

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20200922

· 研究报告 ·

农业干旱灾害研究进展*

张有智¹, 解文欢¹, 吴黎¹, 刘述彬^{2**}

(1. 黑龙江省农业科学院农业遥感与信息研究所, 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院, 哈尔滨 150086)

摘要 [目的] 文章阐述了基于不同数据源开展的农业干旱灾害研究, 为明确农业干旱灾害研究的概况, 便于把握农业干旱灾害研究的关键技术与问题。[方法] 通过气象、遥感、统计 3 类数据, 以使用数据源作为索引, 对我国农业干旱灾害监测、评价及预警、灾害时空格局等内容进行分析。[结果] 通过统计文献, 了解农业干旱灾害研究的概况, 分析农业干旱的基础和困境, 明确国内农业干旱灾害的发展过程和最新进展, 阐述未来农业干旱的研究重点。[结论] 基于气象数据的农业干旱灾害研究最为系统, 时间序列跨度长、空间分布范围广, 在监测、预警、评价和格局分析等方面都有细致的研究; 基于遥感数据的农业干旱灾害研究主要以监测和灾害评价为主; 基于统计数据开展农业干旱灾害的研究主要集中在灾害损失评价方面; 基于多源数据的农业干旱灾害研究在逐渐增多, 在监测、预警、评价等方面也有所突破。农业干旱研究的关键技术, 以及研究的系统性、研究内容和发生机理等方面仍有待加强。

关键词 干旱灾害 干旱监测 风险预警 风险评估 研究进展

中图分类号: S423 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2020]09182-07

0 引言

农业干旱是因外界环境因素或人类活动引起作物体内水分收支失衡、水分亏缺, 影响作物正常生长发育, 进而导致减产或失收的现象。农业干旱与土壤湿度和作物水分亏缺密切相关, 因土壤水分不足, 使作物供水减少, 从而造成作物生长受阻, 并最终使产量显著降低^[1]。

农业干旱灾害发生范围广, 影响深远, 是我国最严重的自然灾害之一。近 20 年来, 我国农作物干旱受灾面积占全国播种面积的 9.0% 以上, 占全国自然灾害发生比例的 50% 以上。在气候变化背景下, 我国农业旱灾有加剧发展的趋势, 开展农业干旱研究具有重大意义, 农业干旱灾害研究也得到了广泛的关注与开展。从农业干旱研究所涉及的数据源来分析, 主要包括气象、遥感、统计等 3 类数据。从干旱研究所涉及的内容来分析, 主要包括干旱监测及预警、灾害时空格局分析、灾害评估等 3 个方面的内容。文章依据不同数据源作为索引, 对于已开展的农业干旱灾害研究进行概述, 阐明中国农业干旱灾害研究的进展, 提出农业干旱灾害研究的关键技术与问题, 分析未来农业干旱灾害领域的发展趋势。

1 基于气象数据的农业干旱灾害研究

农业干旱监测主要是利用气象站点监测数据, 根据降水、温度等指标的时间序列、空间分布特征, 构建其与干旱之间的对应关系, 构建降水距平、帕尔默干旱严重程度指数 (PDSI)、作物水分指数 (CMI)、作物缺水指数 (CWSI)、统计 Z 指数、标准化降水指数 (SPI)、水分亏缺指数 (WDI)、CI 指数 (CI)、植被供水指数 (VSWI)、K 指数和标准化降水蒸腾指数 (SPEI) 等系列指标监测农业干旱^[2-3]。Chen

收稿日期: 2019-05-10

作者简介: 张有智 (1979—), 男, 山东郓城人, 副研究员。研究方向: 农业遥感监测

*通讯作者: 刘述彬 (1963—), 男, 黑龙江北安市人, 研究员。研究方向: 农业遥感。email: rslsb@sohu.com

*资助项目: 黑龙江省农业科学院“基于 GF-1 影像的主要农作物种植结构提取 SVM 算法研究”; 农业农村部“耕地轮作休耕遥感核查项目”

