

Analysis of the Spatial-Temporal Variation Characteristics of Drought Based on Vegetation Condition Index in Southern China from 1982 to 2016

Liang Liang*, Jiahui Wang, Ting Huang, Xiang Luo, Qing Sun, Jialing Li

School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu
Email: *liangliang198119@163.com

Received: Jul. 4th, 2018; accepted: Jul. 20th, 2018; published: Jul. 27th, 2018

Abstract

Drought is one of the most serious natural disasters. This study presents a comprehensive spatio-temporal analysis of vegetative drought conditions that used the vegetation condition index (VCI) data product obtained from NOAA/AVHRR to reveal the vegetative drought patterns across China from 1981-2016. Considering the characteristics of VCI as drought indicators, multiple methods were designed for these analyses, including drought frequency analysis, trend analysis and anomaly index analysis. The results show that southern of China is a region with high vegetative drought frequency, but that most areas experienced only moderate periods of drought, only parts of Hunan and Sichuan basin experienced heavy drought. During 1982-2016, the VCI had an increasing trend in southern of China, indicating a reduced frequency of vegetative drought throughout the region. Moreover, the trend was wavelike rather than a one-way change and could be divided into 3 phases: 1) a slowly increasing phase from 1982-1990, 2) an intensively fluctuating phase from 1991-2000, 3) a steadily increasing phase from 2001-2016. This study analyzed the regular pattern of temporal and spatial variation of drought in southern China, and provided scientific basis for formulating relevant measures and policies for drought mitigation.

Keywords

Drought, Vegetation Condition Index (VCI), Trend Analysis, Anomaly Index

基于VCI的1982~2016年中国南方地区干旱时空变化特征分析

梁 亮*, 王家慧, 黄 婷, 罗 翔, 孙 亲, 李嘉玲

*通讯作者。

文章引用: 梁亮, 王家慧, 黄婷, 罗翔, 孙亲, 李嘉玲. 基于 VCI 的 1982~2016 年中国南方地区干旱时空变化特征分析[J]. 测绘科学技术, 2018, 6(3): 231-238. DOI: 10.12677/gst.2018.63026

江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州

Email: liangliang198119@163.com

收稿日期: 2018年7月4日; 录用日期: 2018年7月20日; 发布日期: 2018年7月27日

摘要

干旱是最严重的自然灾害之一。本文基于1982~2016年NOAA/AVHRR气象卫星资料, 以植被状态指数(VCI)为干旱监测指标, 采用频率分析、趋势率分析、距平指数分析等方法, 分析了中国南方地区干旱时空变化特征与发展趋势。结果表明, 南方地区是干旱高发区, 但绝大部分区域以轻旱与中旱为主, 仅在四川盆地以及湖南少部分区域重旱发生频率稍高。1982~2016年间, 南方地区VCI总体呈上升趋势, 即大部分区域旱情趋于缓解。且VCI序列并非单向的变化, 而是波动式上升, 大致可分为1981~1990的缓慢上升期、1991~2000年的剧烈震荡期、2001~2016年的稳定上升期。本研究分析了中国南方地区旱情时空变化的规律, 可为抗旱减灾相关措施与政策的制定提供科学依据。

关键词

干旱, 植被状态指数(VCI), 趋势分析法, 距平指数

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

干旱作为一种严重的自然灾害, 给社会经济及人民生活造成严重影响[1]。因此, 通过干旱监测及时了解旱情并掌握旱灾发生规律, 对于提高农业生产效率、保护生态环境以及促进社会经济的可持续发展具有重要意义。

