

基于 SPOT-VEGETATION 数据的 张掖盆地植被覆盖变化动态分析

梁继运¹, 万力², 金晓媚², 胡光成²

1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061

2. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083

摘要 以 1998–2006 年 9 a 的 315 景逐旬的 SPOT-VEGETATION 数据为主要数据源, 利用趋势、差值等方法, 分析了张掖盆地植被覆盖动态变化的时空特征。结果表明张掖盆地植被年内变化趋势中, 峰值由 1998–2001 年的 6、7 月份推移到 2002–2006 年的 7、8 月份, 这与黑河分水、张掖地区调整种植结构、夏禾作物种植面积减少、秋禾增加有关; 1998–2006 年间, 年最大化归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)整体呈变好的趋势, 但是月最大化 NDVI 的年际变化趋势在不同月份存在很大差异; 年最大化 NDVI 与月最大化 NDVI 在每相邻两年间的变化均存在很大差异, 植被退化与改善波动出现; 年际间植被变化幅度大的区域均分布在人工植被发育的走廊平原, 而变化幅度小的区域则分布在无植被或少植被的戈壁沙漠。

关键词 归一化植被指数; SPOT-VEGETATION; 植被覆盖; 张掖盆地

中图分类号 X87

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)12-0065-06

Dynamic Analysis of Vegetation Cover in the Zhangye Basin Based on SPOT-VEGETATION Data

LIANG Jiyun¹, WAN Li², JIN Xiaomei²,
HU Guangcheng²

1. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology,
CAGS, Shijiazhuang 050061, China*

2. *School of Water Resources and Environment, China
University of Geosciences, Beijing 100083, China*

Abstract Based on 315 images of SPOT VEGETATION data for 9 years during 1998–2006, the dynamic spatial and temporal variation of the vegetation cover in the Zhangye Basin is studied by means of trend analysis and differential analysis. The results show that the vegetation is the best in June and July during 1998–2002 and this period is shifted to July and August during 2002–2006. This shift is caused by a redistribution of water resources in the Heihe River,

and an adjustment of industrial structure in Zhangye city, which is followed by a decrease of the area of summer crops, and an increase of the area of autumn crops. The yearly maximum NDVI is on the whole improved, but the trend of change of monthly maximum NDVI sees a great difference among different months. The change during the adjacent two years of both the yearly maximum NDVI and the monthly maximum NDVI witnesses a great difference, and the vegetation degradation and improvement appear fluctuantly. The major changes occur in well-developed region with the artificial vegetation, while the minor changes are in the no-vegetative or partially vegetative desert or the Gobi.

Keywords NDVI; SPOT-VEGETATION; vegetation cover; Zhangye basin

0 引言

黑河是我国第二大内陆河, 河流水资源是该流域维持生态平衡的主要保障, 是绿洲发育的生命源泉。然而 20 世纪 60 年代以来, 由于气候变迁以及上游过度垦荒, 黑河流域地表植被遭到破坏, 水涵养功能降低^[1]; 中游人口急剧增长, 工农业迅猛发展, 生活、生产用水挤占生态用水等因素, 使得河流下泄量减少, 下游断流加剧, 生态环境极为脆弱, 沙尘暴肆虐,

收稿日期: 2009-04-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(40772158)

作者简介: 梁继运, 研究方向为水文地质环境地质, 电子信箱: liangjiyun@gmail.com; 金晓媚(通信作者), 副教授, 主要从事水文生态学研究, 电子信箱: jinxm@cugb.edu.cn

成为我国北方四大沙尘暴源区之一。为恢复下游额济纳旗的生态环境,同时实现中游地区经济社会的可持续发展,2001年8月,国务院批复了《黑河流域近期治理规划》,实行全流域水资源统一调度,其目标是在中游张掖地区调整农业产业结构、合理配置水资源、改善黑河流域的生态环境^[2]。对该项工作实施前后黑河中游地区的生态状况进行对比研究,是对治理效果的最好检验,也将为下一步黑河流域生态恢复和重建提供科学依据。

