

基于遥感的塔里木河植被变化规律研究

刘登峰¹, 黄强¹, 林木²

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西省西北旱区生态水利工程重点实验室, 陕西 西安 710048;
2. 中央财经大学 应用数学学院, 北京 100081)

摘要: 随着2000年以来塔里木河下游生态输水的实施, 塔里木河下游的河岸植被得到了一定程度的恢复。基于MODIS遥感数据的NDVI值, 对塔里木河英苏断面2000-2012年的植被变化规律进行了分析。借助这个数据集的高空间分辨率的优势, 选择了离河岸1500m内相邻的6个点进行研究。使用数据集内的质量控制字段从2000-2012年间的296景中筛选出有效数据用于分析。NDVI的序列分析显示, 距河岸1000m以内的C3、C5、C6、C7等4个点的NDVI呈显著的增长趋势, C3点NDVI的平均增长率达到 $5.34 \times 10^{-6}/d$ 。在远离河道的方向上, 从C3到C7的NDVI年平均值逐渐减小。C3、C5、C6和C7点的年NDVI相对增长率平均值在3.33%~1.36%。在分别离河岸1150m和1500m的C8和C9点, NDVI没有显著的变化。生态输水能够对植被有补偿作用的河岸两侧的范围很有限, 生态输水显著改善植被的范围是距离河岸约1000m以内。

关键词: 河岸植被; 植被指数; 干旱区; 遥感数据; 塔里木河

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)04-0032-05

Study on the vegetation dynamic of Tarim River based on the remote sensing data

LIU Dengfeng¹, HUANG Qiang¹, LIN Mu²

(1. State Key Laboratory of Eco-Hydraulic Engineering in Shaanxi, Faculty of Water Resources and Hydro Power, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. School of Applied Mathematics, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China)

Abstract: After the implication of ecological water transfers in Lower Tarim River since 2000, the riparian vegetation in Lower Tarim River is restored. Based on the NDVI of MODIS remote sensing data, the vegetation dynamic at Yingsu in Tarim River from 2000 to 2012 is analyzed. With the help of the advantage of high spatial resolution of NDVI data, 6 contiguous points within the distance of 1500m away from the bank are selected to investigate. The data field of pixel reliability in the data set is employed to screen the valid data from 296 images of 2000-2012. The analysis of the NDVI series suggests that, the NDVI of 4 point, i. e. C3, C5, C6 and C7, within 1000m away from the bank, present notable increasing trend, and the average NDVI increasing rate of C3 is $5.34 \times 10^{-6}/day$. In the direction away from the bank, annual NDVI from C3 to C7 decrease gradually. The average relative increase rate of annual NDVI of C3, C5, C6 and C7 are in the range of 3.33%~1.36%. At C8 and C9, which are 1150m and 1500m away from the bank respectively, the NDVI don't have obvious change. The spatial extent near the river where the ecological water transfers have a restoration effect on the riparian vegetation is limited and the extent where the riparian vegetation is notably restored by the ecological water transfers is within about 1000m away from the river bank.

Key words: riparian vegetation; vegetation index; arid region; remote sensing data; Tarim River

1 研究背景

塔里木河是我国西北一条重要的内陆河。2000

年以来,塔里木河实施流域综合治理,进行了多次远距离生态输水,地下水和植被都得到了不同程度的恢复^[1-2]。在生态输水的过程中,已对塔里木河下

收稿日期:2013-05-16; 修回日期:2013-05-29

基金项目:国家自然科学基金项目(51190093,50939004);水利部公益性行业科研专项(201101049)

