

植被指数监测绿洲农区风沙灾害的适宜性分析

程红霞¹, 林粤江², 胡列群¹

(1. 乌鲁木齐气象卫星地面站, 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆气象培训中心, 乌鲁木齐 830013)

摘 要: 绿洲农区风沙灾害的监测需要选择适宜的植被指数。以莎车县为研究区, 根据 2013 年 4 月风沙灾害发生的时间和农作物的生长特征, 利用多时相 MODIS 遥感数据产品和统计方法, 分析了 NDVI、DVI、EVI、ARVI、SAVI 和 MSAVI 对风沙灾害的敏感性。分析结果表明, 风沙灾害后的农区 ARVI 偏移和标准差均最大, 分别为 0.038 2 和 0.020 0; 基于像元的相关关系分析显示, 风沙灾害前后的 ARVI 相关系数最低, 具有较高的信息量, 对农区遭受风沙灾害的像元辨别能力强; Δ ARVI 的四分位距和标准差显著大于其他 5 个植被指数, 分别为 0.082 0 和 0.077 8, 受风沙灾害的影响显著; 结合近红外、红光和蓝光波段变化分析, 说明 ARVI 更能反映农区风沙灾害的影响。因此, ARVI 对绿洲农区风沙灾害的敏感性强, 是风沙灾害监测较适宜的植被指数。

关键词: 农区; 风沙灾害; 植被指数; 适宜性

中图分类号: P425.5⁺5; P425.6⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)02-0302-04

Suitability Analysis of Vegetation Indices for Monitoring Wind Sand Disaster in Oasis Agricultural District

CHENG Hong-xia¹, LIN Yue-jiang², HU Lie-qun¹

(1. Urumqi Meteorological Satellite Ground Station, Urumqi 830011, China;

2. Xinjiang Meteorology Training Centre, Urumqi 830013, China)

Abstract: In order to monitor and assess wind sand disaster of oasis agricultural district, it is needed to select the suitable vegetation index. Taking Shache County as study area, and based on the wind sand disaster time and the crop growth characteristics, the sensitivity analysis of normalized difference vegetation index (NDVI), difference vegetation index (DVI), enhanced vegetation index (EVI), atmospherically resistant vegetation index (ARVI), soil adjusted vegetation Index (SAVI) and modified soil-adjusted vegetation index (MSAVI) to wind sand disaster was made by means of multi temporal MODIS products and statistical method. The results indicated that the vegetation index of agricultural district showed the downtrend after wind sand disaster. By the comparison of the six kinds of vegetation index distribution maps, it is demonstrated that the deviation and variance of ARVI were the largest, 0.038 2 and 0.020 0, respectively. The correlation coefficient of ARVI before and after wind sand disaster was lowest based on the correlation analysis at pixel level, so ARVI had large amounts of information and strong ability to recognize the pixels suffering from wind sand disaster disasters in oasis agricultural district. Compared with other vegetation index differences before and after wind sand disaster, the vegetation index difference of ARVI had the largest interquartile range and standard deviation, 0.082 0 and 0.077 8, respectively, and wind sand disaster had a greater effect on ARVI. Combined with changes in the near-infrared band, red band, blue band and above analysis, ARVI can better reflect the impact of wind sand disaster on crops. Therefore, ARVI has highly sensitivity to wind sand disaster in oasis agricultural district and should be relatively suitable vegetation index for wind sand disaster monitoring.

Key words: agricultural district; wind sand disaster; vegetation indices; suitability

农区风沙灾害的主要表现是流沙掩埋耕地和农业设施。根据历年受灾情况分析, 每年春季是垦区播种出苗期, 也是风灾出现最频繁的时期。2013 年 4 月, 处于沙漠边缘的喀什绿洲农区旱情持续加剧, 大