植被长势好坏是干旱区生态环境质量的重要指标,考察植被覆盖的时空变化规律能直观地反映生态环境质量随时间的变化规律,随着遥感技术的发展使植被覆盖的动态定量监测成为可能^[3]。常用于植被覆盖监测的遥感数据有 NOAA/AVHRR、MODIS、Landsat TM、GIMMS、ASTER、航片、雷达数据以及高光谱数据等。王莉雯等^[4]利用 MODIS NDVI 时间序列数据,对青海省 2001–2006 年的地表植被覆盖在各级高程带上的空间分布和时间序列变化进行了定量分析;陈江等^[5]利用 GIMMS 数据分析了近 20 年来青藏高原生态环境变化的趋势。然而自从 1998 年 4 月 SPOT-VEGETATION 开始运行以来,利用 SPOT-VEGETATION 数据建立模型进行植被覆盖动态监测的示例已经很多。宋怡、马明国^[6]利用 1998–2004 年的 SPOT-VEGETATION 数据对中国西北植被覆盖变化进行了分析;李忠峰等^[7]利用 1998–2004 年的 SPOT-VEGETATION 数据对榆林地区土地覆盖变化进行了研究;郭建坤、黄国满^[8]利用 1998–2003 年的 SPOT-VEGETATION 数据对内蒙古地区土地覆被动态变化进行了分析;刘亚玲等^[9]利用 1998–2003 年的 SPOT-VEGETATION 数据对阴山北麓地区植被覆盖动态进行了分析;李景刚等^[10]利用 1983–1999 年的 NOAA/AVHRR 数据和 2001 年的 SPOT-VEGETATION 数据对近 20 年中国北方 13 省的耕地变化与驱动力进行了研究。

本研究利用 1998–2006 年 9 a 315 景逐旬的 SPOT-VEGETATION 数据分析了黑河流域中游张掖地区植被覆盖在时间上的动态变化和空间上的分布特征,以期为黑河流域生态环境的保护与恢复提供科学依据。

1 研究区概况

张掖位于黑河干流中游地区,地理坐标为东经 97°12′~102°20′、北纬 37°28′~39°57′之间,甘肃省西北部、河西走廊中段。地处全国地形的第二阶梯中心,在青藏高原与内蒙古高原的过渡地带,东屏大黄山与金昌市、武威市为邻;西沿走廊与酒泉市、嘉峪关市相望;南依祁连山与青海省的海北藏族自治州门源县和祁连县接壤;北靠合黎山、龙首山,与内蒙古自治区的额济纳旗和阿拉善右旗毗连。辖域东西长 210~465 km,南北宽 30~148 km,总面积 4.21×10⁴ km²,占全省总面积的 9.2%。本研究区为莺落峡与正义峡之间的张掖盆地(张掖、临泽、高台走廊),如图 1 所示。盆地属于大陆性干旱气候,降水稀少而集中,多大风,太阳辐射强烈,昼夜温差大,年平均气温 7.6℃,平均日温差 13~16℃。

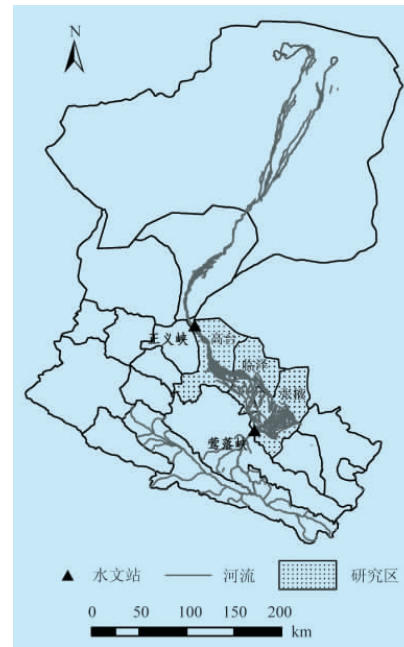


图 1 研究区位置图

Fig. 1 The location of the study area

2 数据及方法

2.1 数据介绍

植被指数是由多光谱数据经线性和非线性组合构成的、对植被有一定指示意义的各种数值,广泛应用于植被覆盖的时空动态监测以及一些生物参数的估算。可见光波段与近红外波段数值的不同形式组合,是植被指数的核心。遥感估算植被覆盖研究中最常用的植被指数为 NDVI,其被定义为近红外波段与可见光红波段数值之差和这两个波段数值之和的比值,即

$$I_{NDVI} = \frac{R_{IR} - R}{R_{IR} + R} \quad (1)$$

R_{IR} 为近红外波段地表反射率, R 为可见光红波段地表反射率。 I_{NDVI} 值在 -1 与 +1 间变化,无植被的裸土地区, I_{NDVI} 值很低,接近于 0,而植被密度较高的区域,其 I_{NDVI} 值较高。它是植物生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子,与植物分布密度呈线性相关,又可称之为生物量指标^[11]。