作者简介:刘登峰(1984-),男,陕西凤翔人,讲师,博士,主要从事生态水文过程观测与模拟的研究。

游多个断面的地下水位和植被进行了重点的监测,包括英苏、喀尔达依、阿拉干等断面。

有关植被恢复监测的代表性研究包括,李卫红等^[3]和陈亚宁等^[4]使用植物样地调查等方法分析了塔里木河下游输水后地表植被的响应,杨鹏年等^[5]在塔里木河下游三个断面基于样方内胡杨样枝的生长量分析了胡杨林的恢复效应。同时,基于遥感的分析也是一种重要的手段,高凡等^[6]使用1999、2002和2004年共3期夏季遥感数据分析了塔里木河干流天然植被分布面积的变化,Sun等^[7]基于MODIS遥感数据使用生长期的NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)值分析了塔里木河下游的植被变化。而经过对比分析,郭玉川等^[8]建议在塔里木河下游使用MODIS的NDVI进行植被覆盖变化的监测。MODIS的NDVI数据具有空间分辨率高、时间周期短、获取便利及时等特点,是在区域和断面的空间尺度上监测植被变化的重要手段,是样地调查的重要补充,可以用于生态演化的研究^[9]。

本文基于2000-2012年的13年的MODIS遥感数据,使用经过质量控制的NDVI数据,以塔里木河下游英苏断面为对象,研究其植被覆盖的变化规律,同时分析植被在输水条件下的空间变化规律,以此提出植被恢复的建议。

2 数据和研究方法

英苏位于塔里木河大西海子水库以下61 km处,是生态输水的重要监测断面之一。在历次的输水监测中,使用垂直河道方向的一系列地下水监测井监测地下水位^[1]。

本研究采用的NDVI遥感数据来自MODIS/Terra网站。MODIS/Terra网站提供了多种时间和空间精度的植被信息遥感数据。本研究使用的数据集为MOD13Q1数据,其全称是MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V005。MOD13Q1数据是16 d合成,空间精度为250 m。MOD13Q1的数据文件包含了12个字段的数据。本研究使用MRT(MODIS Reprojection Tool)等软件重采样并分析,其中2个字段的数据用于研究,即250 m 16 d NDVI和250m 16 d pixel reliability,分别是NDVI值和数据可靠性。在MOD13Q1数据集中,从2000-2012年共有296景的遥感数据,这296景的数据全部用于研究。

在英苏断面,选择河岸附近垂直河道的横断面

的植被作为研究对象,从遥感影像上提取6个相邻的像元代表河岸横向的植被变化。对6个像元使用地面上的对应站点进行编号,地面站点的位置如图1,分布在河道右岸1500 m远的范围内。其中,数据点C3的坐标是(40.4312°N,87.9409°E),C9点的坐标是(40.4199°N,87.9403°E)。C3、C5、C6和C7是生态水文监测中地下水监测井的位置,C8和C9是本研究中标记的点。

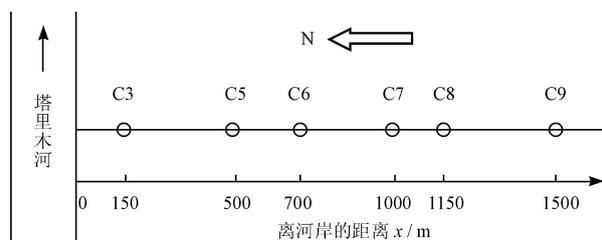


图1 英苏的遥感数据点的位置示意图

对于每个站点的NDVI数据,把NDVI值与时间进行相关分析,研究NDVI的变化趋势。对于逐时段的NDVI,建立日相关关系;对于年平均的NDVI,则建立年相关关系,如下式:

$$y = ax + b \quad (1)$$

式中: y 是NDVI值; x 是时间; a 和 b 是相关分析得到的线性关系的系数。

同时,计算NDVI和时间的相关性,计算得到其相关系数 r ,根据数据点个数显著性水平 α 及相关系数临界值 r_α ,对相关系数进行显著性检验。

3 数据可靠性分析

根据MOD13Q1数据中的质量控制字段,即数据可靠性(250 m 16 days pixel reliability),数据的可靠性标识包括4类,分别是良好数据、有用的临界数据、地面被冰雪覆盖的数据和被云层遮挡的数据。剔除掉标识为地面被冰雪覆盖和被云层遮挡的数据,其他数据为有效数据。各点的有效数据个数和有效数据占数据总数的百分比见表1。

表1 英苏6个点的遥感数据可靠性 个, %

站点	数据点总数	有效数据个数	占总数的百分比
C3	296	248	83.8
C5	296	243	82.1
C6	296	243	82.1
C7	296	243	82.1
C8	296	242	81.8
C9	296	245	82.8