传统的干旱监测方法通过利用地面观测站点获得的降水量、气温、土壤湿度等数据进行监测, 获取的系点源数据, 虽然可对其进行插值以得到空间连续的数据, 但由于站点数量有限且空间分布不均, 监测结果存在很大的不确定性[2] [3]。遥感技术能够快速准确地获取大面积、多尺度以及多时相的地表空间综合信息, 具有宏观高效、实时动态等优势, 已逐渐成为干旱监测领域的前沿与热点[4] [5] [6] [7]。目前, 可进行干旱监测的遥感指标包括归一化植被指数(NDVI)、全球环境监测指数(GEMI)、温度状态指数(Temperature Condition Index, TCI)、温度植被干旱指数(TVDI)、植被状态指数(VCI)等[8]-[18]。其中 Kogan 等[10] [11] [12] [13]在 NDVI 基础上提出的 VCI 指数, 具有计算简单、可获得长时间序列数据, 能减弱甚至消除由于地理位置与土壤条件等因素导致的差异等优势, 在大面积干旱监测和分析中得到了广泛的应用[15]-[21]。如管晓丹等[22]利用 VCI 指数对中国西北地区进行了分析, 发现这一指数可以较好地反映该地区历年旱情的空间分布及其演变特征; 沙沙等[23]利用 VCI 对河南、河北两省的旱情进行了分析, 结果表明 VCI 适应于较大范围的干旱监测; 王圆圆等[24]则通过分析西藏 VCI 和标准降水指数 SPI 之间的相关性, 评估了植被对气象干旱的响应特征。

但目前, 相关文献更多地侧重于研究中国北方或西北等干旱区域, 利用长时间序列遥感数据对南方地区干旱时空变化规律的研究尚不够充分。近年来, 中国南方地区干旱频发, 在全国干旱事件中的比例

呈上升趋势[25] [26]。本文拟采用 VCI 作为监测指标, 分析中国南方地区干旱时空变化特征, 旨在探讨中国南方地区旱情时空变化的规律, 为抗旱减灾相关措施与政策的制定提供科学依据。

2. 研究区域与数据

2.1. 研究区域

本文研究区为中国南方地区, 系指位于我国秦岭 - 淮河以南, 青藏高原以东的区域(图 1)。包括有上海、浙江、福建、广东、广西、贵州、湖北、湖南、重庆、江西、海南、台湾、香港、澳门等省、直辖市、自治区和特区, 以及四川、江苏、河南、安徽、云南、甘肃、陕西等省市的部分地区。南方地区的大陆海岸线长度大约占全国海岸线总长度的三分之二, 面积大约占全国的四分之一, 人口占中国总人口的一半以上[27]。

2.2. 数据资料

本文所用 VCI 数据源于美国国家海洋和大气局提供的(NOAA)提供的 VHP 数据集 (<ftp://ftp.star.Nesdis.noaa.gov>)。空间分辨率是 4 km, 时间分辨率的是 7 d。根据 Kogan 等[10] [11] [12] [13] 的定义, VCI 计算公式如下:

$$VCI = 100 \times \frac{NDVI_i - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (1)$$

式中, $NDVI_i$ 为特定年第 i 个时期的 NDVI 值, $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 分别为多年第 i 个时期 NDVI 的最大和最小值。分子部分差值可表示了第 i 年气象与植被的综合信息; 分母部分的最大和最小值则反映了植被生长的最好和最差条件, 其差值表征当地植被的生境[10] [11] [12] [13]。因此, VCI 其取值范围在 0 到 100 之间, 数值越低, 说明植被生长状况越差, 旱情越严重[19] [20] [21]。

