

基于植被再合成指数对农业旱情的适应性分析

胡杰, 刘少华

长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年8月8日; 录用日期: 2023年9月8日; 发布日期: 2023年9月18日

摘要

以安徽省为研究区, 基于MODIS影像去获取植被再合成指数(VI)的关键参数: NDVI和EVI, 并应用杨杰等人研究的再合成植被指数算法去合成指数, 通过植被再合成指数去反映植被覆盖变化情况, 最后与气象干旱指数(SPI)去进行对比验证。研究表明基于NDVI和EVI的植被再合成指数VI在描述植被覆盖在时间和空间维度上的变化敏感。然后通过计算标准化降水指数(SPI)和与VI进行对比分析, 发现SPI指数监测的旱情变化与VI所显现的旱情变化一致性较高, 最终通过气象报告再与实际情况相对照, 发现VI所监测的干旱情况十分符合。

关键词

MODIS, 植被指数, 干旱监测

Adaptive Analysis of Agricultural Drought Based on Vegetation Re-Synthesis Index

Jie Hu, Shaohua Liu

School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan Hubei

Received: Aug. 8th, 2023; accepted: Sep. 8th, 2023; published: Sep. 18th, 2023

Abstract

Taking Anhui Province as the research area, key parameters of the vegetation re-synthesis index (VI), namely NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and EVI (Enhanced Vegetation Index), are obtained by using MODIS images. The re-synthesis vegetation index algorithm developed by Yang

Jie et al. is applied to synthesize the index. The vegetation re-synthesis index is then used to reflect changes in vegetation cover. Finally, a comparison and validation are performed with the Standardized Precipitation Index (SPI) which represents meteorological drought conditions. The study shows that the vegetation re-synthesis index VI based on NDVI and EVI is sensitive in describing changes in vegetation cover in both temporal and spatial dimensions. By comparing the SPI index with VI, it is found that the drought conditions detected by SPI are highly consistent with those indicated by VI. The results are further verified by comparing with actual meteorological reports, confirming that the drought conditions observed by VI are highly accurate.

Keywords

MODIS, Vegetation Index, Drought Monitoring

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

安徽地处南北气候过渡带, 干旱发生频繁, 对农业生产具有极其不利的影响。因此, 农业干旱监测成为急需解决的一个重要课题。在此背景下, 本文主要针对我国华中地区较为常见的春季农业干旱问题, 以安徽省为实验区, 利用基于 NDVI 和 EVI 再合成的植被指数去反映植被覆盖变化转而去验证该方法对于干旱监测的可行性, 为相关行业的发展提供一定的参考。

以基于地面气象站点观测的干旱监测, 虽然在近些年的干旱研究中, 学者们提出过各种各样的监测指标, 但是就目前为止都没有一套通用的干旱指数。在这些指标过程中, 每个都有其特点以及适用范围。目前较为常见的传统干旱监测方法有以下几种: 在美国, 帕默尔干旱指数(PDSI)是一种在测量气象干旱中较为常见的方法。它是基础原理是大气水分的供给和需求相对于测量点正常时候的值进行计算的。在我国经过国内学者的努力, 证明了此指数在国内依然拥有着很好的监测效果。卫捷等人就在其中, 通过监测干旱的发生和强度, 证明了其合理性。[1] [2] [3] 标准化降水指数(SPI)不仅可以对干旱的程度进行及时而又准确地监测, 而且可以确定降水的赤字情况。李剑锋等人对新疆地区的干旱使用了 SPI 指数, 最终成功地验证了其可行性。[4] [5] 帕默尔水汽异常指数(Palmer Moisture Anomaly Index)简称 Z 指数, 由 Karl 提出。它是通过使用上一月的水汽异常数据计算本月 Z 值, 主要具有方便、灵活、准确的特点, 在我国得到了较好的应用。黄道友等人根据南方区域的季节性干旱就实际情况验证了 Z 指数的干旱预测准确性。[6] [7] [8]

