

文章编号: 1672-3031 (2004) 03-0179-06

塔里木河下游应急输水前后生态变化遥感监测分析

孙涛, 李纪人, 杜龙江

(中国水利水电科学研究院 遥感中心, 北京 100044)

摘要: 本文介绍了塔里木河的水资源和生态恶化现状, 分析了向塔河应急输水的必要性和可行性, 根据3个时相的遥感影像, 从图像解译、分类以及植被指数、植被覆盖度两个主要方面对塔河下游输水前后3年来的生态变化作了定性和定量分析, 对输水效果进行了评价并提出了建议。结果表明: 5次应急输水对塔河下游生态恢复起到了巨大的推动作用, 有效地遏制了生态的继续恶化, 为我国综合治理塔河赢得了宝贵的时间。

关键词: 塔里木河; 应急输水; 遥感监测; 生态变化

中图分类号: X171.1; TP79

文献标识码: A

1 塔里木河概况

塔里木河(以下简称塔河)是我国最长的内陆河, 从它的源头叶尔羌河算起, 全长2300km。主要支流阿克苏河、叶尔羌河、和田河汇合于肖夹克, 肖夹克以下到台特玛湖为塔河干流, 总长1321km^[1]。从阿拉尔至英巴扎为上游, 长度447km; 英巴扎至卡拉为中游, 长度398km; 卡拉至台特玛湖为下游, 长度428km。塔河在卡拉以上的上中游河段, 大体上沿着塔克拉玛干大沙漠的北部, 由西向东; 在卡拉以下的下游河段, 则是沿着塔克拉玛干大沙漠的东边, 由北向南, 成为塔克拉玛干与其东的库木塔格大沙漠的分界线。

塔河干流两岸并不产水, 其水源完全来自发源于四周山区的各支流。据1981~1993年的水文资料, 塔河在阿拉尔站的年均水量是42.99亿m³, 其中阿克苏河提供33.58亿m³, 叶尔羌河0.23亿m³, 和田河9.18亿m³。另外从孔雀河引入2.12亿m³, 因此塔河干流的总水量为45.11亿m^{3[2]}。

2 塔河下游应急输水

塔河两岸过去没有农田, 盛长胡杨、枝柳和草甸, 形成乔灌草的绿色植被带, 是塔里木盆地四周人工绿洲的生态屏障, 下游的南北向河道两岸更是分隔塔克拉玛干和库木塔格两大沙漠的绿色走廊。沿岸分布着8个县市十多个团场, 养育了新疆总人口的44%。随着人类活动的加剧及水资源的过度利用, 自20世纪50年代以来, 虽然各支流的天然来水没有减少, 但由于源流区和干流上中游的用水不断增加, 塔河在卡拉下泄的水量, 从12亿m³(1957~1967)逐步减少到2.7亿m³(1986~1995)。塔河最终从它的归宿台特玛湖萎缩到了现在的大西海子水库, 塔河下游大西海子水库以下河道于1972年断流, 台特玛湖于1974年干涸, 下游320km河道由此消失。

伴随着塔河的萎缩, 河水的减少, 断流正改变着塔河流域特别是下游的生态环境。目前上游依靠拦截塔河的大闸, 将塔河来水几乎全部引入水库, 又从孔雀河修渠引水接济, 才得勉强维持, 即使这样, 水源仍不能得到保证, 而且受下游地区的沙化威胁, 生态环境日益恶化, 植被衰退、土地盐碱

收稿日期: 2004-01-13

基金项目: 水利部科技创新项目(SCX2000-14)

作者简介: 孙涛(1974-), 男, 安徽人, 博士生, 主要从事水文水资源、3S技术应用等方面的研究。

E-mail: sunt@iwhr.com

化、沙尘肆虐、少雨干旱、沙进入退。生态恶化的持续已经引起了国家和新疆维吾尔自治区政府的高度重视，从 1999 年开始实施治理塔河的一系列重大项目，解决水资源的问题是抢救塔河下游不断恶化生态的根本所在。

