

塔克拉玛干西部别里库姆沙漠 NDVI 时空变化特征

来风兵^{1,2}, 张展赫¹, 陈蜀江¹, 陈孟禹³

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710119; 2. 新疆师范大学
地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054; 3. 苏州科技学院, 江苏省 苏州 215009)

摘要: 基于 GIS 技术和统计手段, 利用 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据集, 并结合气温和降水 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 格网数据集, 分析 1981—2014 年塔克拉玛干西部别里库姆沙漠 NDVI 时空变化特征。结果表明: (1) 研究区 NDVI 半月值呈下降趋势, NDVI 春冬季值整体为上升趋势, NDVI 夏秋季值整体为下降趋势, NDVI 年均值呈上升趋势; (2) 1982—2014 年 NDVI 值增加区域大于减少区域, 整体上空间分布向南部移动, NDVI 较大值主要在南坡和西坡; (3) 植被覆盖度分布在 0~0.004 3。

关键词: 塔克拉玛干; 别里库姆; NDVI; 时空变化; 气温; 降水

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0243-06

Research on the Spatiotemporal Change in NDVI of Birkum Desert in the West of the Taklimakan Desert

LAI Fengbing^{1,2}, ZHANG Zhanhe¹, CHEN Shujiang¹, CHEN Mengyu³

(1. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;
2. College of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;
3. College of Science and Technology, Suzhou University, Suzhou, Jiangsu 215009, China)

Abstract: The spatiotemporal change of NDVI and its response to the variations of temperature and precipitation in the west of midstream of Hotan River in the Taklimakan Desert during the period from 1981 to 2014 were analyzed using the GIMMS NDVI and MODIS13Q1 time series data. The results reveal that: (1) half month's NDVI decreased from 1 to 12, NDVI in spring and winter rose overall, but it presented the downward trend overall in summer and autumn, annual NDVI rose during the past 32 years; (2) from 1982 to 2014, the spatial distribution of annual NDVI moved to the south. greater NDVI mainly distributed in the southern slope and the western slope, for recent 33 years, increase regional area of NDVI was greater than the decrease in the study area; (3) vegetation coverage ranged from 0 to 0.004 3.

Keywords: Taklimakan; Birkum Desert; NDVI; spatio-temporal response; temperature; precipitation

塔克拉玛干沙漠面积 33.76 万 km^2 , 是世界上面积第二大的流动性沙漠。由于降水极少, 沙漠中植被只能沿河生长, 或呈斑块状零星发育于高水位的丘间低地^[1]。沙漠腹地植被以胡杨、沙拐枣、怪柳、罗布麻等为主^[2]。沙漠植被对稳定沙漠生态环境有重要意义。由于沙漠缺水干旱, 流动性强, 交通极为不便, 植被调查研究存在诸多困难。

有关塔克拉玛干沙漠植被的研究多集中在塔里木河流域, 其次为沙漠腹地与和田河流域, 包括沙漠腹地植物根系分形特征^[3]及构型^[2]、生态学性质^[4], 塔里木河流域胡杨的光合作用^[5]及其对高温和 CO_2

的反应^[6]、地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响^[7-8]、胡杨的种群结构^[9]及空间格局^[10], 和田河流域胡杨林的生态服务价值^[11]等。截止目前, 尚未有学者对塔克拉玛干西部别里库姆沙漠植被整体覆盖的时空变化特征进行研究。

对于植被覆盖度较低的地区, 归一化植被指数 NDVI 是植物生长状态和空间分布的客观表达^[12]。文章拟使用长序列遥感数据, 结合 3S 技术和统计手段, 初探塔克拉玛干西部别里库姆沙漠 NDVI 的时空变化特征, 为塔克拉玛干沙漠腹地植被的研究增添资料。

