁移的专题图斑更新技术,实现了1990、1995、2000、2005、2010和2015年区域湿地遥感制图和植被覆盖度等生态因子指标提取;然后,以2000年为基准(生态输水起始年),结合地下水位观测数据,对比分析了人工生态输水前后区域生态环境动态变化过程。结果显示:①生态输水前(1990-2000年),塔河下游的生态环境持续恶化,流域范围内一半以上的沼泽湿地消失、河道干涸,地下水位下降,区域植被覆盖大幅度下降;②生态输水后(2000-2017年),区域生态环境明显好转,改变了下游河道长期断流状态,区域地下水位明显抬升,地表水域(湖泊和沼泽)面积呈现“V”型逆转增加,区域植被覆盖区和覆盖度均呈现显著增加趋势,曾经一度干涸的塔河尾间台特玛湖水域面积2017年8月达到147.87 km²。以上研究结果综合表明人工生态输水工程对塔河下游生态环境拯救和治理发挥了重要作用,遏制了生态输水前塔河下游生态环境继续恶化局面,流域生态环境正在逐步恢复。

关键词:塔里木河下游;生态环境;遥感;生态调水;动态监测

1 引言

新疆塔里木河流域是中国西部干旱区生态环境典型脆弱区。气候极端干旱,区域的一切活动对河道水资源强依赖——形成有河流水源补给是绿洲、无河流水源补给是荒漠的干旱区典型生态格局。20世纪70年代以来人类生产活动加剧和塔里木河中上游对水资源的过度开发,塔河下游的来水量的不断减少,流域下游生态环境经历了严重的恶化。据资料统计:塔里木河在卡拉水文枢纽的下泄水量,从1957-1967年平均的 $12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 逐步减少到1986-1995年平均的 $2.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1]。尤其是自1972年大西海子水库建成后,导致了下游300余里河道彻底断流,台特玛湖于1974年干涸^[2-3]。此后区域大批胡杨林死去,生态退化严重,塔里木河下游已成为新疆乃至全国生态环境劣变问题最为突出的地区之一^[3-4]。

为了治理和恢复塔里木河流域生态环境,保护塔克拉玛干沙漠和库鲁克库姆沙漠的绿色屏障,自

2000年来,国家实施塔里木河流域近期综合治理,在全流域内实施统一的水量调度,并对下游生态抢救性恢复和保护开展了应急生态输水工程。从2000年5月中旬开始至2017年12月,塔河管理局先后已经对塔河下游进行了18次生态输水,累积生态输水量超过60亿m³。那么,经过多年的生态输水下游的生态响应以及取得的环境效益如何?一直是国内地学、环境和生态学研究的一个热点,也是专家学者关心和关注的一个科学议题^[5-6]。已经有许多学者分别从植被样地调查、胡杨长势、NDVI、地下水、生物量等方面开展了相关的研究和生态效益评估。如陈亚宁等^[3]通过生态断面的植被样地的实地监测,分析生态输水对塔里木河下游的生态效应。李卫红等^[7]通过对天然植被的生长,例如胡杨的叶片、芦苇的高度、宽、重等生物指标,分析生态输水对塔河下游植被的影响范围。盛昊等^[8]采用季节指数法对MODIS-NDVI时间序列分析,定量评价了2000-2005年塔河下游生态输水产生的效应。闫正龙等^[9]根据植被覆盖度等指标参数,研究

了生态输水对塔河下游的影响。李卫红等^[10]通过地下水位、植被数据,定量分析了塔河下游地下水位、生物量的变化。李丽君等^[11]从地表水、地下水的变化的角度探讨了塔河下游生态环境的恢复。邓铭江等^[12]在塔河下游生态环境本地调查的基础上,通过地表水、地下水、土壤水、植被样方等监测,分析并评价了生态调水后植被生理、植被恢复等植被生态响应效益。苏宏超等^[13]利用气象和地面台站观测数据,研究分析了塔河下游生态环境对前七次生态输水的响应等。