等^[4]利用美国 NCEP2、CFSR、欧洲 ERA-Interim、日本 JRA-55、美国 MERRA-2 等 5 个气候数据集，使用帕默尔干旱指数（PDSI）、标准化降水指数（SPI）和标准化降水蒸腾指数（SPEI）来预测我国的气象干旱。研究表明：SPEI 气象干旱指数更适用于中国；JRA-55 最能代表我国东部的气候数据和气象干旱特征，而 MERRA-2 最能代表我国西部的气候数据和气象干旱特征；1980—2014 年干旱面积和干旱严重程度有显著增长趋势。沈国强等^[5]基于研究区 90 个气象站的逐日气象资料，计算 1961—2014 年多时间尺度的 SPEI 指数。从 K-S 拟合优度检验、SPEI 与典型干旱事件核准、SPEI 与农作物受旱灾面积及与土壤湿度相关性分析等方面，验证 SPEI 指数在东北地区的适用性。结果表明在东北地区 SPEI 指数与干旱灾情数据和土壤水分监测值均具有极度的关联性。孙可可等^[6]分析阿克苏绿洲水循环特征、供需水关系，构建以气温为核心的干旱预警指标。该预警模式在阿克苏绿洲 1 个月预警精度为 86.8%，精度较高。姬晶等^[7]利用 1961—2005 年泾惠渠灌区 4 个气象站点的降水量数据，2013 年土壤墒情数据，1994—2009 年各月渠首引水数据和 2006—2010 年地下水开采月平均数据，通过模糊综合评价法开展旱情评估；通过分析构建灌区干旱预警指标和体系，预警结果与泾惠渠管理局官方监测结果一致。袁兰英^[8]利用 2005—2010 年近 6 年的 MODIS 数据产品、数字高程模型和气象数据等通过温度植被干旱指数模型计算蒸散量，以 Priestley-Taylor 公式计算潜在蒸散量，然后利用 CWSI 和土壤相对湿度来监测长江中游地区的旱情，并进行预警分析研究。Zhang 等^[9]利用 1961—2016 年陕西省 32 个气象站数据，考虑预测因子的非线性和滞后效应，以 XGBoost 模型开展干旱预测，干旱预警精度达到了 89%~97%，较其他干旱预警模型的 76%~94% 精度有明显提高。

农业干旱脆弱性评价和干旱灾害格局分析研究主要是在全国、区域、省级^[10-12]等不同尺度上，开展了基于气象干旱指数干旱灾害格局空间动态特征分析的研究。基于干旱自然属性和社会属性，构建农业干旱脆弱性评价指标和评价模型，实现干旱脆弱性空间区划。杨帅等^[13]利用 1951—2011 年我国 585 个气象站点的日降水数据，计算了不同季度的降水距平百分率，并确定气象干旱等级，认为我国的气象干旱发生频率和空间分布总体呈现北多南少、西多东少的格局，春季和冬季发生频率较高、夏季发生频率最低。Xia 等^[14]以气象站数据为主，结合热带降水测量仪（TRMM）、微波成像仪（TMI）等获取的降水数据，在我国近 60 年的标准化降水指数（SPI）计算基础上，分析我国主要农作物产区干旱格局的变化，研究表明：通过 TRMM 数据计算在时间尺度分别为 1 个月、3 个月和 6 个月的 SPI 值与干旱灾害发生的相关性大，但通过 TRMM 数据计算的 12 个月的 SPI 值与干旱相关性不大。用 TMI 降水数据分析过去 15 年干旱的空间分布，显示在长江流域和黄淮海流域，超过 60% 的区域经历过严重的干旱灾害。1960—1980 年长江和我国南部作物种植区发生了严重的干旱灾害；2003 年东北地区和黄淮海地区发生了严重的干旱灾害；近几年，我国西南地区 and 四川作物种植区出现了极端严重的干旱灾害。王莺等^[15]在调查和分析我国北方地区农业生产现状的基础上，选择水资源、农业经济、社会和防旱抗旱能力 4 个准则层共 16 个指标构建农业干旱脆弱性评价指标体系。运用主成分分析法对高维变量系统进行有效降维，根据方差贡献率建立我国北方地区农业干旱脆弱性评价模型，获得我国北方地区水资源、农业经济、社会和防旱抗旱能力脆弱性评价结果，获得各省（自治区、直辖市）干旱脆弱性分级阈值和区划。结果表明：我国北方地区农业干旱脆弱性从小到大依次为北京、天津、山东、辽宁、吉林、山西、内蒙古、安徽、河北、河南、陕西、宁夏、青海、黑龙江、新疆和甘肃。

