引文格式：崔阳,孙洪泉,夏积德. 安徽省气象干旱扰动下植被响应状况评价[J]. 地理空间信息, 2024, 22(2): 102-105. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.02.025

安徽省气象干旱扰动下植被响应状况评价

崔　阳[1]，孙洪泉[2]，夏积德[1]
（1. 杨凌职业技术学院，陕西 杨凌 712100；2. 应急管理部国家自然灾害防治研究院，北京 100085）

摘　要：为定量探究安徽省气象干旱扰动下植被响应状况，利用2000—2020年气象站点数据和MODIS数据，分别计算气象干旱综合指数MCI和植被状态指数VCI，采用趋势拟合与相关性分析等方法，从灌溉区与雨养区差异与作物类型差异着手分析，结果表明：与灌溉区相比，雨养区植被长势与气象干旱相关程度明显更高，集中分布在淮河以北和东南部地区，4—5月最为明显；从作物类型差异看，3种主要作物植被长势对气象干旱的响应程度为水稻<玉米<小麦，实验结果可以为当地气象干旱应急管理提供参考。

关键词：气象干旱；灌溉；作物类型；MCI；VCI
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）02-0102-04

Evaluation of Vegetation Response Status Under Meteorological Drought Disturbance in Anhui Province

CUI Yang[1], SUN Hongquan[2], XIA Jide[1]
(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China;
2. National Institute of Natural Disasters, MEMC, Beijing 100085, China)

Abstract: To quantitatively investigate the vegetation response under the meteorological drought disturbance in Anhui Province, we used the meteorological station data and MODIS data from 2000 to 2020 to calculate the meteorological drought composite index MCI and vegetation status index VCI, respectively. Then, we used trend fitting and correlation analysis to analyze the differences between irrigated and rain-fed areas and crop types, in order to provide reference for local meteorological drought emergency management. The results show that compared with the irrigated areas, the correlation between vegetation growth and meteorological drought is significantly higher in rained areas, concentrated in areas north and southeast of the Huai River, most obvious in April and May. In terms of crop type differences, the response of vegetation growth of three major crops to meteorological drought is rice < corn < wheat.

Key words: meteorological drought, irrigation, crop type, MCI, VCI

目前，归一化植被指数NDVI已被广泛使用[1-4]，而植被状态指数VCI将NDVI归一化，可以更直观地反映植被在长时间序列的长势变化[5]。在监测作物长势时如果不考虑该地区的灌溉条件，而对作物长势进行统一评价可能会错误判断雨养区与灌溉区受气象干旱的程度[6]，因此需要考虑灌溉条件。GEE（Google Earth Engine）是谷歌开发的基于云的遥感地理空间大数据分析平台，云计算能力强大，应用于干旱、粮食安全、水资源分析管理等多个方面，为长时间的遥感监测提供了新途径[7]。因此本文将采用MCI和VCI指数，借助GEE平台探究安徽省气象干旱扰动与植被响应状况的关系。

1　研究区概况及数据

安徽省地处我国长江中下游地区，位于114°53′~119°36′E，29°42′~34°39′N，全年平均降水量800~1 690 mm，灌区灌溉时间大致为每年的4—9月，作物种类丰富，区域性特点突出，以淮河为大致分界线，淮北大部分地区多以小麦、玉米轮作，淮南大部分地区以水稻为主，是我国重要的粮食产区（表1）。

通过实地调查走访，选取作物类型基本无变化的22个站点，气象数据集采用中国地面气候资料日值数据集1960—2020年的日降雨和温度；遥感数据采用2000—2020年MOD13A2，空间分辨率1 km，时间分

收稿日期：2022-09-26。
项目来源：国家重点研发计划项目（2017YFC1502402）；杨凌职业技术学院科技创新项目（ZK22-27）；杨凌职业技术学院教育教学改革研究项目（JG22030）。
第一作者简介：崔阳（1995—），硕士，助教，研究方向为遥感生态环境，E-mail：550865824@qq.com。