从以上研究现状分析可以发现,研究的时间尺度为人工应急生态调水的初期或中期居多,缺少系统监测以及调水前后区域生态系统的变化对比研究与分析。为科学评估人工生态输水对下游生态环境修复的作用与效果,本文借助遥感与GIS技术,以2000年为基准(调水初始年),通过区域地表水资源、地下水和植被覆盖时序监测和调水前后流域生态环境变化对比分析,探讨流域的生态系统变化特征和状态,为塔河下游流域的生态环境保护与恢复、流域水资源分配提供数据支持和决策参考。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

以博斯腾湖以下的塔里木河为主要研究区,86.5°E-88.5°E, 39.5°N-41.5°N(图1)。其中大西海子水库至台特玛湖的塔里木河下游河段以胡杨林分布为主,天然植被绿色屏障对阻止塔克拉玛干和库鲁克库姆两大沙漠的合拢,维护218国道的畅通,具有重要的生态意义。该区域也是生态输水的目标区域,为监测下游地下水位的动态,塔管局沿途布设了英苏、喀尔达依、阿拉干、依干不及麻等生态断面和观测井。区域气候极端干旱,降水稀少,风沙多发,年降水量仅20~40 mm,而年平均蒸发量高达2500~3000 mm^[14]。相对于蒸发量来说,区域年降水量基本可以忽略不计,河流水源补给主要是高山冰雪融水。

2.2 数据源

在遥感数据源选择上需要考虑影像时相的一致性和区域水文特征,尽量减少时相和偶然性误差的干扰,保证多期监测结果的可比较性。文章在综合考虑遥感影像最佳获取时时相和数据质量的基

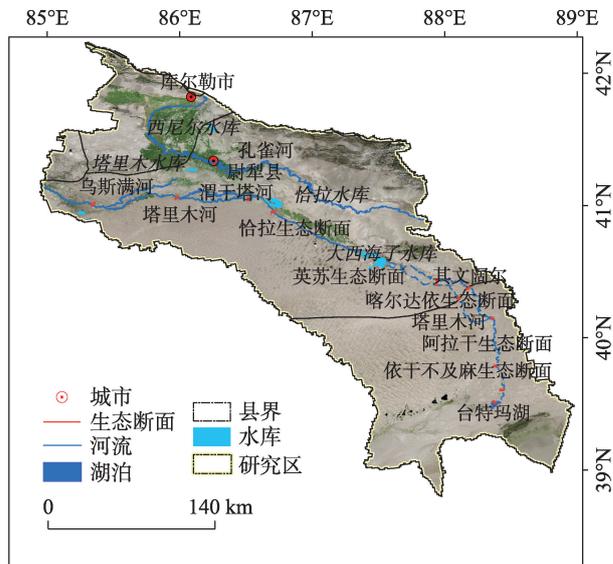


图1 博斯腾湖以下的塔里木河研究区

Fig. 1 Study area location

础上,挑选了1990、1995、2000、2005、2010、2015年9-10月的Landsat序列遥感影像;局部数据缺失或者受到云层干扰的情况下,采用了临近时相的其它卫星影像替代,如CBERS/HJ。台特玛湖的近期水域面积监测使用了2017年的Sentinel-2卫星影像。遥感影像数据下载自地理空间数据云和中国资源卫星应用中心^[15-16];地下水数据来自塔管局和文献资料整理^[17]。遥感数据预处理主要包括辐射校正、几何校正和统一投影坐标系统。由于需要统计面积变化,文中将卫星遥感影像统一转为Albert等积圆锥投影。

2.3 研究方法

2.3.1 湿地图斑更新与制图

在已有专题层知识的基础上,采用遥感影像多尺度分割和特征基元构建,通过知识迁移和机器学习技术,实现专题图控制下图斑自动更新^[18-19],详细方法见流程图2所示。

首先,根据2个(T_0, T_1)时期的影像,通过变化检测出2个时期没有发生变化的区域;然后根据 T_0 时期的湿地分类图和 T_0, T_1 时期不变区域,将样本迁移到 T_1 时期影像上,标注分类样本,建立 T_1 时期分类样本数据库;接着进行机器分类。将 T_1 时期分类样本,一半用于SVM机器训练一半用于精度检验,通过10倍交叉验证,完成SVM模型训练($c=0.8, g=0.039$);最后对 T_1 时期影像分类与后处理。通过目视解译补判,检查错分和漏分的对象。其中对于