农业干旱评估方面主要是建立农作物产量与干旱指数之间的相关关系，通过干旱指数的变化对产量损失进行评价，采用相关分析方法是一般性的回归统计方法^[16]和基于概率统计的评价方法^[17]，更为简单的评价方法是直接利用干旱指数分级，通过分级评价研究干旱发生的概率。Wang 等^[18]采用 7 个干旱指标建立了干旱综合指数（ADI），基于时间序列和面板回归模型，评价农业干旱灾害对华北平原冬小麦产量的影响。研究表明，综合指数在干旱条件和灌溉条件下冬小麦产量变化评估研究中的重要作用。ADI 能够合理地描述干旱的范围、严重性和持续时间。在华北平原的北部和南部 ADI 的变化，能够预测大约 20% 幅度的产量变化，在东部低灌溉区可以预测超过 40% 幅度的产量变化。Wang 等^[19]针对北方马铃薯单

一种植区,通过对 1960—2016 年马铃薯各个生育期的标准化降水指数 (SPEI) 经验正交函数分析,利用灰色理论研究了干旱对马铃薯产量变化的影响。研究发现从 20 世纪 70 年代起,北部单独种植区的土壤在马铃薯生长季节和成熟季节变得更干旱,而在块茎生长季变得更湿润。播种季和块茎生长季的干旱对于马铃薯产量产生了相对较大影响,并且在成熟阶段具有相对较小的增产作用。因此,研究农业干旱/湿润条件变化对生态安全和马铃薯区域产量影响具有重要意义。李明等^[20]利用东北地区 91 个气象站 1961—2012 年的月均气温和月均降水量数据,计算多时间尺度的标准化降水蒸散指数 (SPEI),并采用 Theil-Sen 斜率估计方法和 Copula 函数,分析了东北地区近 52 年来的干旱时空变化特征及干旱风险的空间分布格局。

2 基于遥感数据农业干旱灾害研究

从 20 世纪 60 年代开始,遥感技术不断发展,以极轨气象卫星、陆地资源卫星数据广泛应用为标志,利用卫星遥感数据进行大尺度区域农业干旱监测的研究不断深化。与传统的农业灾害监测技术手段相比,遥感监测技术具有宏观性、经济性、动态性、时效性等特征,成为传统农业灾害监测方法的重要补充并得到了广泛的应用^[21]。

农业干旱的遥感监测是对土壤和植被中的水分进行遥感反演的间接监测。利用中、低空间分辨率的遥感影像,采用可见光反演法(直接法和间接法)、热红外反演法(经验法和热惯量法)、被动微波反演法(统计法、多通道多极化物理反演法和微波指数法)、多波段组合反演法(可见光和热红外与微波组合),开展土壤湿度和植被含水量的干旱监测研究^[22-31]。李新尧等^[32]利用 VCI 对陕西省 2002 年 3 月至 2016 年 5 月农业干旱进行识别与时空分布特征研究。结果表明:VCI 指数在监测陕西省农业干旱方面具有一定的优势,月尺度 VCI 与降水量并未表现出很好的相关性,表明降水只是影响植被覆盖度和长势的因素之一,VCI 相对于降水变化存在一定时间的滞后性。赵凯等^[33]利用 MODIS 地表温度产品的估算日平均地表温度,结合修正普适性单通道算法反演 HJ-1B 地表温度,推算出地表最高温度,从而减少了改进热惯量模型对地面观测数据的依赖。结果表明 HJ-1B 数据能够获得较高分辨率的土壤水空间分布结果。王永前等^[34]以 2006 年夏季四川省发生的干旱为研究对象,将基于 TMVDI 与 TVDI 的干旱监测结果进行了对比分析。将遥感监测的结果与基于气象站点降雨观测数据构建的标准降雨指数 SPI 的计算结果进行了对比分析。结果表明,利用低频降轨微波辐射计数据计算的 TMVDI 最适合于进行植被覆盖区域的干旱监测。林利斌等^[35]利用 FY-3C/MWRI 的微波极化差异指数 MPDI,建立植被含水量反演模型,结合植被含水量反演模型和水-云模型,发展一种主被动微波联合反演植被覆盖地表土壤含水量模型。最后,在江淮地区开展反演试验,利用观测的土壤湿度数据进行反演结果的精度验证。结果表明:对于植被覆盖地表土壤湿度反演,由 FY3C/MWRI 提取的 MPDI 对于去除植被影响效果较好,Sentinel-1A 数据能够获得较高精度的土壤含水量反演结果,试验反演的土壤湿度值与实测值相关系数为 0.5612。Wang 等^[36]利用降水条件指数 (PCI)、温度条件指数 (TCI)、土壤水分条件指数 (SMCI)、植被条件指数 (VCI)、综合气象干旱指数 (CMDI) 和综合植被干旱指数 (CVDI) 等多个干旱指数,对 2002—2011 年三江平原地区的干旱状况进行了研究,探索整个三江平原地区的干旱状况。研究发现,PCI 是一种理想的气象干旱监测指标,TCI 适用于农业/植被干旱监测,应避免使用 SMCI 和 VCI。CMDI 是一种适宜的气象干旱指数,CVDI 是监测农业/植被干旱的一个有前景的指标。

