

# 农业干旱遥感监测指数及其适用性研究进展

宋扬<sup>1,2</sup>, 房世波<sup>2</sup>, 卫亚星<sup>1</sup>

1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029

2. 中国气象科学研究院生态环境与农业气象研究所, 北京 100081

**摘要** 干旱是影响农作物生长发育的主要气象灾害, 且在全球气候变暖背景下, 中国呈现出增多增强的干旱化趋势。本文综述主要遥感干旱指数的最新研究进展, 并对其优缺点进行比较, 分析了各类农业干旱遥感监测指数的适用性: 1) 与土壤水分指标密切相关的各指数比较适宜于农业旱情早期预警及土壤干旱型农业旱情监测, 对作物生长前期未封垄时, 植被覆盖度低, 土壤裸露情况下有很好的监测效果; 2) 表征作物形态及生理指标的各指数比较适宜于农业作物生长过程中, 尤其是在封垄后, 植被覆盖度较高的时期的旱情监测; 3) 各类综合干旱指数的适用性广阔, 可以根据作物整个生长过程中的不同时期进行改良调整, 但由于需要大量参数计算保证其精度, 限制了实际应用。

**关键词** 农业干旱; 遥感监测; 干旱指数

干旱是对人类影响最为严重的自然灾害之一, 其类型根据研究方向不同一般分为农业干旱、气象干旱、水文干旱、社会经济干旱<sup>[1]</sup>。在各类农业气象灾害中, 农业干旱造成的损失十分严重, 是对农业生产威胁最大的灾害之一。中国旱灾成灾面积约占总成灾面积的 1/2, 且随着全球气候变暖, 农田蒸散日益增加, 中国农业干旱呈现出增多增强的严峻趋势<sup>[2-4]</sup>。农业干旱的发生原因十分复杂, 与气象、地形环境、土壤条件、作物品种等因素都有着密切的联系<sup>[5]</sup>。由于植被(作物)生长的各个时期所表现的形态不同, 其覆盖地表程度也不尽相同, 进而影响到监测指数的选择。王鹏新<sup>[6]</sup>、张学艺等<sup>[7]</sup>以不同基准进行研究, 指出了不同干旱指数在作物各个时期、各种下垫面环境下各目的优劣。Hatfield 等<sup>[8]</sup>通过使用不同的植被指数量化不同的生长阶段的农作物特征值, 研究发现不同植被指数的监测结果存在一定的差异, 这意味着需要使用多个植被指数才能更好地捕获农作物特性。刘谔源等<sup>[9]</sup>通过对 3 个不同株型品种的冬小麦进行照相法研究得出, 随着生育期的推进, 作物叶面积呈现先增大后减小的趋势。这种叶面积的差别会影响遥感监测植被指数方法的选择<sup>[10]</sup>。各个发育期作物的特性是不同的, 作物叶面积、土壤蒸发能力、作物耗水量等各不相同, 导致干旱对作物不同生育阶段产生的影响不同<sup>[11,12]</sup>。通过分析作物不同生育期所对应的生物学特

征, 可以揭示农业干旱与气象干旱、土壤水分之间的关系<sup>[13]</sup>。农业干旱遥感监测在作物不同发育阶段所应用的指数可以根据其生长特征、植被覆盖程度进一步划分<sup>[14,15]</sup>。本文分析不同指数之间的优缺点, 总结出中国农业干旱遥感监测的指数适用体系。

## 1 基于土壤水分指标的遥感干旱指数

### 1.1 热惯量

热惯量模型是利用热红外遥感数据监测土壤含水量的主要方法。Price<sup>[16]</sup>对热惯量法进行了简化, 提出了表观热惯量(apparent thermal inertia, ATI)概念。通过遥感数据计算得到的表观热惯量可以有效地反演出土壤水分, 在农业干旱监测中有很好的应用价值<sup>[17,18]</sup>。在反演土壤水分时需要考虑风速、土壤类型等地形参数<sup>[19]</sup>, 尤其是地表植被覆盖情况: 当植被覆盖较低时, 表观热惯量与土壤含水量显著相关; 植被覆盖较高时, 热惯量法不能有效地监测土壤水分<sup>[20]</sup>。随着对热惯量方法的进一步研究, 其改进方法对复杂地形、高植被覆盖等区域的监测效果有一定的改善<sup>[21,22]</sup>, 但还不足以进行实际应用。热惯量法及其改进方法是以土壤的热特性为出发点反演土壤水分, 对土壤单元的温度信息十分敏感, 可以有效监测裸土或较低植被覆盖条件下的农业干旱状况<sup>[23]</sup>。

收稿日期: 2015-05-12; 修回日期: 2015-10-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271421); 国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506019); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(14YJA630064)

作者简介: 宋扬, 硕士研究生, 研究方向为遥感影像信息处理与应用, 电子信箱: songyang0807@126.com; 卫亚星(通信作者), 副教授, 研究方向为遥感图像处理 and GIS 应用, 电子信箱: wyx9585@sina.com

引用格式: 宋扬, 房世波, 卫亚星. 农业干旱遥感监测指数及其适用性研究进展[J]. 科技导报, 2016, 34(5): 45-52; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.05.004

## 1.2 能量指数

张文宗等<sup>[24,25]</sup>根据土壤热力学理论提出了利用遥感监测农业干旱的能量指数模式,其原理为:土壤越干燥,经过转换向外放出的长波辐射越强,地表和植被冠层温度越高;相反,土壤越湿润,经过转换向外放出的长波辐射越弱,地表和植被冠层温度越低。实际监测过程中,能量指数法的监测效果优于热惯量法和植被供水指数法,能较好地反映旱情的空间分布和发展过程,适用于各种程度植被覆盖条件下的干旱监测<sup>[26]</sup>,尤其是在作物长势较好的生长中后期<sup>[27]</sup>。

