遥感学报
NATIONAL REMOTE SENSING BULLETIN
EI CSCD
Scopus CNKI

农业遥感研究应用进展与展望

Progress and perspectives on agricultural remote sensing research and applications in China

陈仲新;任建强;唐华俊;史云;冷佩;刘佳;王利民;吴文斌;姚艳敏;哈斯图亚

引用本文:
[1]陈仲新,任建强,唐华俊,史云,冷佩,刘佳,王利民,吴文斌,姚艳敏,哈斯图亚.农业遥感研究应用进展与展望[J].遥感学报,2016,20(05):748-767. DOI: 10.11834/jrs.20166214.
CHEN Zhongxin, REN Jianqiang, TANG Huajun, et al. Progress and perspectives on agricultural remote sensing research and applications in China[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5):748-767. DOI: 10.11834/jrs.20166214.

在线阅读 View online: http://www.ygxb.ac.cn/thesisDetails?columnId=10666063

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

《全球生态环境遥感监测年度报告》进展与展望
Ecological environment monitoring for sustainable development goals in the Belt and Road region
遥感学报.2018,22(4):680-685.

农业与生态遥感现状与展望
{{relationArticle2.enTitle}}
遥感学报.2009,13(S1):0-271.

区域生态遥感的发展与未来
{{relationArticle3.enTitle}}
遥感学报.2009,13(S1):0-144.

国土资源遥感应用研究的主要内容及其特点
{{relationArticle4.enTitle}}
遥感学报.2009,13(S1):0-137.

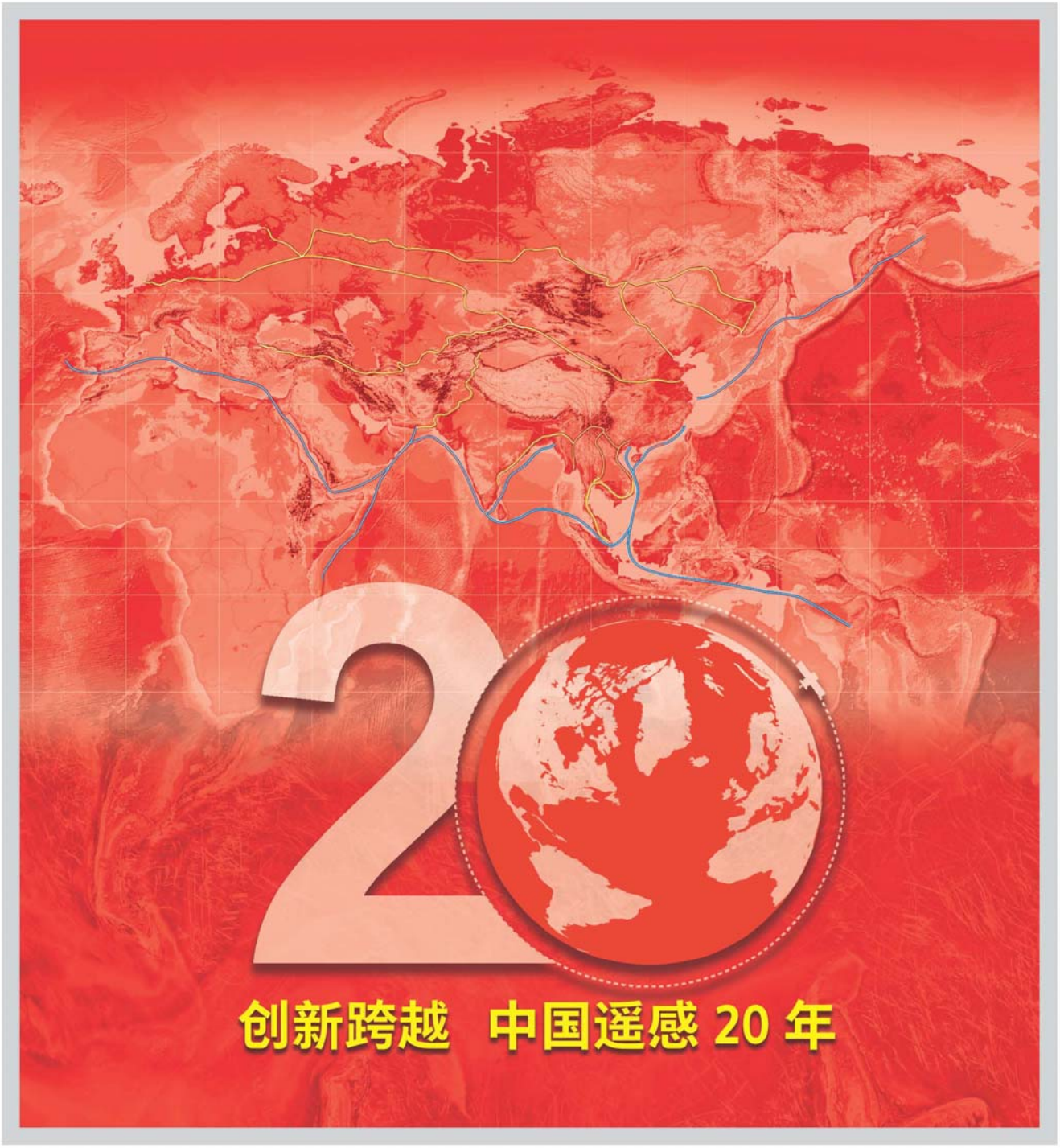
GIS支持下地物BRDF的卫星遥感反演模型研究
The Object BRDF Researching of Remote Sensing Inversion Based on GIS
遥感学报.2000,4(S1):0-30.