1 研究区概况

别里库姆沙漠位于塔克拉玛干西部,西昆仑山麓平原和麻扎塔格山之间,地理坐标 $37^{\circ}22'23''-39^{\circ}17'5''N$, $77^{\circ}32'33''-80^{\circ}50'42''E$,属暖温带极端干旱荒漠气候,降水稀少,蒸发强烈,西北风为主,土壤为流动性风沙土,除其边缘出现一些鲸鱼脊状的沙垄外,大片地区分布新月形沙链,沙丘高度在西北部达 50 m,密度小,其余均在 20 m 以下。植被覆盖度极低,小于 5%,以斑块状零星发育。2013 年 10 月沿和田河西侧南北向、东西向两条沙漠石油公路进行植被调查,沙漠植被主要为胡杨和红柳,密集红柳间隔为 50~150 m,稀疏红柳间隔为 400~1 000 m,密集胡杨间隔为 15~40 m,稀疏胡杨间隔为 80~300 m,植被水分来源于地下水。沙漠东部分布喀拉喀什河与玉龙喀什河(依托和田河),南部分布杜瓦河、桑株河、科什塔格河、康阿孜河、阿克硝河、提孜那甫河,西部分布叶尔羌河。稀树沙堆主要为胡杨沙堆^[13],其次为灌丛沙堆,密集分布在丘间洼地和故河床两侧。

2 数据来源及处理

2.1 数据来源

本研究所用影像数据包括 1981 年 7 月—2006 年 2 月 15 d GIMMS NDVI 数据集,分辨率为 8 km,共 590 期(<http://westdc.westgis.ac.cn>);2000 年 2 月—2014 年 12 月 16 d MODIS NDVI 数据集,分辨率为 250 m,共 343 期(<http://www.nasa.gov>)。气象数据为 1981 年 1 月—2014 年 12 月的中国地面气

温和降水日值 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 格点数据集,共 12 418 期(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)。其他数据包括 1980 年塔克拉玛干沙漠 1:150 万风沙地貌图、水库分布、湖泊分布、河流分布等。和田县志。

2015 年 4 月,赴别里库姆沙漠进行野外调研,沿沙漠石油公路,选取植被覆盖较好区域,利用 RTK 测量空间坐标数据。

2.2 数据处理

利用 ARCGIS,ERDAS IMAGINE 和 ENVI 等 GIS 和 RS 软件对两类数据源的 NDVI 数据集进行处理和制图。通过 SPSS 软件对温度、降水进行统计,Origin 软件对气温和降水制图。

2.2.1 GIMMS NDVI 及 SPOT NDVI 数据空间分辨率校正 目前,应用长时间序列高分辨率 NDVI 数据集对低分辨率数据集进行分辨率校正,是较好的方法。将 GIMMS NDVI 数据集重采样为 $250\text{ m}\times 250\text{ m}$,对重采样的 GIMMS NDVI 数据集和未进行时间分辨率校正的 MODIS13Q1 产品里的 NDVI 数据集,选择 2000—2006 年较高重合时间段的 NDVI 数据集进行裁剪和像元匹配,以单个像元为单位对整个研究区建立归一化模型。GIMMS NDVI 与 MODIS NDVI 归一化模型决定系数 R^2 均在 0.862 606 以上(表 1),拟合程度高,其中 2000 年 2 月下半月归一化模型拟合程度最好, R^2 达 0.961 274。以 2000 年 2 月下半月归一化模型作为方程式,以 1981 年 7 月—1999 年 12 月 GIMMS NDVI 数据集作为自变量,代入方程式得 1981 年 7 月—1999 年 12 月分辨率为 $250\text{ m}\times 250\text{ m}$ 的 NDVI 数据集,以此实现对 GIMMS NDVI 的空间分辨率校正。

表 1 两类数据源 NDVI 值归一化模型

时间段	归一化模型	R^2
2000 年 2 月下半月	$Y=0.00017+1.566206x-12.6297x^2$	0.961274
2000 年 9 月上半月	$Y=0.00024+1.578352x-7.4207x^2$	0.906105
2001 年 2 月下半月	$Y=0.00020+0.973299x-1.7113x^2$	0.959137
2001 年 9 月上半月	$Y=0.00019+2.359025x-26.8617x^2$	0.945173
2002 年 2 月下半月	$Y=0.00022+1.473555x-9.1417x^2$	0.862606
2002 年 9 月上半月	$Y=0.00021+2.660279x-29.0184x^2$	0.923871
2003 年 2 月下半月	$Y=0.00020+2.021902x-16.1085x^2$	0.957767
2003 年 9 月上半月	$Y=0.00023+2.264719x-14.6408x^2$	0.947163
2004 年 2 月下半月	$Y=0.00016+2.244490x-23.4663x^2$	0.925509
2004 年 9 月上半月	$Y=0.00021+2.558214x-30.2329x^2$	0.938757
2005 年 2 月下半月	$Y=0.00015+0.909862x-0.3579x^2$	0.928416
2005 年 9 月上半月	$Y=0.00004+1.758099x-13.8943x^2$	0.933684
2006 年 2 月下半月	$Y=0.00028+1.616727x-8.4704x^2$	0.941469