各点的有效数据所占的百分比都高于81.8%,

而且在各年分布均匀,不存在长时段缺少数据的现象。有效数据可以反映植被覆盖度的变化过程,使用有效数据进行各点植被变化的分析计算。

4 结果分析

4.1 NDVI 的逐时段植被变化规律分析

塔里木河英苏断面的 6 个站点的 NDVI 的变化过程如图 2 所示。C3 点所在网格紧邻河岸,植被恢

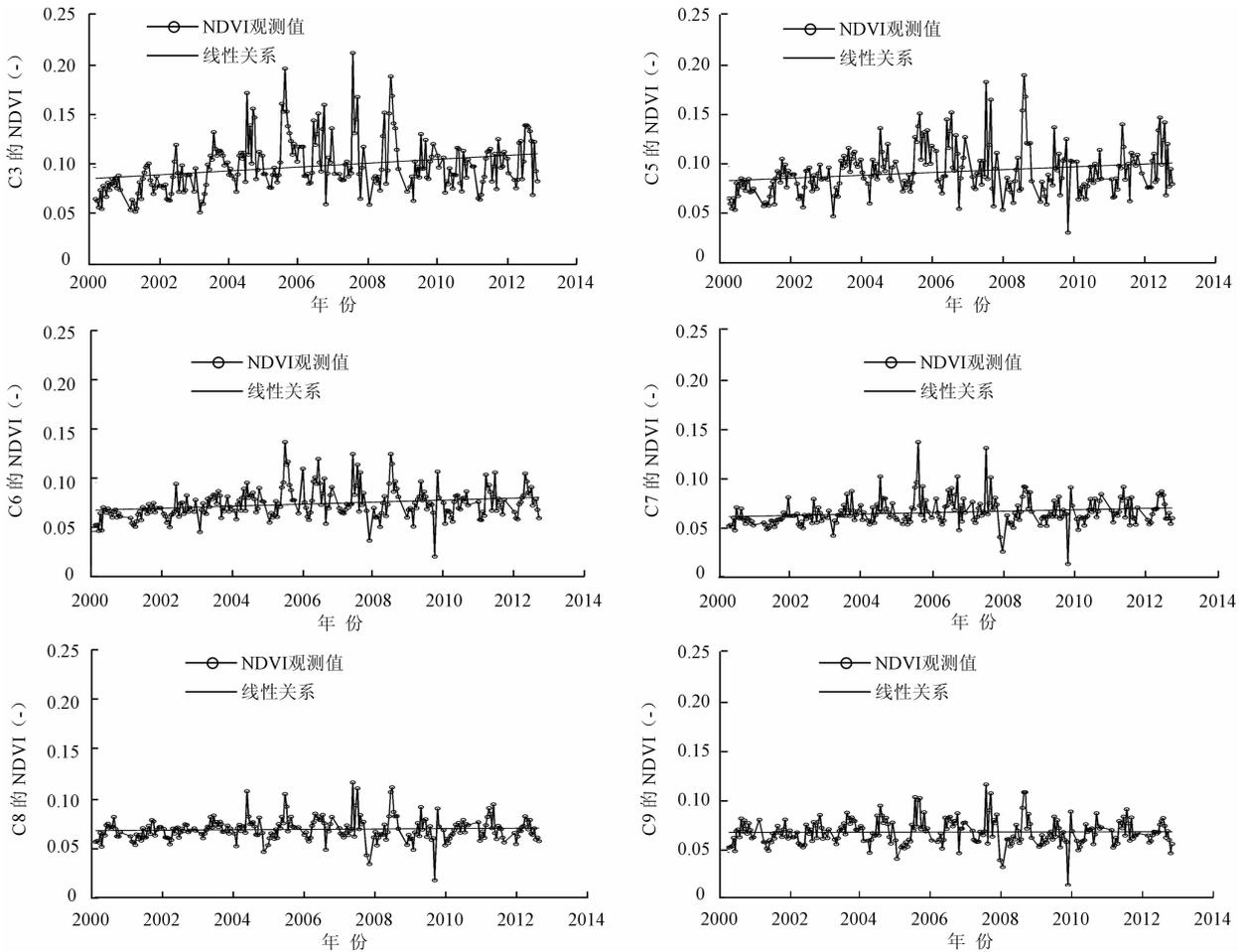


图2 英苏6个点的NDVI逐时段变化过程

为了便于建立 NDVI 与时间的相关关系,把 2000 年 1 月 1 日记为第 1 天,逐日编号,至 2012 年 12 月 31 日记为第 4749 天。把各站点的 NDVI 值与对应日的天数进行相关分析,相关分析的结果见表 2。对于 C3、C5、C6 和 C7 点,相关系数 r 为 0.270 - 0.193。根据各点的有效数据个数查出相关系数临界值,这 4 个点的相关系数 r 都通过了显著性水平 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。这 4 个点的线性关系的斜率均为正值,说明整体上这 4 个点的 NDVI 在这 13 年间随着时间呈现增加的趋势,在生态输水的背景下植被状况得到改善。根据相关分析结果,C3 点的

复的程度最大,NDVI 整体上呈增大趋势,最大的 NDVI 达到 0.217,NDVI 年内的季节性变化过程很明显,年内的变化幅度很大。随着距河岸距离的增大,NDVI 的变化幅度减小,整体的增长趋势减小。各点的年内季节性变化过程都普遍存在。在距离河岸 1 150 m 的 C8 点和距离河岸 1 500 m 的 C9 点,NDVI 值基本不受生态输水的影响。

平均增长率达到 $5.34 \times 10^{-6}/d$,随着离河岸的距离的增大,增长率减小,在离河岸 1 000 m 的 C7 点,增长率是 $1.93 \times 10^{-6}/d$ 。

