水保监测与应用技术

塔里木河流域植被覆盖变化的遥感监测

管文轲[1], 韦 红[2,3], 钟家骅[2,3], 霍艾迪[2,3], 杜伟宏[2,3], 郑小路[2,3]

(1. 新疆林业科学院, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 长安大学 旱区地下水与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: [目的] 对塔里木河流域植被恢复成效及发展趋势进行定量分析,为流域生态治理提供基础研究依据。[方法] 基于 2007—2017 年 MODIS-MOD13 Q1 多光谱遥感资料,以 EVI(enhanced vegetation index)植被指数为切入点,综合运用 ArcGIS 等软件平台,沿塔里木河两岸设立监测区域并构建植被覆盖度时间序列模型,对塔里木河流域植被的变化规律进行动态监测及趋势分析。[结果] ①塔里木河流域植被覆盖基数低,且不同河段植被状况差异大,2017 年干流植被覆盖度最高仅为 23.56%,上游段植被覆盖最高可达下游段的 3.36 倍,上游植被覆盖度年内极值比达 4.28; ②2017 年塔里木河流域全年植被覆盖水平相比 2007 年无显著差异,其未来的生态环境演变时间序列模型呈现出良性趋势; ③NDVI 指数与 EVI 指数的监测结果无显著差异,但 NDVI 在高植被区易出现饱和现象,在低植被区容易偏低估计。[结论] 塔里木河流域当前植被覆盖保持稳定,未来生态环境有好转趋势,基于 EVI 指数对植被恢复成效的动态监测与定量分析是可行的。

关键词: 塔里木河; 植被指数; 时间序列; 动态监测

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2018)05-0244-05 **中图分类号**: X821

文献参数: 管文轲, 韦红, 钟家骅, 等. 塔里木河流域植被覆盖变化的遥感监测[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 244-248. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.039. Guan Wenke, Wei Hong, Zhong Jiahua, et al. Remote sensing monitoring of vegetation cover change in Tarim River basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 244-248.

Remote Sensing Monitoring of Vegetation Cover Change in Tarim River Basin

GUAN Wenke[1], WEI Hong[2,3], ZHONG Jiahua[2,3], HUO Aidi[2,3], DU Weihong[2,3], ZHENG Xiaolu[2,3]

(1. *Xinjiang Academy of Forestry*, *Urumqi*, *Xinjiang* 830002, *China*; 2. *Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region*, *Ministry of Education*, *Chang'an University*, *Xi'an*, *Shaanxi* 710054, *China*; 3. *School of Environmental Science & Engineering*, *Chang'an University*, *Xi'an*, *Shaanxi* 710054, *China*)

Abstract: [Objective] To analyze the vegetation restoration effectiveness and development trends in the Tarim River basin in order to provide research basis for the ecological management of the basin. [Methods] Based on MODIS-MOD13 Q1 multi-spectral remote sensing data from 2007 to 2017, EVI (enhanced vegetation index) was used as a breakthrough point. ArcGIS software was used and time series models of vegetation cover were constructed to dynamically monitor the vegetation changes in the Tarim River basin. [Results] ①The vegetation coverage of Tarim River basin was low, and the spatial-temporal heterogeneity of vegetation index was large. The highest vegetation cover in the main steam was only 23.56% in July, 2017, while the highest vegetation coverage in the upstream was 3.36 times of that of the downstream section, and the annual maximum ratio of the vegetation coverage in the upper reaches was 4.28. ②There was no significant difference in vegetation coverage between 2017 and 2007 in the whole basin. Time series model showed a positive trend for the future vegetation restoration of the Tarim River. ③There was no significant difference between NDVI and EVI, but NDVI tended to be low in areas with low vegetation coverage, while

收稿日期: 2018-05-08 **修回日期**: 2018-05-21

资助项目: 新疆林业厅科技支撑专项"塔里木河胡杨林恢复研究与示范"(2017-HY)

第一作者: 管文轲(1972—),男(汉族),新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市人,高级工程师,从事荒漠化防治研究。E-mail: 455468441@qq.com。

通讯作者: 霍艾迪(1971—),男(汉族),陕西省西安市人,从事水文与水资源研究。E-mail: 312515396@qq.com。

it tended to be high in areas with high vegetation coverage. [Conclusion] The vegetation coverage of the Tarim River basin remains stable currently. Moreover, the ecological environment will be improved in the future. Dynamic monitoring and quantitative analysis of vegetation restoration effectiveness based on EVI index is feasible.