主办 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国地理学会环境遥感分会
出版 科学出版社

JOURNAL OF REMOTE SENSING

遥感学报

2016年 Vol.20 第20卷 No.5 第5期 ISSN 1007-4619 CN11-3841 / TP CODEN YXAUAB



百种中国杰出学术期刊

遥感学报

Yaogan Xuebao

第 20 卷　　第 5 期　　2016 年 9 月

目　　次

遥感与中国可持续发展：机遇和挑战 …… 徐冠华，柳钦火，陈良富，刘良云 (679)
中国高光谱遥感的前沿进展 …… 童庆禧，张兵，张立福 (689)
论“互联网 +”天基信息服务 …… 李德仁 (708)
地球系统空间观测：从科学卫星到月基平台 …… 郭华东 (716)
中国大气环境光学探测研究 …… 刘文清，陈臻懿，刘建国，谢品华，刘诚，赵南京 (724)
光学遥感影像智能化处理研究进展 …… 龚健雅，钟燕飞 (733)
农业遥感研究应用研究与展望 ……
…… 陈仲新，任建强，唐华俊，史云，冷佩，刘佳，王利民，吴文斌，姚艳敏，哈斯图亚 (748)
从散射辐射传输成像到定量精细遥感的信息链 …… 金亚秋 (768)
中国高分辨率对地观测系统重大专项建设进展 …… 童旭东 (775)
40 年的跨越—中国航天遥感蓬勃发展中的“三大战役” …… 顾行发，余涛，
田国良，周上益，魏成阶，李娟，余琦，刘东晖，卫征，孟庆岩，徐辉，郭红，周翔，王春梅，
臧文乾，黄祥志，高海亮，郑逢杰，刘苗，王栋，赵亚萌，魏香琴，孙源，李斌，廖戡，任芯雨 (781)
《遥感学报》20 年：从热点到前沿 … 陈良富，闫珺，范闻捷，辛晓洲，赵天杰，陈方，吴朝阳，范萌 (794)
面向应用的航天遥感科学论证研究 …… 顾行发，余涛，高军，田国良，王春梅，郑逢杰，李娟，董文，
米晓飞，胡新礼，谢勇，孟庆岩，刘其悦，杨健，卫征，张周威，方莉，林英豪，高海亮，赵利民，
郑利娟，刘苗，李玲玲，孙源，程洋，张雅洲，黄祥志，臧文乾，徐辉，吴侃，柳鹏，刘东晖，邓安健 (807)
遥感与地球系统科学 …… 施建成，雷永荟 (827)
气象卫星发展回顾与展望 …… 卢乃锰，谷松岩 (832)
风云气象卫星主要技术进展 …… 唐世浩，邱红，马刚 (842)
若干高光谱成像新技术及其应用研究 …… 王跃明，贾建鑫，何志平，王建宇 (850)
GNSS 遥感研究与应用进展和展望 …… 万玮，
陈秀万，彭学峰，白伟华，夏俊明，梁宏，张学民，熊攀，杨婷，曹云昌，尹聪，赵利民，洪阳 (858)
陆表定量遥感反演方法的发展新动态 ……
梁顺林，程洁，贾坤，江波，刘强，刘素红，肖志强，谢先红，姚云军，袁文平，张晓通，赵祥 (875)

热红外地表温度遥感反演方法研究进展 … 李召良，段四波，唐伯惠，吴骅，任华忠，阎广建，唐荣林，冷佩 (899)
黑河遥感试验中尺度上推研究的进展与前瞻 … 李新，晋锐，刘绍民，葛咏，肖青，柳钦火，马明国，冉有华 (921)
植被遥感辐射传输建模中的异质性研究进展 ……
…… 柳钦火，曹彪，曾也鲁，李静，杜永明，闻建光，范渭亮，赵静，杨乐 (933)
遥感定量反演地表参数对于气候变化的响应研究 …… MENENTI Massimo，贾立 (946)
叶面积指数间接测量方法 …… 阎广建，胡容海，罗京辉，穆西晗，谢东辉，张吴明 (958)
地球观测数据共享的发展和趋势 …… 李国庆，张红月，张连翀，王媛媛，田传召 (979)
地表覆盖遥感产品更新完善的研究动向 …… 陈军，张俊，张委伟，彭舒 (991)
全球地表覆盖制图研究新范式 …… 宫鹏，张伟，俞乐，李丛丛，王杰，梁璐，李雪草，计璐艳，白玉琪 (1002)
地理国情大数据研究框架 …… 张继贤，顾海燕，鲁学军，侯伟，余凡 (1017)
大数据时代的农情监测与预警 …… 吴炳方，张淼，曾红伟，张鑫，闫娜娜，蒙继华 (1027)
遥感高时空融合方法的研究进展及应用现状 …… 刘建波，马勇，武易天，陈甫 (1308)
遥感数据融合的进展与前瞻 …… 张良培，沈焕锋 (1050)
高光谱图像处理与信息提取前沿 …… 张兵 (1062)
高光谱图像稀疏信息处理综述与展望 …… 张良培，李家艺 (1901)
混合像元分解技术及其进展 …… 陈晋，马磊，陈学泓，饶玉晗 (1102)
遥感时间序列影像变化检测研究进展 ……
…… 赵忠明，孟瑜，岳安志，黄青青，孔赟珑，袁媛，刘晓奕，林蕾，张蒙蒙 (1110)
以“不变特征点集”为控制数据集的遥感图像自动化处理框架 ……
…… 唐娉，郑柯，单小军，胡昌苗，霍连志，赵理君，李宏益 (1126)
激光雷达森林参数反演研究进展 …… 李增元，刘清旺，庞勇 (1138)
InSAR 生成 DEM 中 WRF 大气校正 …… 曾琪明，章晓洁，焦健 (1151)
国家环境遥感监测体系研究与实现 …… 王桥，刘思含 (1161)
中国灾害遥感研究进展 …… 范一大，吴玮，王薇，刘明，温奇 (1170)
中国海洋卫星及应用进展 …… 蒋兴伟，林明森，张有广 (1185)
山地遥感主要研究进展、发展机遇与挑战 …… 李爱农，边金虎，张正健，赵伟，尹高飞 (1199)
海岸带地理环境遥感监测综述 ……
…… 李清泉，卢艺，胡水波，胡忠文，李洪忠，刘鹏，石铁柱，汪驰升，王俊杰，邬国锋 (1216)
月球遥感制图回顾与展望 …… 邸凯昌，刘斌，刘召芹，邹永廖 (1230)
土地资源遥感应用研究进展 ……
…… 张增祥，汪潇，温庆可，赵晓丽，刘芳，左丽君，胡顺光，徐进勇，易玲，刘斌 (1243)
海洋溢油与烃渗漏的光学遥感研究进展 …… 陆应诚，胡传民，孙绍杰，张民伟，周杨，石静，温颜沙 (1259)
地表不透水面信息遥感的主要方法分析 …… 徐涵秋，王美雅 (1270)
论虚拟地理环境对地理知识的表达与共享 …… 林珲，张春晓，陈旻，郑新奇 (1290)
运用社交网络分析淹水空间信息之关联性 ……
…… 周天颖，赖顺仁，黄崇典，杨龙士，叶美伶，吴政庭，方耀民 (1299)
“三规合一”服务的空间信息技术：地理模拟与优化 …… 黎夏，刘小平 (1308)

JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Vol. 20 No.5 September, 2016)

CONTENTS

Remote sensing for China′s sustainable development: Opportunities and challenges ····· *XU Guanhua, LIU Qinhuo, CHEN Liangfu, LIU Liangyun* (688)

Current progress of hyperspectral remote sensing in China ····· *TONG Qingxi, ZHANG Bing, ZHANG Lifu* (707)

The "Internet Plus" space-based information services ····· *LI Deren* (715)

Earth system observation from space: From scientific satellite to Moon-based platform ····· *GUO Huadong* (723)

Research progress on optical observations for atmospheric environment in China ····· *LIU Wenqing, CHEN Zhenyi, LIU Jianguo, XIE Pinhua, LIU Cheng, ZHAO Nanjing* (732)

Survey of intelligent optical remote sensing image processing ····· *GONG Jianya, ZHONG Yanfei* (747)

Progress and perspectives on agricultural remote sensing research and applications in China ····· *CHEN Zhongxin, REN Jianqiang, TANG Huajun, SHI Yun, LENG Pei, LIU Jia, WANG Limin, WU Wenbin, YAO Yanmin, HASIYUYA* (767)

Information chains in fine quantitative remote sensing based on scattering radiative transfer and imaging ····· *JIN Yaqiu* (774)

Development of China high-resolution earth observation system ····· *TONG Xudong* (780)