在农业干旱灾害评估方面,主要是评估受灾农作物的面积和产量。研究方法是采用遥感干旱指数直接与受灾面积或产量建立函数关系,开展干旱灾害评估。Zhang 等^[37]依据 2000—2014 年的 EOS/MODIS 数据的 NDVI 和 ET/PET 数据集,通过计算干旱严重程度指数 (DSI),监测全国的农业干旱受灾情况,利用改进的 Mann-Kendall 趋势检验对干旱趋势进行了表征,利用 Pearson 相关方法确定了 DSI 监测的作物产量与干旱影响区域之间的关系,研究结果表明:DSI 可以在空间和时间上监测干旱灾害的发生,但是基于 DSI 对干旱灾害监测的结束时间通常延迟 1 个月或者 2 个月的时间。杨文杰等^[38]根据 Landsat-8 生长时序遥感

数据计算水分胁迫指数 MSI 和温度指数 LST 构建新型的干旱监测指数 CTWDI, 对新疆生产建设兵团第四师 71 团 2014—2016 年大田玉米干旱风险进行了分级。为验证 CTWDI 监测玉米干旱的可靠性, 分别随机选取 163 块试验田 (2014 年 55 块, 2015 年 53 块, 2016 年 55 块), 依据统计调查的产量数据对玉米干旱遥感监测分级结果进行精度检验。2014 年总体精度和 Kappa 系数分别为 87.3% 和 0.84, 2015 年相对总体精度和 Kappa 系数分别为 83% 和 0.71, 2016 年的分别为 81.2% 和 0.57; 越干旱年份, 干旱监测结果越可靠。

3 基于统计数据农业干旱灾害研究

基于统计数据开展农业干旱灾害的研究主要集中在农业干旱发展规律的研究。采用历史农业干旱数据, 利用数理统计方法构建风险概率模型, 对旱情数据进行分析找出农业干旱发展演化的规律, 预测评估未来农业干旱发展趋势。刘芷好等^[39]根据 1978—2013 年湖南省的粮食产量、农作物播种面积、成灾面积及受灾面积等数据, 探讨了湖南省干旱灾害的时空分布、社会经济影响以及形成机理, 剖析了湖南农业干旱灾害影响因素。利用灰色系统预测方法, 对未来湖南省农业干旱重灾年份进行了预测分析, 预计分别在 2017—2018 年、2019—2020 年、2022—2023 年和 2026—2028 年, 且 2026—2028 年将可能发生特大干旱灾害。杨方等^[40]利用 1951—2010 年全国及各省市、自治区的农作物旱灾灾情数据和农作物种植信息数据, 运用常规统计方法, 对我国农业干旱灾害灾情特征进行分析; 利用受灾率、成灾率、因旱粮食损失率作为农业干旱灾害等级划分指标, 以经典聚类方法对干旱灾害进行定量分级, 建立我国农业干旱灾害等级标准。研究结果表明: 近 60 年来, 全国农业干旱灾情呈加重趋势, 中部地区农业干旱灾害减轻, 北部和西南部农业干旱灾害偏重; 同时建立了我国北方 (东北、黄淮海和西北) 和南方 (西南、华南和长江中下游) 两个地区的农业干旱灾害判别指标。

