

利用 SPOT 数据进行干旱监测的应用研究

杜灵通^{1,2,3}, 李国旗^{1,4}

(1. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建省部共建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021;
2. 宁夏大学 西部发展研究中心, 宁夏 银川 750021; 3. 宁夏大学·岛根大学国际联合研究所,
宁夏 银川 750021; 4. 宁夏大学 西部生态与生物资源开发联合研究中心, 宁夏 银川 750021)

摘要: 植被状态与环境干湿程度密切相关, 而归一化植被指数(NDVI)是植被状态的最直接表现。利用 NOAA/AVHRR 对植被生长环境的干旱监测研究已较成熟, 并积累了一些如距平植被指数等快速、便捷的干旱监测方法。利用比利时佛莱芒技术研究所提供的 1998—2006 年 SPOT VGT 数据, 采用距平植被指数干旱监测方法, 对宁夏回族自治区 2000 年春末夏初遭遇的特大干旱进行监测, 并用 1998—2005 年平均分布于全区的各气象监测点观测数据进行验证。结果表明, 利用 SPOT VGT 数据能够较准确地监测出干旱发生的范围和相应的干旱程度, 基于 SPOT VGT 数据的距平植被指数干旱监测模型可以作为一种快速、便捷的干旱监测方法, 在实践部门进行推广应用。

关键词: 干旱监测; SPOT; 归一化植被指数; 宁夏

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0153-04

中图分类号: S27, X830.3

Applied Research on Drought Monitoring Using SPOT Data

DU Ling-tong^{1,2,3}, LI Guo-qi^{1,4}

(1. Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China of the Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Research Center for Western Development, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

3. International Research Institute of Ningxia University and Shimane University,

Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 4. Research Center of Ecology and

Exploitation of Biological Resources in Western China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Vegetation condition has a close relation with the dry and wet degree of environment. The normalized difference vegetation index (NDVI) is a good index indicating the condition. Generally, the NOAA/AVHRR data may be used to monitor drought and there are some successful methods such as anomaly vegetation index(AVI) for the purpose. At present, the Flemish Institute for Technological Research, Belgium (VITO), freely provides a set of SPOT VGT NDVI data from 1998 to 2006. Using the AVI calculated from the SPOT VGT NDVI data from 1998 to 2006, drought grade in the monitoring year was classified. The study successfully monitored the drought that occurred in Ningxia Hui Autonomous Region, Northwest China, in 2000. The result was also validated using meteorological observation data collected from some weather stations in Ningxia. It is shown that the method can be used not only to accurately monitor drought range and degree but also to help the governmental departments in related areas.

Keywords: drought monitoring; SPOT; normalized difference vegetation index; Ningxia Hui Autonomous

干旱作为一种气象灾害, 长期困扰着工农业生产。据 Obasi 统计, 在各类自然灾害造成的总损失中, 气象灾害引起的损失约占 85%, 而干旱又占气象

灾害损失的 50% 左右^[1]。我国在 1949—1990 年的 42 a 间, 共出现 36 个比较严重的干旱年, 年均受旱面积 $1.96 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 年均因旱成灾面积 7.69×10^6

收稿日期: 2007-09-12 修回日期: 2007-11-12

资助项目: 国家自然科学基金(30660039); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-0896)

作者简介: 杜灵通(1980—), 男(汉族), 宁夏回族自治区同心县人, 助理研究员, 主要从事遥感应用研究。E-mail: dult80@sin.a.com。

通讯作者: 李国旗(1965—), 男(汉族), 宁夏回族自治区平罗县人, 博士, 研究员, 主要从事生态学研究。E-mail: guoqilec@sohu.com。

hm², 年均因旱减产粮食 1.01×10^7 t, 旱灾造成的直接经济损失和间接经济损失累计达 4.44×10^{12} 元 (1990 年不变价), 年均因旱损失 1.06×10^{11} 元^[2]。