Up to the higher altitude—the new "three campaigns" for the development of china spaceborne remote sensing application ····· *GU Xingfa, YU Tao, TIAN Guoliang, ZHOU Shangyi, WEI Chengjie, LI Juan, YU Qi, LIU Donghui, WEI Zheng, MENG Qingyan, XU Hui, GUO Hong, ZHOU Xiang, WANG Chunmei, Zang Wenqian, HUANG Xiangzhi, GAO Hailiang, ZHENG Fengjie, LIU Miao, WANG Dong, ZHAO Yameng, WEI Xiangqin, SUN Yuan, LI Bing, LIAO Jian, REN Xinyu* (793)

Twentieth anniversary of the Journal of Remote Sensing ····· *CHEN Liangfu, YAN Jun, FAN Wenjie, XIN Xiaozhou, ZHAO Tianjie, CHEN Fang, WU Chaoyang, FAN Meng* (806)

Application-oriented scientific demonstration research for spaceborne remote sensing ····· *GU Xingfa, YU Tao, GAO Jun, TIAN Guoliang, WANG Chunmei, ZHENG Fengjie, LI Juan, DONG Wen, MI Xiaofei, HU Xinli, XIE Yong, MENG Qingyan, LIU Qiyue, YANG Jian,WEI Zheng, ZHANG Zhouwei, FANG Li, LIN Yinghao, GAO Hailiang, ZHAO Limin, ZHENG Lijuan, LIU Miao, LI Lingling, SUN Yuan, CHENG Yang, ZHANG Yazhou,HUANG Xiangzhi, ZANG Wenqian, XU Hui, WU Yu, LIU Peng, LIU Donghui, DENG Anjian* (826)

Remote sensing and Earth system science ····· *SHI Jiancheng, LEI Yonghui* (831)

Review and prospect on the development of meteorological satellites ····· *LU Naimeng, GU Songyan* (841)

Review on progress of the Fengyun meteorological satellite ····· *TANG Shihao, QIU Hong, MA Gang* (849)

Key technologies of advanced hyperspectral imaging system technology ····· *WANG Yueming, JIA Jianxin, HE Zhiping, WANG Jianyu* (856)

Overview and outlook of GNSS remote sensing technology and applications ····· *WAN Wei, CHEN Xiuwan, PENG Xuefeng, BAI Weihua, XIA Junming, LIANG Hong, ZHANG Xuemin, XIONG Pan, YANG Ting, CAO Yunchang, YIN Cong, ZHAO Limin, HONG Yang* (874)

Recent progress in land surface quantitative remote sensing ····· *LIANG Shunlin, CHENG Jie, JIA Kun, JIANG Bo, LIU Qiang, LIU Suhong, XIAO Zhiqiang, XIE Xianhong, YAO Yunjun, YUAN Wenping, ZHANG Xiaotong, ZHAO Xiang* (898)
Review of methods for land surface temperature derived from thermal infrared remotely sensed data ····· *LI Zhaoliang, DUAN Sibo, TANG Bohui, WU Hua, REN Huazhong, YAN Guangjian, TANG Ronglin, LENG Pei* (920)
Upscaling research in HiWATER: Progress and prospects ····· *LI Xin, JIN Rui, LIU Shaomin, GE Yong, XIAO Qing, LIU Qinhuo, MA Mingguo, RAN Youhua* (931)
Recent progresses on the remote sensing radiative transfer modeling over heterogeneous vegetation canopy ··· *LIU Qinhuo, CAO Biao, ZENG Yelu, LI Jing, DU Yongming, WEN Jianguang, FAN Weiliang, ZHAO Jing, YANG Le* (946)
Observing the response of the land surface to climate variability by time series analysis of satellite observations ····· *MENENTI Massimo, JIA Li* (946)
Review of indirect methods for leaf area index measurement ····· *YAN Guangjian, HU Ronghai, LUO Jinghui, MU Xihan, XIE Donghui, ZHANG Wuming* (978)
Development and trend of Earth observation data sharing ····· *LI Guoqing, ZHANG Hongyue, ZHANG Lianchong, WANG Yuanyuan, TIAN Chuanzhao* (990)
Continous updating and refinement of land cover data product ····· *CHEN Jun, ZHANG Jun, ZHANG Weiwei, PENG Shu* (1001)
New research paradigm for global land cover mapping ····· *GONG Peng, ZHANG Wei, YU Le, LI Congcong, WANG Jie, LIANG Lu, LI Xuecao, JI Luyan, BAI Yuqi* (1016)
Research framework of geographical conditions and big data ····· *ZHANG Jixian, GU Haiyan, LU Xuejun, HOU Wei, YU Fan* (1026)
Agricultural monitoring and early warning in the era of big data ····· *WU Bingfang, ZHANG Miao, ZENG Hongwei, ZHANG Xin, YAN Nana, MENG Jihua* (1037)
Review of methods and applications of high spatiotemporal fusion of remote sensing data ····· *LIU Jianbo, MA Yong, WU Yitian, CHEN Fu* (1048)
Progress and future of remote sensing data fusion ····· *ZHANG Liangpei, SHEN Huanfeng* (1061)
Advancement of hyperspectral image processing and information extraction ····· *ZHANG Bing* (1090)
Development and prospect of sparse representation-based hyperspectral image processing and analysis ····· *ZHANG Liangpei, LI Jiayi* (1101)
Research progress of spectral mixture analysis ····· *CHEN Jin, MA Lei, CHEN Xuehong, RAO Yuhan* (1109)
Review of remotely sensed time series data for change detection ····· *ZHAO Zhongming, MENG Yu, YUE Anzhi, HUANG Qingqing, KONG Yunlong, YUAN Yuan, LIU Xiaoyi, LIN Lei, ZHANG Mengmeng* (1125)
Framework of remote sensing image automatic processing with "invariant feature point set" as control data set ····· *TANG Ping, ZHENG Ke, SHAN Xiaojun, HU Changmiao, HUO Lianzhi, ZHAO Lijun, LI Hongyi* (1137)
Review on forest parameters inversion using LiDAR ····· *LI Zengyuan, LIU Qingwang, PANG Yong* (1150)
Atmospheric correction of spaceborne repeat-pass InSAR DEM generation based on WRF ····· *ZENG Qiming, ZHENG Xiaojie, JIAO Jian* (1160)
Research and implementation of national environmental remote sensing monitoring system ····· *WANG Qiao, LIU Sihan* (1169)
Research progress of disaster remote sensing in China ····· *FAN Yida, WU Wei, WANG Wei, LIU Ming, WEN Qi* (1184)
Progress and prospect of Chinese ocean satellites ····· *JIANG Xingwei, LIN Mingsen, ZHANG Youguang* (1197)

continued

to be continued

Progresses, opportunities, and challenges of mountain remote sensing research ····· *LI Ainong, BIAN Jinhu, ZHANG Zhengjian, ZHAO Wei, YIN Gaofei* (1215)

Review of remotely sensed geo-environmental monitoring of coastal zones ····· *LI Qingquan, LU Yi, HU Shuibo, HU Zhongwen, LI Hongzhong, LIU Peng, SHI Tiezhu, WANG Chisheng, WANG Junjie, WU Guofeng* (1229)