本研究采用 NDVI 表征植被的时空变化,所用数据为 1998 年 4 月至 2006 年 12 月张掖盆地斯波特植被 (SPOT-VEGETATION) 数据的 S10 产品,逐旬 NDVI 数据,共有 315 景图像。由欧洲联盟委员会赞助的植被传感器,于 1998 年 3 月由 SPOT-4 卫星搭载升空,植被传感器(植被探测装置)对农作物和天然植物的生长变化进行全球监测,其含 4 个波段,即蓝、红、近红外、短波红外,空间分辨率为 1 km,视场最大为 50.5°,相应数据带最宽可达 2 250 km。该数据由瑞典的 Kiruna 地面站负责接收,由位于法国 Toulouse 的图像质量监控中心负责图像质量并提供相关参数(如定标系数),最终由比利时佛莱芒技术研究所 (Flemish Institute for Technological

Research) 植被影像处理中心 (Vegetation Processing Centre) 负责预处理成逐日 1 km 全球数据。预处理包括大气校正、辐射校正、几何校正, 生成 10 d 最大化合成的 NDVI 数据, 并将 -1 到 -0.1 的值设置为 -0.1, 再转换为 0~250 的 DN 值, 转换公式^[12]为

$$DN = (NDVI + 0.1) / 0.004$$

在 <http://free.vgt.vito.be/> 网站可以免费下载 SPOT-VEGETATION 数据, 通过 VGT Extract_VM 软件将下载的数据转化为 ENVI 格式。下载的影像数据中 DN 值为转换值, 要得到 NDVI 值可通过 ENVI 作如下变换: $NDVI = DN \times 0.004 - 0.1$ 。

2.2 主要分析方法

2.2.1 最大值处理

MVC (Maximum Value Composites) 是目前国际上通用的最大化合成法。所下载的数据是经过最大化合成的旬数据, 即每一像元用该旬的最大 NDVI 值代替, 进一步消除大气的云、颗粒、阴影、视角以及太阳高度角的干扰^[7]。此法假设对于每个像元每旬中 NDVI 值最大的那一天, 天气晴朗、不受云层的影响, 就取这个最大值作为这个旬的 NDVI 值。在这里将它的用法进行了延伸, 用其计算 1998-2006 年每个月的最大化 NDVI, 并计算每年的最大化 NDVI。由于一年中植被较好的月份为 4-10 月, 所以年最大化时用的是 4-10 月的数据。

2.2.2 趋势分析

一元线性回归分析可以模拟每个栅格的变化趋势, Stow 等^[13]就用该方法来模拟植被的绿度变化率 (Greenness Rate of Change, GRC), GRC 被定义为某时间段内的季节合成归一化植被指数 (Seasonally Integrated Normalized Difference Vegetation Index, SINDVI) 年际变化的最小次方线性回归方程的斜率。此处同样用该方法来模拟 1998-2006 年中, 年最大化 NDVI 的变化趋势, 计算公式为

$$\text{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times NDVI_i) - \left(\sum_{i=1}^n i \right) \times \left(\sum_{i=1}^n NDVI_i \right)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (2)$$

式中: $NDVI_i$ 为第 i 年的年最大化 NDVI 值; i 为年序号 (1, 2, 3, …); n 为总年数。变化趋势图则反映了在 9 a 的时间序列中, 张掖地区 NDVI 的变化趋势, 某像元的趋势线为其 9 年的最大化 NDVI 值用一元线性回归模拟出来的一个总的变化趋势, 其中, 斜率大于零则说明 NDVI 在 9 a 间的变化趋势是增加的, 植被呈改善趋势; 反之则植被呈退化趋势。本文除了模拟年最大化 NDVI 的变化趋势, 还模拟了 5-9 月每个月份月最大化 NDVI 在 1998-2006 年中的变化趋势, 即单独分析每个月份植被的年际变化规律。