3 研究方法

3.1. 年均 VCI 的计算

采用最大值合成法(Max Value Composites, MVC)生成当月的 VCI 值, 以消除云、大气以及太阳高度

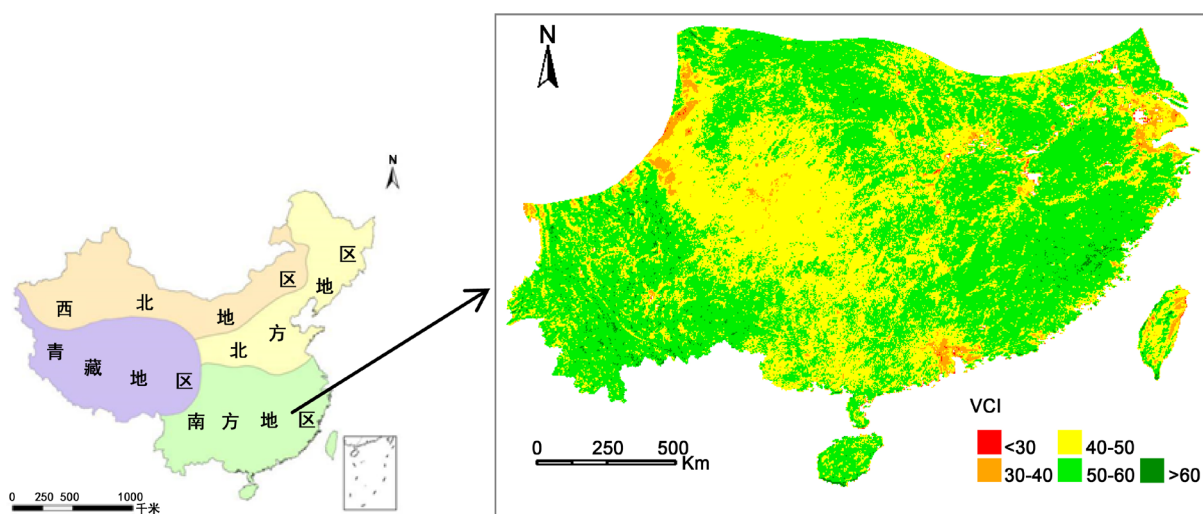


Figure 1. Southern China (background: The mean value of VCI from 1982 to 2016 year)

图 1. 中国南方区域(背景为 1982~2016 年 VCI 均值)

角等的部分影响。在本研究中,以 7d 的 VCI 数据为基础,采用最大值合成法获取月最大 VCI,计算公式如下:

$$VCI_i = \max(VCI_{ij}) \quad (2)$$

式中, VCI_i 是第 i 个月 VCI 值, VCI_{ij} 是第 i 个月第 j 周的 VCI 值。由于本文将在年的尺度上分析干旱发生的时空分布特征,故将利用合成的最大 VCI 值计算出年均值。年均 $\overline{VCI}_s$ 定义如下:

$$\overline{VCI}_s = \left(\sum_{i=1}^{12} VCI_i \right) / 12, i=1,2,\dots,12 \quad (3)$$

式中, $\overline{VCI}_s$ 是 1 年中 12 个月 VCI 累加后的平均值, VCI_i 为第 i 月份 VCI 最大合成值, i 是月序号。

3.2. 干旱发生频率的计算

为分析中国南方地区干旱发生的时空分布状况,参考 VCI 干旱分析的相关研究[19] [20] [21] [22] [23],根据 VCI 的值,将旱情划分为无旱、中旱和重旱三个等级(表 1),然后分别统计不同等级干旱发生的频率并绘制频率图。频率计算公式如下:

$$f = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (4)$$

式中, f 为干旱发生的频率, n 为各等级干旱发生的频次, N 为资料年代序列数(本文为 35)。

3.3. VCI 趋势分析

为研究 1982~2016 年干旱的总体变化趋势,根据每个像元 35 年的 VCI 值进行趋势率计算,具体计算公式如下[28]:

$$\text{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n x_i t_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n t_i}{n \times \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (5)$$

式中, t_i 是 1982~2016 年的序列号(1~35); n 是时间序列的长度,数值为 35; x_i 是第 i 年的 VCI 值。slope > 0 表明在该研究时间段 VCI 总体呈上升趋势,旱情随着时间的推移逐渐缓解;slope < 0 则表明 VCI 下降,旱情随着时间的变化而加剧。

3.4. VCI 距平指数计算

将利用 VCI 距平指数(Anomaly Vegetation Condition Index, AVCI)分析历年 VCI 序列的变化情况。AVCI 的定义如下[29]:

$$AVCI = (VCI_i - VCI_{ave}) / VCI_{ave} \quad (6)$$

Table 1. Classification of the Vegetation Condition Index (VCI)