由于 NOAA/AVHRR 有长的时间序列, 因此利用 NOAA/AVHRR 的 NDVI 进行干旱监测的研究较多^[3]。SONG 等人^[4] 通过将监测年份 NOAA/AVHRR 的 NDVI 与正常年份的标准 NDVI 比较, 来预测旱灾发生的地区和程度, 并在东亚地区试验取得成功。陈云浩等^[5] 利用 10 a 的 NOAA/AVHRR 逐月 NDVI 资料和中国国家气象局全国 160 个气象站的月均温度和降水数据, 探讨气温、降水对中国植被 NDVI 动态变化的驱动作用。张远东等^[6] 通过利用 1992—1996 年 NOAA/AVHRR 逐旬的 NDVI 数据和阜康气候、水文资料, 分别对绿洲和荒漠进行了 NDVI 与气候、水文因子的相关性分析。李本纲等^[7] 利用 NOAA/AVHRR 的 NDVI 数据, 并结合植被覆盖类型资料深入探讨了 NDVI 与气温、降水的相关性及其随植被类型的变化规律。本研究尝试利用 SPOT VGT 的 NDVI 序列进行干旱监测, 并以宁夏回族自治区进行实例研究。

1 研究区概况

宁夏回族自治区位于黄河中上游黄土高原西北部, 介于 $104^{\circ}17' E$ — $107^{\circ}39' E$ 和 $35^{\circ}14' N$ — $39^{\circ}23' N$ 之间, 南接甘肃省, 东连陕西省, 北部与内蒙古自治区相邻, 总面积为 $51\,800\text{ km}^2$ 。宁夏北部为银川平原, 由于黄河从中部进入宁夏, 给银川平原带来了丰富的水源, 使其成为宁夏最富庶的地区, 有“天下黄河富宁夏”之说。宁夏的中部, 多为丘陵山地和山间盆地以及黄河一带的河谷平原。南部则是举世闻名的黄土高原的一部分, 六盘山高踞黄土丘陵之上, 海拔达 2 000 m 以上, 这里植被丰富, 是宁夏最湿润的地方。

宁夏深居内陆, 属典型的大陆性气候, 干旱少雨, 日照充足。年平均气温 $5^{\circ}C$ — $9^{\circ}C$, 年平均降水量在 292 mm 左右, 南多北少且集中在 6—9 月; 年蒸发量达 2 000 mm 以上。截止 2005 年末全区人口为 596.2 万人。

2 研究方法

2.1 SPOT VGT 数据

SPOT-4 是由法国、比利时、瑞典、意大利等几个欧共体国家合作完成, 于 1998 年 3 月 24 日发射的太阳同步近极地轨道卫星, 它相对于赤道平面的倾角

为 98.7° , 赤道上空高度 832 km, 经过赤道平面的时间为当地时间上午 10:30。其上携带的 VEGETATION 传感器为推扫式传感器, 扫描宽度为 2 250 km, 空间分辨率为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$, 有 4 个波段, 分别为 B₀ 波段(蓝, 波长 0.43~0.47 μm)、B₂ 波段(红, 波长 0.61~0.68 μm)、B₃ 波段(近红外, 波长 0.79~0.89 μm)、SWIR 波段(短波红外, 波长 1.58~1.75 μm), 在中高纬度可以实现全天覆盖, 主要用于陆地植被的基本状况和变化趋势的监测。VEGETATION 传感器从 1998 年 4 月开始接收 SPOT VGT 数据, 该数据由比利时佛莱芒技术研究所(Flemish Institute for Technological Research, VITO) 的 VEGETATION 影像处理中心(VEGETATION processing Centre, CTIV) 负责预处理成逐日 1 km 全球数据, 可以免费提供 10 d 最大化合成的 1 km 归一化植被指数数据^[8]。