目前来说, 大多数的研究中的验证对比都是通过站点方面的土壤水分数据。但是由于常规业务中的土壤墒情数据是每旬才会统计一次, 频率较低, 而且站点周围的地形、气候和正常土地的地面湿度存在着较大的差异, 所以如果采取此种验证手段, 效果不够理想。[9] [10] [11] 就过去来看对某一研究区域的旱情进行遥感监测时, 只是想着通过不同的植被指数去进行对比看其差异, 去筛选针对不同地区的更优的方法。却忽视了我们可以将不同的植被指数进行结合去进行干旱的监测。[12] [13] 利用遥感技术去代替传统的一些技术去对农业干旱监测是在监测农业干旱的领域的以此非常重大的突破。本论文此次的研究目标就是想要探索一种新的植被指数对于干旱的监测效果, 它是在 NDVI 和 EVI 的基础上进行合成的一个植被指数。研究的区域选择安徽省, 为提高我省的农业干旱监测以及预报的准确度做出一定的贡献。

2. 研究区概况与数据来源

2.1. 研究区概况

安徽省位于长江三角洲地区, 其经纬度介于东经 114°54'~119°37', 北纬 29°41'~34°38'之间, 靠近海洋紧邻长江, 地理区位优势明显, 农业方面的资源丰富, 农产品较比重大, 是一个典型的农业大省。气候条件适宜种植农作物, 年平均气温 14~17 度, 年降雨 700~1700 毫米, 年无霜期 200~250 天。但是安徽地处南北气候过渡带, 洪涝、干旱、风雹、低温冷冻害等自然灾害发生频繁, 容易对农业生产造成不利影响。

2.2. 数据来源

本文用到的地理气象数据有: 2001~2002 年间该地区气象站点的降水数据。另外, 还包括该研究区的作物生长发育资料以及农气灾情等资料。上述气象数据主要来源于国家气象科学数据中心。针对 2001 年安徽省的农业干旱进行监测, 所以选取的 2000 年的土地调查得到的 30 m * 30 m 土地利用数据利用 ENVI、GIS 等无安监提取出安徽省的农业用地作为本文的研究区域, 探讨基于植被指数的农业干旱监测。本文中对 MODIS 遥感影像的预处理都是在 ARCGIS 软件上完成的, 在 SIN 投影中因为数据太多, 所以为了方便地管理 MODIS 遥感数据, 于是将全球分成为一定数量的区域版块, 对一个完整覆盖全球的遥感影像进行分割处理, 之后采取一定的编号处理: 首先按照水平来编号的话, 从左到右进行编码分别为 h00、h01、……、h35 等, 从上往下分的话是 v01、……本文的研究区域的编号为 h27v05、h28v05、h28v6, 研究的时间为 2001 年。具体的预处理步骤如下: 第一步首先对数据进行加载, 在加载的过程中进行金字塔的添加。第二步是对于数据的镶嵌, 由于月合成数据就不需要去做一些大气校正了。第三步是将合成数据进行坐标系的转换。第四步是对合成数据进行裁剪得到自己感兴趣的研究区域。

3. 安徽省农业的干旱遥感监测模型比较研究

3.1. 归一化植被指数 NDVI 的计算

归一化植被指数(NDVI)的原理主要就是通过测量近红外和红光的差异来去衡量植被的变化。NDVI 的范围是-1 到 1, 但是原始的 MODIS 数据进行计算后的数据是放大 10,000 倍的。但是 NDVI 对于每种类型的土地覆盖是没有明确的取值界限。

如下所示, 归一化植被指数(NDVI)的公式中使用了 NIR 和 Red 通道。

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

NDVI 的计算中所使用的这两个波长是因为健康的植被反射出更多的是近红外和绿光, 这也是为什么我们看到的植物是绿色的。同样 NDVI 用于干旱监测的最底层的应用机理也是如此, 当具有较高的 NDVI 的值就代表植被更健康, 当 NDVI 的值比较低就代表植被较少或者没有。NDVI 主要应用于监测植被的生长状态、覆盖度还可以消除部分辐射误差。