Keywords: Tarim River; vegetation index; time series model; dynamic monitoring

塔里木河(简称塔河)流域作为西北内陆灌溉规模最大的流域,也是支撑中国科学发展的重要能源、资源战略后备基地,确保沿线林地生态健康是维持干流生态安全和保证区域内绿洲可持续发展的基础[1],而在塔里木盆地这样严酷的自然环境中,以胡杨为主体的荒漠河岸林维系着塔河流域绿洲生态系统的结构完整与稳定,胡杨的生态意义在于防风固沙、水土保持,是维护荒漠地区生态平衡的最关键因素[2]。为此,新疆维吾尔自治区组织实施了塔里木河胡杨林生态保护专项行动,自治区林业厅启动了"塔里木河胡杨林生态恢复研究与示范"行业科技支撑项目,组织相关科研院所围绕塔河流域环境的生态恢复开展创新研究,本文选题即依托于此,旨在通过遥感影像获取生物物理参数(植被指数)而实现对植被恢复等生态工程的成效进行定量分析。目前国内外对于荒漠化地区生态环境的动态监测研究中,为实现定量遥感评估,国内外许多学者采用了植被指数(如 NDVI)开展研究[3-6],植被指数及其变化易于测量,对外界干扰非常敏感且经济可行,是较为理想的综合性指标[7-8]。国内对于中国西北干旱区的研究则更为具体,霍艾迪等[9-10]提出了基于 MODIS 影像数据的沙漠化地区植被覆盖度提取模型,该模型由像元二分模型发展而来,并成功应用于毛乌素沙地植被覆盖度的定量遥感反演;在植被指数的选择上,王正兴等[11],李红军等[12],左丽君等[13],李喆等[14]研究发现相较于广泛运用的 NDVI 指数,EVI 指数进一步地完善了大气校正、减少了土壤噪音的影响,在植被稀疏地区具有较强的识别植被差异的能力,朱林富等[15],杨强等[16]将 EVI 指数应用于重庆等地区植被覆盖变化研究。本文拟综合运用 ArcGIS 10.2,ENVI5.3,SPSS 24.0 等信息处理平台,结合像元二分模型,创新性地采用 2007—2017 年的 MODIS-EVI 数据对塔河干流沿岸的植被覆盖度进行估算,构建植被覆盖时间序列模型进行平稳拟合与外推,从而对塔河流域植被变化趋势作出预测,并利用 NDVI 指数对 EVI 指数监测结果的重现性进行检验,科学分析区内生态恢复的现状及今后的发展趋势,以期为今后塔河流域生态环境治理技术的实践与推广、环境保护决策提供可靠的基础研究依据。

1 试验设计与研究方法

1.1 塔里木河监测区域边界的建立

塔河环绕中国南疆内陆盆地北缘,位于天山山脉南麓与塔里木盆地之间的山前凹陷区,地形西高东低、北高南低;北部受前山褶皱构造抬升而使冲、洪积平原向南延伸,迫使河道南移;南部冲积平原受冲积物和风成沙的堆高,迫使河道北返,因此河道游荡,摆幅达 80~130 km,在天山南坡山麓砾漠带与塔克拉玛干大沙漠之间形成了广阔而深厚的冲、洪积平原,为沿岸植被的生长发育及人类农牧业生产活动提供了良好的水土环境条件,其中以胡杨和柽柳为建群种的荒漠河岸林是阻挡绿洲沙漠化的主要屏障[1]。河道两岸林地是干流植被的主要保护对象,基于 GIS 缓冲区功能可得到缓冲范围内的植被指数数据,提取单位缓冲带内的植被指数平均值[17],以此来反映研究区植被指数的动态变化。本文将缓冲距离定为向南北方向垂直干流河道各延伸 15 km,基本涵盖了塔河干流沿岸植物生长季的植被分布区域,以阿拉尔为干流的起点,英巴扎为上、中游分界点,卡拉为中、下游分界点,台特玛湖为干流终点,塔河流域遥感监测区域总面积 25 575.6 km^2,其中上游段面积10 353.3 km^2,中游段面积 6 703.7 km^2,下游段面积 8 518.6 km^2。