4 多源数据综合的农业干旱灾害研究

作物生长过程是复杂的生理过程, 在不同生长阶段对水分需求状况不同, 土壤水分不足不一定造成作物生长受阻、影响品质并降低产量, 因此单纯的干旱指数无法实现作物生长过程的动态模拟, 根据农业干旱演变过程客观描述研究的需要, 通过作物生长模型实现干旱胁迫下作物生长过程变化内在的定量描述, 以作物生长模型为主的综合多源数据的农业干旱监测研究逐步增多。Gao 等^[41]采用遥感与 DNDC (反硝化—分解作用) 模型相结合的 DLA 方法, 对 2001 年云南省玉米损失进行了估算。在全省划分 1.556 2 万个 5km × 5km 的网格单元, 构建基于网格单元的种植面积, 施肥、灌溉、降水、气温、土壤特性、氮含量等基础信息数据库。利用遥感数据监测不同时期的作物生长情况, 基于 DNDC 模型的数据和管理信息, 在所有单元内模拟玉米日生长量和干旱胁迫, 包括全灌溉和非灌溉情景, 用于比较玉米产量和干旱损失评估。结果表明考虑干旱发展和作物物候所提出的方法对于分析干旱对产量影响非常有效。

5 讨论与展望

从上述农业干旱研究综述可以看出, 尽管农业干旱灾害给农业生产带来巨大的损失, 但农业干旱研究的关键技术, 以及研究的系统性仍有待加强, 主要表现在以下几个方面。

5.1 讨论

(1) 农业干旱研究的系统性明显不足。从数据源角度来分析, 基于气象数据开展农业干旱研究最为丰富, 但农业干旱预警的研究却相对较少; 基于遥感数据的研究主要集中在农业干旱监测方面, 农业干旱预警的研究都相对较少。从研究尺度方面分析, 农业干旱研究多集中在省级尺度以下, 在国家、洲际、全球尺度的研究相对较少。从研究方法方面分析, 技术的尺度应用差异、普适性研究明显不足, 不利于农业干旱监测业务的开展。

(2) 农业干旱研究内容具有明显的趋同性。基于气象数据开展的干旱研究, 主要是基于干旱指数开

展干旱监测评价研究,有些研究就是不同方法在不同区域适用性的研究,可以看做是方法应用的堆砌。基于遥感数据开展的农业干旱研究,也主要集中监测领域,预警评价以及格局分析的研究相对薄弱。趋同性研究的有利之处在于对方法的普适性能够有所了解,但对农业干旱研究的深入开展却没有明显促进。

(3) 农业干旱灾害发生机理的研究相对薄弱。现有的农业干旱灾害的研究可以概括为轻机理、重描述。对农业干旱灾害发生机理、过程进行研究,有利于农业干旱灾害预警、控制,也有利于农业干旱等级的界定。而描述性的农业干旱研究,却不能从根本上解决农业干旱灾害的防控,是对有限资源的浪费。

5.2 展望

(1) 光学遥感数据的获取需要无云的晴朗天气,获取连续的无云影像比较困难,微波波段对土壤水分更敏感,不受云雨、光照条件限制,具有全天候观测的能力,但是微波反演地表土壤湿度受地表粗糙度、植被影响较大,如何改进算法去除各种干扰因素的影响提高精度是将来需要深入研究的问题。

(2) 单项干旱指数所含要素单一无法真实反应实际干旱情况,综合干旱指数能有效反应实际干旱情况,但所需资料繁多,计算复杂,区域性强,如何实现干旱指数的本地化是未来需要解决的问题。农业干旱的发生是一个时空连续的过程,气象站点分布有限无法满足监测的需要,遥感数据具有空间性广、时效性强等特点,如何与遥感数据结合挖掘新的综合农业干旱指标是未来的研究重点。

(3) 农业干旱受大气降水、地表温度、蒸散发量、土壤结构性质以及干旱胁迫下作物生长状况变化等综合因素的影响。在未来的研究中应在农业干旱灾害时空发生规律基础上,注重农业干旱灾害发生机理、过程研究,探究农业干旱与各影响因素的相互关系,分析各关键因子与农业干旱的相关性,建立综合特征的农业干旱监测模型。