1998 年以来，博斯腾湖源流开都河来水一直偏丰，使得博斯腾湖水位长期居高不下，在湖水位不断升高的同时，湖面面积也在不断扩大，最大时增至 1700 多 km²，周围及孔雀河沿岸部分地区不同程度的存在着防洪安全隐患，一部分沿湖地带常被湖水淹没。而为抢救塔河下游绿色走廊和生态系统正愁找不到水源，20 世纪 80 年代以来为解决兵团几个团场的农业灌溉问题，建成了连通孔雀河和塔河干流的库塔干渠，这使得向塔河下游应急输水在水源和工程设施方面都成为可能。从 2000 年 5 月中旬开始到 2003 年 6 月，新疆自治区连续 5 次将博斯腾湖水引入塔河下游河道内（5 次输水的详细资料见表 1）。

表 1 塔河 5 次应急输水一览

次号	输水开始时间	输水结束时间	输水量/亿 m ³	输水至大西海子以下距离/km	台特玛湖水面面积/km ²
第一次	2000 年 5 月	2000 年 7 月	1.0	102	
第二次	2000 年 11 月	2001 年 2 月	2.27	216	
第三次	2001 年 4 月	2001 年 11 月	4.0	360（至台特玛湖）	10
第四次	2002 年 6 月	2002 年 11 月	3.3	360（至台特玛湖）	30
第五次	2003 年 3 月	2003 年 6 月	3.3	360（至台特玛湖）	280

3 生态变化遥感监测分析

利用遥感等现代信息技术进行流域下游生态动态变化监测非常必要，通过卫星遥感手段提供准确的流域生态本底数据不仅事半功倍、快速有效，而且在一些无资料地区，对于大范围的变化监测又是不可替代的。为了解输水效果及其对塔河下游的生态影响，中国水利水电科学研究院遥感技术应用中心针对连续 3 年的 5 次应急输水，通过地面实地调查并结合遥感信息资料的分析应用，研究了塔河应急输水，恢复下游河道以后生态改善状况的变化。

研究资料主要包括 Landsat 7 ETM 全波段图像和中巴资源卫星图像。选取 1999 年、2001 年和 2003 年 7 月 3 个时相的图像数据进行分析。其中 1999 年代表应急输水前的情况，2001 年代表输水过程中应急输水对生态环境的影响，2003 年代表输水一段时间后（3 年后）生态环境的情况。由于 2003 年 5 月，Landsat 卫星 7 号星发生故障，不能接收图像，所以 2003 年的图像选用中巴资源卫星代替。

合成后的三幅假彩色影像一方面反映出在应急输水工程实施后，塔河干流下游河道两侧植被有所改善。另一方面，从 2003 年的影像上可以明显看出在部分原先干涸的河道中已经有水，沿河两侧也出现了很多大小不一的湖泊，反映了河流生态的变化。除了通过宏观上定性的观察以外，通过遥感影像的解译结果和植被指数等来定量探讨应急输水对生态环境的影响。

3.1 影像解译和分类 根据卫星遥感 TM 影像，进行土地利用分类解译，分类包括：耕地、林地、草地、水域、城乡、工矿、居民用地和未利用土地。其中林地包括有林地、灌木林和疏林地，草地包括高覆盖度草地、中覆盖度草地和低覆盖度草地，水域包括河渠、湖泊和水库，未利用土地包括沙地、戈壁等。

考虑到输水影响范围有限，经过充分分析，提取从大西海子到台特玛湖之间的塔河干流，然后作缓冲区分析，将其两侧各 10km 的范围作为影像解译的区间，解译结果形成专题图。从分类图可以看出，2001 年与 1999 年的遥感影像相比，林地和草地的面积整体上变化不大，但沿着河道两侧局部范围内的林地面积有所增大（即局部绿色部分增多），2003 年与 2001 年的遥感影像相比，林地和草地的面积整体上变化也不大，沿着河道两侧局部范围内的林地面积增加更为明显。