1.2 研究方法

1.2.1 遥感影像的选择 MODIS 中分辨率成像光谱仪是搭载在 EOS 系列卫星 Terra 和 Aqua 上的重要传感器,Terra 和 Aqua 是美国国家宇航局的地球观测卫星,主要任务为对全球大气、海洋、陆地进行周期性观测,由美国 NASA LP DAAC(The land processes distributed active archive center)EOS 数据中心提供观测数据[18],具有全球免费,波段范围广,高时间分辨率,数据接收稳定和数据更新快的优点,更适用于中大尺度的区域动态变化监测[7]。本文采用由 Terra 卫星发布的 MOD13 Q1(16 d 合成的 250 m Terra MOD13 Q1 植被指数集)数据产品,是采用 Sinusoidal 投影方式的三级网格陆地植被数据产品,拥有 250 m 的空间分辨率,每隔 16 d 按照统一算法进行合成,是已经过辐射校正、大气校正等处理的高时相大尺度数据[11,19]。NASA 将全球横向分为

36 个区域(h_0—h_{35}),纵向分为 14 个区域(v_0—v_{13}),时相上以 16 为间隔,全年有 23 期数据;本文采用了 2017 年全年的 12 期和 2007—2016 年每年 6—10 月的 5 期影像数据(每一期对应每 1 月份),并根据研究区域地理位置,每期选择了区域编号为 $h_{24}v_{04}$ 和 $h_{24}v_{05}$ 的两景数据资料进行下载,可覆盖新疆全境,本文共计采用 2007—2017 年 62 期 124 景 MOD13 Q1 影像数据。

1.2.2　*影像与数据处理*　遥感影像的处理包括:首先使用 USGS EROS 数据中心开发的 MRT(modis reprojection tool)投影转换与栅格数据分类提取软件进行预处理;MOD13 Q1 数据经过提取、投影转换处理后,生成了专题栅格数据,其中每个像元都被赋予某种特定的测量值,进而利用 ArcGIS 10.2 进行栅格数据的空间分析,根据赋值栅格为每个区域计算统计数据。

植被覆盖度的估算采用像元二分模型,假设一个像元的地表由有植被覆盖部分与裸土地组成,遥感传感器观测到的光谱信息也由这 2 个组分因子线性加权合成,各因子的权重是各自的面积在像元中所占的比率,其中植被覆盖度可以看作是植被的权重[20];对于栅格数据中的纯植被像元与裸土像元的数据值,利用 ENVI 5.3(the environment for visualizing images)的栅格数据统计工具确定,本文选取置信概率为 99.5%,即累积百分比为 0.25%的为裸土像元,累积百分比为 99.75%的为纯植被像元。对估算结果利用 SPSS 24.0 进行时间序列模型构建与差异显著性检验。

2　结果与分析

2.1　塔里木河不同河段植被覆盖变化特征

选取 3,7,10,12 月作为塔河流域内春夏秋冬四季的典型时段,对 2017 年同时期不同河段地表植被状况进行比较分析(见图 1)。

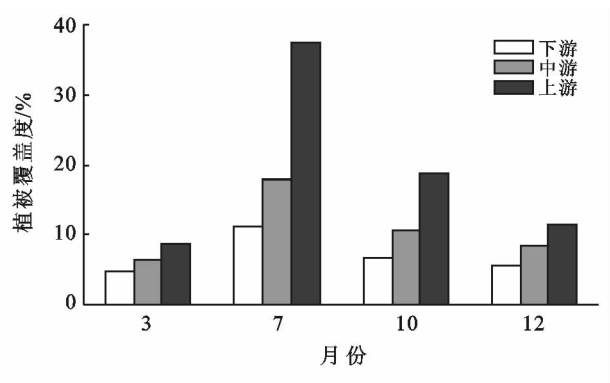


图 1　2017 年塔河流域各河段植被覆盖对比

由图 1 可见,流域内同时期不同河段地表植被状况差距大,其中 7 月上游段植被覆盖度是下游段的 3.36 倍,是中游的 2.10 倍,各河段植被覆盖水平的差距此时达到最大。同河段不同时期植被呈季节性变化,上游段植被覆盖度年内最高值(7 月)至最低值(3 月)降幅达 76.6%。

