

# 塔里木河下游区域植被时空变化

高庆<sup>1,2</sup>, 艾里西尔·库尔班<sup>1</sup>, 肖昊<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 为了对比生态输水工程实施前后塔里木河下游植被变化, 分析植被对生态输水的时空响应, 基于1986-2017年研究区上方无云的22期Landsat *NDVI*数据, 辅以波动分析、趋势分析, 探索研究区植被的时空变化特征, 并对其驱动因素进行分析。结果表明: (1)空间上, 植被的分布与水资源的分布密切相关, 主要沿河道和积水区域分布。(2)1986-2000年, *NDVI*呈现缓慢下降趋势, 2000-2017年*NDVI*总体呈现波动增加趋势; 植被对生态输水有一定的滞后性, 且与输水量密切相关。(3)研究区*NDVI*时间序列的方差介于0.0077~0.1957间, 存在明显的空间差异, 其波动的大小与植被种类密切相关。(4)1986-2000年, 植被的*NDVI*空间趋势以减小为主, 并主要发生在英苏和老英苏附近; 2000-2017年, 植被的*NDVI*空间趋势以增加为主, 且主要发生在沿河道区域和喀尔达依东侧。

**关键词:** 植被变化; Landsat *NDVI*; 时间序列; 塔里木河下游

植被是地、气系统物质能量交换的主要载体, 是研究地球能量收支平衡及碳、氮、水循环的关键因子<sup>[1]</sup>。植被往往被作为生态环境的重要指标, 人们常常通过植被的变化来研究生态环境的变化。传统的地面台站监测植被变化费时费力, 很难满足大范围监测的要求。遥感的宏观、动态、实时性的数据获取能力, 是监测植被动态变化最有效的方法。对于遥感方式而言, 大多数研究用两个时相或者多个时相, 对比分析各个时期植被的空间位置及面积变化<sup>[2-5]</sup>。这种方法能够从整体上获取植被的空间变化, 但无法获取植被的变化过程, 因而很难描述其变化趋势。为了揭示植被的变化过程, 一些研究者提出了变化轨迹的分析方法<sup>[6-7]</sup>。这种方法虽能描述植被的变化过程, 但当时相数增加时, 其变化的种类迅速增加, 分析难度也随之加大, 因此, 该方法只适合时相数较少的情况。为了描述植被的长时间变化过程, 许多研究者利用长时间的遥感数据, 建立研究区内植被指数随时间变化的曲线, 通过各种指标获取植被的变化信息<sup>[8-12]</sup>。

塔里木河流域位于中国新疆维吾尔自治区南部的塔里木盆地, 是中国最长的内流河, 也是世界五大内陆河之一。它具有不可替代的、支撑整个塔里木盆地自然和人工生态系统水资源保障的重大生态功能。塔里木河下游年降水量常年低于42 mm, 环境极度干旱, 是典型的干旱区, 生态用水主要来自于上游河水。但在20世纪后半世纪, 塔里木河流域由于人类经济和社会活动, 流入下游的水量大量减少, 在1972年大西海子水库建

收稿日期: 2018-07-03; 修订日期: 2018-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31570536)

作者简介: 高庆 (1989-), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 主要从事遥感应用研究。E-mail: gaoqing215@mails.ucas.ac.cn

通讯作者: 艾里西尔·库尔班 (1966-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 副研究员, 主要从事干旱区遥感研究。

E-mail: alishir@ms.xjb.ac.cn

成以后,致使下游321 km河道断流。由于没有河流的补给,塔里木河下游的地下水位大幅度下降,植被大量死亡<sup>[13]</sup>,塔里木河下游的生态环境发生了重大的变化。为恢复塔里木河下游严重受损的生态环境,国家决定从2000年开始向塔里木河下游断流河道实施生态输水工程。自生态输水以来,塔里木河下游地下水显著提升<sup>[14-16]</sup>,土壤湿度增加,植被得到一定程度的恢复<sup>[17-22]</sup>。