表 1. VCI 干旱等级的划分

等级(Grade)	类型(Type)	VCI 值(VCI Value)
1	无旱	>70
3	中旱	30~70
4	重旱	<30

式中, $AVCI$ 是植被状态指数距平, VCI_t 是特定时期的 VCI 值, VCI_{ave} 是多年植被状态指数的平均值。若距平为正, 表示土壤水分相对充足, 植被生长状态好于一般年份; 距平为负, 表示土壤水分相对缺乏, 植被生长状态比一般年份差。

4. 结果与分析

4.1. 中国南方地区干旱发生频率

根据表 1 对 VCI 干旱等级的划分, 由公式(2)计算出中国 1982~2016 年中国南方地区干旱发生频率的空间分布状况, 结果如图 2 所示。从图可知, 在 1982~2006 年里, 中国南方地区干旱发生频率较高, 绝大部分地方的干旱频次都超过了 0.8(图 2(a)与图 2(b))。为进一步分析中国干旱发生的强度, 对不同等级干旱发生的频率进行了分析, 结果表明, 南方大部分区域以中旱为主(图 2(c)), 重旱发生频率相对较低, 仅在四川盆地以及湖南少部分区域重旱发生频率稍高(图 2(d))。其原因可能是因为中国南方地区受季风影响的区域, 因水热条件的年际差别较大, 使旱情较为严重; 但由于南方总体为湿润多雨区, 因此旱情以中旱为主, 重旱发生概率较小。

