

© 周清波 王利民 刘佳 邓辉 等 / 著

中国农业灾害遥感监测

中国农业科学技术出版社

◎ 周清波 王利民 刘佳 邓辉 等 / 著

中国农业灾害遥感监测

中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国农业灾害遥感监测 / 周清波等著. —北京:

中国农业科学技术出版社, 2017. 1

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2852 - 7

I. ①中… II. ①周… III. ①遥感技术—应用—农业—自然灾害—监测—研究—中国 IV. ①S42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 284749 号

责任编辑 于建慧 李 刚

责任校对 李向荣

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街12号 邮编: 100081

电 话 (010) 82109708 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)

(010) 82109703 (读者服务部)

传 真 (010) 82109708

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 各地新华书店

印 刷 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 710 mm × 1 000 mm

印 张 23.75

字 数 365 千字

版 次 2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷

定 价 80.00元

《中国农业灾害遥感监测》

著者名单

主 著：周清波 王利民 刘 佳 邓 辉

其他著者：滕 飞 杨福刚 邵 杰 孙 亮

张竞成 范锦龙 张明伟 霍治国

毛 飞 闫娜娜 常 胜 吕爱峰

王 飞 马尚杰 黄敬峰 王秀珍

潘灼坤 黄 然 程永翔 高灵旺

高建孟 黄健熙 田丽燕

前言

我国国土资源辽阔，是一个农业大国，同时也是全球受自然灾害影响最为严重的国家之一。一直以来，每年会因自然灾害而给我国农业带来重大的经济损失，随着全球气候变暖趋势的加剧，极端天气事件更加频繁，区域降水和河川径流变化波动明显增大，再加上受降水时空分布不均影响，直接导致农业灾害发生频率不断升高，重大灾害的年份数也在逐渐增多，每年因各种灾害的影响导致粮食减产已过半。

鉴于此，《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》把“重大自然灾害监测与防御”列为优先主题；《国家‘十二五’科学和技术发展规划》《空间技术领域‘十二五’战略研究规划》《‘十二五’国际科技合作重点任务》《农业遥感应用‘十二五’发展规划》（审议稿），以及“十一五”期间启动的国家重大专项“高分辨率对地观测系统”等国家相关的科技发展规划、重点任务、创新工程、重大工程及农业部有关规划，均从提高公共安全和防灾减灾能力、推进重点领域核心技术突破、大力加强民生科技服务等角度，对“重大自然灾害监测预警技术”进行了规划部署。

在全国农业生产发展对科技支撑需求日趋强烈、农业灾害遥感监测技术应用逐步成熟的双重背景下，国家科技支撑计划“旱区多遥感平台农田信息精准获取技术集成与应用（2012BAH29B00）”项目、“农业灾害遥感监测、损失评估技术与系统（2012BAH29B02）”课题的实施对推动我国农业灾害遥感监测、评估与预警技术的推广应用，提高我国农业灾害信息服务能力具有重要意义。在粮食贸易全球化趋势不断增强的国际背景

下，在全球气候变化、农业自然灾害日趋频繁的环境下，通过现代遥感技术在农业生产领域的应用，提高农业信息服务水平，是指导国家粮食生产战略的需要，是保障国家粮食安全的重要技术手段。因此，从国家农业灾害决策信息的实际需求出发，以服务于推进重点领域核心关键技术突破、加强农业农村科技创新，加速农业关键技术突破和成果转化应用，为实现粮食单产年增长率达到0.8%提供科技支撑，保障国家粮食安全和农产品有效供给为目的，以主要农业灾害监测、损失评估技术为手段，研究开发系统建设。该课题从保障国家粮食安全和发展农业生产、提高农民生活水平、提高国家对重大自然灾害监测预警能力、拓展重大农业灾害风险管理技术、参与建立国际农业灾害监测系统等的需要出发，在与国家中长期发展规划要求保持一致的情况下，制定了课题的总体研究方案。

本书介绍了“农业灾害遥感监测、损失评估技术与系统”课题实施成果转化后的成果。该课题研究了农业干旱、农作物病害和农作物低温冷害在研究区发生发展的规律，明确了灾害发展过程中作物和环境参数的变化特征，在现有农学监测模型研究的基础上，以农作物的受害信息获取和损失评估为目标，分别建立了3种农业灾害的遥感监测与评价指标体系，研制成功相应的遥感模型和技术方法，以实现研究区3种农业灾害的遥感监测与损失评估。