表1　3种作物的生育期介绍

作物	10月中旬	3月下旬	4月下旬	5月上旬	5月下旬	6月中旬	7月中旬	8月中旬	9月中旬
小麦	播种	拔节	抽穗	开花	灌浆	成熟			
玉米						播种	拔节		成熟
水稻			播种	移栽			拔节	灌浆	成熟

辨率16 d，数据质量已被广泛验证；灌溉分布与水稻、小麦和玉米2018年作物分布来自安徽省水利厅淠史杭灌区管理总局，站点按照所在区域作物类型进行划分，站点周围作物类型已得到实地调查，基本无变化。本文遥感数据的获取和计算均在GEE中编程实现。

2　研究方法

2.1　气象干旱指标计算

对站点原数据进行检核，编程进行特征值换算，如降水量雪特征值9996xx.x换算为降水数据xx.x，进行插值补全，时间长度为1960—2020年，然后进行MCI指标日值计算，选取2000—2020年数据，按照MOD13A2时间分辨率合成16 d的MCI。在计算潜在蒸散发量PET时，由于Thornthwaite方法计算简单速度快，采用该方法计算PET。MCI计算公式如下：

$$\mathrm{MCI}=Ka\times\left(\begin{matrix}a\times\mathrm{SPIW}_{60}+b\times\mathrm{MI}_{30}+\\ c\times\mathrm{SPI}_{90}+d\times\mathrm{SPI}_{150}\end{matrix}\right)\tag{1}$$

式中，MCI为气象干旱综合指数；SPIW60为近60 d标准化权重降水指数；MI30为近30 d相对湿润度指数；SPI90为近90 d标准化降水指数；SPI150近150 d标准化降水指数；权重系数a取值0.5，b取值0.6，c取值0.2，d取值0.1。

K_a为季节调节系数，根据不同季节各地主要农作物生长发育阶段对土壤水分的敏感程度确定，安徽省K_a系数见表2。

表2　安徽省的K_a系数表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_a	1.0	1.0	1.1	1.2	1.0	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0

2.2　遥感指标计算

为进一步减小NDVI产品中可能存在少部分云污染与数据缺失，采用SG滤波进行平滑，然后计算VCI，根据以下式子在GEE中编写函数，进行计算，时间序列为2000—2020年，且已实现计算指定日期并批量输出的功能。

$$\mathrm{VCI}=\frac{\mathrm{NDVI}-\mathrm{NDVI}_{\min}}{\mathrm{NDVI}_{\max}-\mathrm{NDVI}_{\min}}\tag{2}$$

式中，NDVI为第i期影像某像元的值；$\mathrm{NDVI}_{\min}$、$\mathrm{NDVI}_{\max}$分别为第i期影像对应像元NDVI历史同期多年的最小值和最大值；当VCI<0.4时，表示植被长势变差，值越小，长势越差。

2.3　统计方法

MCI和VCI多年变化趋势拟合方法采用的是一元线性回归拟合，直线斜率代表变化趋势。公式为（以MCI为例）：

$$\theta_{\mathrm{slope}}=\frac{n\times\sum_{i=1}^{n}i\times\mathrm{MCI}_i-\sum_{i=1}^{n}i\sum_{i=1}^{n}\mathrm{MCI}_i}{n\times\sum_{i=1}^{n}i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}i\right)^2}\tag{3}$$

式中，n为年份；i=1，2，3，…，21；MCI_i为各站点3种作物21 a生长季MCI的平均值；θ_{slope}为一元线性回归方程的斜率。

皮尔逊相关系数r，可反映几个变量之间的相互关系的强弱及其相关的方向，公式如下：

$$r=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(x_i-\bar{X}\right)\left(y_i-\bar{Y}\right)\right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\bar{X}\right)^2\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\bar{Y}\right)^2}}\tag{4}$$