2.2.3 相邻两年间 NDVI 差值分析

趋势分析得出的是年最大化 NDVI 多年的变化趋势, 并不能反应每相邻两年间植被是改善还是退化, 变化幅度如何。因此, 本研究又对年最大化 NDVI 和月最大化 NDVI 进行

了相邻两年间的差值分析。年最大化 NDVI 和月最大化 NDVI 差值分析, 均是通过后一年数据减去前一年得到相邻两年的差值, 然后统计参与计算的所有像元差值的平均值, 最后作图分析。

3 结果与分析

3.1 张掖盆地 NDVI 年内变化趋势

图 2 为 1998-2006 年旬最大化 NDVI ($NDVI > 0.1$) 均值在一年内的变化趋势, 对 $NDVI > 0.2$, $NDVI > 0.3$, $NDVI > 0.4$, $NDVI > 0.5$, $NDVI > 0.6$ 也做了统计, 变化趋势基本相同。1998-2001 年峰值基本出现在 6、7 月份, 而 2002-2006 年的峰值基本出现在 7、8 月份。峰值向后推移与 2000 年 7 月开始的黑河分水计划有关, 实施分水后, 中游张掖地区调整种植结构, 夏禾作物种植面积减少, 秋禾作物种植面积增大, 如图 3 所示 (数据引自张掖综合年鉴)。

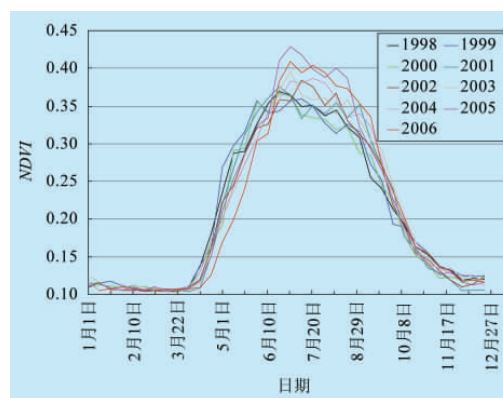


图 2 NDVI ($NDVI > 0.1$) 年内变化规律

Fig. 2 The annual trend of NDVI ($NDVI > 0.1$)

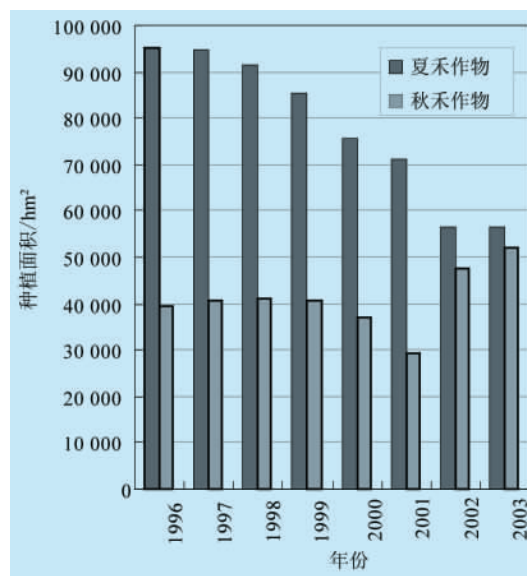


图 3 1996-2003 年张掖地区夏禾、秋禾作物种植面积变化趋势

Fig. 3 The trend of the area of summer and autumn crops during 1996-2003 in the Zhangye Basin

3.2 张掖盆地 NDVI 年际变化趋势

图 4 为 1998–2006 年 9 a 间张掖盆地年最大化 NDVI 的变化趋势,图 5~图 9 分别为 1998–2006 年张掖盆地 5–9 月份月最大化 NDVI 的年际变化趋势。由图可见:① 张掖盆地年最大化 NDVI 整体呈改善的变化趋势;② 月最大化 NDVI 的变化趋势在一年中不同月份存在很大差异;③ 植被变化趋势呈明显改善、中度改善和严重退化、中度退化的区域,均出现在人工植被发育的走廊平原,而变化趋势不明显的基本不变,轻微退化、轻微改善的区域基本出现在无植被或少植被的走廊北山沙漠戈壁。