为了探究植被的恢复过程及状况,学者们从两个或多个时像对比分析植被的变化,发现塔里木河下游植被有明显的改善<sup>[23-24]</sup>,然而该区域植被生长状况随生态环境,尤其水环境变化而呈现频繁波动,几个时相的对比很难反映植被变化过程,从而也很难分析其变化趋势。为了能够反映出塔里木河下游植被的变化过程,有些研究者基于时间轨迹方法,分析植被的变化过程,发现2000-2005年植被面积呈增加趋势<sup>[25]</sup>,2006-2010年植被面积呈减小趋势<sup>[26]</sup>。这种方法虽描述了植被的变化过程,分析植被的变化趋势,但植被恢复过程是一个长期过程,用几年的时间轨迹分析植被变化趋势是片面的。本文基于Landsat 5的TM数据和Landsat 8的OLI数据,选择1986-2017年研究区上方无云的影像,用NDVI时间序列探索植被的变化过程和波动状况,并以2000年为节点,分析输水前后植被的变化趋势,说明生态输水的生态价值。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究区概况

塔里木河下游位于塔里木河干流的恰拉至台特玛湖河段,此河段位于塔克拉玛干沙漠和库鲁克塔格沙漠之间。该河段所在区域降雨量处于17.4~42.0 mm之间,而蒸发量却高达2500~3000 mm,是全国最干旱的区域之一,植被水分补给主要来源于上游来水。由于恶劣的环境条件,植被主要沿河呈带状分布,主要植被种类有胡杨(*Populus euphratica*)、怪柳(*Tamarix ramosissima*)、黑刺(*Lycium ruthenicum*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、芦苇(*Phragmites communis*)、疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、罗布麻(*Apocynum venetum*)、花花柴(*Karelinia caspica*)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)等<sup>[27]</sup>。

以往研究表明,生态输水后,变化最为剧烈的区域位于大西海子至阿拉干河段所在区域。考虑到时间的连续性,最终将塔里木河下游的部分河段所在区域作为研究区(图1)。该区域主要包含其文阔尔河、老塔里木河两条支流,以及英苏、老英苏、阿布达力、喀尔达依、博孜库勒、吐格买来6个地区。

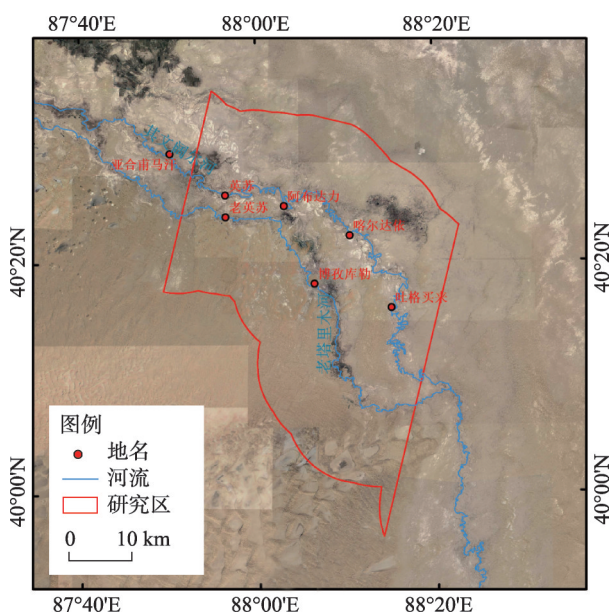


图1 研究区

Fig. 1 Study area

## 1.2 数据来源

研究所用遥感数据为 Landsat 5 TM 和 Landsat 8 OLI 和 MODIS MOD 13Q1。基于 MODIS NDVI 数据, 用 TIC (temporally invariant cluster) 方法<sup>[28]</sup>消除不同时间传感器的响应、大气条件、太阳高度角的差异。TIC 法是假设裸土、水体和建筑物等地物的 *NDVI* 不随时间变化, 其变化是由传感器的响应、大气条件、太阳高度角等差异造成的。这种方法大致分为四步: (1) 得到基准图像与参考图像 *NDVI* 的散点图; (2) 找到散点图中裸土、水体和建筑物密度最大的位置; (3) 基于这些位置用最小二乘回归得到回归方程; (4) 基于回归方程重新计算被校正影像的像元值。