3.2. 增强植被指数 EVI 的计算

增强植被指数(EVI)是近红外波段和可见光波段的差值, 是遥感数据产品中的一个重要的产品。其主要优点是可以同时减少大气和土壤噪音的干扰, 使得所测地区的植被情况是较为稳定的。同时 EVI 的植被指数拥有比较高的空间分辨率, 可以详细地反映地表植被的特征。以下是 EVI 的计算公式:

$$EVI = \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 * RED - C_2 * BLUE + L} (1+L) \quad (2)$$

3.3. 植被再合成指数 VI 的计算

植被再合成指数(VI)是杨杰等人针对 NDVI 和 EVI 这两种植被指数在监测植被覆盖度出现了饱和现象后所研究出的一个合成植被指数。[14] [15]它主要是将两种植被指数在同一时间维度下进行合成,简单来说就是对 NDVI 和 EVI 进行一次非线性的归一化处理,这样处理的作用是进一步加大两者之间的差异性。以此去提高该植被合成指数监测植被覆盖度时的灵敏性,同时可以提高该指数的收敛速度。最终达到的目的是为了提提高该指数在监测植被覆盖度时的综合能力。计算植被合成指数的公式为:

$$VI = \pm \frac{NDVI - EVI}{NDVI + EVI} \quad (3)$$

4. 遥感监测干旱指数与气象干旱指数的对比分析

干旱在不同的行业中的分类比较多元化,但是主要分类为以下四种:气象干旱、水文干旱、农业干旱、社会经济干旱。这四种干旱都和水分匮乏都有着紧密的联系。在过去的一个多世纪,国内外有大量的研究为当今的干旱奠定了基础,而且已经取得了良好的应用效果。本章选用了具有代表性的标准化降水指数(SPI),对遥感技术在农业旱情监测进行验证。[16] [17]

4.1. 标准化降水指数的介绍及计算

在 1993 年,McKee 等人在美国提出了标准化降水指数(SPI)这个概念主要是为了评估当年科罗拉干旱的态势,其主要就是用来表示在特定时间段内出现多少降水量的概率多少。McKee 等人通过收集数据进行分析后发现,降水量的数据是服从偏态分布的,于是他们决定去采用 Γ 分布概率来描述降水量的变化,之后通过进行正态分布的处理去计算出 SPI。[18] [19]同时 SPI 还可以通过一样的标准去衡量不同区域内的异常降水,这样就让不同区域内的降水量具有了能够进行对比的可行性,因此该干旱指数得到了广泛的认可。计算方法如下:假设某一时间段的降水量样本为 x ,则 Γ 分布概率为:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (x > 0) \quad (4)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (5)$$

公式中, α 为形状参数, β 为尺度参数, x 为降水量, $\Gamma(\alpha)$ 是伽马函数。最佳的 α 、 β 的估计值可以采用极大似然估计的方法去进行求解:

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A} \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (6)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (7)$$

此式中, n 为计算中序列的长度。在给定的时间内尅及概率可计算如下:

$$\text{当 } t = x/\beta \text{ 时, } G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (8)$$

此方程不包含 $x = 0$ 的情况, 但是在实际生活中是有可能实现的, 所以累计的概率可以表示为:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (9)$$

上式中, q 是当降水量是 0 的情况。当 $q = m/n$, 则 m 为 0 即降水时间序列中降水量为 0。最终的 SPI 公式分为以下两种情况:

$$\text{当 } 0 < H(x) \leq 0.5 \text{ 时: } \text{SPI} = -\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{H(x)^2} \right]} \quad (10)$$

$$\text{当 } 0.5 < H(x) < 1 \text{ 时: } \text{SPI} = -\left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{[1.0 - H(x)]^2} \right]} \quad (11)$$