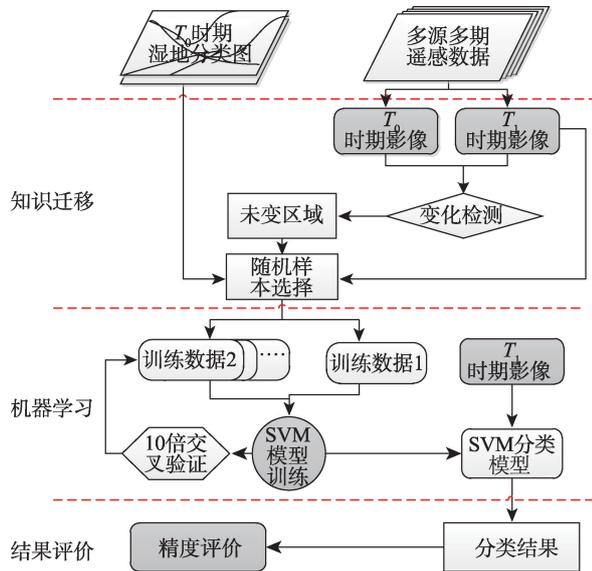


图2 基于专题图知识迁移的湿地图斑更新流程
Fig. 2 Map of updated wetlands based on thematic knowledge transfer

水域部分,河流、湖泊和水库的混合比较严重,主要由人工完成区分。

2.3.2 湿地景观动态度计算

动态度模型将湿地生态景观因子的整体作为研究单元计算其年变化率,反映各个类型的变化程度,大于0表示面积增加,小于0表示面积减少,进而分析其变化情况。动态度的计算公式为^[20-21]:

$$DC = \left(\frac{U_a - U_b}{U_b} \right) / T \times 100\% \quad (1)$$

式中: T 为时间跨度; DC 为湿地变化动态度; U_b 为前期的湿地面积/ km^2 ; U_a 为后期湿地面积/ km^2 。

3 结果及分析

从湿地遥感分类图可以直观看出,近30年来该区域的湿地生态景观类型发生了巨大的变化(图3)。主要体现在湖泊和河流水体分布,沿河沼泽,植被覆盖度等。通过对比6期湿地专题分布图最明显的变化是:2000年以后大西海子以下的塔河河道干涸断流的状况得到明显改善,从2005年卫星遥感解译图上河道基本上已经畅通;此外,台特玛湖出现较大面积的水域。

3.1 流域湿地时序动态

从塔河下游湿地面积统计数据可以看出,不同类型的湿地变化方式和变化幅度各有差异(图4)。在时间变化过程上,河流湿地以2000年为拐点,呈

现逐年增加的趋势;流域湖泊和沼泽湿地的拐点相对滞后,呈现扭亏为盈的“V”型变化过程。

在响应时间上湖泊和沼泽增加较河流有个滞后性,拐点可能发生在2005年左右(具体受观测时间尺度影响)。从1990–2000年,流域沼泽湿地沼泽面积由285.59 km^2 减小到67.09 km^2 ,大量的沼泽湿地在这段时间消失;而从2005年到2015年沼泽面积由67.09 km^2 增涨到182.86 km^2 ,反映了沼泽湿地面积持续减少得到了遏制,并且逐步恢复。以上遥感监测数据表明,通过塔河的综合治理工程,对塔河下游的18次人工生态调水,湿地长期萎缩局面初步得到遏制并呈现增涨趋势,有效地保护并恢复了区域生态环境。