通过以上处理, 得到草本植被、胡杨和怪柳 3-11 月 *NDVI* 变化过程 (图 2)。由图 2 可知塔里木河下游的草本植被、胡杨和怪柳在 7 月初至 8 月底 *NDVI* 处于稳定状态, 因此本研究根据研究区上方云覆盖情况选择 1986 年到 2017 年 7 月、8 月研究区上方完全无云的 22 期 Landsat 5 TM 和 Landsat 8 OLI 数据, 时间分别为 1986 (08/04)、1991 (08/18)、1993 (08/23)、1994 (08/26)、1997 (08/18)、1999 (08/24)、2000 (08/17)、2001 (08/04)、2002 (08/07)、2004 (08/05)、2005 (08/08)、2006 (08/27)、2007 (08/14)、2008 (08/07)、2009 (08/10)、2010 (07/21)、2011 (08/25)、2013 (07/19)、2014 (08/24)、2015 (08/20)、2016 (07/12)、2017 (07/15)。另外, 从塔里木河流域官方网站上 (<http://www.tahe.gov.cn>) 收集了 2000-2017 年生态输水数据, 并收集了塔里木河下游植被分布图。

用 ENVI 5.3 软件对每期的遥感影像数据进行辐射定标, 大气校正, 得到地表反射率。用的近红外波段与红波段计算得到 *NDVI*。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

式中: *NIR* 为近红外反射率; *R* 为红波段反射率。对于 TM 数据, *NIR*、*R* 分别为 B4 和 B3 波段的反射率。

由于传感器的响应、大气条件、太阳高度角的差异, 会使不同时期的 *NDVI* 产生一定的差异, 在进行多期 *NDVI* 比较时, 需要尽量减少这些因素引起的差异。本文以 2008 年 *NDVI* 为参考, 用 TIC 方法, 使各个时期的 *NDVI* 数据一致。本文使用了 Landsat 5 TM 数据和 Landsat 8 OLI 两种数据, 为了使两种数据保持一致性, 用 MODIS *NDVI* 建立 Landsat 5 TM 计算的 *NDVI* 与 Landsat 8 OLI 计算的 *NDVI* 之间的关系, 使各传感器计算的 *NDVI* 具有一致性。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 波动分析

植被变化会引起 *NDVI* 变化, 由图 1 可知 7 月、8 月份研究区各类植被的 *NDVI* 处于稳

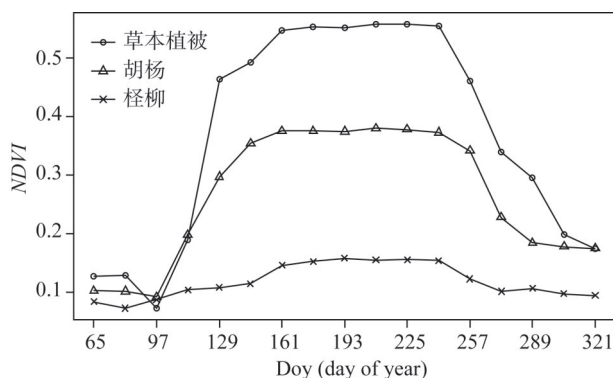


图2 研究区主要植被年内 *NDVI* 变化

Fig. 2 *NDVI* changes main vegetation in the study area during the year

定状态, 本文通过各期  $NDVI$  标准差反映植被的变化剧烈程度。标准差计算公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n NDVI_i - \mu}{n-1}} \quad (2)$$

式中:  $NDVI_i$  为第  $i$  期的  $NDVI$  值;  $\mu$  为  $n$  期  $NDVI$  的均值。  $\sigma$  越大, 说明  $NDVI$  的波动越大;  $\sigma$  越小,  $NDVI$  波动越小。

### 1.3.2 趋势分析

对每个像元的  $NDVI$  时间序列数据进行最小二乘线性拟合, 用方程的斜率来反映植被的变化趋势, 计算公式为:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(NDVI_i - u)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中:  $K$  为斜率;  $x_i$  为年份;  $u$  为平均  $NDVI$ 。

## 2 结果分析

### 2.1 $NDVI$ 空间分布及分析

研究区植被由于受环境因素的影响, 尤其水因素影响, 植被分布呈现复杂的变化趋势, 为了研究植被的总体分布状况, 首先对 1986-2017 年的 22 期数据进行最大值合成 (图 3a)。结果显示, 研究区植被总体沿河道分布, 且随着距河道距离的增加,  $NDVI$  逐渐降低。植被呈现这种分布, 主要是因为随着离河道距离的增加, 地下水位下降和土壤湿度降低所致。在研究区中, 有两个较为特殊的区域分布着大量植被, 一个是英苏上游北岸, 另一个是喀尔达依西侧。在这两个区域出现大量植被, 主要是因为两处地势较低, 形成了大片积水区域, 为植被的生长提供了良好的条件。从图中可以看出, 除了两个特殊的区域外, 植被主要分布在离河道 5 km 的范围内, 将距河道 5 km 区域按照 1 km 的间