本书能够顺利完成，得益于“农业灾害遥感监测、损失评估技术与系统”课题组主持单位和各参加单位的共同合作。主持单位是中国农业科学院农业资源与农业区划研究所，参加单位有北京农业信息技术研究中心、国家卫星气象中心、中国气象科学研究院、中国科学院遥感应用研究所、中国科学院地理科学与资源研究所、农业部农业规划设计研究院、浙江大学和中国农业大学等9个单位。课题组是在各参与单位具有较长期的技术经验积累条件下组建的，通过对已有技术的整理和关键技术的进一步攻关，完全具备对研究区域农业灾害监测、损失评估和预警系统构建的研发能力。

全书共12章，包括五大部分内容：

第一部分（第一章至第三章）：农业灾害遥感监测概述及遥感数据源介绍。这一部分主要介绍了农业灾害对我国粮食安全及粮食贸易的影响、遥感技术在农业灾害监测中的作用以及农业灾害遥感监测思路。并从资源

和农业两个角度对研究区域进行了介绍，通过对研究区数据的收集和整理为农业灾害遥感监测进行前期准备，其中对多源卫星遥感数据虚拟组网技术及其在农业灾害遥感监测中的应用进行了重点介绍。

第二部分（第四章至第六章）：农业干旱遥感监测、损失评价及农业干旱预警研究。这一部分主要针对农业干旱遥感监测、损失评价及农业干旱预警的方案和方法进行阐述。介绍了课题组采用理论、方法和实例相结合的形式，在陕、甘、宁3省（区）进行了技术实现，构建了不同作物发育时期干旱状况与产量的定量关系，以此作为遥感指数直接评价产量损失的基础。

第三部分（第七章至第九章）：农业病害遥感监测、损失评价与预警研究。这一部分主要针对农业病害遥感监测、农业病害损失评价及农业病害预警的方案和方法进行阐述。主要介绍了病害监测数据源选择、基于光谱特征的作物病害严重程度估算、病害监测遥感指数构建、结合气象数据的病害监测和遥感监测精度评价技术等，并利用历史损失率和模型损失率对病害损失程度进行评价，利用专家系统预测模型对农业病害进行预警。还介绍了采用理论、方法和实例相结合的形式，在陕、甘、宁3省（区）进行的实际应用。

第四部分（第十章至第十一章）：农业低温冷害遥感监测与损失评价。这一部分主要针对农业低温冷害遥感监测和农业低温冷害损失评价的方案和方法进行阐述。介绍了直接采用已有的基于气象温度的玉米冷害指标体系，通过构建陆地表面温度与气象温度的关系模型，获得研究区空间连续的气象温度，构建适合研究区的作物低温冷害遥感监测技术流程。通过物候信息提取、地表温度反演、低温冷害评估指标体系的构建和冷害评估模型的构建进行农业低温冷害的损失评价。并介绍了采用理论、方法和实例相结合的形式，在陕、甘、宁3省（区）进行的实际应用。

第五部分（第十二章）：农业灾害系统开发。面向多卫星虚拟组网技术、农业干旱、农作物病害、农业低温冷害监测研究及应用示范对监测与评价系统建设的要求，在各单项研究基础上，对各部分内容进行系统分析，遵循系统需求分析、系统架构设计、系统集成开发、系统试运行的流程安排开发顺序，为农业灾害的预测、预报、预警提供专业系统运行基础。

本书是作者们在多年从事该领域教学、科研工作的基础上，在国家科技支撑计划“农业灾害遥感监测、损失评估技术与系统”课题的支持下，参阅了国内外大量的相关论著、专业刊物的优秀论文完成的。全书由周清波主持编著，王利民统稿校对，由刘佳、滕飞、邓辉、杨福刚、邵杰、孙亮、张竞成、范锦龙、张明伟、霍治国、毛飞、闫娜娜、常胜、吕爱峰、王飞、马尚杰、黄敬峰、王秀珍、潘灼坤、黄然、程永翔、高灵旺、高建孟、黄健熙、田丽燕等25位科技工作者参与编著。

本书可使读者了解农业灾害遥感监测的一般性概念，并掌握农业灾害中干旱、病害以及低温冷害的遥感监测技术与方法，同时提供了有效的应用实例，可以作为相关专业人员的参考用书。