3.2 台特玛湖水域与地下水埋深变化

通过2017年8月29日的Sentinel-2数据遥感影像和对应区域的2000年9月18日的TM遥感影像比较发现,塔里木河尾间湖—台特玛湖水域面积增加非常明显,与此同时周边植被得到很好的恢复(图5)。通过对2期影像的水域分布提取,统计结果表明:2000年9月台特玛湖水域面积只有4.81 km^2 ;2017年8月底湖泊水域面积为147.87 km^2 ,增加了143 km^2 。从英苏、喀尔达依和依干不及麻3个生态断面的平均地下水埋深数据看(图6,见第451页),生态输水前地下水位处于下降趋势,2000年前平均埋深在-9 m以下,且越到下游地下水埋深越深;生态输水后塔河下游的地下水位有了明显提升,观测井平均地下水埋深约为-6 m左右,且3个生态站点观测的地下水位变化趋势基本一致。

3.3 区域景观动态度变化分析

生态调水前后区域景观动态度(表1)。从表1中可以看出:生态调水前(1990–2000年),流域的水域面积(包括河流和湖泊)以年平均2.9%的速度减少,沼泽湿地的面积以年平均5.35%的速度减少,稀疏(低)植被覆盖区以年平均5.54%的速度减少,中等植被覆盖区以年平均6.33%的速度减少。生态调水后(2000–2015年),流域水域面积以年平均11.01%的速度增加,沼泽湿地的面积以年平均1.09%的速度增加,稀疏植被覆盖区以年平均1.71%的速度增加,中等植被覆盖区以年平均7.4%的速度增加。流域河流和湖泊等已经基本得到恢复,地表水域面积达到并超过1990年的水平,沼泽湿地正在逐步复苏。以上统计数据进一步说明了通过生态