Review and prospect of lunar mapping using remote sensing data ····· *DI Kaichang, LIU Bin, LIU Zhaoqin, ZOU Yongliao* (1241)

Research progress of remote sensing application in land resources ····· *ZHANG Zengxiang, WANG Xiao, WEN Qingke, ZHAO Xiaoli, LIU Fang, ZUO Lijun, HU Shunguang, XU Jinyong, YI Ling, LIU Bin* (1258)

Overview of optical remote sensing of marine oil spills and hydrocarbon seepage ····· *LU Yingcheng, HU Chuanmin, SUN Shaojie, ZHANG Minwei, ZHOU Yang, SHI Jing, WEN Yansha* (1269)

Remote sensing-based retrieval of ground impervious surfaces ····· *XU Hanqiu, WANG Meiya* (1289)

On virtual geographic environments for geographic knowledge representation and sharing ····· *LIN Hui, ZHANG Chunxiao, CHEN Min, ZHENG Xinqi* (1298)

Social crowd sourcing application in spatial information analysis ····· *CHOU Tianying, LAI Shunren, HUANG Chungtien, YANG Longshi, YEH Meiling, WU Chengting, FANG Yaoming* (1307)

Spatial information technology for facilitating "three-plan integration" using geographical simulation and optimization ····· *LI Xia, LIU Xiaoping* (1317)

农业遥感研究应用进展与展望

陈仲新，任建强，唐华俊，史云，冷佩，刘佳，王利民，吴文斌，姚艳敏，哈斯图亚

中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所 农业部农业信息技术重点实验室，北京 100081

摘 要：得益于中国自主遥感卫星、无人机遥感和物联网等技术的发展，中国农业遥感研究与应用在过去20年取得了显著进步，中国农业遥感信息获取呈现出天地网一体化的趋势；农业定量遥感在关键参数遥感反演技术方法与应用方面取得进展；作物面积、长势、产量、灾害遥感监测的理论与技术方法取得突破，农业遥感技术应用领域不断拓展。本文从农业遥感信息获取、农业定量遥感、农业灾害遥感、作物遥感识别与制图、作物长势遥感监测与产量预测、农业土地资源遥感等方面对中国农业遥感科研与应用进行了总结综述。

关键词：农业，遥感，进展，展望

中图分类号：TP79 **文献标志码**：A

引用格式：陈仲新, 任建强, 唐华俊, 史云, 冷佩, 刘佳, 王利民, 吴文斌, 姚艳敏, 哈斯图亚. 2016. 农业遥感研究应用进展与展望. 遥感学报, 20(5): 748–767

Chen Z X, Ren J Q, Tang H J, Shi Y, Leng P, Liu J, Wang L M, Wu W B, Yao Y M and Hasiyuya. 2016. Progress and perspectives on agricultural remote sensing research and applications in China. Journal of Remote Sensing, 20(5): 748–767 [DOI:10.11834/jrs.20166214]

中国农业遥感技术的研究与应用经历了从20世纪70年末的技术引进、80年代到90年代中期的关键技术攻关90年代中后期到现在的快速发展、业务应用几个阶段。过去的20年，中国农业遥感技术研究和应用从深度和广度上都得到长足发展，取得显著进展。

1 过去20年农业遥感研究进展

1.1 农业遥感信息获取

遥感以其快速、简便、宏观、无损及客观等优点，广泛应用于农业生产各个环节。农田作物信息的快速获取与解析是开展精准农业实践的前提和基础，是突破制约中国现代农业应用发展瓶颈的关键，在农业田间信息获取上，遥感技术优势明显。农业遥感信息获取是农业遥感应用的基础。中国农业遥感信息获取从依赖国外遥感数据，到自主国产卫星遥感数据大量应用、航空遥感、无人机、地面近距遥感齐头并进，形成“天—地—网”一体化的农业遥感信息协同综合获取的技术体系。

(1)卫星遥感信息获取。20个世纪中国没有自主的陆地资源卫星，作物面积遥感监测主要采用国外卫星遥感数据，如Landsat TM、SPOT等。大范围农业遥感监测采用低分辨率NOAA AVHRR以及国产风云气象卫星的遥感数据(江东 等，1999)。1999年中巴陆地资源卫星成功发射，标志着包括农业遥感应用在内的资源环境遥感有了自主的卫星遥感数据源。CBERS数据广泛应用于作物面积估算、长势监测、病虫害遥感、草地遥感等领域(蒋旭东 等，2001；赵锐 等，2002)。随后环境减灾小卫星星座(HJ-1 A/B)、北京1号和北京2号小卫

收稿日期：2016-05-30；**修订日期**：2016-06-03；**优先数字出版日期**：2016-07-10

基金项目：引进国际先进农业科学技术计划(948计划)(编号: 2016-X38)；国家自然科学基金(编号: 41371396)

第一作者简介：陈仲新(1970—)，男，研究员，研究方向为遥感与GIS农业应用。E-mail：chenzhongxin@caas.cn

通信作者简介：唐华俊(1960—)，男，研究员，中国工程院院士，研究方向为农业遥感、全球变化与土地科学的理论和应用。E-mail：tanghuajun@caas.cn

星都为农业遥感提供了更多的自主卫星遥感数据。特别是2013年高分系列遥感卫星陆续发射，为农业遥感研究与业务应用提供数据保障。高分一号宽视场(WFV)16 m遥感数据4—5 d的重访周期为快速变化的农业目标提供了理想的观测数据，特别在农业遥感监测业务中取得了创新成果。如首次利用单一遥感数据源完成了全国尺度小麦的空间分布图(唐华俊 等，2015a)。高分系列的其他卫星遥感器为满足全天候作物监测、作物品质监测、作物病虫害监测等提供有力的遥感信息保障。

(2)低空无人机信息获取。随着遥感、全球卫星定位系统、地理信息系统、微型计算机、通讯设备等技术的迅速发展，微小型无人机遥感技术平台取得了很大的进展，为精准农业的进一步发展提供了技术支持。微小型无人机信息获取技术具有平台构建容易、运行和维护成本低、体积小、质量轻、操作简单、灵活性高、作业周期短等特点。可弥补现有航天、航空遥感和地面遥感系统的不足，完善地面作物监测体系(汪沛 等，2014)。特别对于中小尺度的农业遥感应用能够发挥更大的作用，获取更精确的农情信息，对作物信息监测技术的发展和应用具有重大意义。

利用无人机搭载移动式激光扫描仪、CCD相机、光谱仪以及热成像摄像机，不仅可以记录几何轮廓数据，还可以采集图片信息、激光背散射强度、高光谱和热信息数据(Xiang和Tian，2011；白由路 等，2010)。无人机可以相对廉价地多次反复采集数据，使其在多时相数据采集方面具有独有的优势。比如利用无人机在精细的几何测量方面的优势，精细监测作物生长高度、分布密度，可以对作物的长势、发育情况进行精密监测，提高作物监测的精细度。比如利用无人机高光谱影像分析技术，获取土壤的肥力情况和作物的病虫害可以用于指导变量施肥施药来提高化肥和农药的使用效率(Chosa 等，2010)。