SPOT VGT 遥感数据以 3 种标准格式提供给用户, 即 VGT-P(原始数据), VGT-S1(每天合成图像), VGT-S10(10 天合成图像)。VGT-P 为未经处理的产品, VGT-S 为原始数据经过大气校正的合成产品。VGT-S1 是 1 d 合成图像, VGT-S10 是 10 d 合成图像; 两种数据均包含 NDVI 指数, VGT-S10 的 NDVI 是由每天的 NDVI 按每 10 d 最大值合成的 NDVI。每个月对应有 3 幅 VGT-S10 图像, 分别为上旬(1—10 号)、中旬(11—20 号)、下旬图像(21—月末)。

2.2 数据预处理

本研究利用比利时佛莱芒技术研究所提供的覆盖东亚的 VGT-S10 数据集, 时间跨度为 1998 年 4 月到 2006 年 12 月。由于该数据集是覆盖整个东亚地区的, 且包含单波段和 NDVI, 而本研究只需要覆盖宁夏地区的 NDVI 数据。因此在 ENVI 4.2 环境下将数据集中的 NDVI 提取出来, 同时利用宁夏回族自治区的矢量边界将数据进行裁剪, 并将原始投影系统转换到自定义的投影系统下。该投影系统为 Albers 等面积圆锥投影, Krasovsky 椭球体, 中央子午线为 105° , 两条标准纬线分别为北纬 25° 和北纬 47° , 中央纬线为 0° 。

CTIV 在对原始 VGT 经大气校正、辐射校正和几何校正后合成的 NDVI 数据界于 -1~1 之间, 为了便于存储, 将其 -1~-0.1 的值设置为 -0.1, 再通过公式

$$DN = (NDVI + 0.1) / 0.004 \quad (1)$$

转换到 0~250 的 DN 值。因此,在数据预处理过程中,必须按公式(2)将 DN 值转换为真实的 NDVI 值。

$$\text{NDVI} = 0.004 \times \text{DN} - 0.1 \quad (2)$$

在遥感应用中,特别是时间序列的对比研究,去云层的影响非常重要。但对于宁夏地区,10 d 最大值合成数据就可以完全消除云层的影响。因为该区域地处中国内陆,常年干旱少雨,同一地区连续 10 d 以上的云层覆盖情况几乎没有。

2.3 距平植被指数

在天气气候研究中“距平”是指某一地点的观测值对常年平均值的偏差。平均值反映多年的平均状态,高出平均值为正距平,低于平均值为负距平。基于植被与干旱变化具有双向指示的特点,陈维英等人提出距平植被指数(anomaly vegetation index, AVI),并将它作为监测干旱的一种量度^[9]。AVI 作为监测干旱的一种方法,它以某一地点某一时期多年的 NDVI 平均值为背景值,用当年该时期的 NDVI 减去背景值,即可计算出 AVI 的变化范围,即 NDVI 的正、负距平值。正距平反映植被生长较一般年份好,负距平表示植被生长较一般年份差。AVI 的计算公式如下

$$\text{AVI} = \text{NDVI}_t - \overline{\text{NDVI}} \quad (3)$$

式中: NDVI_t ——某一特定年某一时期(如旬、月等)的 NDVI 值; $\overline{\text{NDVI}}$ ——多年该时期 NDVI 的平均值。引入距平植被指数概念的目的是将 NDVI 的变化与天气、气候研究中“距平”的概念联系起来,对比分析 NDVI 的变化与短期的气候变化之间的关系。

2.4 干旱分析

干旱直接影响到作物生物量的积累、叶面积指数及覆盖度的增长,根据植物的光谱反射特性(红光波段强吸收,近红外强反射)计算出的 NDVI 与土地表面绿度、植物的生长状态及其密度密切相关。因此,植被指数可用于监测对作物生长不利的环境条件,尤其是对干旱环境的监测。NDVI 因其对不同视角及大气条件不敏感被广泛应用,有很多理论和经验研究表明 NDVI 能够相当准确地反映大范围内的土地覆盖和宏观监测降水状况。从农业生产考虑,干旱是在水分胁迫下,作物及其生存环境相互作用构成的一种旱生生态环境。影响农业作物生产的因素很多,主要有气候、土壤、生产水平、天气和人类活动等,在这些因素中,对某一地区来说,在一定的连续时间内,可以