2.2.2 MODIS13Q1 产品时间分辨率校正 将 MODIS13Q1 产品的 16 d NDVI 数据集当作该 16 d 内每天的 NDVI 日数据集,进而统计半月 NDVI 数据集,如 MOD13Q1.A2014001.250 m_16_days_NDVI

数据代表 2014 年 1 月 1 号至 1 月 16 号的 NDVI 值,MOD13Q1.A2014017.250 m_16_days_NDVI 数据代表 2014 年 1 月 17 号至 2 月 2 号的 NDVI 值,现以前者表示 2014 年 1 月 17 号 2 月 2 号的 NDVI 日值数据,

则 2014 年 1 月下半月,后者表示 2014 年 1 月 17 号 2 月 2 号的 NDVI 日值数据,则 2014 年 1 月下半月 NDVI 值由 1 月 16 号 NDVI 值与 1 月 17 号 1 月 31 号等 15 d 的 NDVI 值之和,进而求平均值获得。

2.2.3 NDVI、气温、降水序列生成 NDVI 半月值获取自 1981 年 7 月—1999 年 12 月空间分辨率校正后的 GIMMS NDVI 数据、2000 年 1 月—2014 年 12 月的时间分辨率校正后的 MODIS13Q1 产品。NDVI 半月值数据集有 1981 年 7 月—2014 年 12 月等共 804 期数据;NDVI 年均值、季节均值均采用求平均值法获得,季节以春(3—5 月)、夏(6—8 月)、秋(9—11 月)、冬(12—翌年 2 月)划分,NDVI 年均值数据集共有 1982—2014 年等共 33 期,NDVI 春、夏、秋季季节均值数据集各有 1982—2014 年等 33 期,NDVI 冬季季节均值数据集有 1981—2014 年等 34 期。

在 ArcGIS 中编写 PYTHON 脚本语言将气温(或降水)ASC II 数据集转为栅格数据,叠加平均(半月值数据为 15 d 的日值气温(或降水)数据相加平均所得)获得 1981 年 7 月—2014 年 12 月半月气温(或降水)时间序列数据,共 804 期数据,采用克里格(Kriging)空间插值方法获得气温和降水 250 m×250 m 格网数据集;气温(或降水)季节值和年值时间序列获取方法同 NDVI。

对所有 NDVI、气温、降水的 250 m×250 m 的半月值格网数据进行像元匹配。

2.2.4 NDVI 空间分布描述 (1) 水平空间分布:在 ArcGIS 里对不同时段 NDVI 值空间分布制图,采用直方图均衡化法将其 NDVI 值显示为不同深浅颜色,对比不同时期的 NDVI 图发现水平空间分布变化。(2) 坡向分布:采用空间分辨率为 90 m 的 STRM 数字高程数据(来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),在 ArcGIS 中生成研究区坡向图,同时将 NDVI 年均值数据重采样为空间分辨率 90 m×90 m,进而统计不同坡向上 NDVI 年平均值。坡向划分为北(0°—22.5°)、东北(22.5°—67.5°)、东(67.5°—112.5°)、东南(112.5°—157.5°)、南(157.5°—202.5°)、西南(202.5°—247.5°)、西(247.5°—292.5°)、西北(292.5°—337.5°)、北(337.5°—360°)。(3) 变化率:NDVI 变化率表示两个不同时期的变化情况,以栅格为单元,计算公式见公式(1):

$$NDVI_r = \frac{NDVI_{i,h} - NDVI_{k,h}}{NDVI_{k,h}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:NDVI_r——NDVI 值变化率;NDVI_{i,h}——*i* 时期研究区栅格 *h* 的 NDVI 值;NDVI_{k,h}——表示 *k* 时期研究区栅格 *h* 的 NDVI 值。

3 结果与分析

3.1 NDVI 时序变化

研究区 1981—2014 年 NDVI 半月值变化曲线为峰谷交替型,1—12 月为下降趋势,全年 NDVI 值变化范围为 0.021 5~0.025 5,沙漠腹地植被覆盖度极低导致 NDVI 整体变化差异小。1 月至 4 月 NDVI 值变化稳定,至 5 月略有下降,从 6 月下半月至 11 月上半月,NDVI 值直线下降,下降速率基本不变,11 月上半月出现全年最低值 0.021 5,由 11 月下半月至 12 月 NDVI 值又直线上升,上升速率保持稳定(图 1A)。