## 1.3 垂直干旱指数

詹志明等<sup>[28,29]</sup>基于红波段-近红外波段二维光谱特征空间中土壤水分沿土壤线方向的变化规律提出了垂直干旱指数(perpendicular drought index, PDI)。Ghulam等<sup>[30]</sup>通过引入植被覆盖度因子提高了PDI指数的适用范围,进而提出了改进垂直干旱指数(modified perpendicular drought index, MPDI)。加入了植被覆盖度参数的MPDI对较高植被覆盖条件下土壤旱情的监测能力强于低植被覆盖条件下的监测能力,对华北地区冬小麦种植区在4个关键生育期的旱情监测中表现良好<sup>[31]</sup>。在不同植被覆盖程度下,MPDI指数都有较好的反演结果,但MPDI指数对相同土壤条件下的旱情监测能力高于不同土壤条件下的。MPDI指数在中等植被覆盖的小麦拔节期,土壤含水量较高时,不易反映土壤含水量起伏变化特征;在高植被覆盖的抽穗阶段,对偏低的土壤含水量较为敏感<sup>[32]</sup>,这导致在不同土壤条件下的监测效果存在明显差异。因此,通过3S技术网格化地面信息对土壤单元进行分类,可以有效提高MPDI的精度<sup>[7]</sup>,增加其适用性。在实际应用中,垂直干旱指数及其改进指数在干旱监测中有着良好表现,可以作为干旱和半干旱气候条件区域的干旱预警系统<sup>[33,34]</sup>。

# 2 基于作物形态及生理指标的遥感干旱指数

## 2.1 归一化植被指数及其改进指数

Jackson等<sup>[35]</sup>发现归一化植被指数(normalized differential vegetation index, NDVI)在监测干旱时不能及时反映土壤水分含量,只有当水分胁迫十分严重,阻碍了作物生长时才引起NDVI值的显著变化,表明NDVI对重旱有较好的反映<sup>[36]</sup>,但对于旱胁迫具有一定程度的延迟响应,存在一定的滞后性<sup>[37-39]</sup>。NDVI指数是一种在大范围监测中最简单可行的指数,研究表明NDVI对时空跨度较大地区的干旱监测有明显优势,更适用于植被发育中期或中等以上覆盖度的植被监测<sup>[40,41]</sup>,尤其是在作物拔节期和乳熟期,NDVI是相对较好的指标<sup>[42]</sup>。

Kogan<sup>[43-45]</sup>认为,地理环境、土壤类型、作物种类等也会影响NDVI的变化,提出了植被状态指数(vegetation condition index, VCI)和温度条件指数(temperature condition index, TCI),并通过实验证明了植被条件指数VCI与温度条件指数TCI的比值能更好地监测植被长势和土壤水状况。这两种指数各有优缺点,在实际监测中都很难以突破其固有的局限性。由此,Kogan<sup>[46]</sup>将VCI和TCI通过线性组合建立了植被健康指

数(vegetation health index, VHI)。此后的研究表明,VHI比传统的气象干旱指标——标准化降水指数(standardized precipitation index, SPI)更适用于作物旱情监测<sup>[47]</sup>,能够较好地反映作物受旱情况<sup>[48]</sup>。VHI指数综合了VCI和TCI的优点,继承了NDVI指数的简单性、可行性,但没有提出在下垫面作物(植被)情况复杂时的解决方案。因此,Rojas等<sup>[49]</sup>提出了新的改进方法,利用单个像元的季节平均VHI,通过基于NDVI的物候模型定义了作物的灌溉起止时间,在实际应用中有效地提高了精度。而Sun等<sup>[50]</sup>通过结合归一化水指数和昼夜地表温度,建立了更加有效监测整个中国农业干旱的干旱监测指标——植被干旱指数(vegetation drought index, VDI),解决了VHI过于依赖NDVI和温差数据而产生的不确定性和地貌干扰。实验表明,VDI与归一化作物产量具有显著相关性,并且比VHI更好;在重大干旱监测中,VDI具有全区域、全时段监测农业干旱的能力。

## 2.2 作物缺水指数及其改进指数

Idso等<sup>[51]</sup>根据能量平衡原理提出了作物缺水指数(crop water stress index, CWSI),以反映作物实际日蒸腾与最大可能蒸腾之间的比值。CWSI越大,作物蒸腾作用越小,供水能力越差,土壤越干旱。Jackson等<sup>[52]</sup>利用冠层能量平衡的单层模型提出了涉及诸多气象因素的理论模式,将植被与土壤视为一个整体,解决了CWSI在不同植被覆盖度下的适用性问题。考虑到该模型过于复杂,Jones<sup>[53]</sup>对CWSI进行了简化,提出了利用加强红外测温技术衡量植物水分胁迫的一些方法。通过对Jackson理论模式和Jones简化模式下计算得出的作物水分胁迫指数CWSI进行比较发现:两者在干旱监测中均有较好的相关性,其中,Jones模式可以更好地指示作物缺水状态,能够准确反映作物水分状态<sup>[54]</sup>。

在部分植被覆盖下,土壤和作物有不同的热特性。单层模型在监测高覆盖条件下蒸散的精度较高,而对于部分植被覆盖条件下则需要采用双层模型<sup>[55]</sup>。Jupp<sup>[56]</sup>把地表覆盖分为植被层和土壤层2个部分,提出了农田蒸散的双层模型理论。为了将作物缺水指数CWSI有效应用到部分植被覆盖条件地区,Moran等<sup>[57]</sup>根据植被指数温度梯形理论和双层模型理论提出了水分亏缺指数(water deficit index, WDI)。研究表明,WDI提供的农田蒸散速率和相对农田水分亏缺在全覆盖和部分植被地表的监测结果是准确的,使用WDI评价干旱的发生比较合理,但在干旱炎热夏季的适用性并不理想<sup>[58]</sup>。考虑到该指数的变化因子是植被根部的相对蒸发量,Su等<sup>[59]</sup>对其进行了改进,提出了DSI指数(drought severity index, DSI),提高了在实际应用中的精度。