无人机有效弥补了传统卫星遥感在数据获取方面的局限性，但是当前无人机遥感平台系统的平稳性、抗震性、载荷能力、续航时间、多传感器融合技术、获取的图像质量等方面还存在不足，亟需在载荷、续航、控制系统、几何与辐射校正等自动化处理方面进行进一步的研究(汪沛等，2014)。

(3)天空地一体化农业遥感信息获取。随着互联网、大数据、云计算等相关信息技术的发展，构建天空地一体化农业遥感信息获取技术体系将是快速获取农田信息的有效手段，使得农田信息获取的便捷性、精确性、时效性和低成本性得到了显著的提高。

基于卫星—无人机—地面物联网的一体化农田信息获取体系在解决农田信息有效快速获取的同时，也带来了海量遥感数据融合处理的问题。国家高技术研究发展计划(863 计划)《星陆双基遥感数据的农田信息协同反演技术》利用星载遥感数据和地面固定传感器网络的多源平台的数据融合技术，提高了信息获取精度，准确及时获取农田生态环境参数，从而提高粮食估产，灾害评估的精度和可靠性。Shi等人(2014)提出了卫星、无人机和地面的天空地一体化遥感数据配准和农田信息提取的技术框架和关键技术，建立了全面的天空地一体化农业遥感观测系统，提高了高时空分辨率、高精准、低成本的精细农田信息获取的能力。

1.2 农业定量遥感

农业定量遥感是通过研究和改进经验模型和辐射传输模型，着重建立农作物与农田环境参数的遥感定量反演技术，从而实现利用遥感数据定量获取有关农作物生长的关键生物理化参数，为作物生长模型、数据同化系统以及作物估产等研究提供可靠的输入参数，并且能够为实际的田间农业管理提供有价值的参考信息。

1.2.1 叶面积指数遥感反演

作物叶面积指数LAI(Leaf Area Index)遥感反演是农业定量遥感研究的热点之一。LAI是生物地球化学循环以及陆地与大气之间水热循环的重要参数，对于农作物的蒸腾、光合作用以及农作物估产等具有十分重要的意义。近20年以来，中国LAI的定量遥感反演研究得到了快速发展，具体表现在：(1)数据源的选择从最初较为单一类型的多光谱数据(如MODIS和TM等)，发展到目前被广泛应用的高光谱数据、多角度数据、激光雷达数据、高分数据以及无人机数据等，尤其是国产卫星(如HJ-1 A/B星和高分一号(GF-1)等)在LAI的定量反演中受到越来越多的关注(郭琳 等，2010；贾玉秋 等，2015)；(2)在方法研究上，无论是在经验

统计方法还是在物理模型方法上都进行了大量有益的探索(张仁华 等，1998；李开丽 等，2005；刘婷 等，2016)。尤其对于国内最常用的LAI与光谱反射率(或植被指数)的经验统计方法，学者们从不同的角度尝试消除传统经验统计方法的局限，力图提高LAI反演精度。如在作物不同生育期采用不同形式的植被指数反演LAI(赵娟 等，2013)、以及建立LAI的分段监测模型(贺佳 等，2014)等；(3)作物LAI定量遥感反演的应用研究呈现丰富多彩的局面，研究所涉及的作物类型由常见的大宗作物(如小麦和玉米等)，发展到各种各样的农作物产品(包括甘蔗、棉花、烟草等)(刘姣娣 等，2008；何亚娟 等，2013；王昆 等，2015)，体现了中国农业定量遥感多样化发展的特色。

由于植被结构和生物物理特性的多样性，以及植被冠层和大气辐射传输过程的复杂性，LAI的定量遥感反演，尤其是获取区域尺度准确的LAI，历来就是定量遥感的一个难点。虽然LAI的定量遥感反演得到了广泛的关注和研究，但与国际前沿研究相比，中国在LAI定量遥感反演方面还存在着明显不足：(1)目前研究集中在经验统计方法的应用和改进上，而在经验统计方法本身的创新上还有待进一步加强；(2)缺乏物理模型方法的研究，较少有涉及有关作物LAI的辐射传输模型的创新性探索和开发的报道。当前对地观测技术的不断进步，尤其是国产卫星的迅猛发展，给作物LAI定量遥感反演带来了新的机遇。例如多角度遥感和激光雷达等新型观测系统的建立，能够更加真实地揭示植被冠层的真实3维结构；高光谱数据能够提供丰富的植被特征信息，能够有效避免植被信息反演饱和的问题。这些遥感技术的发展，对LAI的定量反演起到了积极的作用。如何有效发挥不同遥感观测的优势，发展更好地描述植被结构与辐射传输过程的物理模型，是丰富LAI定量遥感反演方法与提高LAI反演精度的有效途径。

1.2.2 土壤含水量遥感反演

土壤表层的水分虽然只占全球总水量很少的一部分，但它是联系地表水和地下水的纽带，其变化影响着地表能量向显热和潜热分配的比例，以及地表水的下渗量和形成地表径流的比例。在农业中，土壤水分的多少决定了农作物的水分盈亏，土壤水分过高或过低都会影响农作物的正常生长，实时准确的土壤水分监测数据对农业灌溉、作物光合作用和养分吸收以及产量预测等具有十分重要的指导作用。中国学者很早就将遥感技术引入到区域土壤水分的反演，并很好地体现在了具体的农业应用实践中。其中，利用遥感获取的热惯量(或表观热惯量)和指数(主要包括温度植被指数TVDI(Temperature Vegetation Index)和植被供水指数VSWI(Vegetation Supply Water Index)等)来建立其与土壤水分实测值之间的关系来获取区域定量的土壤水分(余涛和田国良，1997；张仁华，1991；宋春桥 等，2011；杨玲和杨艳昭，2016)。值得一提的是，目前国家级农业土壤墒情遥感监测系统中所采用的方法便是由热惯量法和植被供水指数法组成。近年来，一些学者率先在国际上利用新的遥感信息(如静止卫星时间信息)开展了土壤水分的定量反演研究(Zhao和Li，2013；Leng 等，2014)。虽然这些研究目前并未真正应用到具体的农业实践上，但它们极大地丰富了土壤水分的遥感反演，其方法有望在未来服务于“高分四号”等新型卫星数据上，为中国的农业研究应用提供高分辨率可靠的土壤水分数据。在数据的使用上，虽然光学遥感数据目前仍然是土壤水分反演实践中的主力军，但是微波遥感以其全天时全天候的观测能力，以及其在土壤水分反演中坚实的理论基础，使得它在土壤水分反演中也占得一席之地，并且越来越多地受到学者们的关注。目前，可见光/近红外数据、热红外数据、微波数据以及它们之间的组合成为了主要的土壤水分遥感反演方法的数据源。