$C_0 = 2.515517$ 、 $C_1 = 0.802853$ 、 $C_2 = 0.010328$ 、 $D_1 = 1.432788$ 、 $D_2 = 0.189269$ 、 $D_3 = 0.001308$; 根据上述的方程组, 我们可以带入数据求出 SPI。《气象干旱等级》国家标准如表 1 下:

Table 1. National standard for meteorological drought level

表 1. 气象干旱等级国家标准

等级	类型	SPI 值
1	特涝	$2.0 < \text{SPI}$
2	重涝	$1.5 < \text{SPI} \leq 2.0$
3	中涝	$1.0 < \text{SPI} \leq 1.5$
4	轻涝	$0.5 < \text{SPI} \leq 1$
5	正常	$-0.5 < \text{SPI} \leq 0.5$
6	轻旱	$-1.0 < \text{SPI} \leq -0.5$
7	中旱	$-1.5 < \text{SPI} \leq -1.0$
8	重旱	$-2.0 < \text{SPI} \leq -1.5$
9	特旱	$\text{SPI} \leq -2.0$

4.2. 标准化降水指数分析

根据标准化降水指数的计算结果来看, 由于本文所采用的数据较为短期, 导致数据的精确度有所下降, 但是与当年的气象报告对比来看还是较为准确的。2001 年期间整年持续性干旱, 特别是 3 月到 7 月期间的持续性干旱给安徽省的农业生产造成了严重的后果。气象报告上的河流水流量减少也与降水量一致。

4.3. 遥感监测指数与标准化降水指数时间动态变化验证

第四章中植被再生指数 VI 的图像中图 1 表明在春季(3~5 月)安徽省的淮河流域附近旱情极为严重, 与下方表 2 中的 SPI 指数相互对应。图 2 表明在夏季(6~8 月)相对于春季来说夏季图像上的干旱有所减轻, 刚好也对应着 SPI 指数在这三个月的旱情分级相较于春季有所减轻。图 3 表明在秋季(9~11 月)旱情的情况又开始加重比春季时的旱情更加严重, 气象数据给了我们更加准确的原因: 秋季的降水量持续走低并且 SPI 指数的旱情分级也更为严重。图 4 表明冬季(12~次年 2 月)图像中的整体旱情得到了缓解, SPI 指数也随之发生改变。