认为气候、土壤和生产水平处于相对不变的状态,只有天气变化对作物生长有短期的效应。因此,距平植被指数可用于表示作物受旱程度。

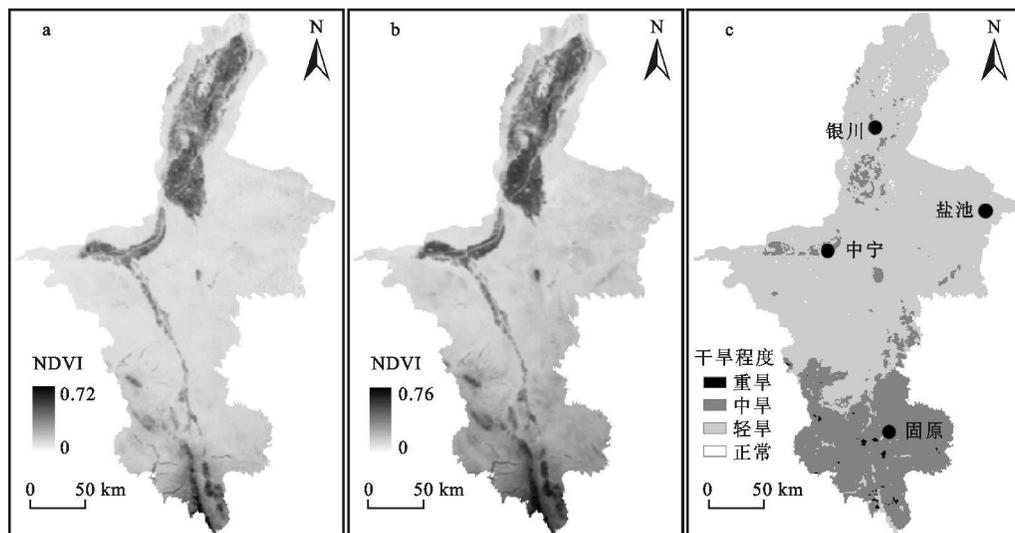
距平植被指数可以运用于旱灾中旱情程度的评价,但具体的划分标准还有赖于实践经验。对于植被覆盖较好的地区,干旱程度在距平植被指数上反映较明显,一般而言,距平植被指数为 $-0.1 \sim -0.25$ 表示旱情出现,小于 -0.25 表示旱情严重^[4]。考虑到宁夏属西北地区,大部分植被覆盖较少,其 NDVI 随干旱的变化稍弱于东部地区。因此本研究将干旱等级划分为 4 级, $\text{AVI} \geq 0$ 表示正常或湿润, $0 > \text{AVI} \geq -0.1$ 表示出现轻旱, $-0.1 > \text{AVI} \geq -0.2$ 为中旱,而当 $-0.2 > \text{AVI}$ 时表示出现重旱。

3 结果及验证

2000 年北方大范围春夏干旱,长江以北大部地区降水比常年同期明显偏少,加之气温比同期偏高,风沙天气频繁,导致大范围的春旱发生,宁夏也是受灾严重的省份之一。为了监测宁夏的受灾情况,本研究选择 2000 年 5 月下旬的 SPOT VGT NDVI 数据对宁夏的旱情进行了监测。通过计算 1998 年 5 月下旬到 2006 年 5 月下旬 NDVI 的平均值,再利用被监测的 2000 年 5 月下旬 NDVI 值做距平,计算出 2000 年 5 月下旬距平植被指数(AVI),并根据距平植被指数划分干旱程度,结果见图 1。