NDVI 春季值整体为上升趋势,但 2014 年 NDVI 春季值相对 1982 年 NDVI 春季值有所减小,减小值为 0.000 29,占 1981 年 NDVI 春季值的 1.12%,除 1985 年、1995 年和 2005 年以外,NDVI 春季值整体变化幅度小,变化范围为 0.025 13~0.026 18,1985 年、1995 年和 2005 年出现明显极低值,极低值逐渐升高,时间间隔为 10 a,2007 年之后 NDVI 春季值变化较之前稳定变化(图 1B)。NDVI 夏季值整体为下降趋势,2014 年与 1982 年相比较 NDVI 夏季值减小 0.001 59,占 1982 年 NDVI 夏季值的 6.34%,NDVI 值整体变化幅度较大,变化范围在 0.021 68~0.025 90,最低值和最高值分别对应 1995 年和 1994 年,整体来看谷值分别为 1985 年、1987 年、1989 年、1992 年、1995 年、1999 年、2002 年、2005 年、2009 年和 2012 年,基本表现为 3 a 周期,峰值分别为 1982 年、1986 年、1988 年、1991 年、1994 年、1998 年、2001 年、2004 年、2008 年和 2011 年,基本表现为 3 或 4 a 周期,且出峰值当年的下一年出现谷值(图 1C)。1982—2014 年 NDVI 秋季值整体有微弱的下降,但下降趋势不明显,2014 年秋季相对 1981 年秋季下降值为下降幅度为 4.4%,NDVI 值曲线波动变化明显,1989 年以前基本表现为峰谷值交替出现,间隔时间为 1 a,1990—1994 年依然表现为峰谷值交替变化,时间间隔为 2 a,1995 年以后时间间隔为 4 a(图 1D)。1982—2014 年 NDVI 冬季值整体呈现上升趋势,但上升趋势不明显,2014 年相对 1982 年上升值为 0.001 3,上升幅度为 5.56%,1984—1987 年、1996—1999 年、2008—2011 年时间段为明显直线上升,而在其余时间段 NDVI 值波动变化且变化无规律(图 1E)。1982—1984 年,NDVI 值表现为春季>夏季>冬季>秋季,1985 年 NDVI 值表现为冬季>夏季>秋季>春季,1986 年表现为春季>夏季>冬季>秋季,1987 年表现为冬季>春季>夏季>秋季,1988—1994 年 NDVI 值在不同季节之间无规律变化,1995—1998 年 NDVI 值以春季最高,秋季最低,夏季和冬季基本保

持一致,1999 年 NDVI 值春冬两季相同,其次为夏季,最小为秋季,整体来看 NDVI 季节值以秋季最低,春季最高,夏季和冬季保持一致,2000 年 NDVI 值以春夏两季最高,其次为冬季,2001—2014 年 NDVI 值基本以春季最高,秋季最低,夏冬两季交替变换。

NDVI 值年际变化曲线波动上升,1995 年最低,2012 年最高,2013 年相对 1982 年 NDVI 值上升 0.006 8,上升幅度为 28.28%,平均年变化为 0.000 2。整体来看,32 a 来 NDVI 年均值极小值出现在 1985 年、1995 年、2006 年、2008 年和 2014 年,基本表现为 10 a 周期,1982—1999 年 NDVI 值基本保持平稳变化,由 2000—2005 年,NDVI 值陡然上升且年平均上升速率为 34.05%,2005—2013 年 NDVI 值基本保持平稳变化(图 1F)。

随着气候变暖,塔克拉玛干沙漠和田河中游西侧沙漠植被生长也随之好转,这是全球变暖正面影响。从年际尺度看,气温和降水均波动上升,加上沙漠内部交通极为不便^[14],人为因素对植被影响甚小,因此 NDVI 值主要受气候影响。研究区沙漠植被的水分