最近10年来在国家和地方有关部门的支持下，国内多个单位联合起来已在中国黑河流域连续深入开展了两次大型综合观测试验，土壤水分的遥感反演与验证一直是试验的主要课题之一。尽管在土壤水分遥感反演的研究方面取得了一定的成绩，但中国在这一领域与国际相比还是存在一定的差距。如大部分研究仍然以国外学者的算法基础上进行一定的改进；另外，由于土壤水分不仅仅在农业领域体现了其独特的重要性，在气候、水文等领域同样发挥着不可替代的作用，欧美国家已经相继发射了多颗专门用于全球土壤水分数据获取的卫星，而目前国际上常用的微波土壤水分产品及其算法仍然以欧美发达国家为主开发和发布。众所周知，土壤水分具有较高的时空

异质性，准确获取区域或者田间尺度的土壤水分仍然存在着很多挑战：(1)在理论方法上需要有大胆创新，尤其是探索利用多源遥感数据联合反演土壤水分的新方法研究，建立适用于田间尺度的土壤水分反演模型；(2)加强土壤水分遥感试验和数据积累，促进土壤水分的业务化研究和应用。

1.2.3 其他参数遥感反演

除了上述LAI与土壤水分，其他重要农田环境参数的定量遥感反演研究中同样取得了丰富的成果。在植被生化组分反演方面，牛铮等人(2000)在国内率先利用利用地面光谱仪测量数据，进行了成像光谱遥感探测叶片化学组分的机理性研究，为相关研究奠定了良好的基础。除此之外，叶片含水量、光合有效辐射、氮磷等营养元素以及生物量等重要植被生化组分遥感反演也得到了广泛的关注(田庆久 等，2000；薛利红 等，2006；冯伟 等，2008；潘蓓 等，2012)。目前，叶片生化组分估算仍是农业定量遥感较为活跃的研究方向之一。在土壤理化属性参数反演方面，许多学者利用高光谱数据进行了土壤有机质含量的估算与预测(刘焕军 等，2011；刘磊 等，2011；于士凯 等，2013)。利用遥感影像获取土壤有机质含量的方法研究与实践应用，已成为当前土壤学研究的一个热点(张文娟 等，2005)。尽管如此，由于中国在这些方面的研究起步较晚，研究工作中仍然存在着与LAI和土壤水分研究相似的不足之处，如大多研究仍然依赖传统的经验统计方法，缺乏方法的创新和实际的应用。

总的来说，作为农业遥感领域的重点研究方向，中国农业定量遥感在近20年来取得了值得肯定的成绩，众多关键农田环境参数的定量遥感反演研究得到了快速的发展，在方法和应用上都体现了一定的创新性。然而，与国际前沿相比，在原始创新方面仍然较为缺乏。建议充分挖掘多源遥感信息与非遥感数据的潜力，在我们关心的关键农田环境参数反演理论上取得突破，并在相关数据产品的开发上开展有针对性的研究和合理的部署。

1.3 作物种植面积遥感与遥感制图

作物种植面积是作物估产的基本要素，其空间分布图在农业生产管理与农业政策等方面具有非常重要的作用(Vaudour 等，2015；Thenkabail，2010; Atzberger，2013)。中国是世界农业大国，农作物面积和产量的丰欠历来受到中国和世界各级政府部门的高度重视，是国家制定粮食政策和经济计划的重要依据。近年来，随着中国经济的迅猛发展，农业生产面临新形势，加之全球气候变化等因素的影响，农作物种植面积及其空间分布出现波动性变化(蔡剑和姜东，2011；杨晓光 等，2010)。快速准确地掌握中国主要农作物种植面积及其空间分布，对于辅助政府有关部门制定科学合理的粮食政策和世界粮食安全具有及其重要的意义，是确保国家粮食安全、合理调整种植结构、正确处理“三农”问题的重要保障。

世界上最早开展作物面积遥感监测与制图国家是美国。美国从1974年冬小麦面积遥感监测开始，到2009年首次实现了其全国20多种作物的遥感空间分布制图，并在以后逐年更新，现在已实现每年100余种作物的监测和空间制图，在第2年的1月通过互联网向全球发布，空间分辨率为30 m。美国的作物空间分布制图不仅服务了该国的农业生产，产生的科学数据产品还在气候变化研究、生态学、土地管理、环境风险评价、生物能源、植物保护、水资源管理、高效施肥、农业保险等方向科学研究与应用，推动了科技进步(USDA-NASS, http//www.nass.usda.gov/Education_and_Outreach/Reports_Presentations_and_Conferences/reports/)。中国同样是以冬小麦面积遥感监测为突破口，在1983年利用MSS影像和航片，采用目视解译的方法，首次获取了京津冀地区冬小麦面积的空间分布(王乃斌，1996)。到20世纪90年代末期，中国农业部遥感应用中心和中国科学院等单位先后开展了全国范围的作物面积遥感监测业务试运行，目前已实现每年对中国和世界粮食主产国多种大宗作物面积遥感监测的业务运行(周清波，2004；吴炳方 等，2010；陈水森 等，2005)。

大范围作物面积遥感监测一般选择抽样调查或全覆盖两种方式进行。在业务运行的早期，受到遥感数据价格高、有效数据少等因素影响，大范围尺度的农业遥感监测系统多采用抽样方法(陈仲新 等，2000；焦险峰 等，2006；申克建 等，2012；刘国栋 等，2015)，即采用分层抽样等方法建立作物面积空间抽样框，利用遥感影像获取抽

样单元内的作物面积，再外推整个监测区域的作物面积。这种方式的监测精度受抽样框设计、样本选择和外推模型等因素影响较大，得到的仅是抽样区内单种作物的分布信息以及整个监测区域目标作物的面积统计信息，没有形成覆盖全国或主产区的综合体现多种作物空间分布的农作物空间分布本底图。随着中高空间分辨率遥感数据源的逐渐增多，各国在作物面积监测时，逐渐开始向中分辨率影像全覆盖监测方式转变。从2008年开始，中国农业部遥感应用中心利用5—30 m空间分辨率的卫星影像获得了全国水稻、冬小麦和玉米等大宗农作物的空间分布。这种方法可以获取作物的空间分布，但受遥感影像覆盖范围和重访周期等因素影响，须同时使用多种传感器的数据，不同传感器数据提取的作物分布结果之间存在一定的差异，影响了调查精度。此外，在作物面积遥感识别与信息提取方法上，传统的分类方法适合于中小尺度的作物面积监测，当大范围监测时，由于作物的种植结构和物候期等发生变化，这些方法的参数需要人工调整，自动化程度低，导致工作量增大。随着GF-1和GF-2卫星的成功发射，为中国农业遥感提供了更多的有效数据。经过一年多的实践与探索，卫星数据在中国农业遥感业务工作中得到了广泛应用，已成为农业遥感的主要数据源之一。特别是GF-1卫星宽视场(WFV)16 m空间分辨率影像，相对以Landsat系列卫星为代表的中等分辨率卫星影像，提供了更加丰富的纹理细节和空间结构信息，同时其4 d的重访周期，最高达800 km的幅宽，为监测大范围农作物面积提供了更多有效数据。中国农业部遥感应用中心以16 m数据为主要数据源，结合其他在轨中分辨卫星数据，开展了全国冬小麦、春小麦、玉米、水稻、东北大豆和新疆棉花种植面积遥感监测工作。在冬小麦面积监测中，连续3年全部采用GF-1卫星数据，大大减少了对国外数据的依赖，降低了系统运行成本，提高了系统的稳定性与安全性。