2.2　塔里木河流域植被覆盖年际变化特征

以塔河流域 2007—2017 年共 11 a 间 6—10 月的影像资料为基础进行逐年比较,此时段涵盖了胡杨的叶期、果熟期(从 5 月末至 10 月初,持续时间长达 141 d[21])与塔河洪水期,具有较高的代表性与研究意义。下文以夏季 7 月(图 2)与秋季 10 月(图 3)为例。

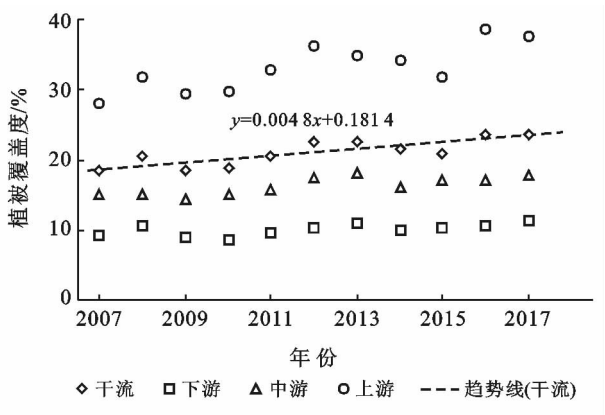


图 2　塔河流域 7 月植被覆盖年际变化

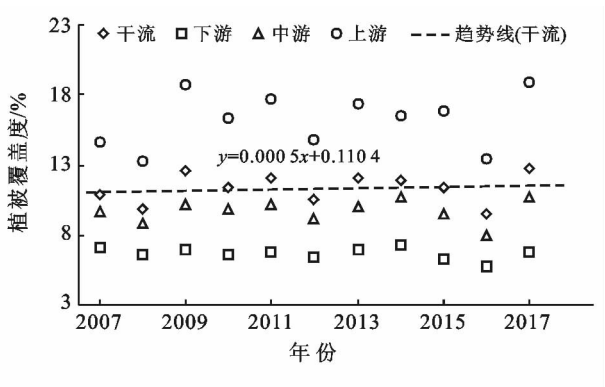


图 3　塔河流域 10 月植被覆盖年际变化

由图 2 可见,塔河干流 7 月植被覆盖年际间变异系数 C_v=9.12%,年极值比是 1.29;2017 年 7 月干流植被覆盖度为 23.56%;对线性回归方程进行显著性检验,得 T=4.466 0,$T>t_{0.025}(9)$,即线性回归显著。同理,对 6,8 月干流植被覆盖度年际变化的线性回归方程进行检验,其线性回归均显著。

10 月,干流植被覆盖年际间变异系数 C_v=9.37%,年极值比 1.34;对线性回归模型进行检验,得 T=0.474 2,$T<t_{0.025}(9)$,则认为 10 月植被覆盖年际变化的线性回归不显著。同理,对塔河干流 9 月

植被覆盖年际变化数据进行线性回归并检验，得 $T=0.155\ 1$，$T<t_{0.025}(9)$，因此 9 月的线性回归模型也不显著。在不同年份间，将 2007 与 2017 年全年各月的植被覆盖度各自比较，得到当前与 10 a 前植被生长状况的直接对比(图 4)。