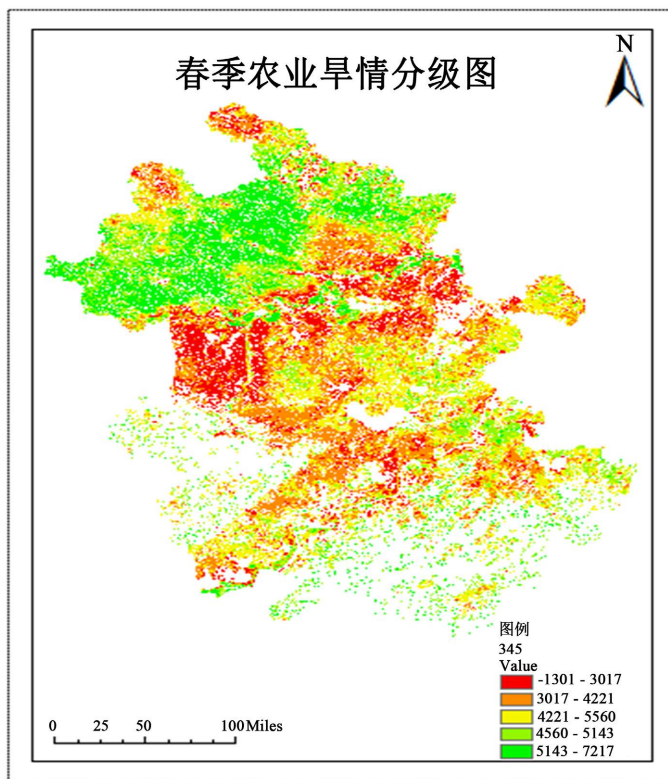


Figure 1. Spring agricultural drought grading map

图 1. 春季农业旱情分级图

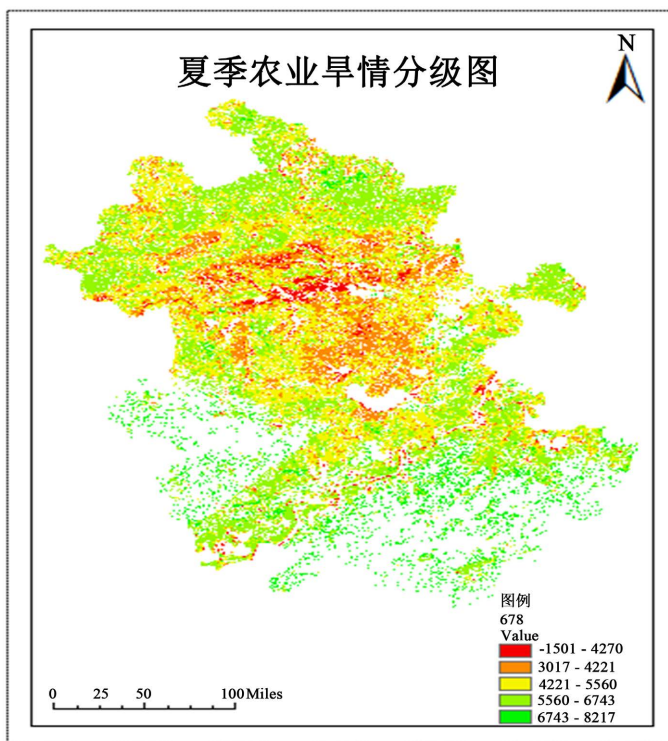


Figure 2. Summer agricultural drought grading map

图 2. 夏季农业旱情分级图

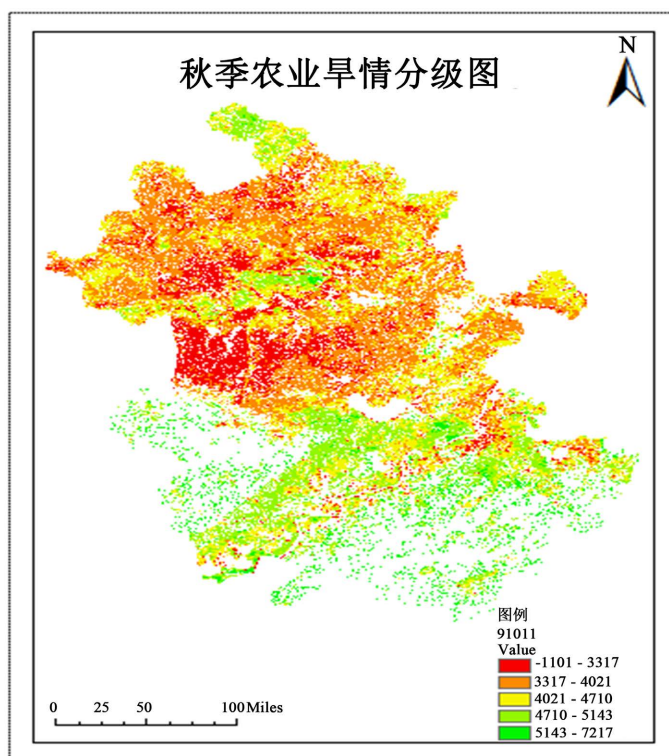


Figure 3. Autumn agricultural drought grading map
图 3. 秋季农业旱情分级图

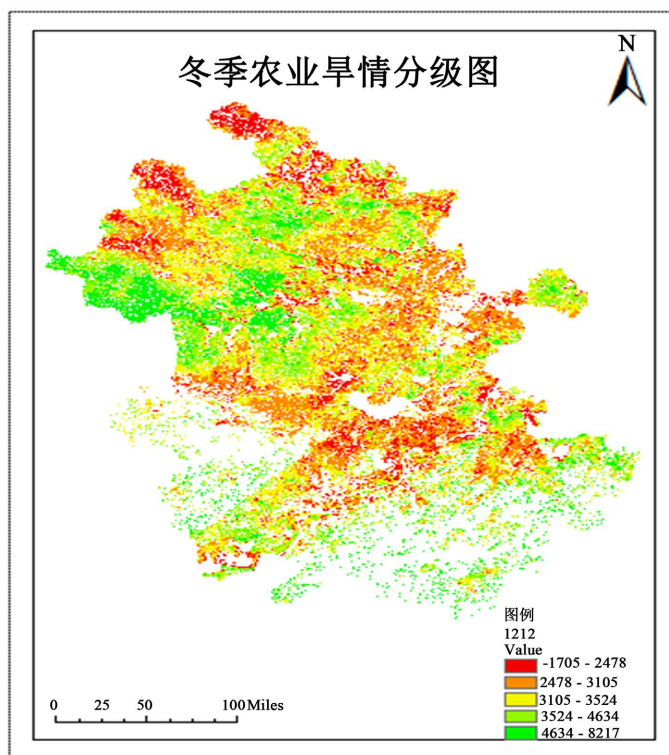


Figure 4. Winter agricultural drought grading map
图 4. 冬季农业旱情分级图

Table 2. SPI drought classification table
表 2. SPI 干旱分级表

月份	SPI	干旱等级
3	-1.4	中旱
4	-1.1	中旱
5	-2.2	特旱
6	-1.1	中旱
7	-1.1	中旱
8	0.1	正常
9	-2.3	特旱
10	-1.4	中旱
11	-1.4	中旱
12	-0.9	轻旱
1 (次年)	-0.9	轻旱
2 (次年)	-0.4	正常

自3月底至11月中旬, 影响至2002年4月底。当年降雨量比常年少20%~50%。汛期接近空梅, 6~9月全省降雨量较常年偏少10%~70%。当年高温天气比常年多11天, 蒸发量大。少雨高温及用水量大量导致库、塘、湖泊蓄水剧减, 江淮丘陵的小型库塘基本干涸。过境水量显著减少, 其中淮河干流偏少90%, 长江及淮河支流偏少20%~90%, 淮河干流上的王家坝、润河集分别断流9天、11天, 蚌埠闸上水位曾降低到15.26m(7月27日), 创建闸以来同期最低值。