# 3 综合遥感干旱指数

## 3.1 植被供水指数

Carlson等<sup>[60]</sup>综合考虑了作物受旱时在红光、近红外及热红外波段上的反应,结合归一化植被指数NDVI和冠层温度(canopy temperature,  $T_c$ ),提出了植被供水指数(vegetation



supply water index, VSWI)。原理为:作物冠层温度可以反映出作物供水状况,其随NDVI变化的直线斜率可以反映区域土壤湿度状况<sup>[61]</sup>。在植被覆盖度较高、作物蒸腾较强地区的干旱监测中,VSWI有很好的相关性,具有比较明确的物理学和生物学意义<sup>[62]</sup>。在进一步的研究中,为了解决通过遥感资料获取的干旱指标的差异性,Abbas等<sup>[63]</sup>建立了归一化植被供水指数(normalized vegetation supply water index, NVSWI),通过结合土地覆盖类型、降雨滞后时间等因素更加精确地进行了干旱监测,为今后该方法的改进提供了新的方向。

### 3.2 温度植被干旱指数及其改进指数

Sandholt等<sup>[64]</sup>根据基于NDVI-LST三角形空间的研究,提出了估算土壤表层水分状况的温度植被干旱指数(temperature vegetation dryness index, TVDI)。其中,TVDI值越大,陆地表面温度(land surface temperature, LST)越接近干边,土壤干旱越严重;反之,TVDI值越小,LST越接近湿边,土壤湿度越大。实际应用中,TVDI对山区的早期干旱监测有很好的效果<sup>[65]</sup>,但在高纬度、高海拔地区,尤其是作物生长的前期和后期,NDVI-LST空间的相关模型可能并不适用<sup>[66]</sup>。在一定程度上,虽然TVDI能够反映地表土壤水分状况<sup>[67]</sup>,但考虑到研究区下垫面、气候等因素的复杂性,仅使用TVDI并不一定能满足干旱监测的实际需要。进一步的研究表明,通过结合降水量距平指数PPAI所建立的综合干旱监测指数(IMDI指数),在不同生长时期比单一的TVDI更显著相关,在反映大范围的干旱趋势上效果较好,特别是在重旱情况下<sup>[68]</sup>。

王鹏新等<sup>[69]</sup>、Wan等<sup>[70]</sup>在NDVI-LST三角形空间理论的基础上提出了条件植被温度指数(vegetation temperature condition index, VTCI)的干旱监测方法,该指数可以有效监测某一特定时期内相对干旱程度及其变化规律。在河北省中南部平原某年严重春旱的监测中<sup>[71]</sup>,VTCI与不同深度的土壤相对湿度相关性均明显优于VSWI,更适合河北省中南部平原地带的旱情监测,同时研究认为,下垫面因素是造成旱情监测结果存在较大差异的主要原因。

此外,郑有飞等<sup>[72]</sup>对TVDI进行了改进,提出了简化型蒸散胁迫指数SESI,其计算简单,兼顾了物理学和生物学基础,在春、秋季监测中效果很好。Li等<sup>[73]</sup>针对TVDI在植被高覆盖地区可能夸大了干旱程度问题,建立蒸发植被干旱指数模型EVDI,增加了实际监测中的精度。李红军等<sup>[74]</sup>对影响TVDI的地表能量平衡因素进行了研究,提出了温度蒸散旱情指数法TEDI,使TEDI可以更准确地反映出下垫面的土壤墒情状

况。聂建亮等<sup>[75]</sup>通过结合温度降尺度方法和温度反演方法解决了遥感技术监测地表温度时存在的空间分辨率和时间分辨率上的矛盾。王永前等<sup>[76]</sup>将微波遥感与NDVI-LST三角形空间理论有效结合构建了温度微波植被干旱指数TMVDI,和TVDI相比能够对不同特征的区域干旱进行有效的监测,反映出更丰富的植被信息,但微波辐射计的空间分辨率相对较低,精细化程度不够。

### 3.3 云参数

刘良明等<sup>[77,78]</sup>、向大亨<sup>[79]</sup>提出了基于云的干旱遥感监测方法——云参数法,将云作为旱情信息提取的基础,研究思路为:若像元无云覆盖,不可能发生降水,地面接收的太阳短波辐射增强,引起地面温度上升,进而导致蒸发、蒸腾作用加强,干旱的可能性趋势增大。反之,有可能发生降水,辐射减弱,蒸发、蒸腾作用减弱,干旱的可能性趋势减小。孙岩标等<sup>[80]</sup>利用ArcEngine和IDL语言设计并实现了基于云参数法的遥感干旱监测系统。在实际应用中,通过云参数法制作的遥感干旱监测系统与地面统计数据基本吻合,在干旱程度与范围方面基本一致,证明了该技术在大规模旱情监测评估中的适用性<sup>[81,82]</sup>。