研究结果表明,宁夏全区基本都出现不同程度的干旱,其中南部山区的干旱程度较高,普遍达到了中旱,个别地方达到重旱,而川区主要为轻旱。为了检验遥感反演干旱程度的精确性,本研究选择了均匀分布于宁夏境内的银川、中宁、盐池和固原 4 个气象站 1998—2005 年 5 月份的月平均降雨量数据和月平均气温数据(图 2)。结果显示在 2000 年 4 个气象站的月平均降水量都达到了观测时间序列内的最低,而月平均气温都达到了观测时间序列内的最高,这也表明 2000 年 5 月份宁夏全区出现大面积的干旱。

利用干旱程度图,在 ENVI 软件的支持下,进行密度分割,统计出宁夏不同等级干旱的面积。其中干旱程度达到重旱的为 135 km^2 ,中度干旱面积为 $13\,259 \text{ km}^2$,轻度干旱面积为 $38\,166 \text{ km}^2$,其中正常或相对湿润的只有 327 km^2 。达到中度干旱的地区占全区面积的 25.8%,而总的受灾面积达到了 99.4%。



2000 年 5 月下旬 NDVI; 1998—2006 年 5 月下旬 NDVI 平均值; c2000 年 5 月下旬干旱程度图

图 1 基于 SPOT VGT 数据的干旱监测图

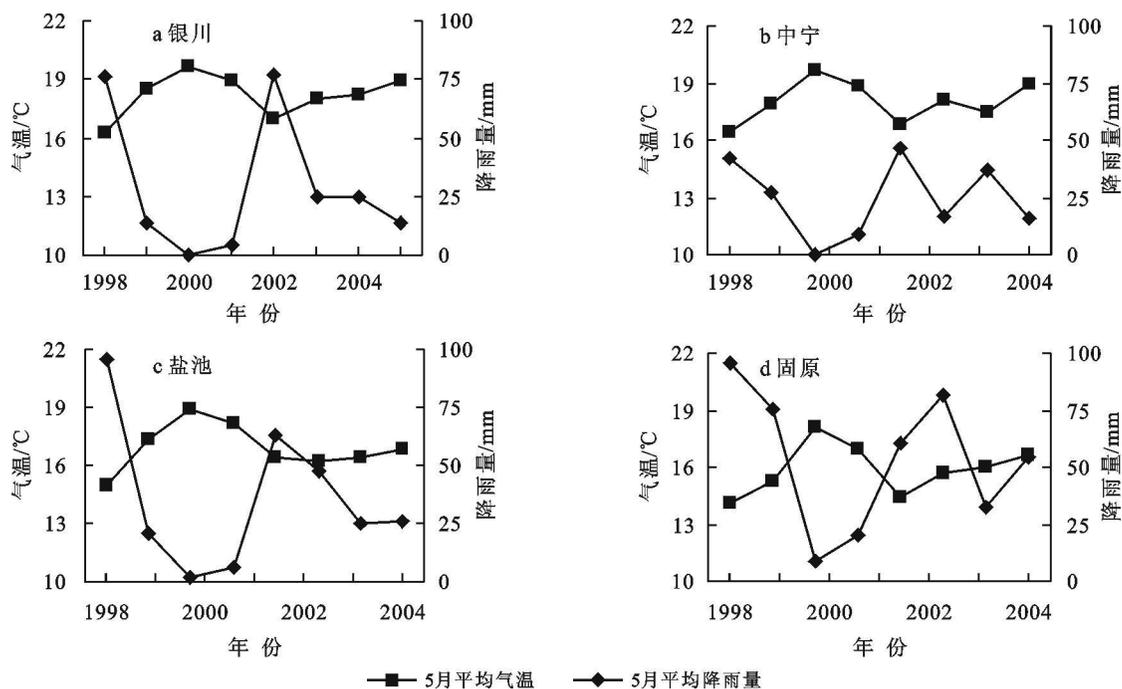


图 2 1998—2005 年各气象站点 5 月份平均气温和降雨量

4 讨论

本研究利用 SPOT VGT 1998—2006 年 NDVI 序列数据,对宁夏 2000 年 5 月份出现的大旱进行了监测,结果表明利用距平植被指数可以较准确地监测出干旱出现的程度及区域分布,并能够统计出不同干旱程度的受灾面积。同时该方法简单易行,可以作为一种快速、便捷的干旱灾害监测和评估方法,被实际应用部门所采用。此外,该方法是从面上监测旱情,

弥补了以往利用气象点源观测数据插值造成区域旱情监测不准的缺陷。

[参 考 文 献]

- [1] Obasi G P. WM O' s Role in the international decade for natural disaster reduction[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 75 (9): 1655—1661.
- [2] 聂俊峰,韩清芳,问亚军,等.我国北方农业旱灾的危害特点与减灾对策[J].干旱地区农业研究,2005,23(6): 171—178.

(下转第 172 页)

- [6] 黄锡畴, 孟宪玺. 东北地区西部生态环境脆弱带研究[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [7] 胜连喜, 刘长生, 周道纬. 吉林生态与生态建设[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.
- [8] 裘善文, 张柏, 王志春. 吉林省西部土地荒漠化现状、特征与治理途径研究[J]. 地理科学, 2003, 23(2): 188—192.
- [9] Pan Xiangliang, Deng Wei, Zang Daoyong, et al. Sustainable agriculture in the semi arid agro pastoral interweaving belt of Northern China[J]. Outlook on Agriculture, 2003, 32(3): 165—172.
- [10] 刘耀彬, 宋学锋. 城市化与生态环境耦合模式及判别[J]. 地理科学, 2005, 24(4): 408—414.
- [11] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J]. 地理学报, 2005, 60(2): 237—247.
- [12] 张晓东, 池天河. 90年代中国省级区域经济与环境协调度分析[J]. 地理研究, 2001, 20(4): 506—515.