长江安庆站8月8日水位10.38m, 为1972年后来的最低值, 影响沿江泵站的正常抽水。江淮分水岭及以北地区夏秋两季作物播种被迫推迟、延长, 大部分地区采取人工造墒拌水播种, 出苗发芽率低, 普遍出现缺棵少苗现象, 部分地区数次补种改种。为保淮南、蚌埠两城市供水, 一度采取“弃农保城”应急措施。据统计, 当年受旱面积5323万亩, 成灾2818万亩, 绝收520万亩。(安徽省水利厅)

Figure 5. 2001 agricultural meteorological report
图 5. 2001 年农业气象报告

5. 结束语

研究表明基于 NDVI 和 EVI 的植被再合成指数 VI 在描述植被覆盖在时间和空间维度上的变化敏感。然后通过计算标准化降水指数(SPI)和与 VI 进行对比分析, 发现 SPI 指数监测的旱情变化与 VI 所显现的旱情变化一致性较高, 最终通过图 5 气象报告再与实际情况相对照, 发现 VI 所监测的干旱情况十分符合, 再一次验证了植被再生指数 VI 在安徽省农业干旱监测方面具有较为优秀的作用。在此次研究的过程中在前人的基础上将 VI 应用于农业干旱监测进行了实质性的验证, 为后续人员研究农业干旱监测以及种植农作物的企业提供了一种新的监测方法。

参考文献

- [1] 卫捷, 马柱国. Palmer 干旱指数、地表湿润指数与降水距平的比较[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 117-124.