## 4 适用性分析

农业干旱与土壤、作物、云等因素的若干变化息息相关。如表1、表2、表3所示,不同的遥感干旱监测指数利用不同因素的变化描述农业干旱程度,使得指数的选择对监测结果造成不同的影响。进而,在作物生长周期的不同阶段,下垫面、作物生理等因素的差异会进一步导致监测结果之间的不一致。研究认为在实际干旱遥感监测中,根据作物生长环境、作物种类、作物不同生长时期选择采用不同的遥感干旱指数,有助于提高监测效果。作物在生长过程中,其植被覆盖程度、耗水量、土壤及作物的蒸发程度有很大的区别。以冬小麦为例,在发育前期,作物处于营养生长阶段,封垄前的植被覆盖不完全,作物耗水较少,由于气温较低,土壤蒸发弱,对水分亏缺并不敏感;返青阶段,植被覆盖逐渐完全,作物对水分需求明显增大,降水对其影响较大;生长中期,作物叶面积逐渐增大,植被覆盖逐渐达到最大,土壤蒸发能力日益加强,其对水分亏缺越来越敏感,在此时期,干旱对大多数作物的产量影响最大<sup>[83]</sup>;成熟阶段,NDVI值已下降到较低水平,部分地区收割出现裸地,植被覆盖程度降低。

表1 基于土壤水分指标的遥感干旱指数的适用性分析

Table 1 Analysis of the applicability of drought indexes closely related to the soil moisture index

遥感干旱指数	优点	缺点	适用性
热惯量	对土壤单元的温度信息十分敏感	较高植被覆盖情况下,监测效果并不理想	适合植被(作物)覆盖较低、地形简单区域的早期干旱预警及监测
能量指数法	在各种下垫面环境下的相关性都很好	对监测区域的整体性要求较高	适用于各种植被覆盖条件下、不同发育阶段的旱情监测
垂直干旱指数	对相同、不同土壤质地都有较好的反演结果	对不同时期土壤含水量的敏感程度不一致	适用于干旱和半干旱气候条件下区域的干旱预警

表2 基于作物形态及生理指标的遥感干旱指数的适用性分析

Table 2 Analysis of the applicability of the vegetation morphological and physiological drought indexes

遥感干旱指数	优点	缺点	适用性
归一化植被指数及其改进指数	对时空跨度较大、植被覆盖较高区域的监测优势明显	存在一定的滞后性,易受到下垫面因素影响	适用于全区域、全时段的作物生长状况监测以及干旱趋势预测
作物缺水指数及其改进指数	在植被(作物)覆盖率较高的地区,其精度高、可靠性强	需要的参数较多、计算较为复杂,各种参数存在一定的地域环境差异	适用于小范围、蒸散作用较强的作物生长过程中的农业干旱监测

表3 综合遥感干旱指数的适用性分析

Table 3 Analysis of the applicability of all kinds of comprehensive drought index

遥感干旱指数	优点	缺点	适用性
植被供水指数	具有比较明确的物理学和生物学意义	地理环境、作物种类等因素会影响其监测结果	适用于植被覆盖度较高、作物蒸腾较强地区的农业旱情遥感监测
温度植被干旱指数及其改进指数	在监测不同下垫面背景区域时表现较为稳定,参数较少、计算较简便	在高纬度、高海拔地区,该指数类型的监测效果不理想	适用于时空分布较广的监测区域,尤其是平原地区的旱情监测
云参数	避免了下垫面因素对监测的干扰,数据处理简单	以云为单一参数的监测结果不可靠	适用于大范围或全球范围的干旱监测

根据以上分析,研究得出了农业干旱遥感监测指数适用性体系:1)与土壤水分指标密切相关的各指数比较适宜于农业旱情早期预警及土壤干旱型农业旱情的监测,对作物生长前期未封垄时,植被覆盖度低,土壤裸露有很好的监测效果。其中,改进的热惯量方法适用性大大提高,适合不同情况下的监测;修正的垂直干旱指数 MPDI 对连续干旱造成的土壤表层水分变化有较好的反映。2)表征作物形态及生理指标的各指数比较适宜于农业作物生长过程中,尤其是在封垄后,植被覆盖度较高的时期的旱情监测。农田蒸散的单层模型、双层模型,在精度和计算繁简的束缚下有待进一步改进。3)各类综合干旱指数对作物整个生长过程都有较好的监测效果。其中,NDVI-LST 三角形空间模型的改进、与其他指数的结合越发成熟可行,为实际监测提供了更多的可能;云参数法以云为研究目标,摆脱了地表状况的限制,适用于作物整个生长周期,计算简单,在大范围实时监测方面提供了新的思路。

## 5 结论

分析了农业干旱遥感监测指数依据其理论基础和作物不同生长时期的适用性。研究表明,在作物发育前期作物植被覆盖率较低,不能对作物冠层进行有效的监测,基于土壤水分指标的遥感干旱指数更适用于这个时期的监测;在作物返青阶段,作物冠层发育良好,处于部分植被覆盖阶段,结合土壤水分指标的综合遥感干旱指数以及采用农田蒸散双层模型的基于作物特征的干旱指数的监测结果更加准确可行,适用于这个时期的干旱监测;作物生长中期,植被覆盖完全,

基于作物形态及生理指标的遥感干旱指数在这个时期有着较好的监测效果,但考虑下垫面因素,综合指数的监测结果则更加准确;成熟阶段,作物冠层光合作用减弱,部分区域由于收割出现裸地,容易产生混合像元,降低遥感影像的精度,各种类型指数在这一阶段都可能出现一定的误差。

虽然对作物不同生长期应用最适干旱监测方法可以有效提高监测效果,但考虑到在具体应用中的复杂性,未来还需要更多的改进。通过将不同指数方法进行组合,根据地表 NDVI 值的变化选择不同的指数模型,为实现对作物不同生长阶段的大规模实时监测提供了可能<sup>[84]</sup>。进一步结合 GIS 技术提供的土壤类型、地形地貌、水系分布、作物种类等下垫面背景数据,可以有效提高监测精度。适当使用高分辨率遥感影像可以有效排除混合像元干扰,更加精细地对农业作物干旱状况进行划分与监测。因此,如何集成现有遥感监测模型和方法,建立高精度实时性干旱遥感监测与预报系统可能会成为今后研究中的主要方向。