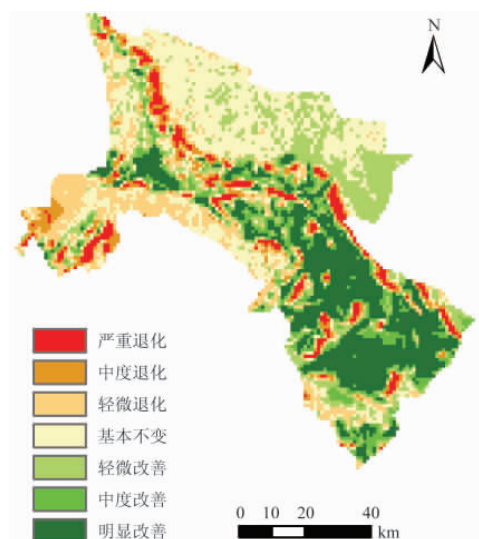


图 4 1998–2006 年张掖盆地 9 a 间最大化 NDVI 变化趋势
Fig. 4 The trend of M_{NDVI} during 1998–2006 in the Zhangye Basin

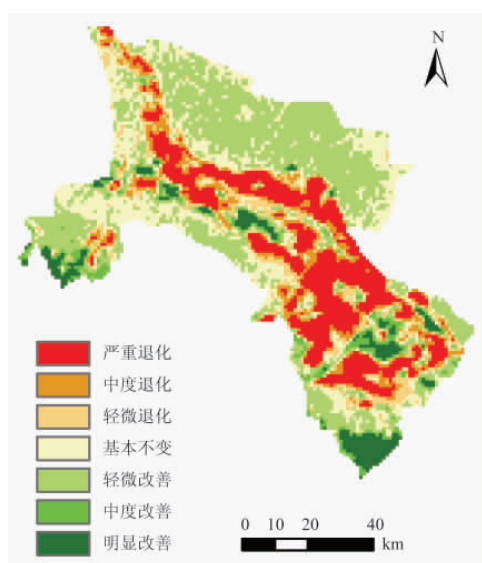


图 5 1998–2006 年张掖盆地 5 月份 NDVI 变化趋势
Fig. 5 The trend of NDVI during 1998–2006 in the Zhangye Basin in May

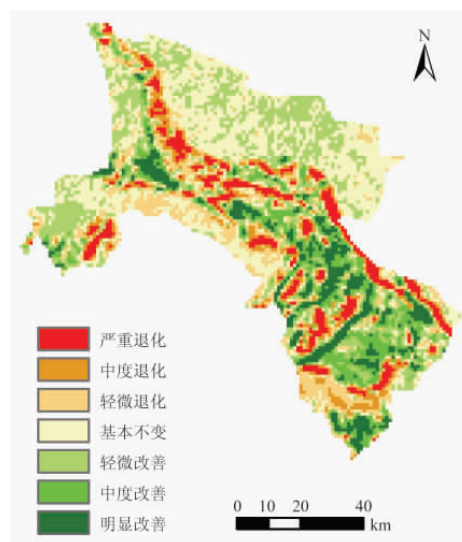


图 6 1998–2006 年张掖盆地 6 月份 NDVI 变化趋势
Fig. 6 The trend of NDVI during 1998–2006 in the Zhangye Basin in June

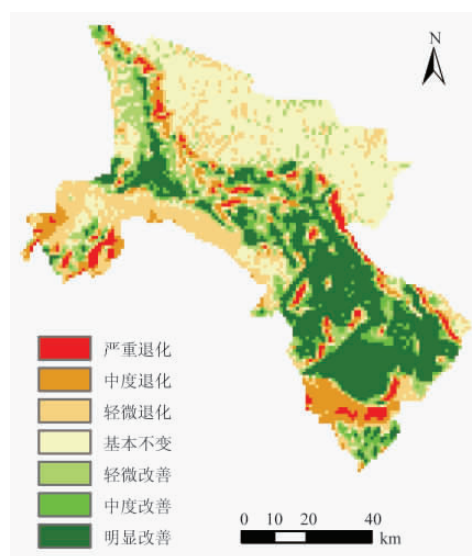


图 7 1998–2006 年张掖盆地 7 月份 NDVI 变化趋势
Fig. 7 The trend of NDVI during 1998–2006 in the Zhangye Basin in July