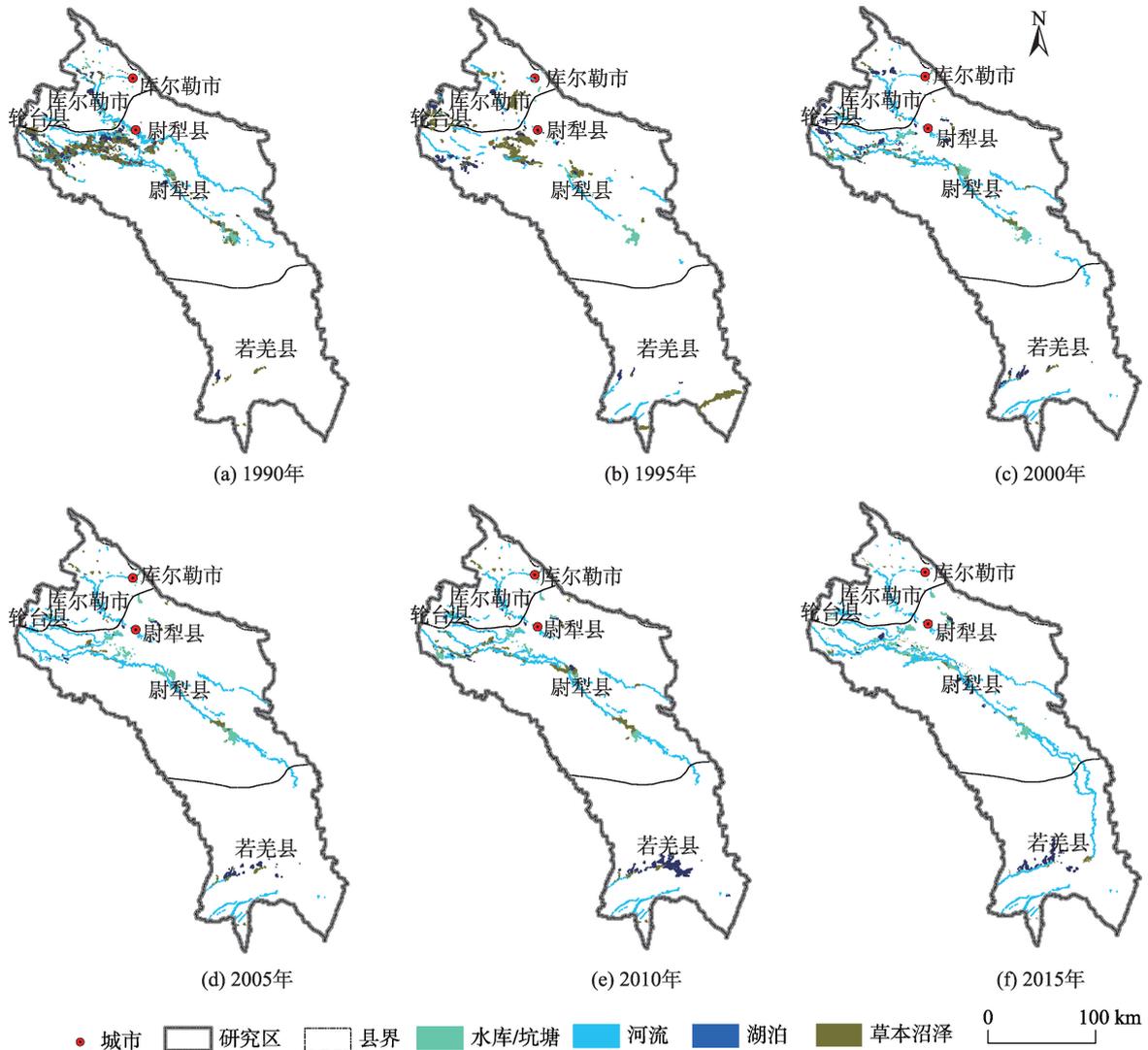


图3 塔里木河下游湿地分布遥感制图

Fig. 3 Wetland maps over six time periods using remote sensing in the lower reaches of the Tarim River

输水有效地遏制了塔河下游生态环境退化。

4 结论与讨论

本文主要从地表水(河流、湖泊和湿地)、地下水以及植被覆盖度的角度,基于多源遥感影像和生态断面地下井水位观测数据,序列监测和对比分析了生态输水前后塔里木河下游区域环境变化,客观评价了生态输水取得的生态效应。研究表明:自2000年人工生态输水以来,塔河下游的生态环境得到了明显的改善,生态调水对区域生态环境的拯救和治理起到了积极的作用,各项生态指标均呈现显著转变。

(1)生态输水前(1990–2000年),河道断流,地

下水位持续下降,各类监测生态环境指标均在退化。区域地下水平均埋深低于 -9 m ,已经不能满足干旱区植被正常生长和繁殖所需的最低地下水位。1990–2000年流域范围沼泽湿地面积、中等植被覆盖区以及稀疏植被覆盖区面积减少了一半以上;流域河流、湖泊等水域面积减少了近 $1/3$;塔河下游流域的生态环境每况愈下。

(2)生态输水后(2000–2017年),历经18次的生态输水,流域生态环境得到明显改善。流域湖沼湿地面积呈现“V”型逆转,遏制了2000年前流域湿地持续萎缩状态;改变了下游河道长期断流的历史,一度干涸的塔河尾间湖——台特玛湖重现大面积水域,2017年8月水域面积达到近 150 km^2 ;近河道地下水水位平均埋深从 -9 m 抬升到 -6 m 左右,中