本书在理论、技术和应用方面还存在不足之处，且农业灾害遥感监测的研究也在不断完善和发展，书中出现谬误在所难免，望广大读者不吝赐教。

著者

2016年8月26日

目录

1 农业灾害遥感监测概述	1
参考文献.....	5
2 农业灾害研究区域及数据介绍	8
2.1 农业灾害研究区域介绍.....	8
2.2 数据的收集与整理.....	22
参考文献.....	27
3 农业灾害虚拟组网技术	29
3.1 虚拟组网建设方案.....	30
3.2 虚拟组网建设方法.....	31
3.3 虚拟组网建设研究实例.....	46
参考文献.....	57
4 农业干旱遥感监测	66
4.1 农业干旱监测方案.....	66
4.2 农业干旱监测方法.....	66
4.3 农业干旱监测实例.....	83
参考文献.....	105
5 农业干旱损失评价	108
5.1 干旱损失评价方案.....	108
5.2 干旱损失评价方法.....	110
5.3 干旱损失评价实例.....	127
参考文献.....	146
6 农业干旱预警研究	149
6.1 农业干旱预警方案.....	150
6.2 农业干旱预警方法.....	151
6.3 农业干旱预警实例.....	158

参考文献	162
7 农业病害遥感监测	164
7.1 农业病害遥感监测方案	165
7.2 农业病害遥感监测方法	165
7.3 农业病害遥感监测实例	180
参考文献	196
8 农业病害损失评价	199
8.1 农业病害损失评价方案	199
8.2 农业病害损失评价方法	200
8.3 农业病害损失评价实例	203
参考文献	204
9 农业病害预警研究	206
9.1 农业病害预警方案	206
9.2 农业病害预警方法	208
9.3 农业病害预警实例	227
参考文献	240
10 农业低温冷害遥感监测	242
10.1 农业低温冷害监测方案	244
10.2 农业低温冷害监测方法	245
10.3 农业低温冷害监测实例	270
参考文献	277
11 农业低温冷害损失评价	279
11.1 农业低温冷害损失评价方案	279
11.2 农业低温冷害损失评价方法	280
11.3 农业低温冷害损失评价实例	304
参考文献	251
12 农业灾害系统开发	353
12.1 系统概述	353
12.2 总体设计方案	354
12.3 系统模块介绍	362
参考文献	368

农业灾害遥感监测概述

我国是农业大国，受自然灾害影响严重。影响我国的农业灾害主要包括旱灾、涝灾、雪灾、火灾、病虫害和冷冻害等，农业灾害的传统监测方法主要采取田间定点监测和随机调查等方法，具体操作上表现为费事、费力、效率低下等缺点，而且有些农业灾害（如病虫害等）在发生早期并不能肉眼识别，这就造成传统农业灾害监测方法易造成较大的误差。20世纪60年代，遥感技术开始出现并不断发展成熟，在一定程度上弥补了传统农业灾害监测方法的不足。与传统的农业灾害监测相比，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的重要补充，具有十分广阔的应用前景。

通常情况下，不同地物具有不同的波谱特征，即使同种地物在不同内部结构和外部形态条件下，其光谱反射率曲线也不尽相同，成为利用遥感技术进行地物识别和灾害监测的理论基础。本书主要对农业旱灾、病虫害和冷冻害三类灾害的遥感监测进行了详述。

农业旱灾是我国最常见、影响最大的气象灾害，每年因干旱造成粮食减产和经济损失约占气象灾害造成经济总损失的50%。农业旱灾的发生常伴有作物根部土壤水分的匮乏，造成作物蒸腾作用受到抑制，叶片气孔关闭、温度升高，叶绿素含量下降甚至枯萎。因此，地表温度、植被指数可以作为农业干旱的指示因子用来监测作物干旱情况。农作物病虫害对农业生产的影响相当严重，我国每年因病虫害造成的损失约占农业灾害的10%~15%。以往人们主要用肉眼观测农作物病虫害，当农业病虫害能