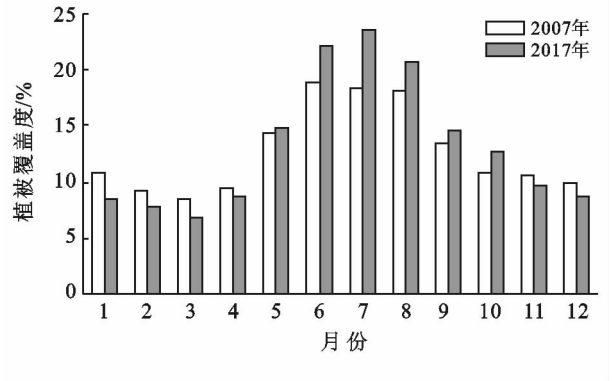


图 4 2007 与 2017 年塔河干流植被覆盖对比

由图 4 可见，2017 年塔河流域植被覆盖度在夏、秋季(5—10 月)均高于 2007 年，同比增幅在 3.84%～28.42%；但在冬、春季，植被覆盖度较 2007 年低。对 2007 与 2017 两组数据进行差异显著性检验，得 $|T|=0.245\ 6$，显然 $|T|<t_{0.025}(22)$，可认为两组数据无显著差异。同理，分别对上游段、中游段、下游段 2017 与 2007 的全年植被覆盖度数据序列进行差异显著性检验，得上游段 $|T|=0.502\ 1$；中游段 $|T|=0.104\ 9$；下游段 $T=-1.294\ 4$，均小于 $t_{0.025}(22)$；可认为塔河上、中、下游植被覆盖水平 2017 年相较于 2007 年均无显著差异。

2.3 塔里木河流域植被覆盖变化趋势预测

植被指数按时间进行记录，其数据序列具有非平稳性与季节性变动特征，运用 SPSS 24.0 中自回归移动平均模型进行平滑处理后的外推结果如图 5 所示。由图 5 可见时间序列模型呈现出良性变化趋势，体现为 2018—2020 年夏季塔河流域内植被覆盖度逐步增加的特点。

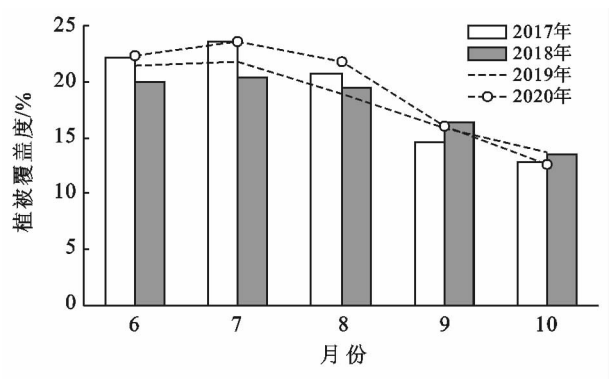


图 5 塔河干流植被覆盖变化趋势预测

2.4 植被指数方差分析

在相同时间、相同地点的监测中，用 NDVI 检验 EVI 监测结果的重现性，比较两种不同植被指数的监测结果是否有显著性差异，由于塔河不同河段地表植被状况差异大，对其分别进行单因素方差分析，以最接近干流平均水平的中游段为例(图 6)。

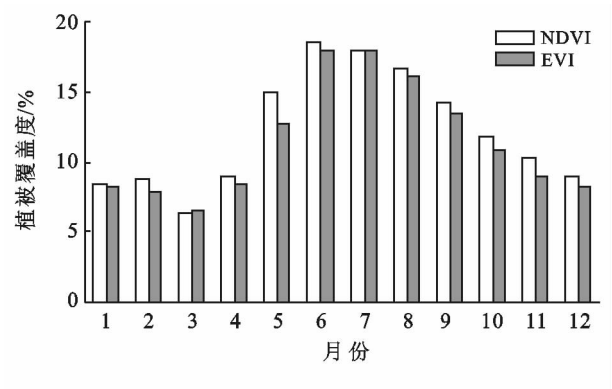


图 6 2017 年塔河中游不同植被指数监测结果对比

由图 6 可见，中游河段两种植被指数监测结果对比呈现出 NDVI 整体偏高，仅在 3 月 EVI 比 NDVI 的监测结果高出 0.10%。通过单因素方差分析，得 $F=0.202$，小于 $F_{0.05}(1,22)$，即认为 NDVI 与 EVI 两种不同的植被指数水平对植被覆盖度的监测结果无显著差异。同理，对上游段分析可得，其 NDVI 的监测结果在 2017 年中有 11 个月的数据略大于 EVI，仅在 7 月 EVI 的结果略微高出 0.03%，经方差分析得出二者无显著差异；对下游段分析可得，其 EVI 有 7 个月相对偏高，偏高的月份分别是 1，3，4，6—8，12 月，经方差分析得出二者无显著差异。