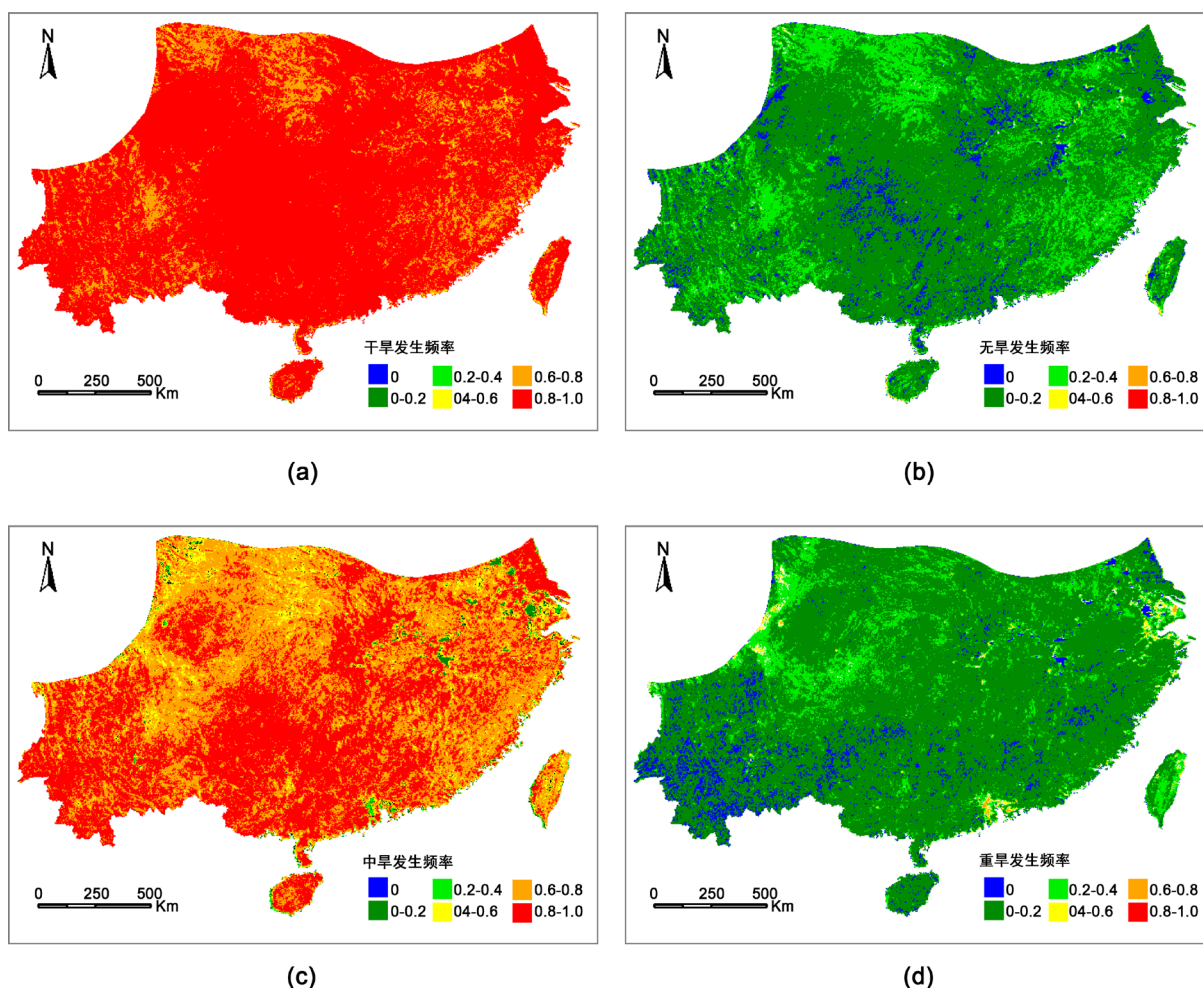


Figure 2. Spatial distribution of drought occurrence frequencies of southern China: (a) (Total frequency of drought), (b) (Frequency Non-drought), (c) (Frequency of moderate drought), (d) (Frequency of severe drought)

图 2. 中国南方地区干旱发生频率空间分布: (a) (干旱发生总频率), (b) (无旱发生频率), (c) (中旱发生频率), (d) (重旱发生频率)

4.2. 中国南方旱情变化趋势分析

利用趋势线分析法对 1981~2016 年中国南方地区 VCI 变化趋势进行分析, 所得结果如图 3 所示。由图可知, 中国南方地区 VCI 的增长明显, 占国土面积 89.5% 以上的地区 VCI 呈增长趋势, 仅 10% 左右的区域呈减少趋势, 主要分布在云南、广西的少部分地区、江浙部分沿海地区与长三角区域。值得指出的是, 东南沿海部分与长三角区域均有 VCI 呈减少的趋势, 且与周边地区变化趋势明显不同, 这很可能是由于当地城市化进程使得植被大幅度减少所引起, 而不是因为干旱所导致。因此, 分析植被干旱的变化情况系人为因素的驱动还是自然因素的驱动, 是值进一步研究的问题。尤其是在人工地表占比很高的城市区域, 可能需要采用其他指数来实现其干旱的评估。

4.3. 中国南方旱情的时间变化特征

为进一步分析中国各地旱情在时序上的变化特点, 本文对 1982~2016 年间南方地区 VCI 序列及其 VCI 距平指数(AVCI)进行了分析, 结果如图 4 所示。由 VCI 年际变化情况(图 4(a))可知, 在 1982~2016