够被人用肉眼观察到时，农作物已经受到严重的破坏。农作物发生病虫害时常表现为作物外部形态和内部生理结构的变化。作物外部形态变化主要表现为作物卷叶和叶片脱落等症状，叶片内部生理结构的变化是叶绿素减少，光合作用、养分水分吸收等机能衰退。因此，利用遥感技术能快速、准确地对农作物病虫害的发生和范围进行监测，以解决作物病虫害早期发现和早期防治的问题，为促进农业生产提供条件。冷冻害也是常见的自然灾害，主要指在农作物生长季节温度过低对作物造成的损害。不同程度的冷冻害造成农作物大面积死亡或延迟生长，致使作物产量大幅度减少。与传统的冷冻害监测方法相比，遥感技术可快速、准确的估算冷冻灾害的发生与覆盖范围，因而对冷冻害的防灾减灾具有重要的意义。当农作物发生冷冻害时，其根部或者叶片组织受到损伤，正常生长受到抑制而使生物量减少，植被指数亟剧降低，因此可以选用冷冻害发生阶段及前后的遥感图像进行分析处理，以获得地面作物的植被指数进行农作物冷冻害的识别。

在粮食贸易全球化趋势不断增强的国际背景下，在全球气候变化、农业自然灾害日趋频繁的环境背景下，通过现代遥感技术在农业生产领域的应用，提高农业信息服务水平，是指导国家粮食生产战略、保障国家粮食安全的重要技术手段。我国国土面积辽阔、东亚季风气候年际间的不稳定，造成我国成为世界上自然灾害最为严重的国家之一。近年来，每年因自然灾害造成的经济损失平均超过2 000亿元，带来直接经济损失超过100亿元。随着全球气候变暖趋势的加剧，极端天气事件增多增强，区域降水和河川径流变化波动明显增大，再加上受降水时空分布不均影响，直接导致农业灾害发生频率升高，重大、特大灾害年份增多。每年因旱灾造成粮食减产约50亿kg，占全国粮食损失总量的50%，因病虫害常年损失粮食总量约占总产量的24%。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》中把“重大自然灾害监测与防御”列为优先主题；《国家‘十二五’科学和技术发展规划》《空间技术领域‘十二五’战略研究规划》《‘十二五’国际科技合作重点任务》《农业遥感应应用‘十二五’发展规划》（审议稿），以及“十一五”期间启动的国家重大专项“高分辨率对地观测系统”等国家相关的科技发展规划、重点任务、创新工程、重大工程及农业部有关规划等，均从提高公共安全和防灾减灾能力，推进重点领域核心关键技术突破，大力加强民生科技服务的角度，对“重大自然

灾害监测预警技术”进行了规划部署。

20世纪60年代以来,随着空间遥感技术的快速发展,以及粮食安全预警、农产品贸易、农产品补贴等农业信息的需求日趋强烈,国际上相继开展了农业灾害遥感监测技术与业务系统建设。欧美等发达国家实施了一系列重大计划,率先开展了农业灾害监测工作,并形成了业务化运行系统。美国“国家集成干旱信息系统”于2003年正式在全美范围内运行,对全国干旱进行监测和分析,并能预测下一周干旱发展趋势。我国从“六五”期间开始开展自然灾害遥感监测研究,基于阶段研究成果,开发了不同的灾害监测与预警系统。早期开发的系统有“八五”期间中国科学院开发的“灾害遥感监测评价系统ICS”中国水利水电科学研究院的“自然灾害气象卫星宏观监测信息服务系统”等。这些系统对提高我国防灾减灾工作水平具有重大意义。农业系统以农业部所属农业遥感应用中心为牵头单位,于1999年建立了“全国农情遥感监测业务运行系统”,初步形成了符合中国农业生产特点的灾害监测业务系统,并业务化运行至今。该系统在建立之初就涉及了干旱、洪涝、草原灾害等内容,取得的监测结果成为农业部粮食会商的三大信息源之一,有效提升了对粮食生产监测的时效性和相应的决策能力。

农业灾害遥感监测以遥感反演的各类参数为输入数据源,而参数反演是遥感数据发展的重点与趋势,特别是与农业灾害相关的归一化植被指数(NDVI)、地表温度(LST)以及地表反射率(Ref)等更是遥感参数反演研究的重点。如以EOS/MODIS数据为代表,NDVI、LST和Ref等都是⁴以8天或16天合成的标准产品,对全球发布;就中高分辨率卫星遥感数据而言,虽然没有形成标准化、系列化的生产线,但也形成了相对比较全面的研究方法,为农业灾害遥感研究提供了丰富的技术储备。

因此,充分研究农业干旱、农作物病害和农作物低温冷害在研究区发生发展规律,明确过程中作物和环境参数的变化特征,有助于在现有农学监测模型研究的基础上,以农作物的受害信息获取和损失评估为目标,分别建立三种农业灾害的遥感监测与评价指标体系,研制相应的遥感模型和技术方法,以实现研究区3种农业灾害的遥感监测与损失评估。主要包括以下几个方面。