(4) 在农业干旱研究尺度方面,在空间尺度上,应满足国家、洲际、全球尺度的研究需求,在时间上,应具有次季节(候、旬、月)、季节、年际至年代际监测能力,根据不同的时间尺度和空间尺度合理选择农业干旱监测指标。

(5) 对于农作物受旱情况和程度,需有多个指标相辅相成共同来判断。不同作物在不同生长发育阶段对缺水的耐受力 and 敏感度不同,农业干旱指标需细化到不同的作物种类,因此,不同农作物农业干旱成险过程指标的确定和量化及其相互作用等将成为农业干旱基础研究的重点。

(6) 要充分利用现代信息技术和人工智能技术,引入图像识别技术、自动化观测技术等新技术、新方法将成为农业干旱评估技术精细化和可视化的发展重点,建立精细化的预警监测和发布系统,提高预报准确性。

(7) 对已有作物生长模型在农业干旱损失定量评估应用上,由于我国气候、土壤和作物品种的多样化,每种作物生长模型都有一定的适应性,应针对不同地区、不同作物,结合当地的试验数据和积累数据,进行参数调整和模型检验,完成对模型的本地化改进,使其模拟效果更好。

(8) 农业干旱损失的产生存在很大的复杂性和不确定性,应建立一套统一、科学的评估模式和评估标准,加强与经济性方法的融合,完善和创新农业干旱的评估方法,形成全面准确的农业干旱损失评估机制,及时有效地做好农业干旱灾害监测预警和评估,最大程度地减少损失和高效地实施救助。

参考文献

- [1] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等. 农业干旱监测研究进展与展望. 地理学报, 2015, 70 (11): 1835-1848.
- [2] Li F P, Li H Y, Lu W X, et al. Meteorological drought monitoring in northeastern China using multiple indices. Water, 2019, 11 (1): 72-92.
- [3] 王春学,张顺谦,陈文秀,等. 气象干旱综合指数 MCI 在四川省的适用性分析及修订. 中国农学通报, 2019, 35 (9): 115-121.
- [4] Chen S, Thian Y G, Tan X Z, et al. Assessment of CFSR, ERA-Interim, JRA-55, MERRA-2, NCEP-2 reanalysis data for drought analysis over China. Climate Dynamics, 2019 (10): 1-21.
- [5] 沈国强,郑海峰,雷振锋. SPEI 指数在中国东北地区干旱研究中的适用性分析. 生态学报, 2017, 37 (11): 3787-3795.
- [6] 孙可可,陈青青,陈超群,等. 基于水资源干旱指数的阿克苏绿洲干旱预警模式及其应用. 灌溉排水学报, 2017, 36 (5): 84-89.