主要靠大气降水和冰雪融水补给^[1]。而天然降水仅对沙漠边缘一年生草本植物有用,沙漠内部植被主要采用浅层地下水或湿沙层水分。因春旱现象严重,沙漠降水来临之前处于完全裸露的状态,研究区植被的萌发始于 4 月中旬^[1],NDVI 由 4 月开始上升。4—5 月为绿洲耕种期,水分主要供给农业用水,并产生农业回归水,这部分回归水由地表水转为地下水,浸入沙漠,2~3 个月后到达沙漠腹地,但干旱引起盐分增大,加之 6—8 月为气温高峰期,蒸发强烈,植被得不到有效水分补给,但由于沙漠植被长时间在沙漠适应的耐旱性,NDVI 值平稳变化。6 月中旬,气温升高,加速积雪融化,洪水期到来,绿洲农业用水比重大幅减小,多余的水分直接浸入沙漠,9 月到达沙漠腹地,而此时气温得到回降,蒸发减少,秋季大多数植物生长发育进入旺盛时期,枝繁叶茂^[1],NDVI 从 9 月开始上升。8 月洪水期结束,沙漠植被水分供给持续到 10 月中旬左右,因此 11 月份生长期结束,NDVI 达到峰值,说明沙漠植被较绿洲有延后性。