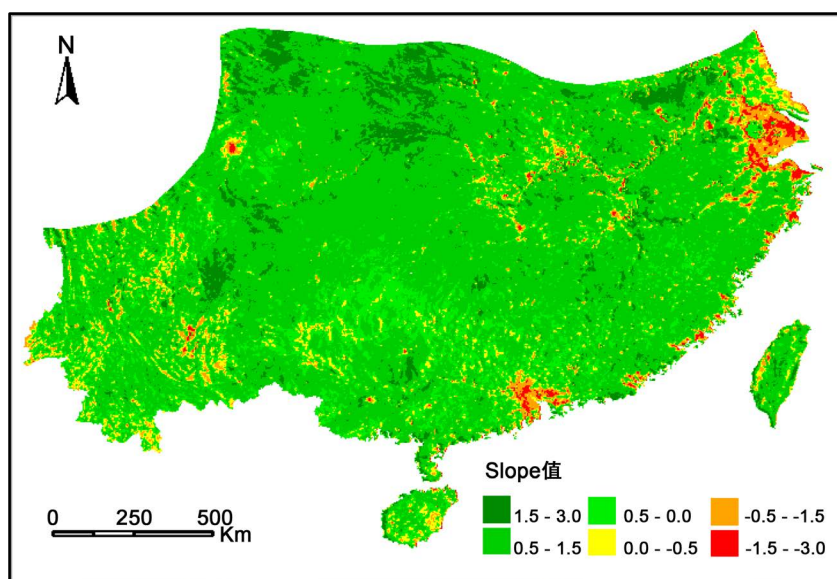


Figure 3. Slope-trend of seasonal average VCI from 1982-2016 in China

图 3. 中国南方地区 1982~2016 年春季 VCI 变化趋势图

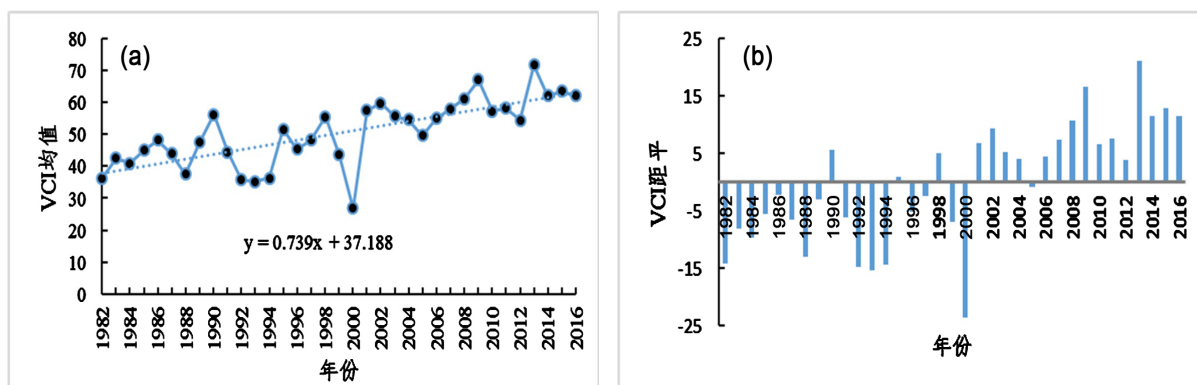


Figure 4. Interannual changes of VCI (a) and AVCI (b) in southern China from 1982 to 2016

图 4. 中国南方地区 1982~2016 年 VCI (a)与 AVCI (b)年际变化

年间,南方地区 VCI 总体上呈现缓慢波动上升的趋势,上升速率为 0.021/年,表明我国南方地区旱情逐渐缓解,这与章节 3.2 的分析一致。从 AVCI 指数的年际变化(图 4(b))可知,在 2000 年以前,全国各地 VCI 大部分处于均值以下,并在 2000 年达到最低值。其中可分为两个阶段,在 1982~1990 年间,绝大部分年度的 VCI 距平值都小于零,但 VCI 总体趋势增加,即旱情逐渐减轻;1991~2000 年间,受到 1998 年前后超强厄尔尼诺现象的影响,VCI 在时间轴上震荡比较剧烈,既包括了 1998 年雨量充沛,各地洪灾频发的年度,也包括了 2000 年全国大旱的年度,系中国南地区旱情年际变化明显,洪涝与旱灾频发的时段。2000 年以后,南方 VCI 大部分处于均值以上,且总体上升趋势较为明显,这可能与 1999 年开始执行,并在数年后得到巩固的全国性退耕还林还草政策有关。