作物种植面积遥感监测主要是利用植被独特的光谱反射特性和空间特征，将作物种植区和非种植区分开，再结合作物的物候期区分作物的种类(周成虎和骆剑承，1999)。一般是通过选取作物遥感监测的最佳时期，应用多时相、多分辨率、不同成像方式的遥感数据源提取不同作物的光谱植被指数、叶面积指数和生物量等信息，从而识别作物类型和种植结构(唐华俊 等，2010)。常用的作物分类方法可以分为人工目视解译和计算机自动分类两大类。其中，人工目视解译方法是采用人机交互判读的方式，以遥感影像为底图，人工勾画出不同类型作物种植区的边界，进行专题分类。这种方法能够充分、全面地利用各种遥感影像特征，在影像判读过程中易引入自然和人文科学规律、有效发挥判读人员的主管能动性，操作简单、实用，能够较好地满足大型、业务判读应用任务的精度要求(阎守邕 等，2007)，中国和世界各国在早期的业务运行中一般是采用这种方法提取作物面积。但这种方法的不足在于工作量大、对判读人员的专业知识要求高、不同判读人员的解译结果差异大。为解决上述问题，研究人员发展了多种计算机自动分类方法，常用的方法可以归纳为统计法、决策树和神经网络法等等。业务运行系统中基于概率统计技术并结合人工目视修正的方法仍是主要业务方案，常用的有最大似然分类器和SVM分类器等。但这些方法适合于中小尺度的作物面积监测，当大范围监测时，由于作物的种植结构和物候期等发生变化，这些方法的参数需要人工调整，自动化程度低，导致工作量增大。在世界和中国高分数据保障率日益提高的大背景下，以专家知识库构建为基础，发展基于地块或对象单元的自适应智能分类方法，提高作物识别精度与信息提取自动化程度，是作物面积监测与空间制图的主要发展方向。特别是在农业“一张底图、分页服务”的目标引导下，开展高精度作物空间分布制图与动态更新方法研究，实现全口径作物面积监测与制图，将为中国农业种植结构调整、保护和合理利用农业自然环境和农业自然资源，以及粮食安全和农产品贸易提供科学准确的信息。

1.4 作物长势监测与产量估算

1997年，中国科学院将“中国资源环境遥感信息系统及农情速报”作为中国科学院“九五”重大和特别支持项目，实现了全国小麦、玉米、大豆、水稻等大范围长势遥感监测与产量预报(江东 等，1999)。1998年开始，农业部实施“全国农作物业务遥感估产”项目，发展并逐步建立一套适合中国国情的农作物遥感监测业务运行系统，监测对象主要包括全国小麦、玉米、棉花，后逐步扩大到水

稻、大豆等作物(周清波，2004)。“十五”期间，中国继续深化农作物遥感估产业务系统研究与应用，陆续建成和完善了多个国内作物长势监测与估产系统，如中国农业科学院和农业部“国家农业遥感监测系统”(周清波，2004；Chen 等，2008，2011)、中国科学院遥感应用研究所“中国农情遥感速报系统”(中科院和国家粮食局)(吴炳方，2000，2004)，中国气象局“农作物监测系统”(中国气象局)(王建林 等，2005)等。“十一五”期间，通过“统计遥感”项目实施，北京师范大学和国家统计局建成了“国家粮食主产区粮食作物种植面积遥感测量与估产系统”(潘耀忠 等，2013)。近些年，中国科学院、中国气象局和农业部等单位陆续对国外重要产粮区玉米、大豆、小麦和水稻等作物进行长势监测和产量估算，为国家和部门决策提供了重要可靠参考信息(王建林 等，2007；吴炳方 等，2010；钱永兰 等，2012；任建强 等，2015)。

中国大面积作物长势监测和产量估算中，常用数据为中低空间分辨率EOS/MODIS、SPOT/VGT、NOAA/AVHRR和FY卫星等多光谱遥感数据，而中高或高分辨率遥感数据主要用于小范围或田块尺度作物监测评价(李卫国 等，2010；谭昌伟 等，2011)。高光谱遥感数据和微波遥感数据虽然具有很强的应用潜力，但多为小范围作物长势参量反演(如作物叶面积指数、生物量、含水量等)和作物长势监测的研究和应用(梁亮 等，2011；化国强，2011；张佳华 等，2012；宋小宁 等，2013；贾明权，2013)。随着高分系列卫星陆续发射，国产高分辨率遥感数据也在作物长势监测和产量估算中得到一定应用(张素青 等，2015；Li 等，2016a)。

(1)作物长势遥感监测。作物长势遥感监测指标主要采用能反映作物生长状况的相关遥感指标，如植被指数、叶面积指数和生物量等(任建强等，2009)。其中，植被指数应用最为广泛(黄青等，2010，2012)。一些学者也开展了常见作物长势指标(如LAI、NDVI、TCI、VCI、NPP等)适用性、有效性评价研究，为提高作物长势监测准确性发挥了重要作用(蒙继华，2006)。此外，也开展了植物生长归一化植被指数(GRNDVI)等新长势指标研究(赵虎 等，2011)，部分学者还研究了物候信息、气象因子与长势监测间关系，为进一步提高长势监测精度提供了依据(孔令寅 等，2012；黄青等，2014)。

农作物长势遥感监测方法主要包括统计监测方法、年际比较法和长势过程监测法(杨邦杰和裴志远，1999；吴炳方 等，2004；Chen 等，2011；陈怀亮 等，2015)。其中，统计监测类方法主要基于遥感技术和统计模型获取与作物长势密切相关农学指标，然后对区域作物参数进行分级，从而获得作物苗情、长势监测结果；年际比较方法主要是利用年际间遥感指标差值或比值进行作物长势分级和实时监测，为早期作物估产提供作物产量丰欠依据；作物长势过程监测主要采用当年、去年和多年平均植被指数—时间序列曲线高低和变化速率对作物长势好坏进行比较和判断。

但是，目前常用作物长势监测方法均偏向于定性长势监测方法。近年来，随着作物生长模拟模型的发展，利用机理模型进行作物长势指标(如作物叶面积指数、作物生物量等)定量模拟和长势监测的研究陆续被报道(闫岩 等，2006；李卫国等，2007；刘峰 等，2011；Huang 等，2012)，并有望在未来业务化运行中得到使用，这在一定程度提高作物长势过程监测的机理性、结果准确性和定量化水平。

(2)作物单产遥感估测。作物单产估算技术方法有多种，如统计调查法、统计预报法、农学预测法、气象估产方法、作物生长模拟和遥感估产方法(任建强 等，2005)。其中，前4种方法属于传统经典的方法，而作物生长模拟方法和遥感估产方法则是伴随计算机技术、信息技术和空间技术等高新技术发展起来的新方法。