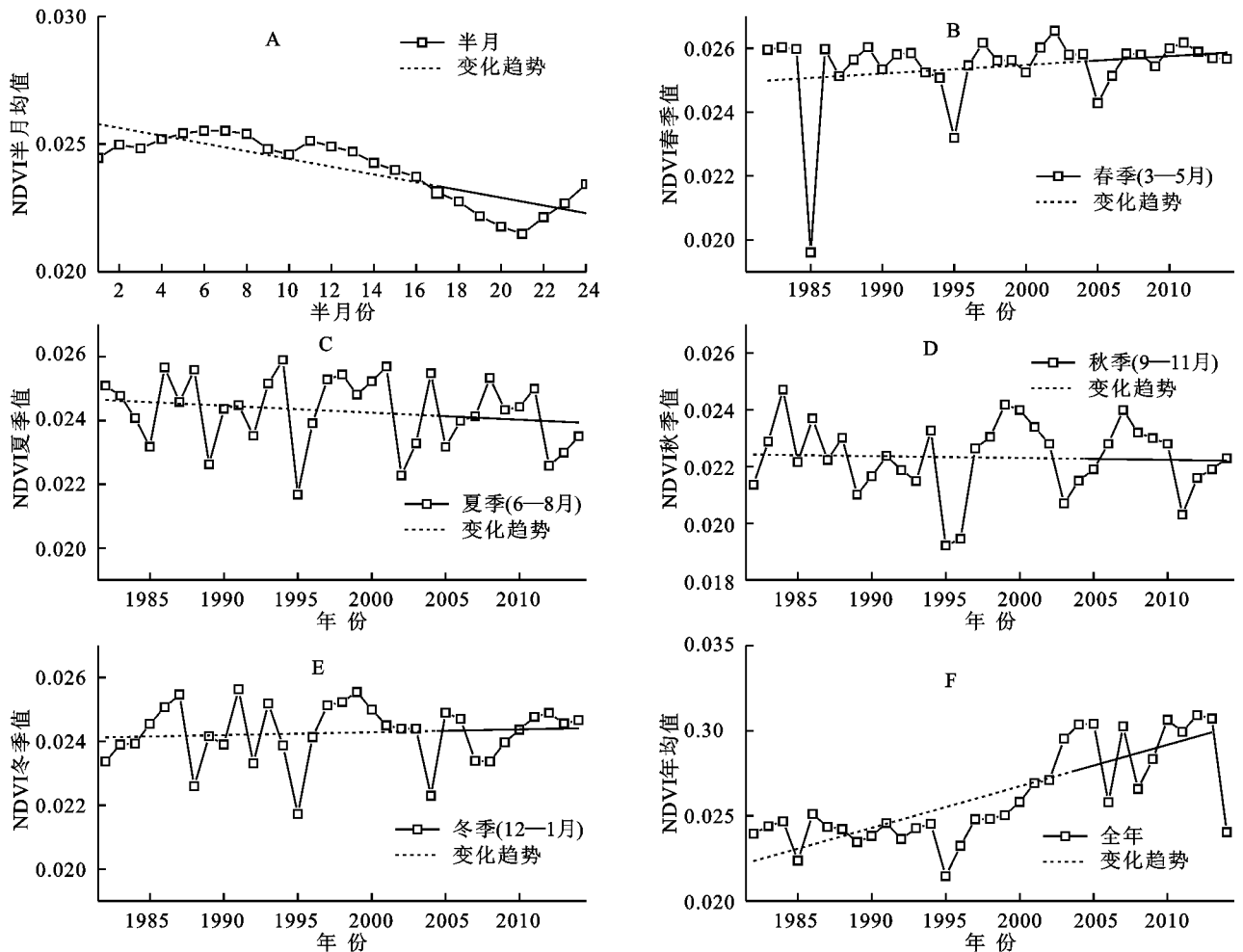


图 1 NDVI 值半月、季节、年际变化曲线

3.2 NDVI 空间变化

依据 NDVI 值年际变化特征,将 1982—2014 年

等 33 a 分为 1982—1987 年(1985 年除外)、1988—1992 年、1993—1999 年(1995 年、1996 年除外)、

2003—2010 年(2006 年、2008 年和 2009 年除外)等 4 个 5 a 时间段,研究 NDVI 年均值空间分布和变化。

3.2.1 水平空间分布 NDVI 年均值空间分布无显著变化,1982—1987 年 NDVI 年均值较大值区域集中研究区中部、中南部和东北部,在西南部边缘也有零星分布。1988—1992 年,NDVI 年均值集较大值集中分布研究区下半部和东北部。1993—1999 年 NDVI 年均值较大值分布在研究区东部边缘,少量分布于东北部。2003—2010 年之间 NDVI 年均值较大值分布在研究区中南部边缘,少量分布在东北部。除研究区东北部靠中一小块区域稳定外,NDVI 值较大值由北向南、自两边向中间移动。研究区中部和南部残留和田河故河道,故河道两侧因地下水位较浅,水分较充足,植被也较密集。

和田河下游在历史上左右摆动,在喀拉喀什河以西 60~80 km 处留下老河道,地下水位较沙漠腹地浅,植被水分补给足,两侧生长胡杨,NDVI 值较其他区域大。

3.2.2 坡向分布 统计结果表明(表 2),不同坡向分布的 NDVI 值变化差异性小,时期 2(1988—1992 年)相对时期 1(1982—1987 年)大部分坡向的 NDVI 值为上升趋势,仅有北坡为下降趋势,变化差异较大的坡向为北(0° — 22.5°)、东、西南、西,变化率较大的坡向为东和西。时期 3(1993—1999 年)相对时期 2(1988—1992 年)的 NDVI 值增加坡向与减小坡向各占一半,NDVI 变化值较大的坡向为北(0° — 22.5°)和东,西向 NDVI 值变化最大,为-0.006,变化率较大的为北、东和西。时期 4(2003—2010 年)相对时期 3(1993—

1999 年)的 NDVI 值仅在南向为下降,其他所有坡向均为上升趋势,NDVI 变化值较大的坡向为东南、西、西北和北(337.5° — 360°),NDVI 值变化率较大的坡向为东南、西、西北和北(337.5° — 360°)。时期 4(2003—2010 年)相对时期 1(1982—1987 年)的 NDVI 值仅在南向为下降,其余坡向均为上升趋势,NDVI 变化值较大的坡向为东南、西、西北和北(337.5° — 360°),NDVI 值变化率较大的坡向为东南、西、西北和北(337.5° — 360°)。

图 2 表明,时期 1(1982—1987 年)的 NDVI 多年均值在坡向分布上表现为 M 型,整体由北(0° — 22.5°)—北(337.5° — 360°)为上升趋势,仅在南坡出现低谷值。时期 2(1988—1992 年)和时期 4(2003—2010 年)的 NDVI 多年均值在不同坡向的分布特征相似,均表现为稳定变化,在北(0° — 22.5°)—东南向上两段时期的 NDVI 值变化趋势相反,而在南—北(337.5° — 360°)向上两段时期的 NDVI 多年均值变化趋势相同。时期 3(1993—1999 年)和时期 2(1988—1992 年)的 NDVI 多年均值在不同坡向上变化趋势一致,在西向上的 NDVI 值极低。北向(0° — 22.5°)上,NDVI 多年均值为时期 $4>1=3>2$,东北—东向上 NDVI 多年均值为时期 $4>2>1=3>$,东南向 NDVI 多年均值表现为时期 $4>3>2>1$,南向 NDVI 多年均值则为时期 $3>2>1>4>$,西南向 NDVI 多年均值为时期 $4>2=3>1$,西向 NDVI 多年均值表现为时期 $4>2>1>3$,西北和北(337.5° — 360°)向 NDVI 多年均值为时期 $4>3>2>1$ 。