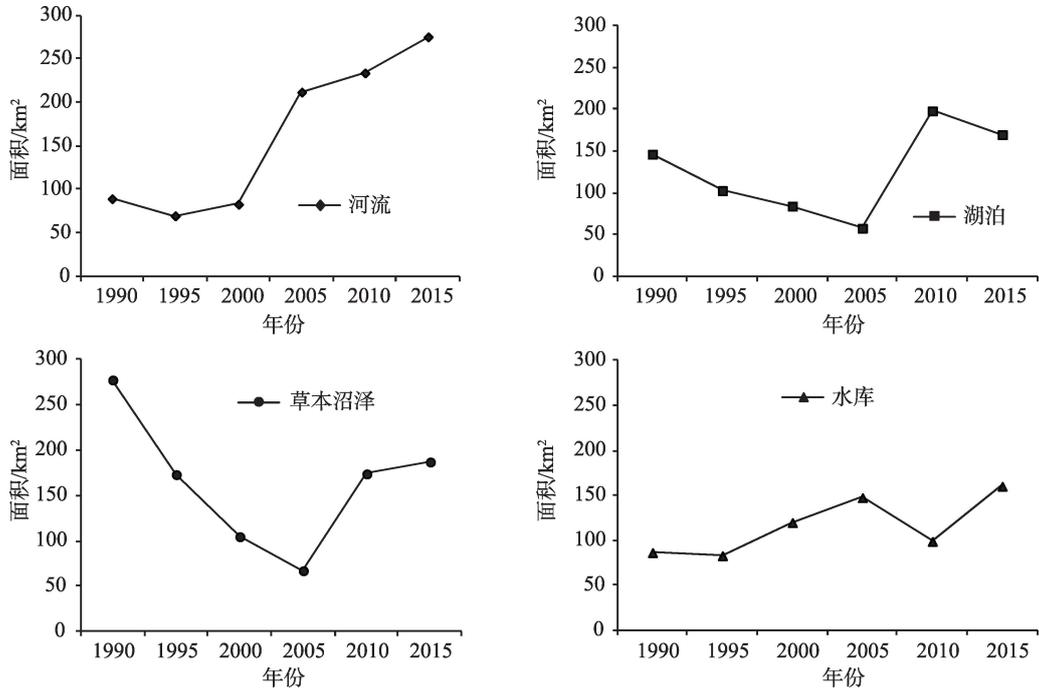


图4 塔里木河下游不同类型湿地面积变化曲线

Fig. 4 Area changes of various wetlands in the lower reaches of Tarim river

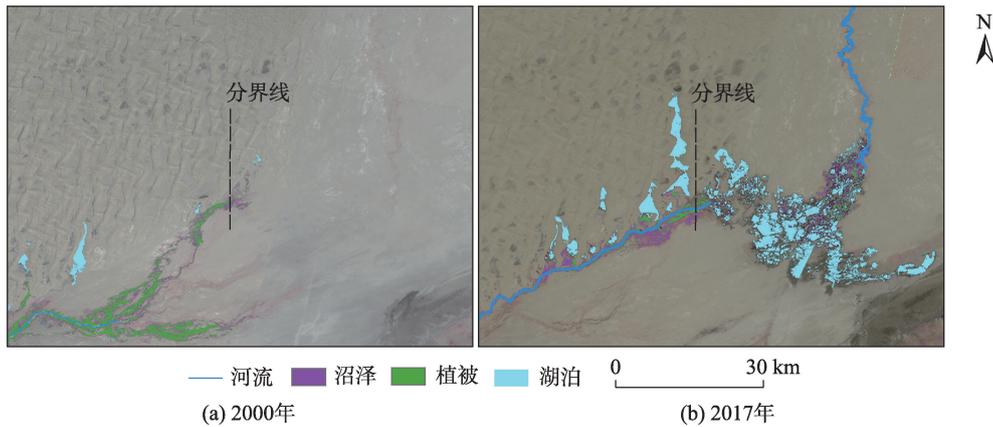


图5 2000-2017年台特玛湖水域面积变化对比

Fig. 5 Change in water area of the Taitema Lake between 2000 and 2017

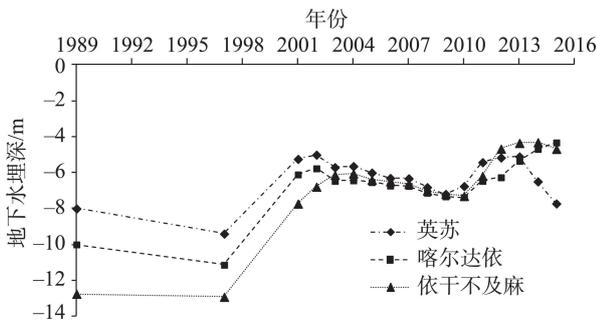


图6 生态输水前后地下水位变化

Fig. 6 Variation in groundwater depth at different depths

等植被区和稀疏植被区面积均呈现显著增加趋势。这一方面表明了流域水文过程的完整性得到恢复,另一方面反映了区域生态环境的好转^[22]。

以上结果综合表明生态输水对区域生态环境的拯救和恢复取得了显著的成效,扭转了2000年以前塔河下游生态环境持续恶化的局面。但是,从景观生态看目前主要增加的湿地多是临时性水域面积,发挥的生态功能效应有限;区域的沼泽湿地增长具有一个明显的时间滞后性,且恢复缓慢,所以塔河下游生态系统保护和修复还需一个长时间的过