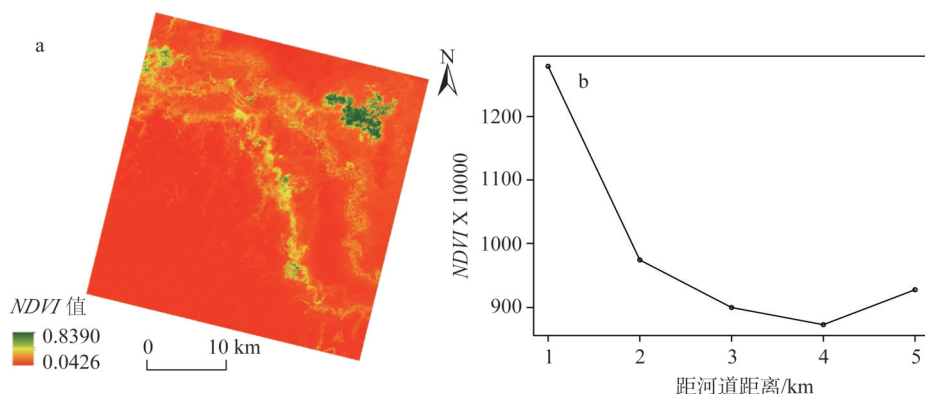


图3 研究区  $NDVI$  空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of  $NDVI$  in the study area



隔划分为5个区域,统计每个区域 $NDVI$ 均值,结果显示,当离河道距离大于1 km时, $NDVI$ 均值大幅下降(图3b),说明植被主要集中在离河道距离小于1 km的范围内。

## 2.2 $NDVI$ 时间变化特征及分析

根据 $NDVI$ 随距离的变化,可得出植被主要分布在距河道1 km范围内。对河道1 km范围内的区域每期 $NDVI$ 数据求均值,结果如图4a所示。在2000年之前,未实施生态输水前,研究区1 km范围内的平均 $NDVI$ 在0.055左右波动,并呈现缓慢下降的趋势。自2000年生态输水以后,植被总体呈增加趋势,但在2000年输水1~2年内植被并没有得到恢复,而是在2002年后研究区植被才有了明显的增加趋势,说明植被对生态输水的响应有一定的滞后性。研究区的 $NDVI$ 在2005-2009年处于较为稳定的状态,但在2009年以后迅速下降,由图4b可知,这是由于2007年、2008年、2009年生态输水量急剧减少,植被所需水分持续得不到补给,造成植被衰退。2010年后,生态输水量大幅度增加,植被得到了大幅度的改善,2012年后输水量开始减小,植被于14年后也随之衰退。由以上结果可以看出植被对生态输水有一定的滞后性,且与输水量密切相关。

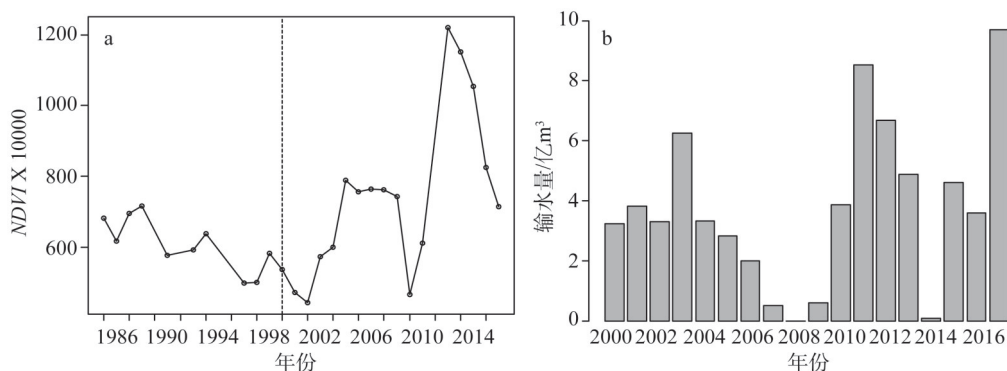


图4 1986-2017年 $NDVI$ 变化及2000-2017年生态输水量

Fig. 4 Temporal variation of  $NDVI$  during 1986-2017 and ecological water transportation volume during 2000-2017