## 参考文献(References)

- [1] Council A M S. Policy statement: Meteorological drought[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1997, 78: 847-849.
- [2] 房世波, 谭凯炎, 任三学. 夜间增温对冬小麦生长和产量影响的实验研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3251-3258.  
Fang Shibo, Yan Kaiyan, Ren Sanxue. Winter wheat yields decline with spring higher night temperature by controlled experiments[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(15): 3251-3258.
- [3] 房世波, 阳晶晶, 周广胜. 30 年来我国农业气象灾害变化趋势和分布特征[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 69-73.  
Fang Shibo, Yang Jingjing, Zhou Guangsheng. Change trend and distrib-

- utive characteristics of agro-meteorological disasters in China in recent 30 years[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(5): 69-73.
- [4] 房世波, 齐月, 韩国军, 等. 1961—2010 年中国主要麦区冬春气象干旱趋势及其可能影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(9): 1754-1763.  
Fang Shibo, Qi Yue, Han Guojun, et al. Meteorological drought trend in winter and spring from 1961 to 2010 and its possible impacts on wheat in wheat planting area of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(9): 1754-1763.
- [5] 杨绍锴, 闫娜娜, 吴炳方. 农业干旱遥感监测研究进展[J]. 遥感信息, 2010(1): 103-109.  
Yang Shaoe, Yan Nana, Wu Bingfang. Advances in agricultural drought monitoring by remote sensing[J]. Remote Sensing Information, 2010(1): 103-109.
- [6] 王鹏新, 孙威. 基于植被指数和地表温度的干旱监测方法的对比分析[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2007, 43(3): 319-323.  
Wang Pengxin, Sun Wei. Comparison study on NDVI and LST based drought monitoring approaches[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science Edition, 2007, 43(3): 319-323.
- [7] 张学艺, 李剑萍, 秦其明, 等. 几种干旱监测模型在宁夏的对比应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 18-23.  
Zhang Xueyi, Li Jianping, Qin Qiming, et al. Comparison and application of several drought monitoring models in Ningxia, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(8): 18-23.
- [8] Hatfield J L, Prueger J H. Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices[J]. Remote Sensing, 2010, 2(2): 562-578.
- [9] 刘谔源, 王纪华, 杨贵军, 等. 冬小麦叶面积指数地面测量方法的比较[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 220-224.  
Liu Rongyuan, Wang Jihua, Yang Guijun, et al. Comparison of ground-based LAI measuring methods on winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(3): 220-224.
- [10] 赵娟, 黄文江, 张耀鸿, 等. 冬小麦不同生育时期叶面积指数反演方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(9): 2546-2552.  
Zhao Juan, Huang Wenjiang, Zhang Yaohong, et al. Inversion of leaf area index during different growth stages in winter wheat[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 33(9): 2546-2552.
- [11] 谭方颖, 王建林, 郑昌玲, 等. 华北冬小麦干旱产量损失评估方法[J]. 中国农业气象, 2013, 34(6): 696-702.  
Tan Fangying, Wang Jianlin, Zheng Changling, et al. Evaluation method for winter wheat yield loss of drought disaster in North China[J]. Chinese Journal of Agro-meteorology, 2013, 34(6): 696-702.
- [12] 申海凤, 商彦蕊, 刘公英. 基于 SPI 指数的农作物生长期干旱时间变化研究—以河北省邢台县为例[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(11): 2536-2541.  
Shen Haifeng, Shang Yanrui, Liu Gongying. The time changing of drought in crop growth period based on the SPI index—Taking Xingtai County in Hebei Province as an example[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(11): 2536-2541.
- [13] 李柏贞, 周广胜. 干旱指标研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(5): 1043-1052.  
Li Bozhen, Zhou Guangsheng. Advance in the study on drought index [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(5): 1043-1052.
- [14] 吴炳方, 张峰, 刘成林, 等. 农作物长势综合遥感监测方法[J]. 遥感学报, 2005, 8(6): 498-514.  
Wu Bingfang, Zhang Feng, Liu Chenglin, et al. An integrated method for crop condition monitoring[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 8(6): 498-514.
- [15] 李兴华, 李云鹏, 杨丽萍. 内蒙古干旱监测评估方法综合应用研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(3): 162-166.  
Li Xinghua, Li Yunpeng, Yang Liping. Application and evaluation of integrated drought monitoring method to Inner Mongolia[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(3): 162-166.
- [16] Price J C. The potential of remotely sensed thermal infrared data to infer surface soil moisture and evaporation[J]. Water Resources Research, 1980, 16(4): 787-795.
- [17] Carlson T N. Regional-scale estimates of surface moisture availability and thermal inertia using remote thermal measurements[J]. Remote Sensing Reviews, 1986, 1(2): 197-247.
- [18] 余涛, 田国良. 热惯量法在监测土壤表层水分变化中的研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(1): 24-31.  
Yu Tao, Tian Guoliang. The application of thermal inertia method the monitoring of soil moisture of North China Plain based on NOAA-AVHRR data[J]. Journal of Remote Sensing, 1997, 1(1): 24-31.
- [19] 陈怀亮, 冯定原, 邹春辉. 麦田土壤水分 NOAA/AVHRR 遥感监测方法研究[J]. 遥感技术与应用, 1998, 13(4): 27-35.  
Chen Huailiang, Feng Dingyuan, Zou Chunhui. The study of method on monitoring soil moisture in wheat field by NOAA/AVHRR data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 1998, 13(4): 27-35.
- [20] 杨树聪, 沈彦俊, 郭英, 等. 基于表观热惯量的土壤水分监测[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1157-1161.  
Yang Shucong, Shen Yanjun, Guo Ying, et al. Monitoring soil moisture by apparent thermal inertia method[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(5): 1157-1161.
- [21] 吴黎, 张有智, 解文欢, 等. 改进的表观热惯量法反演土壤含水量[J]. 国土资源遥感, 2012, 25(1): 44-49.  
Wu Li, Zhang Youzhi, Xie Wenhuan, et al. The inversion of soil water content by the improved apparent thermal inertia[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2012, 25(1): 44-49.
- [22] 王艳皎, 闫峰. 旱情监测中高植被覆盖区热惯量模型的应用[J]. 干旱区地理, 2014, 37(3): 539-547.  
Wang Yanjiao, Yan Feng. Application of thermal inertia model in high vegetation coverage area for drought monitoring[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(3): 539-547.
- [23] 韩宇平, 张功瑾, 王富强. 农业干旱监测指标研究进展[J]. 华北水利水电学院学报, 2013, 34(1): 74-78.  
Han Yuping, Zhang Gongjin, Wang Fuqiang. Research progress on monitoring indexes of agricultural drought[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2013, 34(1): 74-78.
- [24] 张文宗, 周须文, 王晓云. 华北干旱综合评估和预警技术研究[J]. 气象, 1999, 25(1): 30-33.  
Zhang Wenzong, Zhou Xuwen, Wang Xiaoyun. A research on the North China integrated drought assessment and early warning technology[J]. Meteorological Monthly, 1999, 25(1): 30-33.
- [25] 张文宗, 姚树然, 赵春雷, 等. 利用 MODIS 资料监测和预警干旱新方法[J]. 气象科技, 2006, 34(4): 501-504.  
Zhang Wenzong, Yao Shuran, Zhao Chunlei, et al. New method for drought monitoring and pre-warning with EOS/MODIS[J]. Meteorological Science and Technology, 2006, 34(4): 501-504.
- [26] 郑有飞, 刘茜, 王云龙, 等. 能量指数法在黑龙江干旱监测中的适用