5. 讨论与结论

中国南方地区通常被认为是湿润多雨区。但本文的分析表明,中国南方干旱发生频率较高,这与 Liu Xiaoyun 等[26]的研究结果,即南方地区干旱有明显的增加与加重趋势一致。另外,中国重大干旱事件的统计数据也表明,南方地区重大干旱事件在中国所占比例明显上升:1990 年以前,所占比例仅为 37%;1991~2000 年间,所占比例上升到 60%;2000 年以后,干旱事件在全国的比例进一步上升[26] [27] [30] [31]。其原因很可能是由于南方部分地区总体降雨量虽然较高,但时空分布不均匀,再加上全球气候变暖,使得这一区域的极端天气增多,旱灾发生的风险越来越高。针对这一情况,政府部门需尽快建立相关的应对机制以减少旱灾带来的损失。

干旱作为一种严重的自然灾害,给农业生产与生态环境造成了巨大的破坏。分析干旱时空变化规律,对抗旱减灾政策的制定与实施具有重要指导意义。本研究利用 NOAA/AVHRR 数据集获取中国南方地区 1982~2016 年 VCI 数据,分析了其 35 年来干旱的时空变化特征,得出了以下结论:

- 1) 中国南方地区是旱情高发区,但以轻旱与中旱为主,除四川盆地以及湖南少部分区域地外,重旱很少发生。
- 2) 在 1982~2016 年间,中国南方地区旱情趋于缓解,高达 89.5%的区域 VCI 呈上升趋势,总体上升速率为 0.021/年。
- 3) 时序分析表明,2000 年以前,绝大部分年份 VCI 低于平均水平;2000 年以后,VCI 水平高于平均水平。VCI 序列并非单向的变化,而是波动式上升,大致可分为 1981~1990 的缓慢上升期、1991~2000 年的剧烈震荡期以及 2000 年以后的稳定上升期三个阶段。

基金项目

国家自然科学基金(41401473, 31560130);江苏省研究生创新项目(KYCX17_1572, KYCX18_2157),全国大学生创新项目(No. 201610320004Z)。

参考文献

- [1] 顾颖,倪深海,林锦,等.我国旱情旱灾情势变化及分布特征[J].中国水利,2011(13):27-30.
- [2] 杨波,马苏,王彬武,等.基于 MODIS 的湖南省农业干旱监测模型[J].自然资源学报,2012,27(10):1788-1796.
- [3] 郭铤,王小平.遥感干旱应用技术进展及面临的技术问题与发展机遇[J].干旱气象,2015,33(1):1-18.
- [4] 侯英雨,何延波,柳钦火,等.干旱监测指数研究[J].生态学杂志,2007,26(6):892-897.
- [5] Choi, M., M. Jacobs, J., C. Anderson, M., et al. (2013) Evaluation of Drought Indices via Remotely Sensed Data with Hydrological Variables. *Journal of Hydrology*, 476, 265-273. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.042>
- [6] 林妍,高伟,师晋平,王静.基于 MODIS 和 FY-2D 卫星降水数据的遥感旱情监测研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(12):51-57.
- [7] 江东,付晶莹,庄大方,等.2008~2009 年中国北方干旱遥感动态监测[J].自然灾害学报,2012,21(3):92-101.