## 2.3 空间波动特征及分析

对研究区每个像元的 $NDVI$ 时间序列按照式(2)计算出标准差( $sd$ ),用这个方差来反映 $NDVI$ 波动强度,从而说明植被的变化强度。结果显示,标准差值介于0.0077~0.1957间, $NDVI$ 变化存在明显的空间差异。具体而言, $NDVI$ 变化主要发生在沿河道区域、英苏上游北岸和喀尔达依西侧(图5)。其变化强度与植被类型密切相关,波动强度较大的区域主要分布着草本植被,胡杨和柽柳波动强度相对较小。这可能是因为草本植被抗旱能力相对于柽柳和胡杨较弱,对水分响应较为敏感。

## 2.4 年际变化趋势的空间特征及分析

为了探究研究区植被的变化趋势,本文用

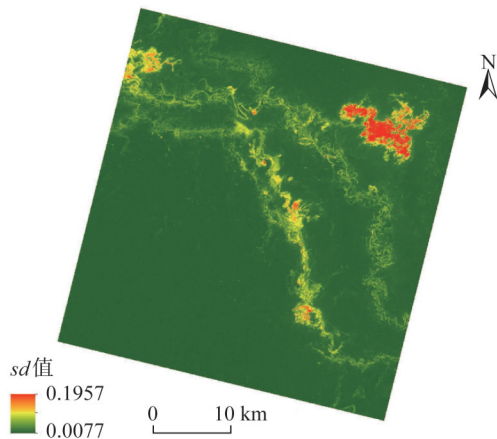


图5 1986-2017年 $NDVI$ 波动强度

Fig. 5 Fluctuation of  $NDVI$  from 1986 to 2017

*NDVI*和阈值提取了植被区域。在这个区域上,对每个像元的*NDVI*时间序列最小二乘线性拟合,用线性方程的斜率来研究植被的变化趋势。为了比较植被在输水前后的变化趋势,本研究以开始输水时间2000年为时间节点,得出了1986-2000年*NDVI*变化趋势空间分布(图6a)和2000-2017年*NDVI*的变化趋势空间分布(图6b)。为研究植被改善程度,得出了1986-2017年*NDVI*变化趋势空间分布(图6c)。根据32年变化的幅度大小,将这些趋势按照斜率值大小划分为快速减少( $K < -0.02$ )、缓慢减少( $-0.02 < K < -0.01$ )、无明显变化( $-0.01 < K < 0.01$ )、缓慢增加( $0.01 < K < 0.02$ )、快速增加( $K > 0.02$ )五个等级。结果显示,1986-2000年,*NDVI*空间趋势以下降为主。英苏与老英苏等离大西海子水库较近的区域植被呈快速下降趋势,离水库较远的河道区域植被呈缓慢减少的趋势,极个别区域呈缓慢增加和快速增加趋势。总的来看,快速减少的区域植被覆盖度较高,且广泛分布着草本植被,缓慢减少的区域主要分布着胡杨和怪柳。这是由于草本植被的耐旱能力较低,持续的断流使地下水位进一步下降,干旱程度进一步加强,使草本植被大量枯死,致使该区域的*NDVI*快速下降。沿河分布的胡杨和怪柳,其根系较为发达,耐旱能力较强,其衰退的过程较为缓慢,因此*NDVI*呈现出缓慢下降的趋势。