- [7] 姬晶, 张洪波, 刘攀. 泾惠渠灌区干旱预警体系研究. 自然灾害学报, 2016, 25 (1): 45-55.
- [8] 袁兰英. 长江中游地区干旱监测与预警研究 [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [9] Zhang R, Chen Z Y, Xu L J, et al. Meteorological drought forecasting based on a statistical model with machine learning techniques in Shaanxi province, China. *Science of the Total Environment*, 2019, 665: 338-346.
- [10] 孙赫. 基于SPI指数的辽宁省气象干旱时间特征分析. 国土与自然资源研究, 2018 (5): 60-62.
- [11] 吴琼, 赵春雨, 王大钧, 等. 1951—2014年辽宁省气象干旱时空特征分析. 干旱区资源与环境, 2016, 30 (3): 151-157.
- [12] 张雷, 王杰, 黄英, 等. 1961—2010年云南省基于SPEI的干旱变化特征分析. 气象与环境学报, 2015, 31 (5): 141-146.
- [13] 杨帅, 于志岗, 苏筠. 中国气象干旱的空间格局特征 (1951—2011) 干旱区资源与环境, 2014, 28 (10): 54-60.
- [14] Xia L, Zhao F, Mao K B, et al. SPI-Based analyses of drought changes over the past 60 Years in China's major crop-growing areas. *Remote Sensing*, 2018, 10: 171-186.
- [15] 王莺, 赵文, 张强. 中国北方地区农业干旱脆弱性评价. 中国沙漠, 2019 (4): 1-10.
- [16] 宋艳玲, 王建林, 田靳峰, 等. 气象干旱指数在东北春玉米干旱监测中的改进. 应用气象学报, 2019, 30 (1): 25-34.
- [17] 许凯, 徐翔宇, 李爱花等. 基于概率统计方法的承德市农业旱灾风险评估. 农业工程学报, 2013, 29 (14): 139-146.
- [18] Wang S S, Mo X G, et al. Assessment of droughts and wheat yield loss on the North China Plain with an aggregate drought index (ADI) approach. *Ecological Indicators*, 2018, 87: 107-116.
- [19] Wang Y D, Liu X L, Ren G X, et al. Analysis of the spatiotemporal variability of droughts and the effects of drought on potato production in northern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019, 264: 334-342.
- [20] 李明, 胡炜霞, 张莲芝, 等. 基于SPEI的东北地区气象干旱风险分析. 干旱区资源与环境, 2018, 32 (7): 134-139.
- [21] 王利民, 刘佳, 杨玲波, 等. 农业干旱遥感监测的原理、方法与应用. 中国农业信息, 2018, 30 (4): 32-47.
- [22] 卫洁, 武志涛, 李强子, 等. 基于气象和遥感的黄淮海平原干旱监测. 中国农学通报, 2019, 35 (5): 127-136.
- [23] 季建万, 沙晋明, 金彪. 山东半岛东北部地区干旱遥感监测. 灾害学, 2018, 33 (2): 206-211.
- [24] 陈少丹, 张利平, 汤柔馨, 等. 基于SPEI和TVDI的河南省干旱时空变化分析. 农业工程学报, 2017, 33 (24): 126-132.
- [25] 杜灵通, 田庆久, 王磊, 等. 基于多源遥感数据的综合干旱监测模型构建. 农业工程学报, 2014, 30 (9): 126-132.
- [26] 王文, 黄瑾, 崔巍. 云贵高原区干旱遥感监测中各干旱指数的应用对比. 农业工程学报, 2018, 34 (19): 131-139, 309.
- [27] 吕潇然, 尹晓天, 官阿都, 等. 基于植被状态指数的云南省农业干旱状况时空分析. 地球信息科学学报, 2016, 18 (12): 1634-1644.
- [28] B. Lobell, David & Asner, Gregory. Moisture effects on soil reflectance. *Soil Science Society of America*. 2002, 66 (3): 722-727.
- [29] 杨鹤松, 王鹏新, 孙威. 条件植被温度指数在华北平原干旱监测中的应用. 北京师范大学学报 (自然科学版), 2007 (3): 314-318.
- [30] 白晓静. 基于多波段多极化SAR数据的草原地表土壤水分反演方法研究. 电子科技大学, 2017.
- [31] 郑兴明. 东北地区土壤湿度被动微波遥感高精度反演方法研究. 北京: 中国科学院研究生院 (东北地理与农业生态研究所) [博士学位论文], 2012.
- [32] 李新尧, 杨联安, 聂红梅, 等. 基于植被状态指数的陕西省农业干旱时空动态. 生态学杂志, 2018, 37 (4): 1172-1180.
- [33] 赵凯, 黄资或. 基于改进热惯量模型的表层土壤水分反演研究. 测绘与空间地理信息, 2017, 40 (5): 41-43.
- [34] 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. 遥感学报, 2014, 18 (4): 843-867.
- [35] 林利斌, 鲍艳松, 左泉, 等. 基于Sentinel-1与FY-3C数据反演植被覆盖地表土壤水分. 遥感技术与应用, 2018, 33 (4): 750-758.
- [36] Wang K Y, Li T J, Wei J H. Exploring drought conditions in the Three River Headwaters Region from 2002 to 2011 using multiple drought indices. *Water*, 2019, 11 (2): 190-210.
- [37] Zhang Q, Yu H Q, Sun P, et al. Multisource data based agricultural drought monitoring and agricultural loss in China. *Global and Planetary Change*, 2019, 172: 298-306.
- [38] 杨文杰. 基于Landsat8生长时序遥感信息的玉米干旱监测研究 [硕士学位论文]. 石河子: 石河子大学, 2017.
- [39] 刘芷好. 湖南农业干旱灾害重灾年份预测及应用 [硕士学位论文]. 长沙: 湖南科技大学, 2016.
- [40] 杨方. 基于农业灾情的农业旱灾等级划分研究 [硕士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [41] Gao M F, Li Z L, Liu S C, et al. Drought loss assessment combining remote sensing and a crop growth model for maize in Yunnan Province, China. *International Journal of Remote Sensing*, 2019, 40 (5-6): 2151-2165.