式中，x为MCI的平均值；y为VCI的平均值；n为样本个数。

2.4　技术路线

本文技术路线详见图1。

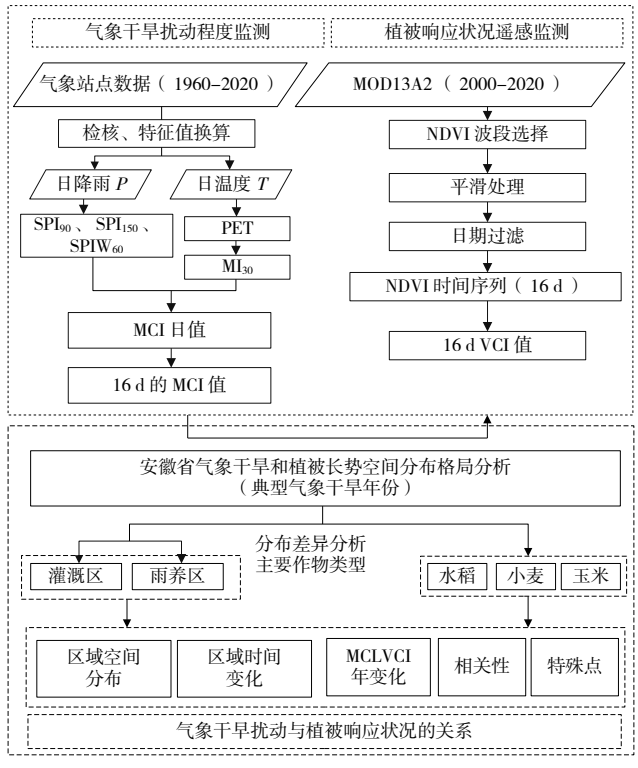


图1　流程图

3 实验与分析

3.1 灌溉区与雨养区植被对气象干旱的响应程度

在灌区内部植被长势与气象干旱存在高度相关的时间为4–5月。从MCI的计算结果可知，研究区在4–5月极易发生严重气象干旱，开始灌溉的时间在每年4–5月，因此在4–5月土壤墒情较低，且受到严重干旱影响，灌区内植被长势与气象干旱呈现较高的相关性；而在每年6月，虽发生不同程度的气象干旱，但由于已经灌溉，植被得到外部供水，植被长势与气象干旱的相关性与4–5月相比，呈明显下降趋势；在7–8月份，全省仍频繁发生不同程度的气象干旱，除小部分地区灌溉外，大部分地区由于持续灌溉，大部分地区植被长势与气象干旱的相关性均表现为中度和低度相关，说明灌溉缓解了灌区内气象干旱对植被长势的影响。

在雨养区内，可以看到除发生严重气象干旱的4–5月外，在1月安徽中南部地区，6月和9月安徽西北部和东南部大面积地区，7–8月西北部和东南部小部分地区，10月份东南部地区和12月份中部部分地区，植被长势与气象干旱均呈较高相关关系。

结合图2可知：在2000—2020年1–12月内，灌溉区植被长势与气象干旱相关性均低于雨养区，尤其在6月份，呈明显下降趋势，表明雨养区植被长势受到干旱胁迫程度更高。在区域分布上，雨养区内安徽淮河以北和东南部地区的植被长势受气象干旱影响较大；在时间尺度上，在每年气象干旱严重的4–5月份，雨养区的植被更易受到干旱胁迫。若能提早灌溉或提高灌溉量，使土壤墒情达到植被生长需求，将在很大程度上减缓灌区内部植被对于严重干旱的抵抗性。表明在灌溉区由于存在灌溉条件，在干旱年份，灌溉对于作物长势的存在维持作用，减弱了气象干旱对作物长势的作用，作物仍能维持生长必需的水分补给，受气象干旱胁迫的影响降低；反之，雨养区由于在干旱年份得不到外部水分补给，在受到严重干旱胁迫下，作物的长势与干旱程度呈高度相关关系，会受到严重影响。