表 2 不同坡向的 NDVI 值统计

年份	北 (0° — 22.5°)	东北 (22.5° — 67.5°)	东 (67.5° — 112.5°)	东南 (112.5° — 157.5°)	南 (157.5° — 202.5°)	西南 (202.5° — 247.5°)	西 (247.5° — 292.5°)	西北 (292.5° — 337.5°)	北 (337.5° — 360°)
时期 1(1982—1987)	0.0467	0.0454	0.0449	0.0463	0.0450	0.0466	0.0434	0.0462	0.0475
时期 2(1988—1992)	0.0446	0.0469	0.0475	0.0472	0.0455	0.0485	0.0455	0.0477	0.0475
时期 2 相对	-0.0021	0.0015	0.0026	0.0009	0.0005	0.0019	0.0021	0.0015	0.0000
时期 1 变化	-4.45%	3.37%	5.82%	2.01%	1.04%	4.15%	4.92%	3.14%	0.00%
时期 3(1993—1999)	0.0468	0.0451	0.0453	0.0479	0.0462	0.0485	0.0395	0.0483	0.0481
时期 3 相对	0.0021	-0.0018	-0.0022	0.0007	0.0008	-0.0001	-0.0060	0.0006	0.0006
时期 2 变化	4.75%	-3.91%	-4.58%	1.53%	1.67%	-0.11%	-13.13%	1.19%	1.35%
时期 4(2003—2010)	0.0477	0.0482	0.0491	0.0545	0.0443	0.0498	0.0562	0.0543	0.0546
时期 4 相对	0.0009	0.0031	0.0038	0.0066	-0.0019	0.0013	0.0167	0.0060	0.0065
时期 3 变化	2.03%	6.94%	8.42%	13.74%	-4.21%	2.74%	42.22%	12.49%	13.50%
时期 4 相对	0.0010	0.0028	0.0042	0.0082	-0.0007	0.0032	0.0128	0.0081	0.0071
时期 1 变化	2.12%	6.22%	9.47%	17.79%	-1.61%	6.89%	29.62%	17.41%	15.04%

3.2.3 变化率 统计结果表(表 3),以时期 2(1988—1992 年)、时期 3(1993—1999 年)、时期 4(2003—2010 年)的 NDVI 多年均值栅格数据分别与时期 1(1982—1987 年)、时期 2(1988—1992 年)、时期 3(1993—1999 年)的 NDVI 年均值栅格数据先做差,后除以后者对

应栅格数据,得三组 NDVI 值变化率。统计结果表明(表 3),时期 1 相对时期 2 的 NDVI 多年均值减少区域比重大,时期 3 相对时期 2 的 NDVI 多年均值基本全为增加,时期 4 相对时期 3 的 NDVI 多年均值增加区域比重大。总体来看,时期 4 相对时期 1 的 ND-

VI 多年均值增加的区域面积占研究区的 59.59%，减少区域为 40.41%。

3.3 植被覆盖度反演

结合野外调研数据,选取 2014 年 4 月上半月 MODIS NDVI 数据对研究区植被覆盖进行遥感反演。结果表明,研究区整个区域植被覆盖度分布不均匀,分布范围在 0~0.004 3 之间,植被极度稀疏。植被覆盖度较高区域集中在研究区中部、中下部及中部偏东部分,此区域处于旧河道边缘,地下水位较浅,植被密集。覆盖度由中部向两边逐渐递减。