对于 C8 和 C9 点,相关系数分别是 0.0653 和 0.0151,没有通过显著性水平 $\alpha = 0.10$ 的显著性检验。C8 和 C9 点的 NDVI 整体在 2000 - 2012 年的 13 年间没有明显的增加或者减少,植被状况没有变化。这说明,生态输水改善植被的范围是距离河岸 1 000 m 以内,超出这个范围后河道输水对生态恢复没有明显作用。

表2 英苏6个点的NDVI序列的线性关系

站点	线性关系的斜率 a/d^{-1}	线性关系的截距 $b(-)$	相关系数 $r(-)$	通过检验的显著性水平 α	相关系数临界值 $r_{\alpha}(-)$
C3	5.43×10^{-6}	0.0885	0.270	0.01	0.154
C5	3.87×10^{-6}	0.0855	0.219	0.01	0.154
C6	2.78×10^{-6}	0.0716	0.241	0.01	0.154
C7	1.93×10^{-6}	0.0650	0.193	0.01	0.154
C8	5.71×10^{-7}	0.0674	0.0653		
C9	1.46×10^{-7}	0.0706	0.0151		

4.2 NDVI的植被年平均变化规律分析

为了消除年内NDVI的波动对植被变化趋势的影响,分别计算各点的NDVI的年平均值,进一步分析植被的变化趋势,各点的NDVI年平均值如图3。NDVI年平均值的最大值出现在2005年的C3点,达到了0.118。在C3点,2000-2005年,NDVI年平均值逐年增大,2006-2008年基本稳定,2009-2010年有所下降,2011-2012年在此上升。2008年塔里木河流域干旱严重而没有向下游输水^[10],2009-2010年NDVI的下降与此有直接关系。而在C5、C6、C7、C8和C9点,NDVI年平均值也呈现出类似的变化过程。