3 讨 论

(1) 植被覆盖是自然因素中对防止水蚀及风蚀荒漠化起直接作用的因素，也是荒漠化监测中至关重要的因子[22]。本文通过遥感影像提取植被指数进行植被监测研究，发现 2017 与 2007 年相比，整体上无显著差异，但夏、秋季植被覆盖度同比增加，而冬、春季植被覆盖水平略有降低；且 2007—2017 年 6—8 月植被覆盖度线性回归显著，呈平缓上升趋势，9—10 月植被覆盖水平则无显著变化趋势。为了解塔河流域最新的水资源情况，课题组前往塔里木河流域干流管理局进行座谈交流，据塔管局水调科介绍，近年来塔河处于丰水年，尤其是 2017 年属于特丰年，干流阿拉尔来水量达 $6.80\times10^9\ m^3$，加上生态输水、生态水闸等水利工程的完善，水资源管理与人工调控能力加强，能在植物生长季保障生态供水，增强植被活力。

同时,由于塔河沿岸分布有大量棉田,棉花的出苗与吐絮期亦在5—10月,棉花收割后田中仅留1 m高棉花杆,而天然植被如胡杨、红柳等亦进入落叶期;加之塔河水量年际丰枯变化、年内季节性洪枯变化剧烈,因此自然条件下的植被变化主要在丰水期,枯水期植被状况在平稳中有小幅波动亦属正常。张沛等[23]对塔河干流环境质量的评价结果显示生态环境退化的趋势得到减缓与遏制,与本文的结果分析相符。

(2) 由时间序列模型的预测趋势可见,由于拟合过程中对数据进行了平稳化处理而获得其变化规律和趋势,因此预测结果的波动性较实测值小,且2018—2020年夏季植被覆盖度逐步增加。据塔里木胡杨自然保护区管理局刘德林工程师介绍,胡杨保护区内目前正在对耕地进行清理,今年将清理 $3.33\times10^3\sim4.00\times10^3$ hm^2,在2019年底将全部完成退耕还林,预计共取缔 1.07×10^4 hm^2 耕地;流域内也正在对无证垦荒地进行全面清理,退耕地引洪灌溉后第2 a可自然生长1 m高的红柳幼株,这将是未来3 a影响流域内植被覆盖度的重要因素。

(3) 塔河干流东西延展长,沿程植被生长条件截然不同,因此常将上、中、下游分别进行研究。在NDVI与EVI的对比中,上、中游河段NDVI呈现出偏高现象,却在上游段的7月与下游段的3月偏低,而7与3月又是塔河流域1 a中植被覆盖最高和最低的月份;在下游段则出现EVI偏高现象,反映出NDVI对较高密度植被的描述容易达到饱和,在低密度植被区容易偏低,与李红军等[11]对NDVI于EVI的对比研究结果一致,该现象在对塔河流域的植被研究中得到应用验证。

4　结论

(1) 塔河干流沿岸植被覆盖基数低,2017年各月覆盖度最高值仅为23.56%(7月),且流域内不同河段植被生长状况时空异质性大。

(2) 遥感定量监测结果表明2017年塔河流域全年植被覆盖水平相比2007年无显著差异。通过年际间时间序列对比,2007—2017年夏季(6—8月)塔河干流植被覆盖变化线性回归显著,呈增长趋势;但在9,10月则无显著增长趋势。

(3) 对塔河未来的生态环境状况,时间序列模型呈现出良性变化趋势,2018—2020年夏季植被覆盖度逐步提高。

(4) 基于MODIS—EVI数据对塔河流域地表植被状况进行遥感监测及定量分析是可行的,NDVI指数与EVI指数的监测结果无显著差异;但细节上NDVI在高植被区易出现饱和现象,在低植被区容易偏低估计,因此本研究中EVI指数监测效果优于NDVI指数。

[参 考 文 献]

[1] 黄强,徐海量,张胜江,等.塔里木内陆河流域水资源合理配置[M].北京:科学出版社,2015:1-63.