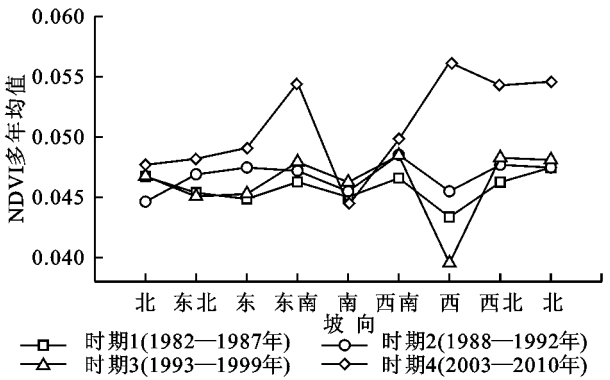


图 2 不同时期、不同坡向的 NDVI 多年均值

表 3 各变化率所占面积比例统计

年份	变化率/%			增加 合计	变化率/%			减少 合计
	>20	10~20	0~10		-10~0	-20~-10	<-20	
时期 1—时期 2	0.17	2.57	16.47	19.21	66.55	14.07	0.17	80.79
时期 3—时期 2	10.85	46.95	38.31	96.10	3.73	0.00	0.17	3.90
时期 4—时期 3	0.00	0.34	5.75	6.09	88.16	5.75	0.00	93.91
时期 4—时期 1	4.25	7.55	47.80	59.59	39.15	1.26	0.00	40.41

4 结 论

(1) 研究区 NDVI 半月值呈下降趋势,NDVI 春季值整体为上升趋势,NDVI 夏季值整体为下降趋势,NDVI 秋季值整体有微弱的下降,NDVI 冬季值整体呈现上升趋势,NDVI 年均值呈上升趋势。

(2) 1982—2014 年 NDVI 年均值空间分布整体上向南部移动,NDVI 较大值主要在南坡和西坡。33 a 来,研究区 NDVI 值增加区域大于减少区域。

(3) 研究区植被覆盖度主要分布范围在 0~0.004 3,植被极度稀疏。

综上所述,塔里木盆地西部沙漠内部植被十分稀少,但却是阻挡风沙侵蚀、保护绿洲经济社会发展的生态屏障,可以防止绿洲过渡带缩减、河流退化,对维护绿洲生态安全意义重大。文章通过分析塔克拉玛干沙漠和田河中游西侧的 NDVI 时空变化及其对气候因子的响应特征,建议减少上游绿洲的地表水截留,控制和田河地下水过度开采,以保持沙漠地下水生态水位的高度,保证塔里木盆地西部沙漠植被的生态用水需求。

参考文献:

[1] 张立运,李振武. 塔克拉玛干沙漠和古尔班通古特沙漠植被的差异初探[J]. 新疆环境保护,1994,16(1):1-6.
[2] 杨小林,张希明,李义玲,等. 塔克拉玛干沙漠腹地 3 种植物根系构型及其生境适应策略[J]. 植物生态学报,2008,32(6):1268-1276.
[3] 李应罡,孙红叶,杨小林. 塔克拉玛干沙漠腹地几种植物

根系分形特征[J]. 2010,32(2):1-6.
[4] 张立运,夏阳. 塔克拉玛干沙漠植被的生态学性质和持续发展[J]. 干旱区研究,1995,12(3):26-33.
[5] 李志军,罗青红,伍维模,等. 干旱胁迫对胡杨和灰叶胡杨光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 干旱区研究,2009,26(1):45-53.
[6] 周洪华,陈亚宁,李卫红,等. 干旱区胡杨光合作用对高温和 CO₂ 浓度的响应[J]. 生态学报,2009,29(6): 2797-2810.
[7] 陈亚鹏,陈亚宁,徐长春,等. 塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响[J]. 生态学报,2011,31(2):344-353.
[8] 王海珍,陈加利,韩路. 胡杨和灰胡杨叶绿素荧光特性对地下水位的生态响应[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(3):166-172.
[9] 韩路,王海珍,周正立,等. 塔里木河上,中游胡杨种群结构与统计分析[J]. 生态学报,2007,27(4):1315-1322.
[10] 于军,王海珍,陈加利,等. 塔里木河流域荒漠河岸林胡杨群落的空间格局研究[J]. 中国沙漠,2011,31(4): 913-918.
[11] 杨丽雯,何秉宇,黄培祐. 和田河流域天然胡杨林的生态服务价值评估[J]. 生态学报,2006,26(3):681-689.
[12] 胡列群,吉海燕. 新疆区域大气透明度研究[J]. 中国沙漠,2008,28(2):332-337.
[13] 来风兵,孙虎,张展赫,等. 塔克拉玛干沙漠和田河西侧胡杨沙堆的形态特征及空间分布格局[J]. 中国沙漠,2015,35(2):284-293.
[14] 胡玉昆,潘伯荣. 塔克拉玛干沙漠公路沿线植被及特点[J]. 干旱区研究,1996,13(4):9-14.