- 性研究[J]. 土壤, 2012, 44(1): 149-157.
- Zheng Youfei, Liu Qian, Wang Yunlong, et al. Application of energy index method on drought monitoring in Heilongjiang[J]. Soils, 2012, 44(1): 149-157.
- [27] 武晋雯, 孙龙斌, 张玉书, 等. 不同植被覆盖下土壤水分遥感监测方法的比较研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(23): 303-307.
- Wu Jinwen, Sun Longyu, Zhang Yushu, et al. Comparative study on the methods of estimating soil moisture by remote sensing under different vegetation cover[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(23): 303-307.
- [28] 詹志明, 秦其明, 阿布都瓦斯提·吾拉木, 等. 基于 NIR-Red 光谱特征空间的土壤水分监测新方法[J]. 中国科学: D 辑, 2006, 36(11): 1020-1026.
- Zhan Zhiming, Qin Qiming, Ghulam A, et al. Assessment of soil water based on characteristics of NIR-Red space[J]. Science in China: Series D, 2006, 36(11): 1020-1026.
- [29] Ghulam A, Qin Q, Zhan Z. Designing of the perpendicular drought index[J]. Environmental Geology, 2007, 52(6): 1045-1052.
- [30] Ghulam A, Qin Q, Teyip T, et al. Modified perpendicular drought index (MPDI): A real-time drought monitoring method[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 62(2): 150-164.
- [31] 周正明. 遥感光谱指数反演土壤水分及干旱时空分布研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2013.
- Zhou Zhengming. Soil moisture retrieval using remote sensing spectral indexes and tempo-spatial drought analysis in East China winter wheat-planting area[D]. Beijing: Chinese Meteorological Science Research Institute, 2013.
- [32] 孙丽, 裴志远, 马尚杰, 等. 基于多种卫星的县级尺度干旱监测指数比较—以河北玉田县为例[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(4): 46-50.
- Sun Li, Pei Zhiyuan, Ma Shangjie, et al. Comparative study of different drought indexes based on multi-source remote sensing on county scale: A case study of Yutian County[J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(4): 46-50.
- [33] Shahabfar A, Ghulam A, Eitzinger J. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information, 2012, 18: 119-127.
- [34] Shahabfar A, Reinwand M, Conrad C, et al. A Re-examination of perpendicular drought indices over central and south-west asia[J]. Remote Sensing for Agriculture Ecosystems & Hydrology XIV, 2012, 8531(8): 103-104.
- [35] Jackson R D, Slater P N, Pinter P J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres[J]. Remote Sensing of Environment, 1983, 13(3): 187-208.
- [36] Lozano-Garcia D F, Fernandez R N, Gallo K P, et al. Monitoring the 1988 severe drought in Indiana, USA using AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(7): 1327-1340.
- [37] Reed B C. Using remote sensing and geographic information systems for analyzing landscape/drought interaction[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(18): 3489-3503.
- [38] Anyamba A, Tucker C J, Eastman J R. NDVI anomaly patterns over Africa during the 1997/98 ENSO warm event[J]. International journal of remote sensing, 2001, 22(10): 1847-1859.
- [39] Peters W S. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2002, 68(1): 71-76.
- [40] 李秀花, 师庆东, 常顺利, 等. 1981—2001 年中国西北干旱区 NDVI 变化分析[J]. 干旱区地理, 2009, 31(6): 940-945.
- Li Xiuhua, Shi Qingdong, Chang Shunli, et al. Change of NDVI based on NOAA image in northwest arid area of China in 1981—2001[J]. Arid Land Geography, 2009, 31(6): 940-945.
- [41] 孙丽, 王飞, 吴全. 干旱遥感监测模型在中国冬小麦区的应用[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 243-249.
- Sun Li, Wang Fei, Wu Quan. Drought monitoring by remote sensing in winter-wheat-growing area of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(1): 243-249.
- [42] Li Z, Chen Z. Remote sensing indicators for crop growth monitoring at different scales[C]//2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE, 2011: 4062-4065.
- [43] Kogan F N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas[J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 11(8): 1405-1419.
- [44] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection[J]. Advances in Space Research, 1995, 15(11): 91-100.
- [45] Kogan F N. Global drought and flood-watch from NOAA polar-orbiting satellites[J]. Advances in Space Research, 1998, 21(3): 477-480.
- [46] Kogan F N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1995, 76(5): 655-668.
- [47] Bhuiyan C, Singh R P, Kogan F N. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information, 2006, 8(4): 289-302.
- [48] 牟伶俐, 吴炳方, 闫娜娜, 等. 农业旱情遥感指数验证与不确定性分析[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 119-122.
- Mu Lingli, Wu Bingfang, Yan Nana, et al. Validation of agricultural drought indices and their uncertainty analysis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2007, 27(2): 119-122.
- [49] Rojas O, Vrieling A, Rembold F. Assessing drought probability for agricultural areas in Africa with coarse resolution remote sensing imagery [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(2): 343-352.
- [50] Sun H, Zhao X, Chen Y, et al. A new agricultural drought monitoring index combining MODIS NDWI and day-night land surface temperatures: a case study in China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(24): 8986-9001.
- [51] Idso S B, Jackson R D, Pinter P J, et al. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability[J]. Agricultural Meteorology, 1981, 24(81): 45-55.
- [52] Jackson R D, Kustas W P, Choudhury B J. A reexamination of the crop water stress index[J]. Irrigation Science, 1988, 9(4): 309-317.
- [53] Jones H G. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling[J]. Agricultural & Forest Meteorology, 1999, 95(3): 139-149.
- [54] 张小雨, 孙宏勇, 王艳哲, 等. 应用基于红外热成像技术的 CWSI 简化算法判断作物水分状态[J]. 中国农业气象, 2013, 34(5): 569-575.
- Zhang Xiaoyu, Sun Hongyong, Wang Yanzhe, et al. Application of a simplified method for estimating CWSI with infrared thermography[J]. Chinese Journal of Agro-meteorology, 2013, 34(5): 569-575.
- [55] 隋洪智, 田国良. 农田蒸散双层模型及其在干旱遥感监测中的应用[J]. 遥感学报, 1997, 1(3): 220-224.