表 1 分别统计了 1998–2006 年 9 a 间张掖盆地年最大化 NDVI 和 5–9 月份的月最大化 NDVI 的年际变化趋势,其中对于年最大化 NDVI,明显改善和中度改善的面积占 30.56%,轻微改善的面积占 19.38%,基本不变的为 24.35%;而严重退化的仅为 5.53%,中度退化的为 5.64%,轻微退化的为 14.54%,可见张掖盆地植被整体呈变好的趋势。而对于 5–9 月份的月最大化 NDVI,5 月份植被主要呈退化趋势,总退化面积(严重、中度、轻微退化)占 36.78%,其中严重退化的为 19.31%,主要分布在张掖盆地的走廊平原,也进一步证明了前面所述的夏禾作物减少;6 月份较 5 月份改善面积有所增加,中度改善和明显改善相当,分别为 10.79%和 8.61%,严重退化面积减

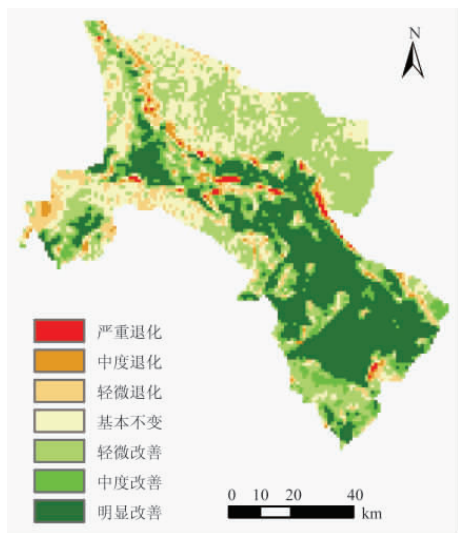


图 8 1998–2006 年张掖盆地 8 月份 NDVI 变化趋势
 Fig. 8 The trend of NDVI during 1998–2006 in the Zhangye Basin in August

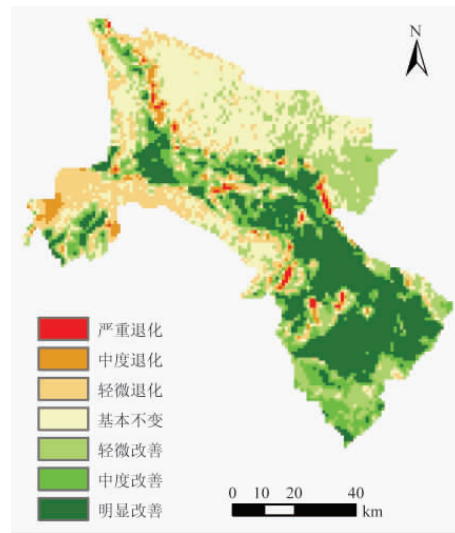


图 9 1998–2006 年张掖盆地 9 月份 NDVI 变化趋势
 Fig. 9 The trend of NDVI during 1998–2006 in the Zhangye Basin in September

表 1 1998–2006 年张掖盆地 NDVI 变化趋势统计
 Table 1 The trend of NDVI during 1998–2006 in the Zhangye Basin

NDVI 变化趋势	程度	年最大化 NDVI		5 月份最大化 NDVI		6 月份最大化 NDVI		7 月份最大化 NDVI		8 月份最大化 NDVI		9 月份最大化 NDVI	
		面积/		面积/		面积/		面积/		面积/		面积/	
		km ²	面积百	km ²	面积百	km ²	面积百	km ²	面积百	km ²	面积百	km ²	面积百
<-0.0100	严重退化	416	5.53	1 453	19.31	632	8.40	279	3.71	62	0.82	58	0.77
-0.0100~-0.0050	中度退化	424	5.64	616	8.19	573	7.62	622	8.27	175	2.33	216	2.87
-0.0050~-0.0010	轻度退化	1 094	14.54	698	9.28	1 063	14.13	1 342	17.84	616	8.19	1 015	13.49
-0.0010~0.0010	基本不变	1 832	24.35	1 615	21.47	2 142	28.47	2 058	27.36	1 554	20.66	1 961	26.07
0.0010~0.0050	轻度改善	1 458	19.38	2 446	32.51	1 653	21.97	854	11.35	2 222	29.54	1 506	20.02
0.0050~0.0100	中度改善	722	9.60	314	4.17	812	10.79	638	8.48	793	10.54	942	12.52
>0.0100	明显改善	1 577	20.96	381	5.06	648	8.61	1 730	23.00	2 101	27.93	1 825	24.26
合计		7 523	100	7 523	100	7 523	100	7 523	100	7 523	100	7 523	100