风沙尘天气造成农作物大面积被风刮起、死苗、地膜损坏。遥感植被指数是农区灾害监测和评估的重要指标^[1-2]。植被指数是多光谱数据经线性或非线性组合,构成对植被有一定指示意义的各种数值,被越来越多地用于农业和植被生态监测^[3]。不同的植被指数在一定条件下能用来定量地说明植被状况,但受到植被本身、土壤背景、环境条件和大气空间时相变化等因素的影响,植被指数往往具有明显的地域性和时效性,没有一个普遍的值,其研究经常表明不同的结果^[4]。针对绿洲农区风沙灾害的监测和评估,需要对多个植被指数在风沙灾害前后的变化进行研究,选择适宜的植被指数。

本文以新疆喀什莎车县为例,利用多时相遥感资料,选择归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、对土壤背景变化极为敏感的差值植被指数(difference vegetation index, DVI)^[5]、校正土壤背景和气溶胶散射影响的增强型植被指数(enhanced vegetation index, EVI)^[1-2,4]、用于大气气溶胶浓度很高区域的大气阻抗植被指数(atmospherically resistant vegetation index, ARVI)^[6]、降低土壤背景影响的土壤调整植被指数(soil-adjusted vegetation index, SAVI)^[7]和减小裸土影响的修改型土壤调整植被指数(modified soil-adjusted vegetation index, MSAVI)^[8],对比分析风沙灾害前后这 6 种植被指数的变化,为今后的相关研究提供一定的参考价值。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

莎车县位于新疆西南边陲、昆仑山北麓,属暖温

带大陆性气候,年平均气温 11.4℃,年日照时数 2 965 h,年平均降水量 56.6 mm,年无霜期 220 d 左右,有种植棉花、小麦、玉米、水稻等得天独厚的自然环境和区位优势。同时,莎车县地处塔克拉玛干沙漠和布古里沙漠之间的叶尔羌河冲积扇平原中上游,是农作物风沙灾害频发的地区。2013 年 4 月 16 日,莎车县遭遇大范围的大风、沙尘暴天气,能见度不足 10 m,短时阵风最高达 9 级。大风和强沙尘天气让部分农田遭沙埋,出现了地膜掀起、棉苗被风干,设施大棚被刮烂,棚内作物大量枯萎干枯等现象。

1.2 数据来源及其预处理

结合地面观测资料和农作物风沙灾害发生时间来确定受灾时间前后的遥感数据,研究选择风沙灾害前的 2013 年 4 月 15 日和风沙灾害后的 17 日 MODIS 每日 250 m 地表反射率产品(MOD09GQ)和 500 m 地表反射率产品(MOD09GA),2012 年的土地覆盖类型产品(MCD12Q1)。使用 MODIS 产品处理软件 MRT 对这些产品进行地理几何校正与重采样,空间分辨率统一到 250 m,最终产生研究区 250 m 分辨率的地面反射率和土地覆盖类型数据。

1.3 农区范围提取

农区范围数据来源于 MODIS 的 MCD12Q1 产品。MCD12Q1 产品的第 2 个数据层为美国马里兰大学植被分类系统,根据文中研究的需求,使用莎车县矢量行政边界数据进行裁减,提取出分类系统中的农用地作为研究区的农区范围。

1.4 植被指数计算

春季是农作物的出苗期,植被覆盖度较低,根据参考文献,选择 NDVI、DVI、EVI、ARVI、SAVI 和 MSAVI 进行研究,具体植被指数计算方法见表 1。

表 1 植被指数计算公式

植被指数	计算公式
归一化植被指数(NDVI)	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
差值植被指数(DVI)	$DVI = NIR - Red$
增强型植被指数(EVI)	$EVI = 2.5 \times \frac{NIR - Red}{NIR + 6Red - 7.5Blue + 1}$
大气阻抗植被指数(ARVI)	$ARVI = \frac{NIR - (2Red - Blue)}{NIR + (2Red - Blue)}$
土壤调整植被指数(SAVI)	$SAVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} \times (1 + L)$
修改型土壤调整植被指数(MSAVI)	$MSAVI = \frac{(2NIR + 1) - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - Red)}}{2}$