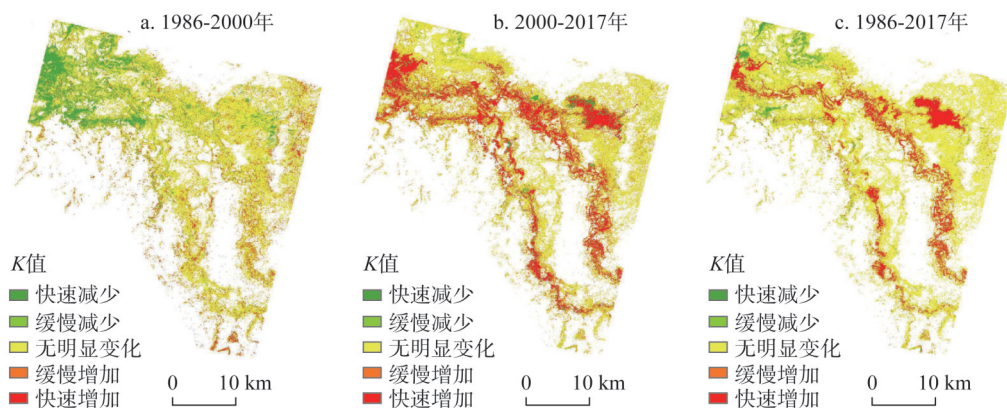


图6 不同时间跨度*NDVI*变化趋势

Fig. 6 Variation trend of *NDVI* in different time spans

2000-2017年,*NDVI*空间趋势相对于生态输水前的趋势发生了重大变化,*NDVI*空间趋势以增加为主,英苏与河道附近区域呈快速增加趋势,特别是在喀尔达依东侧形成了大片植被,生态环境得到了改善。自2000年生态输水后,植被的趋势由衰退到改善,主要是因为塔河下游断流区水环境发生了重大变化,地下水位的上升及河水的漫溢使草本植被迅速生长,胡杨及怪柳的生长状况也得到了极大的改善。

从1986-2017年的趋势可以看出,增加的区域主要集中在沿河道地区和喀尔达依东侧,*NDVI*趋势减少的区域主要集中在英苏上游远离河道的区域。从此可以看出生态输水主要使沿河道附近的植被及低洼处积水区域附近的植被得到了较好的恢复。而远离河道的植被并没有得到很好的恢复,生态输水的生态效益随着距离河道距离的增加而减小。

### 3 结论

研究区常年降水处于17.4~42.0 mm之间,而蒸发量却高达2500~3000 mm,植被所

需水分基本来自于上游来水,由上述分析可得到以下结论:

(1) 研究区的植被分布与水分分布密切相关,主要位于河道两侧1 km范围内和水环境较好的英苏上游北岸和喀尔达依西侧积水区域。

(2) 1986-2000年,植被呈现缓慢下降的趋势,主要是因为长期无水源补给,植被因缺水逐渐衰退。2000-2017年 $NDVI$ 总体呈现波动增加趋势,植被对生态输水有一定的滞后性,且与输水量密切相关。

(3) 研究区 $NDVI$ 时间序列的方差介于0.0077~0.1957间,存在明显的空间差异。其波动的大小与植被类型密切相关。

(4) 1986-2000年, $NDVI$ 的空间趋势以减少为主,并主要发生在英苏和老英苏附近。2000-2017年, $NDVI$ 的空间趋势以增加为主,且主要发生在沿河区域和喀尔达依东侧。从1989-2017年时间跨度来看,沿河道区域和喀尔达依植被得到了恢复,英苏上游北岸远离河道区域及老英苏上游植被还未得到完全恢复。

### 参考文献(References):

- [1] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 北京: 科学出版社, 2012. [ZHAO Y S. Theory and Methods of Analysis of Remote Sensing Application. Beijing: Sciences Press, 2003.]
- [2] 温小乐, 李洋, 林征峰. 海岛建设引发的植被覆盖度变化的遥感分析. 地球信息科学学报, 2017, 19(2): 273-280. [WEN X L, LI Y, LIN Z F. Remote sensing analysis of fractional vegetation cover change triggered by island construction. Journal of Geo-information Science, 2017, 19(2): 273-280.]
- [3] 李超, 赵淑清, 方精云. 1975-2014年福建省植被覆盖变化及其驱动因素. 植物生态学报, 2017, 41(2): 157-164. [LI C, ZHAO S Q, FANG J Y. Vegetation cover change and driving factors in Fujian province between 1975 and 2014. Chinese Journal of Plant Ecology, 2017, 41(2): 157-164.]
- [4] 刘雪梅, 高小红, 马元仓. 2002-2015年青海省不同气候区植被覆盖时空变化. 干旱区研究, 2017, 34(6): 1-9. [LIU X M, GAO X H, MA Y C. The spatio-temporal evolution characteristics of vegetation distribution during the periods of 2002-2015 in Qinghai province, China. Arid Zone Research, 2017, 34(6): 1-9.]
- [5] KHALIYANI A H, FALKOWSKI M J, MAYER A L. Classification of landsat images based on spectral and topographic variables for land-cover change detection in Zagros forests. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(21): 6956-6974.
- [6] COPPIN P, JONCKHEERE I, NACKAERTS K, et al. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(9): 1565-1596.
- [7] LU D, MAUSEL P, BRONDIZIO E, et al. Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(12): 2365-2407.
- [8] 郑艺, 张丽, 周宇, 等. 1982-2012年全球干旱区植被变化及驱动因子分析. 干旱区研究, 2017, 34(1): 59-66. [ZHENG Y, ZHANG L, ZHOU Y, et al. Vegetation change and its driving factors in global drylands during the period of 1982-2012. Arid Zone Research, 2017, 34(1): 59-66.]
- [9] 李秀花, 师庆东, 常顺利, 等. 1981-2001年中国西北干旱区 $NDVI$ 变化分析. 干旱区地理, 2008, 31(6): 940-945. [LI X H, SHI Q D, CHANG S L, et al. Change of  $NDVI$  based on NOAA image in northwest arid area of China in 1981-2001. Arid Land Geography, 2008, 31(6): 940-945.]
- [10] 陈操操, 谢高地, 甄霖, 等. 泾河流域植被覆盖动态变化特征及其与降雨的关系. 生态学报, 2008, 28(3): 925-938. [CHEN C C, XIE G D, ZHEN L, et al. Analysis of Jinghe watershed vegetation dynamics and evaluation of its relation to precipitation. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 925-938.]
- [11] YANG X, LO C P. Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(9): 1775-1798.