- Sui Hongzhi, Tian Guoliang. Two-layer Model for monitoring drought using remote sensing[J]. *Journal of Remote Sensing*, 1997, 1(3): 220-224.
- [56] Jupp D L B. Constrained two layer models for estimating evapotranspiration[C]//*Proceedings of the 11th Asian Conference on Remote Sensing*, 1990.
- [57] Moran M S, Clarke T R, Inoue Y, et al. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 49(3): 246-263.
- [58] 齐述华. 干旱监测遥感模型和中国干旱时空分析[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2004.
- Qi Shuhua. Drought monitoring models with remote sensing and tempo-spatial characteristics of drought in China[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Science, 2004.
- [59] Su Z, Yacob A, Wen J, et al. Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain[J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2003, 28(1): 89-101.
- [60] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. *Remote Sensing Reviews*, 1994, 9(1-2): 161-173.
- [61] 孟兆江, 段爱旺, 卞新民, 等. 番茄茎直径变差法诊断水分状况试验[J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(3): 40-43.
- Meng Zhaojiang, Duan Aiwang, Bian Xinmin, et al. Diagnosis of crop moisture condition from variable differential in stem diameter of tomato[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(3): 40-43.
- [62] 莫伟华, 王振会, 孙涵, 等. 基于植被供水指数的农田干旱遥感监测研究[J]. *南京气象学院学报*, 2006, 29(3): 396-401.
- Mo Weihua, Wang Zhenhui, Sun Han, et al. Remote sensing monitoring of farmland drought based on vegetation supply water index[J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2006, 29(3): 396-401.
- [63] Abbas S, Nichol J E, Qamer F M, et al. Characterization of drought development through remote sensing: a case study in Central Yunnan, China[J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(6): 4998-5018.
- [64] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. *Remote Sensing of environment*, 2002, 79(2): 213-224.
- [65] 吴孟泉, 崔伟宏, 李景刚. 温度植被干旱指数 (TVDI) 在复杂山区干旱监测的应用研究[J]. *干旱区地理*, 2007, 30(1): 30-35.
- Wu Mengquan, Cui Weihong, Li Jinggang. Monitoring drought in mountainous area based on temperature vegetation dryness index (TV-DI)[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2007, 30(1): 30-35.
- [66] Karnieli A, Agam N, Pinker R T, et al. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations[J]. *Journal of Climate*, 2010, 23(3): 618-633.
- [67] 李云鹏, 司瑶冰, 刘朋涛, 等. 基于空间信息的内蒙古农业干旱监测研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(11): 125-131.
- Li Yunpeng, Si Yaobing, Liu Pengtao, et al. Agricultural drought monitoring of Inner Mongolia based on spatial information[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(11): 125-131.
- [68] Sun L, Wu Q, Pei Z, et al. Study on drought index in major planting area of winter wheat of China[J]. *Sensor Letters*, 2012, 10(1-2): 453-458.
- [69] 王鹏新, 龚健雅, 李小微. 条件植被温度指数及其在干旱监测中的应用[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2001, 26(5): 412-418.
- Wang Pengxin, Gong Jianya, Li Xiaowen. Vegetation-temperature condition index and its application for drought monitoring[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2001, 26(5): 412-418.
- [70] Wan Z, Wang P, Li X. Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(1): 61-72.
- [71] 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]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- Chen P. Agricultural drought monitoring based on vegetation index and surface temperature on applicability[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2011.
- [72] 郑有飞, 程晋昕, 吴荣军, 等. 农业旱情遥感监测的一种改进方法及其应用[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2608-2618.
- Zheng Youfei, Cheng Jinxi, Wu Rongjun, et al. An improved method and its application for agricultural drought monitoring based on remote sensing[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(9): 2608-2618.
- [73] Li H, Lei Y, Zheng L, et al. Calculating regional drought indices using evapotranspiration (ET) distribution derived from Landsat7 ETM+ data[C]//*Optics & Photonics 2005*. International Society for Optics and Photonics, 2005: 58841E-58841E-9.
- [74] 李红军, 郑力, 雷玉平, 等. 植被指数—地表温度特征空间研究及其在旱情监测中的应用[J]. *农业工程学报*, 2007, 22(11): 170-174.
- Li Hongjun, Zheng Li, Lei Yuping, et al. Vegetation index-surface temperature feature space and its application in the regional drought monitoring[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 22(11): 170-174.
- [75] 聂建亮, 武建军, 杨曦, 等. 基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究[J]. *生态学报*, 2011, 31(17): 4961-4969.
- Nie Jianliang, Wu Jianjun, Yang Xi, et al. Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(17): 4961-4969.
- [76] 王永前, 施建成, 刘志红, 等. 微波植被指数在干旱监测中的应用[J]. *遥感学报*, 2014, 18(4): 843-867.
- Wang Yongqian, Shi Jiancheng, Liu Zhihong, et al. Application of microwave vegetation index in drought monitoring[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2014, 18(4): 843-867.
- [77] 刘良明. 基于 EOS MODIS 数据的遥感干旱预警模型研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- Liu Liangming. The research of remote sensing drought prediction model based on EOS MODIS data[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004.
- [78] 刘良明, 向大享, 文雄飞, 等. 云参数法干旱遥感监测模型的完善[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2009, 34(2): 207-209.
- Liu Liangming, Xiang Daxiang, Wen Xiongfei, et al. Improvement of cloud parameters based drought monitoring model using remote sensing data[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(2): 207-209.
- [79] 向大享. 云参数法干旱遥感监测模型研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2011.
- Xiang Daxiang. The research of cloud parameters indices model for drought monitoring based on remote sensing data[D]. Wuhan: Wuhan University, 2011.
- [80] 孙岩标, 刘良明, 何连, 等. 基于云参数法遥感干旱监测系统研究[C]//*Proceedings of 2010 International Conference on Remote Sensing*