根据图 1 进行统计得到 3 个时相土地分类面积（表 2），从中可以看出面积的变化，在塔河干流实施应急工程输水后生态环境有所改善，如输水处下游河道两侧 10km 范围内灌木林面积 1999 年为

25.0km²，2001 年增加到 34.9km²，2003 年增加到 44.5km²，疏林地面积 1999 年为 128.2km²，2001 年增加到 130.7km²，2003 年增加到 181.7km²。

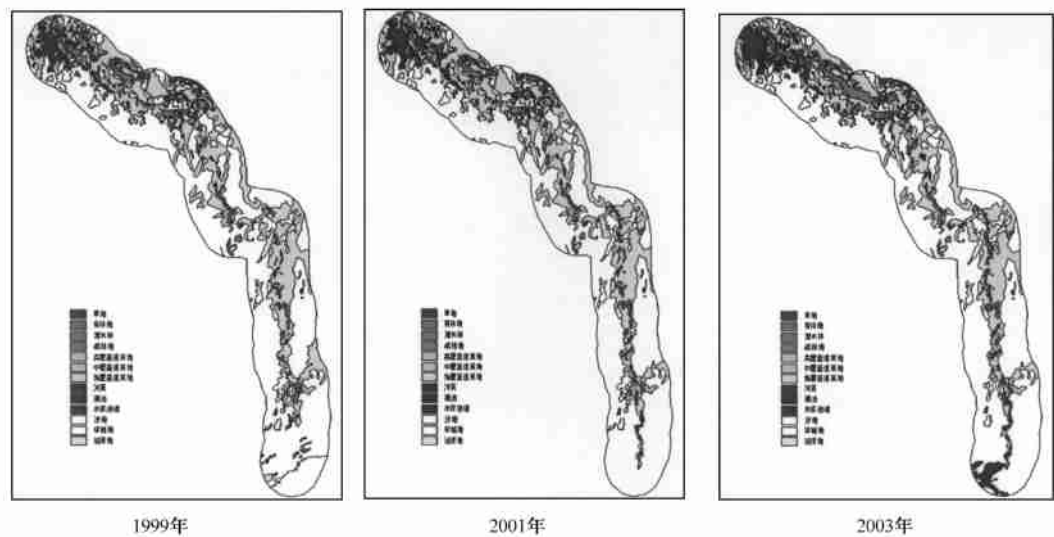


图 1 土地利用分类

表 2 3 个时相土地分类面积变化 (单位: km²)

类型	1999 年	2001 年	2003 年	类型	1999 年	2001 年	2003 年
旱地	5.59	5.59	5.34	河渠	1.32	1.32	6.50
有林地	10.04	10.01	10.04	水库	42.93	47.51	44.48
灌木地	25.04	34.91	44.45	农村居民点	0.29	0.29	0.29
疏林地	128.18	130.65	181.70	沙地	1926.39	2062.72	2026.59
高覆盖度草地	25.73	25.60	22.15	戈壁	363.26	237.85	191.45
中覆盖度草地	56.21	56.82	31.14	沼泽地	16.35	12.70	30.27
低覆盖度草地	964.76	940.11	909.09				

3.2 植被指数及植被覆盖度分析 植被指数 (Vegetation Index) 指从多光谱遥感数据中提取的有关地球表面植被状况的定量数值。通常是用红波段 (R) 和近红外 (IR) 波段通过数学运算进行线性或非线性组合得到的数值，用以表征地表植被的数量分配和质量情况。常用的植被指数有很多种，如 RVI、GVI、DDVI、PVI、EVI 及 NDMI 等。据前人的研究，经综合比较，选用 NDMI (归一化植被指数)。它能更好地适应本地地形区植被盖度稀疏、盖度差异悬殊的区域景观特点，兼之其应用最广，所以运算结果有较好的外延接轨前景，也容易从其他应用效果中取得补充和印证，为长期的脆弱生态环境监测创造了方便条件。