- [2] 李剑锋, 张强, 陈晓宏, 白云岗. 基于标准降水指标的新疆干旱特征演变[J]. 应用气象学报, 2012, 23(3): 322-330.
- [3] 徐霞. 基于 TVDI 指数的农业干旱遥感监测应用研究[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2009.
- [4] 黄晚华, 杨晓光, 李茂松, 张晓煜, 王明田, 代姝玮, 马洁华. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58a 演变特征[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 50-59.
- [5] 王行汉, 丛沛桐, 刘超群, 亢庆, 扶卿华, 赵敏, 王晓刚, 刘晓林. 2004-2013 年珠江流域植被变化及其胁迫分析[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6494-6503.
- [6] 黄道友, 王克林, 黄敏, 陈洪松, 吴金水, 张广平, 彭廷柏. 我国中亚热带典型红壤丘陵区季节性干旱[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2516-2523.
- [7] 宋春桥, 游松财, 刘高焕, 柯灵红, 钟新科. 基于 TVDI 的藏北地区土壤湿度空间格局[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 569-576.
- [8] 拉珍, 拉巴, 陈涛, 拉巴卓玛. 基于 TVDI 的西藏“一江两河”地区干旱监测研究[J]. 高原山地气象研究, 2015, 35(4): 48-52.
- [9] 李华朋, 张树清, 高自强, 孙妍. MODIS 植被指数监测农业干旱的适宜性评价[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(3): 756-761.
- [10] 晏明, 刘志明, 晏晓英. 用气象卫星资料估算吉林省主要农作物产量[J]. 气象科技, 2005, 33(4): 350-354.
<https://doi.org/10.19517/j.1671-6345.2005.04.014>
- [11] 陈鹏. 基于植被指数和地表温度的农业旱情监测适用性研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [12] 鲍艳松, 严婧, 闵锦忠, 王冬梅, 李紫甜, 李鑫川. 基于温度植被干旱指数的江苏淮地区农业旱情监测[J]. 农业工程学报, 2014, 30(7): 163-172+294.
- [13] 王鑫, 陈东东, 李金建. 基于 MODIS 的温度植被干旱指数在四川盆地盛夏干旱监测中的适用性研究[J]. 高原山地气象研究, 2015, 35(2): 46-51.
- [14] 杨杰, 张莹莹, 王建雄, 康雄, 曹俊涛. 利用 NDVI 与 EVI 再合成的植被指数算法[J]. 遥感信息, 2020, 35(5): 127-133.
- [15] 杜灵通, 候静, 胡悦, 王新云, 王磊. 基于遥感温度植被干旱指数的宁夏 2000-2010 年旱情变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 209-216.
- [16] 刘立文, 张吴平, 段永红, 邢立新, 陈圣波, 赵敏. TVDI 模型的农业旱情时空变化遥感应用[J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3704-3711.
- [17] 张喆, 丁建丽, 李鑫, 鄢雪英. TVDI 用于干旱区农业旱情监测的适宜性[J]. 中国沙漠, 2015, 35(1): 220-227.
- [18] 王云峰, 沈润平, 杨爱琴. TVDI 指数在运城市干旱监测中的应用研究[J]. 山东气象, 2009, 29(4): 6-8.
- [19] 王行汉, 丛沛桐, 亢庆, 扶卿华, 刘超群, 王晓刚. 非线性拟合 LST/NDVI 特征空间干湿边优于传统线性拟合方法的讨论[J]. 农业工程学报, 2017, 33(11): 306-314.