表3 气象干旱与植被长势相关程度划分阈值

相关性	阈值划分
低相关	−0.2~0.3
中度相关	0.3~0.5
高度相关	0.6~1

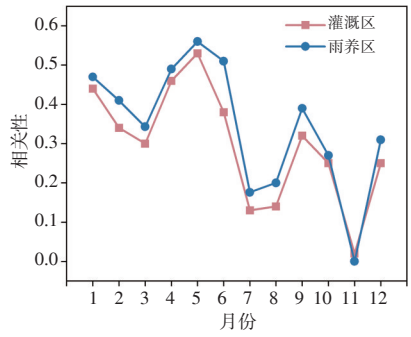


图2 灌溉区与雨养区植被长势与气象干旱相关曲线

3.2 基于站点的气象干旱扰动与3种主要农作物长势的响应

1）3种作物MCI–VCI在2000—2020年整体变化趋势。在2000—2020年水稻和小麦MCI年际增速分别为+0.05和+0.02，表明干旱趋势逐渐减缓；VCI年际增速分别为+0.005和+0.012，表明植被长势变好；VCI/MCI变化速率比分别为0.1和0.6，说明水稻和小麦整体趋势都呈正相关关系。而在玉米MCI和VCI的变化趋势明显呈两段式变化，是由于玉米区域在2007年后气象干旱加重。其中MCI在2000—2007年呈上升趋势，增速为0.099；在2007—2020年趋势平缓，干旱强度趋势降低，说明在2000—2007年干旱趋势呈上升，在2007—2020年趋于平稳；VCI在2000—2007年趋势上升，增速为+0.019，表明玉米长势变好，VCI/MCI变化速度比为0.19，在2007—2020年小麦VCI年际变化趋势平缓，说明在2007—2020年植被长势逐渐平稳。

通过3种作物的年际变化曲线可以看出，VCI/MCI之比大小为水稻（0.1）<玉米（0.19）<小麦（0.6），表明随着干旱趋势逐渐增强，水稻长势的响应速度最慢，玉米次之，小麦最快。从3种作物的相关系数曲线（图3）可以看出，在2000—2020年，3种作物MCI–VCI相关系数均大于0，说明气象干旱跟作物长势的存在正相关关系，各站点的皮尔逊相关系数值（MCI–VCI）整体趋势：小麦>玉米>水稻，再次表明小麦和玉米在受到气象干旱条件下，作物长势影响比水稻胁迫要大。

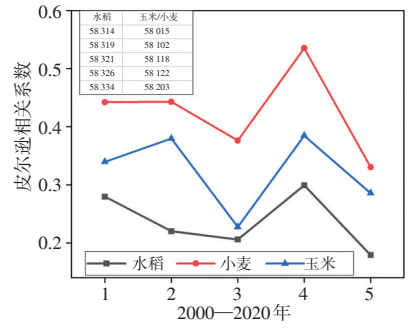


图3 各站点2000—2020年MCI–VCI相关系数

2）不同气象干旱程度下3种作物长势与干旱的变化分析。图4为水稻、小麦和玉米3种作物在各自严重干旱、部分干旱与无旱年份整个生育期内作物长势的变化过程，3种作物的NDVI值曲线整体趋势大致为无旱>部分干旱>严重干旱年份，说明在水稻长势受干旱的影响最小，而小麦受干旱的影响最大，玉米次之。需在严重干旱年份，补给水稻仍能维持生长必需的水分，使其受气象干旱胁迫的影响降低；而小麦和玉米，在干旱年份得不到外部水分补给，在受到严重干旱胁迫下，长势受到严重影响。