注: NIR、Red 和 Blue 分别表示近红外波段反射率、红光波段反射率和蓝光波段反射率, L 为土壤调节系数,这里 L=0.5。

2 结果与分析

2.1 植被指数的变化

受风沙灾害的影响,莎车县农区 6 种植被指数的

均值、标准差和像元的相关系数均发生了显著变化。为了能够形象地对比分析植被指数差值的变化,将植被指数的显示范围统一到-0.2 到 1 之间,具体结果见表 2。

植被指数取值范围越大,越能更好地反映莎车县农区植被的空间变异性^[9]。ARVI 的取值范围为

−0.02~0.79,在 6 种植被指数中取值范围最大,说明 ARVI 具有较强的识别植被差异的能力。

表 2 植被指数统计值

时间	项目	NDVI	DVI	EVI	ARVI	SAVI	MSAVI
4 月 15 日	均值	0.2289	0.1023	0.1817	0.1005	0.1614	0.1468
	标准差	0.1178	0.0463	0.0844	0.1257	0.0774	0.0724
4 月 17 日	均值	0.2383	0.1116	0.1743	0.0623	0.1724	0.1584
	标准差	0.1293	0.0525	0.0931	0.1457	0.0872	0.0821
VI ₁₅ 与 VI ₁₇ 相关系数		0.8605	0.8648	0.8605	0.8454	0.8670	0.8640

均值可以指出绿洲农区风沙灾害前后植被指数变化的平均水平,偏移表示受灾前后农作物的植被指数均值之差,植被指数偏移越大,表明植被指数受风沙灾害的影响范围就越大,植被指数对风沙灾害也就越敏感^[9-10]。风沙灾害前后,NDVI、DVI、EVI、ARVI、SAVI 和 MSAVI 的偏移分别为 0.009 4,0.009 3,0.007 4,0.038 2,0.011 0 和 0.011 6,ARVI 偏移最大,其次是 MSAVI,SAVI,NDVI,DVI,EVI 最小。总体上,植被指数值呈现减小趋势,这说明农区农作物受到风沙灾害的影响,出现沙埋、叶片损伤、枯死等现象导致植被指数减小。

标准差能反映绿洲农区风沙灾害前后植被指数的离散程度和空间变异性^[9-10]。NDVI、DVI、EVI、ARVI、SAVI 和 MSAVI 的标准差变化值分别为 0.011 5,0.006 2,0.008 7,0.020 0,0.009 8 和 0.009 7,ARVI 最大,其次是 NDVI,SAVI,MSAVI,EVI,DVI 最小。标准差变化值较大表明农作物在风沙灾害前后植被指数变化的波动程度较大,并且受灾程度较严重。

植被指数在风沙灾害前后的相关程度反映了植被指数变化的异常性,相关性越小,植被指数异常程度越大^[11]。受灾面积和空间分布情况的基础是像元的差异性。为了比较同一植被指数在风沙灾害前后的异常情况,本文通过计算像元植被指数在风沙灾害前后的相关系数来评估这种差异性。表 2 中的数据显示,在风沙灾害前后,6 种植被指数的相关系数均

在 0.8 左右,具有弱差异性。与其他 5 中植被指数相比,ARVI 在风沙灾害前后的相关系数最低,说明 ARVI 对风沙灾害的敏感性强,对农区遭受风沙灾害的像元辨别能力强。

2.2 植被指数差值的变化

为了分析农区风沙灾害植被指数的变化情况,需要将风沙灾害前后的植被指数进行相减,获得包含风沙灾害影响植被指数变化信息的植被指数差值(ΔVI),并对这个差值进行统计分析^[12]。因此,可以通过对比分析不同植被指数的 ΔVI 来分析植被指数对风沙灾害的敏感性。采用四分位距和标准来评估植被指数对风沙灾害的敏感性。四分位距反映了 ΔVI 中间 50%数据的离散程度和变异程度,ΔVI 的四分位距越大,说明这种植被指数对受灾程度也就越敏感^[13]。