少为 8.40%;7 月份较 5、6 月份主要呈改善趋势,总改善面积(明显、中度、轻度改善)占 42.83%,其中,明显改善面积为 23.00%,基本不变的为 27.36%,轻度退化的为 26.11%,中度与严重退化的仅为 11.98%;8 月份较 5、6、7 月份改善趋势明显,明显改善与中度改善面积占 38.47%,轻度改善和基本不变的占 50.19%,轻度退化的为 8.19%,中度退化和严重退化的仅为 3.15%;9 月份与 8 月份变化趋势相似,呈明显改善趋势,只是 9 月份轻度退化和基本不变面积增加,总改善面积有所减少。

图 10 为 1998–2006 年张掖盆地相邻两年间月最大化 NDVI 差值和年最大化 NDVI 差值的变化趋势。由图 10 可见,对于年最大化 NDVI,虽然植被整体上呈改善的趋势,但是每相邻两年间差值的变化仍存在很大差异,植被退化与改善波动出现。1998–1999 年度和 2000–2001 年度植被严重退化,2001–2002 年度植被明显改善,到 2002–2006 年间,植被退化

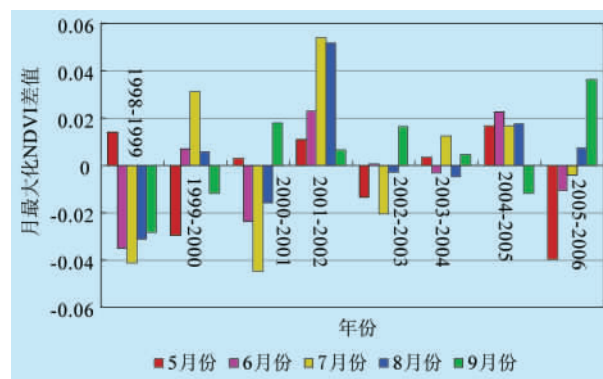


图 10 1998–2006 年张掖盆地相邻两年的月最大化 NDVI 差值的变化趋势
 Fig. 10 The trend of interannual difference of month M_{NDVI} during 1998–2006 in the Zhangye Basin

与改善仍波动出现,但变化幅度较小。对于月最大化 NDVI,相邻两年间差值的变化趋势在一年中不同月份存在很大差异,其中,5月份,尽管在1998-1999、2000-2001、2001-2002、2003-2004和2004-2005年度均有稍许改善,但在1999-2000年和2000-2003年,特别是2005-2006年度退化严重,导致1998-2006年张掖盆地5月份植被整体呈退化趋势,趋势线公式为: $y=-0.002x+0.0046$;6月份,在1998-1999、2000-2001、2003-2004和2005-2006年度植被退化(1998-1999年和2000-2001年度严重退化)。其他年度植被改善,但变化幅度不是很大,整体表现为上升趋势,趋势线为: $y=0.0034x-0.0176$;7月份,月最大化 NDVI 差值变化的趋势与年最大化 NDVI 差值的变化趋势完全相同,可推测7月份植被长势应该最好,年最大化 NDVI 值应该大部分取自7月份,趋势线为: $y=0.0034x-0.0147$;8月份,变化趋势与7月份相似,只是在2003-2004年度,7月份植被明显改善,而8月份植被稍有退化,趋势线为: $y=0.0037x-0.013$;9月份,仅在1998-1999年度植被退化严重,1999-2000和2004-2005年度轻微退化外,其他年度植被均得到改善,且2000-2001、2002-2003和2005-2006年度植被改善明显,植被整体变好趋势明显,趋势线为: $y=0.005x-0.0187$ 。

4 结论

本研究通过对张掖盆地 SPOT-VEGETATION 数据的分析,得出以下结论。

1) 张掖盆地植被年内变化趋势中,峰值由1998-2001年的6、7月份推移到2002-2006年的7、8月份,这与黑河分水、张掖地区调整种植结构、夏禾作物种植面积减少、秋禾增加有关。

2) 1998-2006年间,张掖盆地年最大化 NDVI 整体呈变好的趋势,但是月最大化 NDVI 的年度变化趋势在不同月份存在很大差异,5月份主要呈退化趋势,6月份较5月份改善面积有所增加,7月份主要呈改善趋势,8、9月份明显改善。