- (ICRS 2010), Volu 3. 2010.
- Sun Yanbiao, Liu Liangming, He Lian, et al. Research on drought remote sensing monitoring system based on cloud method[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Remote Sensing (ICRS 2010), Vol 3. 2010.
- [81] 李喆, 向大亨, 谭德宝, 等. 基于云参数法的 2010 年西南旱情遥感分析[J]. 人民长江, 2012, 43(8): 88-92.
- Li Zhe, Xiang Daxiang, Tan Debao, et al. Remote sensing analysis of drought in southwest China in 2010 based on cloud parameters method [J]. Yangtze River, 2012, 43(8): 88-92.
- [82] 张穗, 向大亨, 孙忠华. 云参数法干旱遥感监测模型在非洲地区的适应性研究[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2013, 47(3): 410-415.
- Zhang Hui, Xiang Daxiang, Sun Zhonghua. Adaptability analysis of the drought monitoring model based on the cloud parameters method in Africa[J]. Journal of Huazhong Normal University: Natural Sciences Edition, 2013, 47(3): 410-415.
- [83] Huang Y, Liu X, Shen Y, et al. Assessment of agricultural drought indicators impact on soybean crop yield: A case study in Iowa, USA[C]//Third International Conference on. IEEE Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics 2014), 2014: 1-6.
- [84] 魏伟, 任皓晨, 赵军, 等. 基于 MODIS 的 ATI 和 TVI 组合法反演石羊河流域土壤含水量[J]. 国土资源遥感, 2011, 23(2): 104-109.
- Wei Wei, Ren Haochen, Zhao Jun, et al. Retrieving soil moisture of Shiyang River Basin by ATI and TVI based on EOS/MODIS data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2011, 22(2): 104-109.

## Comparison of typical remote sensing drought indexes and their adaptability in agriculture

SONG Yang<sup>1,2</sup>, FANG Shibo<sup>2</sup>, WEI Yaxing<sup>1</sup>

1. College of Urban and Environment Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China
2. Institute of Eco-environment and Agro-meteorology, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

**Abstract** Of all the kinds of agro-meteorological disasters, drought is the main meteorological disaster affecting crop growth, the maximum damage to agricultural production. A trend of increasing drought in China has been observed due to the global warming. The paper reviews the latest progress in the drought indexes by remote sensing, combined with the characteristics of crop growth cycles, and compares the applicabilities of various drought indexes in different crop growth durations. It is concluded that the drought indexes which are closely related to the soil moisture index are suitable for the prophase of crop growth duration, such as the growth periods, in which the vegetation coverage is low, or not sealing ridge, or soil bareness. The vegetation morphological and physiological drought indexes are more suitable for the agricultural crop growth process, especially after the vegetation sealing ridge and other vegetation coverage higher periods. The applicability of any kind of comprehensive drought index is broad and can be improved to adapt to different crop growth durations, but a large number of parameters need to be calculated to ensure the accuracy, which limits their practical application.

**Keywords** agricultural drought; remote sensing monitoring; drought index

(责任编辑 王媛媛)