表 3 显示了 ΔNDVI,ΔDVI,ΔEVI,ΔARVI,ΔSAVI 和 ΔMSAVI 受风沙灾害影响产生的变化,并且风沙灾害对 6 种植被指数的影响差别很大。可以看出,2013 年 4 月莎车县农区受到风沙灾害的影响,农作物植被指数降低,农区 6 种植被指数均呈正态的偏态分布,四分位距和标准差均受到风沙灾害的影响。四分位距的大小表示中间数据的分散程度,ΔARVI 的四分位距最大,其次是 ΔNDVI,ΔSAVI,ΔEVI,ΔMSAVI,ΔDVI 最小。ΔARVI 标准差最大,其次是 ΔNDVI,ΔEVI,ΔSAVI,ΔMSAVI,ΔDVI 最小。

表 3 植被指数变化的统计

项目	ΔNDVI	ΔDVI	ΔEVI	ΔARVI	ΔSAVI	ΔMSAVI
四分位距	0.0672	0.0285	0.0443	0.0820	0.0453	0.0421
标准差	0.0662	0.0264	0.0476	0.0778	0.0435	0.0414

注:四分位距表示 ΔVI 的 75%分位数与 25%分位数的差值,ΔNDVI、ΔDVI、ΔEVI、ΔARVI、ΔSAVI 和 ΔMSAVI 分别为归一化植被指数、差值植被指数、增强型植被指数、大气阻抗植被指数、土壤调整植被指数、修改型土壤调整植被指数的变化值,下同。

2.3 光谱分析

农作物受到风沙灾害后,叶片的叶绿素含量、叶腔的组织结构、水分含量就会发生不同程度的变化,其反射光谱特性也随之变化,且农作物受灾越严重光谱变化越大。农作物风沙灾害前后,近红外波段反射

率的平均值从 0.283 3 到 0.301 0,差值为 0.017 7;红光波段反射率的平均值从 0.180 9 到 0.189 4,差值为 0.008 5;蓝光波段反射率的平均值从 0.126 0 到 0.104 9,差值为 0.021 1。近红外反射率的平均值最大,但差值较高;红光波段反射率的平均值次之,差值

最小;蓝光波段平均值最小,但差值最大。由此可见,受灾农作物在蓝光波段响应最高,近红外波段次之,红光波段最小。

对风沙灾害前后单波段反射率和植被指数进行相关分析(表 4)。通过对不同植被指数的分析表明,虽然

不同植被指数与单波段反射率相关性存在差异,但总体趋势基本相似,近红外波段反射率和植被指数间具有正的弱相关关系,红光和蓝光波段反射率和植被指数间具有显著的负相关关系,其中红波段反射率和植被指数间负相关系数较高,蓝波段反射率相对低些。

表 4 波段与指数的相关系数

项目		NDVI	DVI	EVI	ARVI	SAVI	MSAVI
近红外	风沙灾害前	0.1799	0.3838	0.4030	0.3019	0.2830	0.3103
	风沙灾害后	0.2011	0.3123	0.2972	0.2594	0.2529	0.2705
红光	风沙灾害前	-0.8641	-0.7484	-0.7000	-0.7251	-0.8134	-0.7962
	风沙灾害后	-0.9030	-0.8533	-0.8464	-0.8466	-0.8828	-0.8736
蓝光	风沙灾害前	-0.6837	-0.5633	-0.4103	-0.3773	-0.6303	-0.6124
	风沙灾害后	-0.7085	-0.6550	-0.5854	-0.5485	-0.6871	-0.6750

结合 6 种指被指数计算表达式和上述光谱分析结果,ARVI 比其他 5 种植被指数更能反映农区风沙灾害的敏感性。这主要是为了突出农作物本身的光谱特征和其动态信息,需要尽量排除沙尘的影响,近红外波段本身对沙尘不敏感^[6],风沙灾害后,农作物叶片干枯,叶绿素降低,使得受叶子叶绿素含量控制的蓝光波段和红光波段对叶片叶绿素的响应比受叶内细胞结构控制的近红外波段更为明显,而 ARVI 应用对风沙响应较高的蓝光波段和响应较低的红光波段的不同反射率来订正红光波段的反射率,实现了自身订正大气对红光波段的影响过程,从而对沙尘影响具有一定的抵抗作用^[14]。因此,ARVI 比 NDVI, DVI,EVI,SAVI 和 MSAVI 对风沙灾害更为敏感。