求取 NDMI 前，进行图像数据预处理，包括图像增强、几何配准、特征提取、统计分析等基础性工作。需特别指出的是，由于两种图像的地面、光谱分辨率不同以及动态分析的需要，两个时相的图像各数据层像素间需严格配准，误差必须小于一个像元，经过计算后 NDMI 的值域在 -1.0~1.0，将该值转换成 0~255^[3]。

以 1999 和 2001 年的 NDMI 图像为例 (见图 2)，图像上 NDMI 值沿塔里河下游河道两侧距离近处值较高，反映了植被覆盖较好，而离河道距离较远处，植被覆盖较差，为沙地。

将植被指数应用于资源环境的监测和评价，最好是赋予 NDMI 值以相应的植被覆盖度含义，由于植被指数既反映了特定景观中群落面积同景观总面积的比例关系，也反映了植物群落层片结构的特点，即反映了植被的盖度分布，同时也间接反映了植物的生物量高低。所以把植物指数转化为植被盖度等级，实际上是对植被指数进行综合和简化，对于植被生态景观面积变化的定量评价更为直观。

为达到既不丢失信息少的灰度级，又便于等级划分的目的，先将植被指数直方图按高斯分布统一

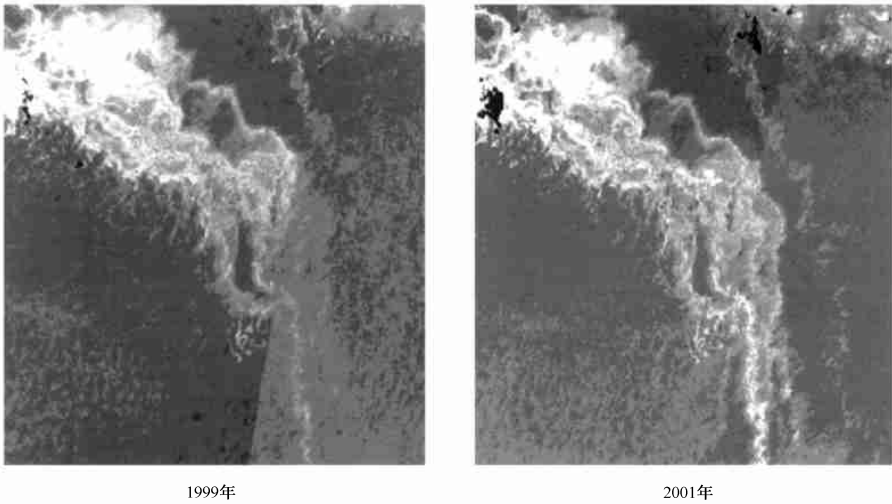


图2 不同时相 NDVI

做直方图规定化图像增强处理,使二者辐射亮度值分布尽可能一致,利用 Erdas 遥感图像处理软件所提供的假彩色编辑功能在屏幕上进行彩色编码,就完成了植被盖度数字图像的编制,供植被生态景观格局质量变化的评价^[4]。

表3的4个等级植被盖度是根据国家《土地利用现状调查技术规程》,全国《草场资源调查技术规程》,《全国沙漠类型划分原则》的有关条款为指导,并结合干旱区绿洲植被特有的生态特征来划分的。

表3 植被指数灰度级与盖度级的对应关系

级次	4级	3级	2级	1级
灰度值区间	0~ 10	10~ 45	45~ 90	> 90
盖度区间	< 5%	5% ~ 30%	30% ~ 60%	> 60%
盖度等级	劣	差	中	优

表4 塔河下游河道两侧 10km 范围内植被覆盖分类面积 (单位: km²)

分类	1999 年	2001 年	2003 年
劣	2659. 95	2373. 04	2282. 26
差	266. 29	234. 03	540. 30
中	12. 10	18. 49	92. 12
优	2. 40	3. 20	25. 03