- [13] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. 自然资源学报, 2005, 25(11): 105—112.
- [14] 乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 3003—3009.
- [15] 李佳, 吴军年, 杜哲. 生态脆弱地区资源—环境—经济协调发展程度评价: 以民勤地区为例[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 117—122.
- [16] 张妍, 尚金城, 于相毅. 城市经济与环境发展耦合机制的研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 107—112.
- [17] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系: 以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理, 1999, 19(2): 171—177.
- [18] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系: 以珠江三角洲城市群为例[J]. 广州环境科学, 1996, 11(1): 12—16.
- [19] 吴文恒, 牛叔文, 郭晓东. 中国人口与资源环境耦合的演进分析[J]. 自然资源学报, 2006, 21(6): 853—861.
- [20] 陈静, 曾珍香. 社会、经济、资源、环境协调发展评价模型研究[J]. 科学管理研究, 2004, 6(3): 9—13.

(上接第 156 页)

- [3] Kogan F N. Global drought watch from space[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1997(78): 621—636.
- [4] Song X, Saito G, Kodama M, et al. Early detection system of drought in East Asia using NDVI from NOAA/AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(16): 3105—3111.
- [5] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 1983—1992年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析[J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 717.
- [6] 张远东, 徐应涛, 顾峰雪, 等. 荒漠绿洲 NDVI 与气候、水文因子的相关分析[J]. 植物生态学报, 2003, 27(6): 816—821.
- [7] 李本纲, 陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 898—902.
- [8] Maisongrande P, Duchemin B, Dedieu G. VEGETATION/SPOT: an operational mission for the earth monitoring; presentation of new standard products[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(1): 9—14.
- [9] 陈维英, 肖乾广, 盛永伟. 距平植被指数在 1992 年特大干旱监测中的应用[J]. 环境遥感, 1994, 9(2): 106—112.