3 结论与讨论

本文以 2013 年 4 月喀什莎车县风沙灾害为例,探讨了 NDVI,DVI,EVI,ARVI,SAVI 和 MSAVI 在风沙灾害前后的变化。6 种植被指数比较的结果表明,风沙灾害后,这 6 种植被指数均值呈现减小趋势,ARVI 的取值范围、偏移和标准差最大,且相关系数最小,说明 ARVI 能更好地反映绿洲农区农作物的空间变异性,具有较强识别农作物是否受灾的能力;风沙灾害前后植被指数的差值变化显示,ΔARVI 的四分位距和标准差最大,说明 ARVI 受风沙灾害的影响显著;结合风沙灾害前后的近红外、红光和蓝光波段的变化和植被指数表达式,ARVI 比其他 5 种植被指数更能反映农区风沙灾害的影响。综合以上分析,绿洲农区受到风沙灾害的影响后,农区 ARVI 反映植被细部变化的能力最强,对风沙灾害的响应最大,比 NDVI,DVI,EVI,SAVI 和 MSAVI 对风沙灾害更为敏感,适于对绿洲农区受风沙灾害的监测和评估。

值得指出的是,研究中主要考虑了绿洲农区植被

指数在风沙灾害前后的变化,缺少对农作物的受灾范围、程度和受灾后生长情况的分析。其原因是风沙灾害多发生在农作物生长变化较快的春季,与风沙灾害前相同条件的农作物正常生长时间较难掌握,造成风沙灾害阈值的确定具有一定的困难。因此,为了快速准确地对农区风沙灾害进行监测评估,需要深入研究风沙灾害阈值的确定方法。同时当农作物遭受风沙灾害后,对农作物生长后期生物量、产量的影响还需要进一步地分析。

参考文献:

[1] 钱永兰,侯英雨,延昊,等. 基于遥感的国外作物长势监测与产量趋势估计[J]. 农业工程学报,2012,28(13): 166-171.

[2] 董燕生,陈洪萍,王慧芳,等. 基于多时相环境减灾卫星数据的冬小麦冻害评估[J]. 农业工程学报,2012,28(20):172-179.

[3] 胡晓雯,曹爽,赵显富. 基于植被指数的绿地信息提取的比较[J]. 南京信息工程大学学报:自然科学版,2012,4(5):420-425.

[4] 朱高龙,柳艺博,居为民,等. 4 种常用植被指数的地形效应评估[J]. 遥感学报,2013,17(1):210-234.

[5] 徐爽,沈润平,杨晓月. 利用不同植被指数估算植被覆盖度的比较研究[J]. 国土资源遥感,2012,95(4):95-100.

[6] 张婕,张武,陈权亮. 利用 MODIS 数据反演植被指数的敏感性研究[J]. 西南大学学报:自然科学版,2011,33(11):152-158.

[7] Huete A R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) [J]. Remote Sensing of Environment,1988,25(3):295-309.

[8] Qi J, Chehbouni A, Huete A R, et al. A modified soil adjusted vegetation index[J]. Remote Sensing of Environment,1994,48(2):119-126.