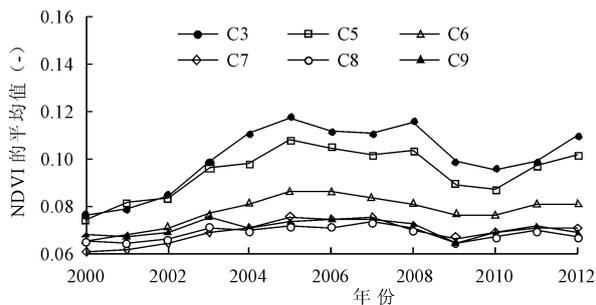


图3 英苏6个点的NDVI年平均值的变化过程

在远离河道的方向上,C3、C5、C6、C7的NDVI年平均值逐渐减小,而C8和C9与C7相比,各年的NDVI差别不大,如图3所示。C8点的NDVI年平均值与C7点相比,相对差别在-6%~7%的范围内,C9点的NDVI年平均值与C7点相比,相对差别在-3%~12%的范围内。所以,在离河岸1000m和1500m的范围内,植被受生态输水的影响很小。这种延河道输水通过河道渗漏补给地下水的线性补水方式限制了生态修复的范围。为了充分发挥生态输水修复生态的作用,需要通过多种方式向河岸外输水,扩大补水的范围。

把各点的NDVI年平均值与年份(2000-2012)做相关分析,计算NDVI年平均值与年份的相关系

数,结果如表3所示。各点都是只有13个数据,查出相关系数临界值。C3、C5、C6和C7都通过了显著性水平 $\alpha = 0.10$ 的显著性检验,对应的相关系数临界值是0.476。对于C8和C9点,NDVI年平均值与年份的相关系数分别是0.196和-0.0145,没有通过显著性水平 $\alpha = 0.10$ 的显著性检验。根据相关分析的结果,对于C3、C5、C6和C7点,线性关系的斜率,也就是增长的速率,分别是 $1.89 \times 10^{-3}/a$ 、 $1.30 \times 10^{-3}/a$ 、 $9.51 \times 10^{-4}/a$ 和 $6.57 \times 10^{-4}/a$,各点呈现明显的增长趋势。C8和C9点的植被状况没有显著变化。

分别计算各点逐年的相对增长率然后取平均值,如表3所示,C3、C5、C6和C7点的相对增长率平均值在3.33%~1.36%的范围内,而C8和C9点的相对增长率平均值分别是0.30%和0.21%。各点都存在相对增长率为负值的情况,即相对上年植被状况下降。其中,在C3点,最大的相对增长率是在2003年达到16.7%,最小值是在2009年,为-14.0%,植被在衰退。

上述是基于遥感数据对植被变化规律的研究,其结果对于生态恢复的定量预测和指导修复计划的制定具有重要作用。

表3 英苏6个点的NDVI年平均值的线性关系 a^{-1} , %

站点	斜率 a	截距 $b(-)$	相关系数 $r(-)$	相对年增长率平均值(-)
C3	1.89×10^{-3}	-3.70	0.538	3.33
C5	1.30×10^{-3}	-2.51	0.501	2.88
C6	9.51×10^{-4}	-1.83	0.565	1.90
C7	6.57×10^{-4}	-1.25	0.530	1.36
C8	1.59×10^{-4}	-2.50	0.196	0.30
C9	-1.20×10^{-5}	0.095	-0.0145	0.21

5 结语

基于MODIS的高精度NDVI遥感数据,本文对塔里木河英苏断面2000-2012年的植被变化规律进行了分析,主要结果如下:

(1)总体上,沿岸植被有所好转,距河岸1000m以内的C3、C5、C6、C7等4个点的NDVI,在2000-2012年间呈现增加的趋势,在生态输水的背景下植被状况得到改善。离河岸1150m的C8和距离河岸1500m的C9点的逐时段NDVI,整体上在2000-2012年的13年间没有明显的增加或者减少,植被状况没有变化。

(2)对于逐时段的 NDVI, C3、C5、C6、C7 等 4 个点 NDVI 与时间的相关系数 r 都通过了显著性水平 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。相关分析显示, C3 点的平均增长率达到 $5.34 \times 10^{-6}/d$ 。随着离河岸的距离的增大, 增长率减小, 离河岸 1 000 m 的 C7 点, 增长率是 $1.93 \times 10^{-6}/d$ 。在 C8 和 C9 点, 相关系数没有通过显著性水平 $\alpha = 0.10$ 的显著性检验。