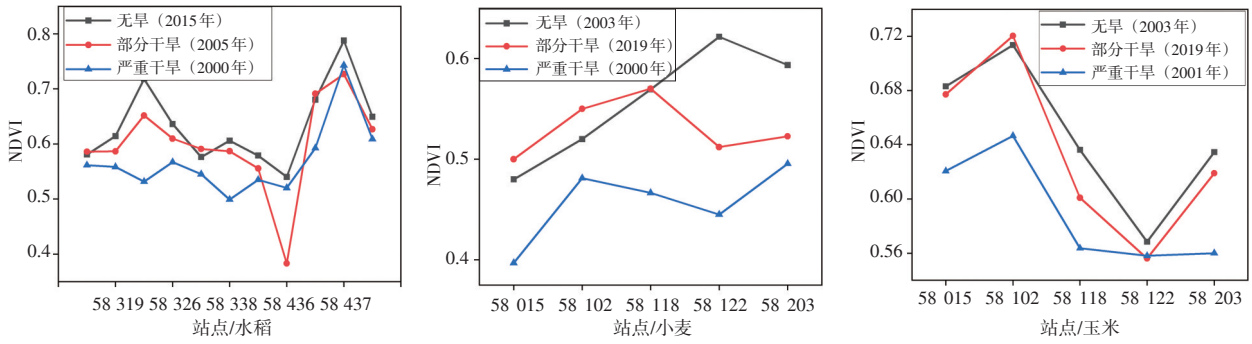


图4　水稻、小麦和玉米在无旱、部分干旱和严重干旱年份NDVI变化曲线

4　讨　论

对3种作物进行监测时，发现3种作物在不同干旱程度年份的作物长势存在一些特殊值。以小麦为例，站点58015、58102部分干旱年份（2019年）NDVI年均值>无旱年份（2003年）。这2个站点这21 a发生干旱的情况，可以明显看出在整个生育阶段内气象干旱程度仍符合无旱年（2003年）<部分干旱年（2019年）<严重干旱年（2000年）。通过查阅安徽省年鉴发现，在2003年发生了严重的冰冻灾害，是2000—2020年来最为严重的一年，通过对应的NDVI曲线发现：站点58015在3/21（拔节期）–4/22（抽穗期）作物长势变差，在5—8月份（开花期）后才恢复到部分干旱年份的长势；而站点58102无旱年份（2003年）整个生育期内的NDVI值<部分干旱年份（2019年），尤其在3/21（拔节期）–4/22（抽穗期）作物长势接近严重干旱年份（2000）作物长势。说明作物的长势一定程度上也受到其他的极端事件影响，不能简单地把作物长势变差完全归因于气象干旱。

5　结　语

本文主要分析了安徽省气象干旱扰动与植被响应状况的关系，从时空分布格局整体分析，得出气象干旱与植被长势为高度相关的地区随月份不同而发生着变化，且大多发生在安徽北部以及南部地区部分地区，在时空上存在着差异。MODIS影像虽然时间分辨率高，适合作物长时间长势监测，但空间分辨率低，未来可以采用更高分辨率的影像分析作物不同生育期；水分胁迫对于作物长势影响最大，但并不是唯一因素，之后可以进一步精细化研究其他因素，如地形因素与加强小区域内灌溉对作物长势的影响的验证。

参考文献

[1]　焦文哲. 利用遥感指数监测干旱的时空敏感性与适用性对比研究[D]. 北京:中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所),2017

[2]　沙莎,郭铌,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,2013,35(4):990-998

[3]　中国气象局兰州干旱气象研究所. 气象干旱等级[S].

[4]　赵安周,张安兵,赵延旭,等. 基于MODISNDVI数据的陕甘宁地区植被覆盖时空变化及其对极端气候的响应[J]. 水土保持研究,2018,25(3):224-231

[5]　孙亲. 基于VCI指数的中国1981-2015年干旱时空变化特征研究[D]. 徐州:江苏师范大学,2017

[6]　杜灵通,侯静,胡悦,等. 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

[7]　孔祥生,钱永刚,张安定. Google Earth Engine云平台下的遥感实验教学改革与实践[J]. 地理空间信息,2021,19(10):137-143