- [12] FRASER R H, OLTHOF I, CARRIERE M, et al. Detecting long-term changes to vegetation in Northern Canada using the Landsat satellite image archive. *Environmental Research Letters*, 2011, 6(4). doi: 10.1088/1748-9326/6/4/045502.
- [13] 吐尔逊·哈斯木, 曼尼萨汗·吐尔隼, 韩桂红, 等. 近 50 a 以来塔里木河下游土地沙漠化影响因子分析. *中国沙漠*, 2009, 29(6): 1029-1034. [TURSUN K, MANISAHAN T, HAN G H, et al. Analysis on impact factors of land desertification in lower reaches of Tarim River in past 50 years. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(6): 1029-1034.]
- [14] 徐海量, 陈亚宁, 杨戈. 塔里木河下游生态输水对植被和地下水位的影响. *环境科学*, 2003, 24(4): 18-22. [XU H L, CHEN Y N, YANG G. Effect of translating water on vegetation at the lower reaches of Tarim River. *Environmental Science*, 2003, 24(4): 18-22.]
- [15] 李卫红, 陈永金, 陈亚鹏, 等. 新疆塔里木河下游生态输水对地下水位和水质的影响. *资源科学*, 2006, 28(5): 157-163. [LI W H, CHEN Y J, CHEN Y P, et al. Effects of ecological stream water transfusion on groundwater level and quality in the lower reaches of the Tarim River. *Resources Science*, 2006, 28(5): 157-163.]
- [16] 芦艳玲, 叶朝霞. 塔里木河下游地下水位对生态输水的响应. *干旱区研究*, 2012, 29(4): 574-578. [LU Y L, YE Z X. Response of groundwater level to the ecological water conveyance in the lower reaches of the Tarim River. *Arid Zone Research*, 2012, 29(4): 574-578.]
- [17] 郭辉, 黄粤, 李向义, 等. 基于多尺度遥感数据的塔里木河干流地区植被覆盖动态. *中国沙漠*, 2016, 36(5): 1472-1480. [GUO H, HUANG Y, LI X Y, et al. Dynamic changes of fraction vegetation cover along the mainstream of the Tarim River. *Journal of Desert Research*, 2016, 36(5): 1472-1480.]
- [18] 杨家军, 吐尔逊·哈斯木, 郝永娟, 等. 塔里木河下游生态输水对植被恢复和沙漠化逆转的影响. *水土保持通报*, 2014, 34(4): 323-327. [YANG J J, TURSUN K, HAO Y J, et al. Effects of ecological water transport on vegetation restoration and desertification reversion at lower reaches of Tarim River. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(4): 323-327.]
- [19] 吐尔逊·哈斯木, 石丽, 韩桂红, 等. 塔里木河下游植被和沙漠化对输水前后地下水变化的响应分析. *中国沙漠*, 2008, 28(6): 1033-1038. [TURSUN K, SHI L, HAN G H, et al. Response of vegetation and desertification to groundwater change due to emergency water supply in lower reaches of Tarim River. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(6): 1033-1038.]
- [20] 万红梅, 李霞, 董道瑞, 等. 塔里木河下游植被覆盖变化遥感定量分析. *自然资源学报*, 2013, 28(4): 668-677. [WAN H W, LI X, DONG D R, et al. Remote sensing quantitative analysis on vegetation coverage change in lower reaches of the Trim River. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(4): 668-677.]
- [21] 牛婷, 李霞, 姚晓蕊, 等. 塔里木河下游输水前后 NDVI 差异分析. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 858-864. [NIU T, LI X, YAO X R, et al. The analysis on the NDVI difference before and after water transfer to lower reaches of Tarim River. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 858-864.]
- [22] 王建刚, 李霞, 石瑞花, 等. 塔里木河下游胡杨对输水的生态响应. *自然资源学报*, 2008, 23(4): 619-625. [WANG J G, LI X, SHI R H, et al. Ecological responses of populus euphratica to water supply in the lower of Tarim River. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(4): 619-625.]
- [23] 闫正龙, 汤国安. 塔里木河下游生态应急输水植被恢复的遥感监测. *水土保持通报*, 2005, 25(3): 58-60. [YAN Z L, TANG G A. Remote sensing based monitor of vegetation recovery in lower reaches of Tarim River following implementation of emergent water transportation project. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2005, 25(3): 58-60.]
- [24] 刘华, 陈亚宁, 杨晓明. 塔里木河下游生态响应遥感监测研究. *干旱区地理*, 2007, 30(2): 203-208. [LIU H, CHEN Y N, YANG X M. Monitor of ecological response along lower reaches of Tarim River based on remote sensing. *Arid Land Geography*, 2007, 30(2): 203-208.]
- [25] 段含明, 艾里西尔·库尔班, 玉米提·哈力克, 等. 基于多时相 CBERS/CCD 数据的塔里木河下游植被变化. *干旱区地理*, 2010, 33(2): 263-271. [DUAN H M, ALISHIR K, UMUT H, et al. Vegetation change based on temporal trajectory analysis with Multi-temporal CBERS/CCD data in the Lower Reaches. *Arid Land Geography*, 2010, 33(2): 263-271.]
- [26] 刘桂林, 艾里西尔·库尔班, 玉米提·哈力克, 等. 基于变化轨迹探测的植被景观格局动态分析: 以塔里木河下游生态输水区域为例. *中国沙漠*, 2012, 32(5): 1472-1478. [LIU G L, ALISHIR K, UMUT H, et al. Analysis of vegetation