- [8] Sandholt, I., Rasmussen, K. and Andersen, J. (2002) A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status. *Remote Sensing of Environment*, **79**, 213-224. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00274-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00274-7)
- [9] Liang, L., Zhao, S., Qin, Z., *et al.* (2014) Drought Change Trend Using MODIS TVDI and Its Relationship with Climate Factors in China from 2001 to 2010. *Journal of Integrative Agriculture*, **13**, 1501-1508. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60813-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60813-3)
- [10] Kogan, F.N. (1995) Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection. *Advances in Space Research*, **15**, 91-100. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00079-T](https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T)
- [11] Liu, W.T. and Kogan, F.N. (1996) Monitoring Regional Drought Using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing*, **17**, 2761-2782. <https://doi.org/10.1080/01431169608949106>
- [12] Kogan, F.N. (1990) Remote Sensing of Weather Impacts on Vegetation in Non-Homogeneous Areas. *International Journal of Remote Sensing*, **11**, 1405-1419. <https://doi.org/10.1080/01431169008955102>
- [13] Kogan, F.N. (1997) Global Drought Watch from Space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**, 621-636. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2)
- [14] Rahimzadeh Bajgiran, P., *et al.* (2008) Using AVHRR-Based Vegetation Indices for Drought Monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, **72**, 1086-1096. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.12.004>
- [15] 郭锐, 管晓丹. 植被状况指数的改进及在西北干旱监测中的应用[J]. 地球科学进展, 2007(11): 1160-1168.
- [16] 冯强, 田国良, 王昂生, 等. 基于植被状态指数的全国干旱遥感监测试验研究(I)——资料分析与处理部分[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2): 131-136.
- [17] 冯强, 田国良, 王昂生, 等. 基于植被状态指数的全国干旱遥感监测试验研究(II)——干旱遥感监测模型与结果分析部分[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 477-484.
- [18] 冯强, 田国良, 王昂生, 等. 基于植被状态指数的土壤湿度遥感方法研究[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(3): 81-88.
- [19] Liang, L., Qin, S., Xiang, L., *et al.* (2017) Long-Term Spatial and Temporal Variations of Vegetative Drought Based on Vegetation Condition Index in China. *Ecosphere*, **8**, e01919.
- [20] Qiu, S., Liang, L., Xiang, L., *et al.* (2017) Analysis of the Spatial-Temporal Variation Characteristics of Vegetative Drought and Its Relationship with Meteorological Factors in China from 1982 to 2010. *Environmental Monitoring and Assessment*, **189**, 471.
- [21] Qian, X., Liang, L., Qiu, S., *et al.* (2016) Drought Trends Based on the VCI and Its Correlation with Climate Factors in the Agricultural Areas of China from 1982 to 2010. *Environmental Monitoring and Assessment*, **188**, 639.
- [22] 管晓丹, 郭锐, 黄建平, 等. 植被状态指数监测西北干旱的适用性分析[J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1046-1053.
- [23] 沙莎, 郭锐, 李耀辉, 等. 植被状态指数 VCI 与几种气象干旱指数的对比——以河南省为例[J]. 冰川冻土, 2013, 4(35): 990-998.
- [24] 王圆圆, 扎西央宗. 利用条件植被指数评价西藏植被对气象干旱的响应[J]. 应用气象学报, 2016, 27(4): 435-444.
- [25] Liu, X., Wang, J., Li, Y., *et al.* (2015) Characteristics of Drought Risk in Southern China Based on the Copula Function. *Acta Meteorologica Sinica*, **73**, 1080-1091.
- [26] 张强, 韩兰英, 郝晓翠, 等. 气候变化对中国农业旱灾损失率的影响及其南北区域差异性[J]. 气象学报, 2015, 73(6): 1092-1103.
- [27] 任正果, 张明军, 王圣杰, 等. 1961-2011 年中国南方地区极端降水事件变化[J]. 地理学报, 2014, 69(5): 640-649.
- [28] 张远东, 张笑鹤, 刘世荣. 西南地区不同植被类型归一化植被指数与气候因子的相关分析[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 323-330.
- [29] 严翼, 肖飞, 杜耘, 等. 利用植被状态指数距平监测 2011 年长江中下游 5 省春、夏干旱[J]. 长江流域资源与环境, 2012(9): 1154-1159.
- [30] 王莺, 沙莎, 王素萍, 等. 中国南方干旱灾害风险评估[J]. 草业学报, 2015, 24(5): 12-24.
- [31] 韩兰英, 张强, 姚玉璧, 等. 近 60 年中国西南地区干旱灾害规律与成因[J]. 地理学报, 2014, 69(5): 632-639.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-549X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: gst@hanspub.org