（1）西北地区农业灾害规律研究

收集整理近30年西北地区分县农业与农村经济统计、气候变化等基础数据，研究农业灾害发生的规律。

（2）农业灾害监测遥感指标体系构建

结合长时间序列遥感数据，分析灾害发生时关键气候、农田环境参数与遥感指数敏感程度间的关系，确定西北地区每种灾害最优遥感指数与值域。

（3）农业灾害遥感监测与损失评估关键技术研究

以实现农业灾害遥感监测指标在体系中各类参数的定量计算为目标，开展遥感数据获取、数据预处理、参数反演、模型构建与数据综合分析等各个环节的关键技术攻关，重点包括基于虚拟星座的农业灾害监测多传感器组网、关键农业地表参数遥感反演与数据同化、基于地面定量诊断的干旱信息挖掘、基于机理模型基础上的农业灾害遥感监测评价、与产量相关的农业灾害损失评价指标构建、农业灾害遥感监测与评价方案优化等6项技术。

（4）农业灾害监测与损失评估方法研制

在关键技术攻关基础上，优化模型参数，构建西北地区农业灾害监测与损失评估的标准技术流程。

（5）农业灾害遥感监测与评价系统开发

构建相应的软硬件平台，实现农业灾害遥感监测与损失评估标准技术流程的软件工程化，在西北地区农业灾害基础数据库支持下，以遥感数据为主要信息源，实现农业灾害遥感监测与评价专题产品的生产。

在农作物干旱监测与评估方面，中国农业科学院农业资源与农业区划所在长期运行“全国农情遥感监测业务运行系统”基础上，近年来不断完善干旱监测与评估方法，在植被供水指数、温度植被干旱指数、作物缺水指数、地表蒸散等方面开展了大量的科研工作，为提高模型估算精度奠定了基础，同时通过与业务化运行相结合，提高了系统运行效率。

在农作物病虫害监测方面，北京农业信息技术研究中心多年来从事相关研究，积累了丰富的经验，并取得研究成果。明确了不同病虫害胁迫

下的农作物冠层光谱响应特征、规律和机理，提出了新的高光谱植被指数、荧光参数和红边参数等光谱参数，建立了导数光谱、连续统去除法和变换特征等高光谱特征变量分析技术；研制了基于统计回归、学习矢量量化神经网络、支持向量机、概率神经网络、主成分分析和概率神经网络相结合的农作物病虫害遥感定量反演技术，实现了冬小麦条锈病、白粉病，棉花黄萎病，水稻稻干尖线虫病、稻纵卷叶螟和穗颈瘟等主要农作物典型病虫害病情指数的遥感监测。这些成果为本课题奠定了良好的研究基础。

在作物低温冷害监测方面，浙江大学近年来承担了一系列相关课题，在温度反演、积温指标估算等方面积累了丰富的经验。采用空间自相关和数字高程模型参数进行地表温度空白值插补，形成连续时间序列，提高了数据可利用性；考虑不同季节下垫面变化，按照春、夏、秋、冬分别建立了利用Terra和Aqua MODIS数据反演的陆地表面温度估算平均气温模型，基于遥感数据计算的8天平均最高气温和平均最低气温，重建了水稻生长季日模型，以此为基础计算水稻生长热量条件指标。

（本章作者：王利民，周清波，刘佳，邵杰）

参考文献

- 程勇翔，王秀珍，郭建平，等. 2012. 中国水稻生产的时空动态分析[J]. 中国农业科学，45（17）：3 473-3 485.
- 冯美臣，王超，杨武德，等. 2014. 农作物冷冻害遥感监测研究进展[J]. 山西农业大学学报（自然科学版），34（4）：296-300.
- 付元元，王纪华，杨贵军，等. 2013. 应用波段深度分析和偏最小二乘回归的冬小麦生物量高光谱估算[J]. 光谱学与光谱分析，33（5）：1 315-1 319.
- 高磊，覃志豪，卢丽萍，等. 2007. 基于植被指数和地表温度特征空间的农业干旱监测模型研究综述[J]. 国土资源遥感（3）：1-7.
- 胡杏，李永勤. 2012. 农业灾害监测预警与防控研究综述[J]. 现代农业科技（4）：359-360.
- 蒋金豹，陈云浩，黄文江. 2007. 病害胁迫下冬小麦冠层叶片色素含量高光