表1 生态输水前后塔里木河下游流域地表覆被景观变化动态度
Tab. 1 Dynamic change to the landscape in the lower reaches of the Tarim River

	1990-2000年				2000-2015年			
	水域面积	沼泽面积	低疏植被	中等植被	水域面积	沼泽面积	低疏植被	中等植被
变化值/km ²	-68.38	-1528.87	-11007.05	-741.48	184.17	144.23	1513.50	317.93
动态度/%	-2.90	-5.35	-5.54	-6.33	11.01	1.09	1.71	7.40

注:结合区域植被特征将流域干旱区的植被分为:低疏植被覆盖区(FVC 5%~20%)和中等植被覆盖区(FVC 20%~50%)。

程。由于塔河下游的水量完全依靠中上游来水的补给,而维系这条生态河流的正常健康持续发展,需要一个科学合理的年生态需水量保障,因此必须从整个流域的角度考虑水资源的统一合理调配,进而维持、巩固和加强生态恢复已经取得的成效。

参考文献(References):

- [1] 孙涛,李纪人,杜龙江.塔里木河下游应急输水前后生态变化遥感监测分析[J].中国水利水电科学研究院学报,2004,2(3):179-184. [Sun T, Li J R and Du L J. Remote sensing monitoring of ecological changes of lower Tarim river before and after the emergent water-transportation [J]. Journal of China Institute of Water Resource and Hydropower Research, 2004,2(3):179-184.]
- [2] Hai-Liang X U, Mao Y E, Ji-Mei L I. Changes in groundwater levels and the response of natural vegetation to transfer of water to the lower reaches of the Tarim River [J]. Journal of Environmental Sciences, 2007,19(10):1199-1207.
- [3] 陈亚宁,张小雷,祝向民,等.新疆塔里木河下游断流河道输水的生态效应分析[J].中国科学D辑:地球科学,2004,34(5):475-482. [Chen Y N, Zhang X L, Zhu X M, et al. Analysis of ecological effects of water conveyance in the drying up river of the lower reaches of the Tarim River in Xinjiang[J]. Science in China Series D: Earth, 2004,34(5):475-482.]
- [4] 刘宝茹.应急输水工程对塔里木河下游生态环境时空变化影响的遥感监测与分析[J].地理信息世界,2008,12(2):58-63. [Niu B R. The remote sensing monitor study and the analysis and research on effects of emergent water project on vegetation coverage in the lower reaches of Tarim river[J]. Geomatics World, 2008,12(2):58-63.]
- [5] Aishan T, Ümüt Halik, Cyffka B, et al. Monitoring the hydrological and ecological response to water diversion in the lower reaches of the Tarim River, northwest China[J]. Quaternary International, 2013,311(9):155-162.
- [6] Tao H, Gemmer M, Song Y, et al. Ecohydrological responses on water diversion in the lower reaches of the Tarim River, China[J]. Water Resources Research, 2008,44(8):853-861.
- [7] 李卫红,陈亚鹏,张宏锋,等.塔里木河下游断流河道应急输水与地表植被响应[J].中国沙漠,2004,24(3):301-305. [Li W H, Chen Y P, Zhang H F, et al. Response of vegetation to water input at lower dry Tarim river[J]. Journal of Desert Research, 2004,24(3):301-305.]
- [8] 盛昊,李均力,杨辽,等.MODIS-NDVI时序数据分析方法研究——以塔里木河下游第七次秋季输水为例[J].干旱区地理,2007,30(2):251-257. [Sheng H, Li J L, Yang L, et al. MODIS-NDVI time series method--a case study on the 7th autumn ecologic water conveyance in the lower reaches of Tarim river[J]. Arid Land Geography, 2007,30(2):251-257.]
- [9] 闫正龙,黄强,牛宝茹,等.应急输水工程对塔里木河下游地区植被覆盖度的影响[J].应用生态学报,2008,19(3):621-626. [Yan Z L, Huang Q, Niu B R, et al. Effects of Emergent water project on vegetation coverage in the lower reaches of Tarim river[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008,19(3):621-626.]
- [10] 李卫红,杨玉海,覃新闻,等.塔里木河下游断流河道输水的生态变化分析[J].中国水土保持,2009(6):10-19. [Li W H, Yang Y H, Qin X W and et al. Ecological changes of water conveyance in dried-up river way in the downstream of Tarim river[J]. Soil and Water Conservation in China,2009(6):10-19.]
- [11] 李丽君.应急输水就塔河下游生态环境影响探讨[J].吉林水利,2010,5(5):48-51. [Li L J. Discussion on the impact of emergency water transferring on the ecological environment downstream Tarim river[J]. Journal of Jilin Water Resources, 2010,5(5):48-51.]
- [12] 邓铭江.塔里木河下游应急输水与生态环境修复监测评估研究[R].中国水情分析研究报告,2011(12):1-16. [Deng M J. Monitoring and evaluation of emergency water transportation to ecological environment restoration in the lower reaches of the Tarim River[R]. Hydrological Analysis Report of China, 2011(12):1-16.]
- [13] 苏宏超,高前兆,王进,等.塔里木河流域第七次应急输水期间径流情势及其对河流生态的影响[J].水资源保护,2011,27(5):83-87. [Su H C, Gao Q Z, Wang J, et al. Run-off regime and its effect on river ecology in Tarim river basin during seventh emergency water supply period[J].