注:统计范围为大西海子水库以下至台特玛湖之间。

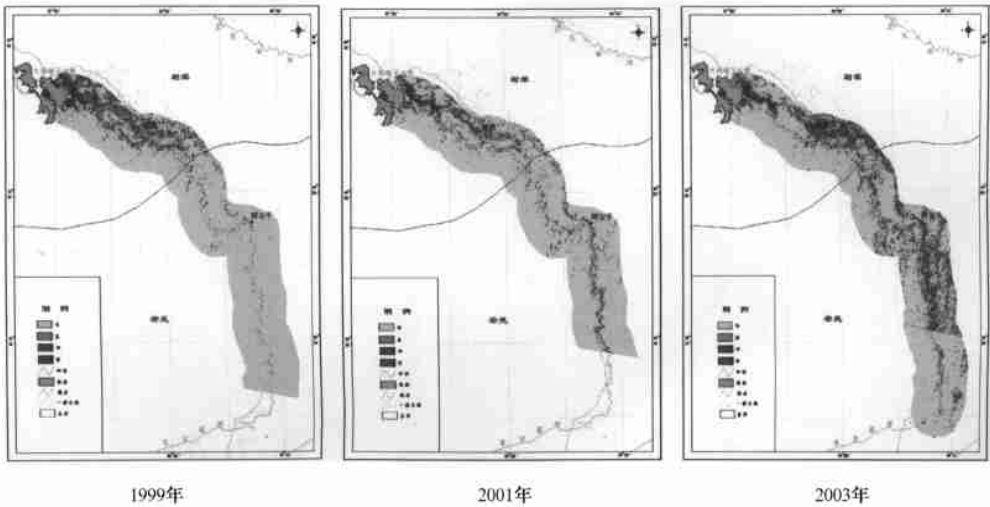


图3 不同时相植被盖度

从图3可明显看出,2001年与1999年相比,提供输水水源的大西海子水库以上区域,生态状况变化不大,这是因为应急输水没有对这些区域造成影响。塔河干流下游河道两侧植被明显好转,其中

靠近大西海子水库以下区域植被覆盖多由差变为中,再往下游河道两侧多由劣变差,植被覆盖情况明显好转。2003 年专题图与 1999 年和 2001 年相比,植被覆盖继续好转,河道两侧一定范围内许多区域植被覆盖度由劣或差变为中。

从表 4 也可看出,植被覆盖度劣的面积由 1999 年的 2659.95km^2 降低到 2003 年的 2282.26km^2 ,植被覆盖度差的面积由 1999 年的 266.29km^2 增加到 2003 年的 540.30km^2 。植被覆盖为中的面积由 1999 年的 12.10km^2 增加到 2003 年的 92.12km^2 ,植被覆盖优的面积由 1999 年的 2.40km^2 增加到 2003 年的 25.03km^2 。植被覆盖劣的面积明显下降,而植被覆盖差、中、优的面积明显增大,说明应急输水对生态环境的恢复起到了积极的作用,使植被覆盖情况明显改善。通过时相间生态状况动态变化专题图也可反映出输水河道两侧大部分区域植被明显好转,尤其在下游的下部,应急输水以前河道基本处于干涸状态,大片胡杨林死亡,应急输水工程使沿河两岸更大面积的地表植被得到了滋养,对恢复塔河下游百年前的生态植被将起到加速作用。