- (3):374-475.
- [10] 蒲健辰,姚檀栋,王宁练,等. 近百年来青藏高原冰川的进退变化[J]. 冰川冻土,2004,26(5):517-522.
- [11] 郭国和,程尊兰,吴国雄,等. 川藏公路南线典型冰湖及其溃决危险性评价[J]. 水土保持研究,2009,16(2):50-55.
- [12] 胡桂胜,陈宁生,邓虎. 基于 GIS 的西藏林芝地区泥石流易发与危险区分析[J]. 水土保持研究,2012,19(3):195-199.
- [13] 吴艳红,朱立平,叶庆华,等. 纳木错流域近 30 年来湖泊—冰川变化对气候的响应[J]. 地理学报,2007,62(3):301-311.
- [14] 康世昌,陈锋,叶庆华,等. 1970—2000 年西藏念青唐古拉山峰南、北坡冰川显著退缩[J]. 冰川冻土,2007,29(6):869-873.
- [15] 上官冬辉,刘时银,康福,等. 1970—2000 年念青唐古拉山脉西段冰川变化[J]. 冰川冻土,2008,30(2):204-210.
- [16] Bolch T, Yao T, Kang S, et al. A glacier inventory for the western Nyainqentanglha Range and the Nam Co Basin, Tibet, and glacier changes 1976—2009[J]. The Cryosphere,2010,4(3):419-433.
- [17] 王旭,周爱国,Siegert F,等. 念青唐古拉山西段冰川 1977—2010 年时空变化[J]. 中国地质大学学报,2012,37(5):1082-1092.
- [18] 焦克勤,Shuji Iwata,姚檀栋,等. 3.2ka BP 以来念青唐古拉山东部则普冰川波动与环境变化[J]. 冰川冻土,2005,27(1):74-79.
- [19] 施雅风,刘时银. 中国冰川对 21 世纪全球变暖响应的评估[J]. 科学通报,2000,45(4):434-438.
- [20] 米德生,谢自楚. 中国冰川编目Ⅺ:恒河水系[M]. 西安:西安地图出版社,2002.
- [21] Andreassen L M, Paul F, Kääb A, et al. The new Landsat-derived glacier inventory for Jotunheimen, Norway, and deduced glacier changes since the 1930s [J]. The Cryosphere Discussions,2008,2(3):299-339.
- [22] 曹泊,潘保田,高红山,等. 1972—2007 年祁连山东段冷龙岭现代冰川变化研究[J]. 冰川冻土,2010,32(2):242-248.
- [23] Paul F, Kaab A, Maisch M, et al. The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods [J]. Annals of Glaciology,2002,34(1):355-361.
- [24] Oerlemans J. An attempt to simulate historic front variations of Nigardsbreen, Norway [J]. Theoretical and Applied Climatology,1986,37(3):126-135.
- [25] 李慧林,李忠勤,秦大河. 冰川动力学模式基本原理和参数观测指南[M]. 北京:气象出版社,2009.
- [26] 王璞玉,李忠勤,曹敏,等. 近 45 年来托木尔峰青冰滩 72 号冰川变化特征[J]. 地理科学,2010,30(6):962-967.
- [27] 李鹏,闫明,徐跃通,等. 基于 GIS 冰川末端变化计算方法研究:以北极 Austre Lovénbreen 冰川为例[J]. 冰川冻土,2012,34(2):367-374.
- [28] 王利平,谢自楚,刘时银,等. 1970—2000 年羌塘高原冰川变化及其预测研究[J]. 冰川冻土,2011,33(5):979-990.
- [29] 田洪阵,杨太保,刘沁萍. 近 40 年来冷龙岭地区冰川退缩和气候变化的关系[J]. 水土保持研究,2012,19(5):34-38.
- [30] 丁永建. 近 40 年来全球冰川波动对气候变化的反应[J]. 中国科学:B 辑,1995,25(10):1093-1098.
- [31] 高晓清,汤懋苍,冯松. 冰川变化与气候变化关系的若干探讨[J]. 高原气象,2000,19(1):9-16.

(上接第 305 页)

- [9] 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.
- [10] Peña-Barragán J M, Ngugi M K, Plant R E, et al. Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology [J]. Remote Sensing of Environment,2011,115(6):1301-1316.
- [11] 魏丰良,刘廷玺,张圣微,等. 科尔沁沙地植被覆盖变化及其与气候因子的关系研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):254-258.
- [12] Lee M F, Lin T C, Vadeboncoeur M A, et al. Remote sensing assessment of forest damage in relation to the 1996 strong typhoon Herb at Lienhuachi Experimental Forest, Taiwan [J]. Forest Ecology and Management,2008,255(8):3297-3306.
- [13] Wang W, Qu J J, Hao X, et al. Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing [J]. Agricultural and Forest Meteorology,2010,150(1):122-132.
- [14] 张杰,郭妮,郝志毅. 沙尘气溶胶对西北地区植被遥感的影响分析[J]. 高原气象,2006,25(1):116-122.