- Water Resources Protection, 2011,27(5):83-87.]
- [14] 陈亚宁,叶朝霞,毛晓辉,等.新疆塔里木河断流趋势分析与减缓对策[J].干旱区地理,2009,32(6):813-819. [Chen Y N, Ye Z X, Mao X H, et al. Dried—up trend of Tarim river and the counter measures for mitigation[J]. Arid Land Geography, 2009,32(6):813-819.]
- [15] <http://www.gscloud.cn/>
- [16] <http://www.cresda.com/CN/>
- [17] 王希义,徐海量,潘存德,等.2000-2014年塔里木河下游地下水补给量及合理需求量[J].水资源保护,2017,33(4):32-40. [Wang X Y, Xu H L, Pan C D, et al. Study on groundwater recharge amount and suitable demand amount in lower reaches of Tarim River from 2000 to 2014[J]. Water Resources Protection, 2017,33(4):32-40.]
- [18] Zhu C M, Zhang X and Huang Q H. Four decades of estuarine wetland changes in the Yellow River Delta based on Landsat observations between 1973 and 2013[J]. Water, 2018,10(7):1-25.
- [19] 吴田军,骆剑承,夏列钢,等.迁移学习支持下的遥感影像对象级分类样本自动选择方法[J].测绘学报,2014,43(9):908-916. [Wu T J, Luo J C, Xia L G, et al. An automatic sample collection method for object-oriented classification of remotely sensed imageries based on transfer learning[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2014,43(9):908-916.]
- [20] 朱长明,李均力,张新,等.新疆博斯腾流域湿地遥感监测及时空变化过程[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(3):954-961. [Zhu C M, Li J L, Zhang X, et al. Wetland mapping and spatio-temporal change analysis: A case study on Bosten basin, Xinjiang[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2013,43(3):954-961.]
- [21] 姜琦刚,崔瀚文,李远华,等.东北三江平原湿地动态变化研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2009,39(6):1127-1136. [Jiang Y G, Cui H W, Li Y H, et al. Study on Dynamic Change of wetland in sanjiang Plain, Northeast Area[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2009,39(6):1127-1136.]
- [22] 邓铭江,周海鹰,徐海量,等.塔里木河下游生态输水与生态调度研究[J].中国科学:技术科学,2016,46(8):864. [Deng M J, Zhou H Y, Xu H L, et al. Research on the ecological operation in the lower reaches of Tarim River based on water conveyance[J]. Scientia Sinica Technologica, 2016,46(8):864-876.]