- 谱遥感估测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 27(7): 1363-1367.
- 李天顺. 1988. 农业自然灾害的遥感预报与监测[J]. 灾害学(3): 48-51.
- 梁栋, 管青松, 黄文江, 等. 2013. 基于支持向量机回归的冬小麦叶面积指数遥感反演[J]. 农业工程学报, 29(7): 117-123.
- 刘小磊, 覃志豪. 2007. NDWI与NDVI指数在区域干旱监测中的比较分析——以2003年江西夏季干旱为例[J]. 遥感技术与应用, 22(5): 608-612.
- 谭昌伟, 郭文善, 朱新开, 等. 2008. 不同条件下夏玉米冠层反射光谱响应特性的研究[J]. 农业工程学报, 24(9): 131-135.
- 谭昌伟, 黄文江, 金秀良, 等. 2012. 利用高光谱植被指数监测紧凑型玉米叶绿素荧光参数Fv/Fm[J]. 光谱学与光谱分析, 32(5): 1287-1291.
- 檀艳静, 张佳华, 姚凤梅, 等. 2013. 中国作物低温冷害监测与模拟预报研究进展[J]. 生态学杂志, 32(7): 1920-1927.
- 唐巍, 覃志豪, 秦晓敏. 2007. 农业干旱遥感监测业务化运行方法研究[J]. 遥感应用(2): 37-41.
- 王春乙, 王石立, 霍治国, 等. 2005. 近10年来中国主要农业气象灾害监测预警与评估技术研究进展[J]. 气象学报, 63(5): 659-671.
- 王利民, 刘佳, 邓辉, 等. 2000. 我国农业干旱遥感监测的现状与展望[J]. 中国农业资源与区划, 32(6): 4-8.
- 闻静. 2011. 浅谈遥感技术的应用[J]. 黑龙江科技信息(34): 40.
- 谢巧云, 黄文江, 蔡淑红, 等. 2014. 冬小麦叶面积指数遥感反演方法比较研究[J]. 光谱学与光谱分析, 34(5): 1352-1356.
- 闫峰, 李茂松, 王艳姣. 2006. 遥感技术在农业灾害监测中的应用[J]. 自然灾害学报, 15(6): 131-136.
- 闫峰, 覃志豪, 李茂松, 等. 2006. 农业旱灾监测中土壤水分遥感反演研究进展[J]. 自然灾害学报, 15(6): 114-121.
- 杨邦杰, 裴志远. 2003. 国家级农情遥感监测系统的开发、运行与关键技术研究[J]. 农业工程学报, 19(增刊): 11-14.
- 杨红卫, 童小华. 2012. 中高分辨率遥感影像在农业中的应用现状[J]. 农业工程学报, 28(24): 138-149.
- 姚国章, 丁玉洁. 2010. 美国国家集成干旱信息系统的发展及启示[J]. 电子

政务(8): 104-112.

张竞成, 袁琳, 王纪华, 等. 2012. 作物病虫害遥感监测研究进展[J]. 农业工程学报, 28(20): 1-11.

赵广敏, 李晓燕, 李宝毅. 2010. 基于地表温度和植被指数特征空间的农业干旱遥感监测方法研究综述[J]. 水土保持研究, 17(5): 245-250.

邹金秋, 周清波, 陈仲新, 等. 2010. 农情遥感监测与服务系统集成研究[J]. 中国农业资源与区划, 31(5): 12-17.

Agha Kouchak A, Farahmand A, Melton F S, et al. 2015. Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities[J]. Reviews of Geophysics, 53(2): 452-480.

Chen Z X, Li S, Ren J Q, et al. 2008. Monitoring and management of agriculture with remote sensing[C]//. Advances in Land Remote Sensing: system, modeling, inversion and application. Berlin:Springer Netherlands.

Howard J A, Barrett E C, Heilkema J U. 1978. The application of satellite remote sensing to monitoring of agricultural disasters[J]. Disasters, 2(4): 231-240.

Liu T, Wang L G, Zuo S T, et al. 2013. Remote sensing dynamic monitoring system for agricultural disaster in Henan province based on multi-source satellite data[J]. Agricultural Science & Technology, 14(1): 155-161.

Yan F, Li M S, Wang Y J, et al. 2006. Application of remote sensing technique to monitor agricultural disasters[J]. Journal of Natural Disasters, 15(6): 131-136.