- landscape pattern dynamics based on trajectory change detection: A case study of ecological water transportation in the lower reaches of Tarim River. *Journal of Desert Research*, 2012, 32(5): 1472-1478.]
- [27] 古丽·加帕尔, 陈曦, 马忠国, 等. 极端干旱区荒漠稀疏河岸林遥感分类研究. *中国沙漠*, 2009, 29(6): 1153-1161. [GULI J, CHEN X, MA Z G, et al. Classification of sparse desert riparian forest in extreme arid region. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(6): 1153-1161.]
- [28] CHEN X X, LEE V L, DON D. A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98: 63-79.

## Spatiotemporal variation of vegetation in the lower reaches of Tarim River

GAO Qing<sup>1,2</sup>, ALISHIR Kurban<sup>1</sup>, XIAO Hao<sup>1,2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** To examine the spatiotemporal variation of vegetation in the lower reaches of the Tarim River, in this study, we use the cloud-free data of Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI to obtain 22 time-series *NDVI* data during the period 1986-2017. We use the standard deviation of the *NDVI* time series to reflect vegetation change and the slope of linear regression equation of *NDVI* time series to reflect the variation tendency of vegetation. The results show that: (1) The distribution of vegetation is closely related to the distribution of water resources, mainly along the river channel and the water logged area. (2) For 1986-2000, the average *NDVI* value in the range within 1 km from the river channel fluctuated around 0.055, and showed a trend of slow decline because of the long-term absence of water supply. For 2000-2017, the average *NDVI* value showed an increasing trend and its fluctuation was closely related to volume and allocation of ecological water transportation. (3) The variance of *NDVI* time series in the study area was between 0.0077-0.1957, and there was obvious spatial difference. Its fluctuation was closely related to vegetation species. (4) The vegetation was in decline, which mainly occurred in the vicinity of Yingsu and old Yingsu during 1986-2000, but the vegetation mainly presented an increasing trend, and occurred mainly in the area along the river and east of Ka'erdayi during 2000-2017.

**Keywords:** vegetation change; Landsat *NDVI*; time-series; lower reaches of the Tarim River