(3)对于 NDVI 的年平均值, 在远离河道的方向上, C3、C5、C6、C7 的 NDVI 年平均值逐渐减小, 而 C8 和 C9 与 C7 相比, 各年的 NDVI 接近。NDVI 年平均值的最大值出现在 2005 年的 C3 点, 达到了 0.118。C3、C5、C6 和 C7 点的相对增长率平均值在 3.33% ~ 1.36% 的范围内, C8 和 C9 点的相对增长率平均值分别是 0.30% 和 0.21%。

(4)生态输水能够对植被有补偿作用的河岸两侧的范围很有限, 生态输水显著改善植被的范围是距离河岸约 1 000 m 以内, 超出这个范围后河道输水对生态恢复没有明显作用。

参考文献:

- [1] 哈斯木·吐尔逊, 韩桂红, 石丽, 等. 塔里木河下游典型地区地下水位和植被对生态输水的积极响应[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 127 - 133.
- [2] 芦艳玲, 叶朝霞. 塔里木河下游地下水位对生态输水的响应[J]. 干旱区研究, 2012, 29(4): 574 - 578.

- [3] 李卫红, 陈亚鹏, 张宏峰, 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.
- [4] 陈亚宁, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 塔里木河下游断流河道输水的生态响应与生态修复[J]. 干旱区研究, 2006, 23(4): 521 - 530.
- [5] 杨鹏年, 李霞, 董新光. 塔里木河下游生态输水后胡杨林恢复效应与预测研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(4): 52 - 55.
- [6] 高凡, 黄强, 闫正龙. 基于 3S 的塔里木河干流生态水平动态监测及生态需水研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 188 - 194.
- [7] Sun Zhandong, Chang Nibin, Opp Christian, et al. Evaluation of ecological restoration through vegetation patterns in the lower Tarim River, China with MODIS NDVI data[J]. Ecological Informatics, 2011, 6(2): 156 - 163.
- [8] 郭玉川, 何英, 李霞. 基于 MODIS 的干旱区植被覆盖度反演及植被指数优选[J]. 国土资源遥感, 2011(2): 115 - 118.
- [9] Liu Dengfeng, Tian Fuqiang, Hu Heping, et al. Ecohydrological evolution model on riparian vegetation in hyper-arid regions and its validation in the lower reach of Tarim River[J]. Hydrological Processes, 2012, 26(13): 2049 - 2060.
- [10] 牛婷, 李霞, 张绘芳, 等. 胡杨对非确定性输水响应的生态表征[J]. 资源科学, 2012, 34(5): 819 - 826.

(上接第 31 页)

参考文献:

- [1] 穆振侠. 高寒山区降水垂直分布规律及融雪径流模拟研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2010.
- [2] 房世峰, 裴欢, 刘志, 等. 遥感和 GIS 支持下的分布式融雪径流过程模拟研究[J]. 遥感学报, 2008, 7(4): 654 - 662.
- [3] 黄镇, 崔彩霞. 基于 EOS_MODIS 的新疆积雪监测[J]. 冻川冻土, 2006, 28(3): 343 - 347.
- [4] 季泉. 利用 MODIS 资料对积雪的遥感监测[J]. 广西气象, 2005, 26(4): 21 - 22 + 59.
- [5] 黄春林, 李新. HDF - EOS 数据格式在处理空间数据中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(4): 252 - 259.

- [6] 冯学智, 李文君, 史正涛, 等. 卫星雪盖监测与玛纳斯河融雪径流模拟[J]. 遥感技术与应用, 2000, 15(1): 18 - 21.
- [7] 吴宁, 程承旗, 胡雪莲. 应用遥感信息模型理论建立融雪径流模型的初步研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 117 - 119.
- [8] 李宝林, 张一驰, 周成虎. 天山开都河流域雪盖消融曲线研究[J]. 资源科学, 2004, 26(6): 23 - 29.
- [9] 穆振侠. 天山西部山区分布式水文模型的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007.
- [10] 陆平. 基于 MODIS 数据的新疆玛纳斯河流域积雪监测与融雪径流模拟[D]. 北京: 中国地质大学, 2005.