[2] 阿布都沙拉木·加拉力丁,克力木·买买提,海米提·依米提.塔里木河流域胡杨保护区土地覆盖变化研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(1):154-157.

[3] Munkhnasan L, Lee Jongyeol, Lee Wookyun, et al. Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia[J]. Advances in space research, 2016,57(1): 64-77.

[4] Martínez B, Gilabert M A. Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform [J]. Remote Sensing of Environment, 2009,113(9): 1823-1842.

[5] Tong Xiaoye, Bartin M, Hiernaux P, et al. Revisiting the coupling between NDVI trends and cropland changes in the Sahel drylands: A case study in western Niger [J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 191(3): 286-296.

[6] Detsch F, Otte I, Appelhans T, et al. Seasonal and long-term vegetation dynamics from 1-km GIMMS-based NDVI time series at Mt. Kilimanjaro, Tanzania [J]. Remote Sensing of Environment, 2016,178(6):70-83.

[7] Huo Aidi, Zhang Jia, Cheng Yuxiang, et al. Assessing the effect of scaling methods on retrieval of soil moisture based on MODIS images in arid regions[J]. Toxicological & Environmental Chemistry Reviews, 2016,98(3-4): 410-418.

[8] Weiss E, Marsh S E, Pfirman E S. Application of NOAA-AVHRR NDVI time series data to assess changes in Saudi Arabia's rangelands[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001,22(6):1005-1027.

[9] 霍艾迪,康相武,王国梁,等.基于MODIS的沙漠化地区植被覆盖度提取模型的研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):217-223.

[10] Huo Aidi, Li Jianguo, Jiang Guang Zhi, et al. Temporal and spatial variation of surface evapotranspiration based on remote sensing in Golmud region, China[J]. Applied Mathematics & Information Sciences, 2013,7(2L):519-524.

[11] 王正兴,刘闯, HUETE Alfredo.植被指数研究进展:从AVHRR-NDVI到MODIS-EVI[J].生态学报,2003,23(5):979-987.

[12] 李红军,郑力,雷玉平,等.基于EOS/MODIS数据的

NDVI与EVI比较研究[J]. 地理科学进展,2007,26(1):26-32.

[13] 左丽君,张增祥,董婷婷,等. MODIS/NDVI和MODIS/EVI在耕地信息提取中的应用及对比分析[J]. 农业工程学报,2008,24(3):167-172.

[14] 李喆,胡蝶,赵登忠,等. 宽波段遥感植被指数研究进展综述[J]. 长江科学院院报,2015,32(1):125-130.

[15] 朱林富,谢世友,杨华,等. 基于MODIS EVI的重庆植被覆盖变化的地形效应[J]. 自然资源学报,2017,32(12):2023-2033.

[16] 杨强,王婷婷,陈昊,等. 基于MODIS EVI数据的锡林郭勒盟植被覆盖度变化特征[J]. 农业工程学报,2015,31(22):191-197.

[17] 刘娇,黄显峰,方国华,等. 基于GIS缓冲区功能的塔里木河中游植被指数时空变化分析[J]. 干旱区研究,2018,35(1):171-180.

[18] 王静,郭铌. Terra MODIS和Aqua MODIS单波段反射率及植被指数初步比较[J]. 生态学杂志,2008,27(10):1711-1717.

[19] Huo Aidi, Chen Xunhong, Li Huike, et al. Development and testing of a remote sensing-basedmodel for estimating groundwater levels in aeolian desert areas of China[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2015, 91(1):29-37.

[20] 吕志强. 遥感与GIS应用实习教程[M]. 成都:西南财经大学出版社,2016:216-289.

[21] 买尔燕古丽·阿不都热合曼,艾里西尔·库尔班,阿迪力·阿不来提,等. 塔里木河下游胡杨物候特征观测[J]. 干旱区研究,2008,25(4):525-529.

[22] 高永,崔向新,李丽红,等. 荒漠化监测[M]. 北京:气象出版社,2013:24-113.

[23] 张沛,徐海量,杜清,等. 基于RS和GIS的塔里木河干流生态环境状况评价[J]. 干旱区研究,2017,34(2):416-421.