3) 1998-2006年间,张掖盆地植被整体呈变好趋势,但是每相邻两年间的变化仍存在很大差异,植被退化与改善波动出现,1998-1999和2000-2001年度植被退化严重,2001-2002年度植被改善明显,其他年份植被变化幅度不大。

4) 张掖盆地相邻两年间植被的变化趋势在一年中不同月份存在很大差异,其中,7月份月最大化 NDVI 差值变化的趋势与年最大化 NDVI 差值的变化趋势完全相同,可推测7月份植被长势应该最好,年最大化 NDVI 值应该大部分取自7月份。

5) NDVI 变化幅度大的区域均分布在人工植被发育的走廊平原,而变化幅度小的区域则分布在无植被或少植被的戈壁沙漠。

6) 长时间序列的 SPOT-VEGETATION 数据可以有效地动态监测区域性的植被覆盖时空变化,并具有廉价可靠的优

点,是进行大尺度植被覆盖动态变化监测的一个重要的数据源。

参考文献(References)

- [1] 王勤礼, 罗光宏. 黑河流域生态恶化的主要原因及其防治对策 [J]. 甘肃农业科技, 2002 (12): 3-5.
Wang Qinli, Luo Guanghong. *Gansu Agricultural science and Technology*, 2002(12): 3-5.
- [2] 张天昌. 黑河水量调度与下游生态恢复初步评价[J]. 甘肃水利水电技术, 2007, 43(1): 11-13.
Zhang Tianchang. *Gansu Water Conservancy and Hydropower Technology*, 2007, 43(1): 11-13.
- [3] 龚斌, 万力, 胡伏生, 等. 沙漠绿洲变化的遥感监测方法 [J]. 现代地质, 2005, 19(1): 152-156.
Gong Bin, Wan Li, Hu Fusheng, et al. *Geoscience*, 2005, 19(1): 152-156.
- [4] 王莉雯, 卫亚星, 牛铮. 基于遥感的青海省植被覆盖时空变化定量分析[J]. 环境科学, 2008, 29(6): 1744-1760.
Wang Liwen, Wei Yaxing, Niu Zheng. *Environmental Science*, 2008, 29(6): 1744-1760.
- [5] 陈江, 万力, 梁四海, 等. 青藏高原生态环境变化趋势的初步探索[J]. 地球学报, 2007, 28(6): 555-560.
Chen Jiang, Wan Li, Liang Sihai, et al. *Acta Geoscientica Sinica*, 2007, 28(6): 555-560.
- [6] 宋怡, 马明国. 基于 SPOTVEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 89-94.
Song Yi, Ma Mingguo. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1): 89-94.
- [7] 李忠峰, 李雪梅, 蔡运龙, 等. 基于 SPOTVEGETATION 数据的榆林地区土地覆盖变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(2): 56-59.
Li Zhongfeng, Li Xuemei, Cai Yunlong, et al. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(2): 56-59.
- [8] 郭建坤, 黄国满. 1998 年-2003 年内蒙古地区土地覆被动态变化分析 [J]. 资源科学, 2005, 27(6): 84-89.
Guo Jiankun, Huang Guoman. *Resources Science*, 2005, 27(6): 84-89.
- [9] 刘亚玲, 潘志华, 范锦龙, 等. 阴山北麓地区植被覆盖动态时空分析[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 168-174.
Liu Yaling, Pan Zhihua, Fan Jinlong, et al. *Resources Science*, 2005, 27(4): 168-174.
- [10] 李景刚, 何春阳, 史培军, 等. 近 20 年中国北方 13 省的耕地变化与驱动力[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 274-282.
Li Jinggang, He Chunyang, Shi Peijun, et al. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 274-282.
- [11] 金晓媚. 黑河流域天然植被的面积变化研究 [J]. 地学前缘, 2005, 12 (特刊): 165-169.
Jin Xiaomei. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(Suppl): 166-169.
- [12] 龚斌. 基于地下水模拟和遥感技术的黑河下游水资源与生态环境研究[D]. 北京: 中国地质大学. 2006.
Gong Bin. Study on water resource and ecological environment in the lower reaches of Heihe River basin based on remote sensing[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006.
- [13] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(5): 1111-1117.

(责任编辑 李慧政)