RESEARCH PROGRESS ON AGRICULTURE DROUGHT DISASTER*

Zhang Youzhi¹, Xie Wenhuan¹, Wu Li¹, Liu Shubin^{2*}

(1. Institute of Agricultural Remote Sensing and Information, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang, China;

2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

Abstract This research describes the research of agricultural drought disaster, which is based on different data sources, in order to clarify the general situation of agricultural drought disaster study, and to grasp the key technology and problems of agricultural drought disaster study. Based on three kinds of data including meteorological data, remote sensing data and statistical data, and using data sources as indexes, this research analyzed the monitoring, evaluation and early warning of agricultural drought disasters and the spatial and temporal pattern of disasters in China. Through literature statistics, we understood the general situation of agricultural drought disaster study, analyzed the basis and dilemma of agricultural drought, clarified the development process and the latest progress of agricultural drought disaster in China, and elaborated the study focus of agricultural drought in the future. Agricultural drought disaster study based on meteorological data, which is the most systematic, with long time series and wide spatial distribution, and it also has detailed studies on monitoring, early warning, evaluation and pattern analysis. Agricultural drought disaster study based on remote sensing data, it mainly focuses on monitoring and disaster evaluation. The study on agricultural drought disaster based on statistical data was mainly focused on disaster loss evaluation. Agricultural drought disaster research based on multi-source data increased gradually, and there were breakthroughs in monitoring, early warning, evaluation and so on. The key technologies of agricultural drought study, as well as the systematicness, contents and mechanism need to be strengthened.

Keywords drought disaster; drought monitoring; risk warning; risk assessment; research progress

(上接第 154 页)

艺术存在方式的把握,运用空间艺术将农村的自然元素如植被、河流、地貌融入到环境设计中,可以从视觉角度创造出更加立体、丰富的景观空间层次。随着农村基本设计建设、水利及一系列综合改革的投入,村容村貌显著提升,农民的审美素质得以提高,因此人居环境设计也不能仅仅停留在物理空间的简单组合,而应恰当合理运用空间因素进行更好的设计表达,提高设计质量,构建多层次的、立体的复合空间。推动农村人居环境与生态文明协同发展的同时,挖掘当地特色,使得居住环境整体的艺术感更强。

乡村旅游是乡村振兴战略的重要推进器和着力点,农村人居环境的质量直接决定乡村旅游能否长足发展。农村是广大城市居民的一大休闲场所,但当前乡村旅游同质化问题严重,各地需要开发独具特色的旅游项目吸引游客。空间艺术能够更好的将自然生态性、地域空间性和人文气息性相结合,将农村带给人们的各方面感受正确表现出来,不仅丰

富了人们的视觉体验,也展现出当地的趣味性和娱乐性,使得整个居住环境的文化氛围更加浓厚。空间艺术的引入留住了农村的自然美,成功实践了“绿水青山就是金山银山”的理念。

农村人居环境的改善对于农民生活质量提高具有重要意义,是实现乡村振兴的必然要求。农村人居环境空间艺术是在科学的规划指导下进行的艺术创造,覆盖当地文化,呈现农村的真实生活。运用空间艺术改善农村人居环境,为整体设计带来了更多的空间,为实现美丽乡村提供了巨大的帮助。空间艺术不仅可以创造视觉美感,在美化环境、提高空气质量、建立良好生态系统等多个方面均有很大的设计空间。《新时代美丽乡村与人居环境》一书从时代发展的角度诠释了美丽乡村的实质,将美丽乡村与人居环境有机结合,提出了改善农村人居环境的方法和措施,科学实用。相信该书对从事农村人居环境研究人员,将产生积极而广泛的影响。

文/米锐(长江职业学院,副教授)