4 结论和建议

(1) 遥感作为一种多时相,快捷、及时的数据获取方式在动态监测中发挥了重要的作用,为我们提供了定性甚至定量的分析结果。从图像解译和分类的结果反映了输水后植被和湖泊面积的扩大以及河道长度和宽度的变化。对植被指数和植被覆盖度的分析表明,即使输水后植被在面积上没有大的变化,但是长势明显好转。(2) 从遥感影像分析成果来看,连续 3 年的 5 次应急输水对塔河下游的生态恢复起到了关键的作用,既解除了博斯腾湖的“湖溢”危机,又使塔河下游断流近 30 年的河道恢复流程。在距河道中心 $500\sim 800\text{m}$ 范围,沿河两侧约 800km^2 地下水得到补充,地下水位均有不同程度回升,说明输水效果明显。塔河下游植被因输水后地下水位的抬高而得到一定恢复,据有关部门观测,这对于胡杨林等植物的生长至少可以维持 5 年到更长的时间。塔河输水为人们采取措施来综合治理塔河、全面恢复塔河下游的生态系统赢得了宝贵时间。(3) 鉴于输水带来的良好的生态效果,建议在未来的一段时间内,充分利用博斯腾湖丰水期的水量,节约农业灌溉用水,将多余和节余的水源向塔河下游输水,以进一步恢复绿色走廊,为维护和恢复生态系统继续发挥作用,实现输水的“双赢”。在输水路线的选择及输水量的确定方面不应只限于应急,而是要力促环境趋向良性发展。同时应该看到,因应急输水的水量有限,加之蒸发量大,前 3 次输水补充的地下水位急剧下降,台特玛湖又再次干涸。只靠输水来恢复塔河下游生态是不现实的,解决塔河生态用水的最根本途径是科学治理塔河,采取有效严密的节水和定额用水措施,使塔河恢复全部流程,才是治本之策。

致谢:感谢中国水利水电科学研究院遥感中心李琳、张建立、徐美、付俊娥等人在遥感解译、分类、处理和分析方面提供的大力帮助。

参 考 文 献:

- [1] 高前兆,樊自立.塔里木河流域的环境治理与水土保持生态建设[J].水土保持学报,2002,16(1):11-15.
- [2] 新疆新闻在线[EB/OL].<http://www.xjbs.com.cn/zhuanti/tlmf/th.htm>
- [3] 李本纲,陶澍.一种利用多时相 TM 影像分析地表植被变化的新方法[J].遥感学报,2001,4,(4):295-298.
- [4] 丁建丽,等.基于 NDVI 的绿洲植被生态景观格局变化研究[J].地理学与国土研究,2001,18(1):23-26.

(下转第 188 页)

[8 Rosegrant, Mark W. Ximing Cai, Sarah A. Cline. World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity [M] . International Food Policy Research Institute. Washington D. C, 2002.

Impact of crop structure change on irrigation water demand in the
basins of Yellow River, Huaihe River and Haihe River

LIAO Yong-song¹, HUANG Ji-kun²

(1. Department of Irrigation and Drainage, IWHR, Beijing 100044, China;
2. Center for Chinese Agricultural Policy, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: China is facing serious water shortage problem, which is featured with irrigation water crisis in the Yellow, Huaihe and Haihe river basins in North China. Reduction of crop areas of high consumptive water was previously considered as one of the important methods to solve water crisis. This paper analyzed the impact of crop structure change on irrigation water demand in these regions. It revealed that, if no reform of irrigation water policy is to be adopted, the crop-sown area of these regions would increase even if the country's total sown area would decrease. Restructure of agriculture in these regions would lead to an increase of water demand instead of decrease. The policy of reducing high-water consumptive crops cannot be easily implemented with success unless a new policy for irrigation water would be formulated.

Key words: Yellow and Huaihe and Haihe river basins; crop structure; irrigation water demand
(责任编辑: 吕 斌秀)

(上接第 183 页)

Remote sensing monitoring of ecological changes of lower Tarim River
before and after the emergent water transportation

SUN Tao, LI Ji-ren, DU Long-jiang

(Remote Sensing Application Technology Center, IWHR, Beijing 100044, China)

Abstract: The paper introduced the situation of water resources and ecological deterioration of the Tarim River. The necessity and feasibility of water transportation to Tarim River were analyzed. Based on three remote sensing images at different time, interpretation and classification of images were made. Normalized Difference of Vegetation Index (NDVI) and overlay degree of vegetation were obtained, which were applied to assess the dynamic changes of ecological situation before and after water transportation carried out 3 years ago. It was proved that the emergent water transportations, totally 5 times, had played an import role in ecology recovery as well as in holding back the ecological deterioration of the lower Tarim River, thus winning time for comprehensive remedy of the area.

Key words: Tarim River; emergent water transportation; remote sensing monitoring; ecological changes
(责任编辑: 吕 斌秀)