目前，国内大面积作物产量遥感估算模型主要分为3种，即经验模型、半机理模型和机理模型(杨鹏 等，2008)。经验模型主要利用遥感反演的作物生长状况参数(如各类光谱植被指数等)、作物结构参数(如叶面积指数、生物量等)、作物环境参数(如温度、降水、太阳辐射和土壤水分等)等与作物单产间直接建立线性或非线性统计模型，该类模型简单易行，但涉及作物产量形成机理较少(任建强 等，2007，2010a；Ren 等，2008)；半机理模型又称参数模型，主要利用遥感技术获得作物净初级生产力或作物生物量，在此基础上通过收获指数进行修正，从而获得作物单产计算结果(Du 等，2009；任建强 等，2006，2009)。该方法特点是实用，可充分发挥遥感获取大范围信息的优势，但

方法本身对作物机理有所涉及，部分参数量化(如光能利用效率、收获指数等)需要进一步加强研究(任建强 等，2006，2010b；李贺丽和罗毅，2009)；机理模型主要利用作物生长模型进行作物单产模拟的方法，该类模型最大特点是机理性强，面向过程，但模型需要输入参数多，在一定程度上限制了作物生长模型在大范围作物估产中的广泛应用(杨鹏 等，2008)。

随着遥感同化技术的发展，基于遥感数据同化作物生长模型的农作物产量模拟技术逐渐成为前沿和有发展潜力的应用研究领域。近些年，中国已经开展了不同主流模型(如WOFOST、DSSAT和EPIC等)不同同化方法(如EnKF、PF、POD-4DVar、SCE-UA等)支持下的作物生长模型作物单产模拟比较研究(马玉平 等，2005；Fang 等，2008；姜志伟，2012；Jiang 等，2013a，2014a；Li 等，2016a)，包括模型参数本地化、模型区域化、模型同化方案、精度验证和模型不确定分析等研究，为提高农作物单产定量化模拟的技术精度和水平发挥了重要作用(杨鹏 等，2007；任建强 等，2011；姜志伟 等，2012)。随着遥感同化生长模型进行作物单产模拟技术的逐渐深入，该技术已经有望在中国业务化估产运行中加以应用。

1.5 农业灾害遥感监测

中国是一个农业自然灾害频发的国家，平均每年受灾面积占播种面积的31.1%。从20个世纪70年代开始农业干旱遥感监测研究，洪涝、低温冷冻、病害灾害的遥感应用研究得到深化(居为民 等，1997)。采用遥感技术对作物生长参数进行反演，比较灾害发生或受到灾害胁迫条件下，与农作物正常生长情况下的偏离程度，是农作物灾害遥感监测的普遍性原理，也是常规农业灾害遥感监测技术流程制定的基础(Rudorff 等，2012)。当前，伴随着遥感技术高时间、高空间、高光谱、多平台的发展趋势，对农业灾害遥感监测机理的认识更加深刻(闫峰 等，2006)，在传统的以光谱反射率为核心的状态监测方法深入研究的基础上(杨博，2013)，面向全球、区域尺度农情信息获取的需求，农作物干旱、洪涝、低温冷冻、病害灾害遥感研究都有不同程度的发展。

(1)农业干旱遥感监测。针对可见光、短波红外、热红外、微波谱段遥感土壤水分指数构建的研究是这一领域的研究热点，比较典型的有温度植被旱情指数TVDI(Temperature Vegetation Dryness Index)、作物水分亏缺指数CWSI(Crop Water Stress Index)、条件植被指数VCI(Vegetation Condition Index)等、极化雷达指数等等，所使用的遥感数据则以30 m、1000 m空间分辨率Landsat、HJ、EOS/MODIS、FY和NOAA系列卫星为主。这些指数主要是基于特征光谱空间的原理构建，结合农作物长势描述指标，能够较好的反映土壤水分的变化，受地表状况的复杂性的限制，区域应用的普适性仍需要进一步深入研究。由于遥感指数农业干旱遥感监测机理性不足，以及农业干旱遥感监测指标的匮乏，限制了农作物干旱遥感监测的深入应用。以农作物生长机理模型空间化与本地化为核心，基于LAI等农作物参数准确反演，通过作物模型同化的方法，可以间接获取不同层次土壤水分含量，同时也能够对农作物干旱指标进行定量化阐述，农作物生长模型与遥感技术的耦合研究也因此成为农作物干旱遥感监测研究的前沿(魏占民，2003；冯绍元 等，2012；周彦昭等，2014)。

(2)农业洪涝灾害遥感监测。如何解决复杂气象条件下遥感数据的获取及水体识别是该领域必须需要面对的问题，NOAA/AVHRR、EOS/MODIS、FY-3A等高于0.5 d，HJ-1A/B卫星高于2 d回访周期的数据源(李健 等，2012)，以及SAR、ASAR等雷达遥感数据全天候监测能力(Kuenzer 等，2013)，成为农业洪涝灾害遥感监测的主要数据源。如李健利用FY-3A、HJ-1A/B和EOS多源卫星遥感数据，结合地面气象观测数据和基础地理信息数据，对2010年7月下旬至8月初暴雨导致的洪涝灾害进行了动态监测(李健 等，2012)。光学遥感数据支持下的洪涝发生发展过程模拟(裴志远和杨邦杰，1999；莫伟华，2006)、以及微波遥感数据支持下的洪涝过程监测(唐伶俐 等，1998；李景刚等，2010)，能够在一定程度上弥补遥感数据源的不足，较好的重现洪水淹没过程，也是获取多云覆盖天气状况下洪涝分布范围的主要研究方向。与洪老遥感监测技术研究相对成熟比较，农作物洪涝灾损指标的研究相对较为滞后，目前尚没有时间、空间、作物类型相关的洪涝灾损评价指标体系方面的研究。

(3)农作物病害遥感监测。基于高光谱遥感数

据，开展病害敏感指数的比较研究，构建病害敏感指数进行农作物病害遥感监测，是该领域最为关键的研究内容(Zhang 等，2003)。刘良云等人(2004)对比了3个生育期的条锈病与正常生长冬小麦的PHI图像光谱及光谱特征，发现560—670 nm黄边、红谷波段，条锈病病害冬小麦的冠层反射率高于正常生长的冬小麦光谱反射率。Steddom 等人(2003)分别利用甜菜丛根病单叶高光谱遥感数据和冠层多光谱数据，对NDVI、VARI、RGR、ARI、CRI 5 种植被指数进行了分析结果表明，正常甜菜与有丛根病症状的甜菜相比，这5种植被指数差异显著。由于敏感指数的筛选对高光谱数据的依赖，高光谱数据源相对较少，使得基于地面光谱、或者基于局部区域遥感影像的实验性研究成为农作物病害遥感监测的主要内容(黄木易 等，2004)。为适应业务运行问题，基于宽频的在轨高分数据病害遥感指数筛选也是突破这一技术瓶颈的主要方式(冯炼 等，2010；张竞成，2012)。

(4)农作物低温冷害遥感监测。尽管农作物低温冷害、冻害、霜冻的定义、指标尚存在着较大的争议，但基于作物状态的监测、基于作物温度的监测，仍是农作物低温冷害遥感监测的两个基本途径(杨邦杰 等，2002；张晓煜 等，2001；张雪芬 等，2006)。前者如汤志成等人(1989)利用NOAA数据合成绿度图，对比不同时相的绿度差异评价了1987年江苏的冬小麦冻害状况，后者如金爱芬(2000)利用细网格推算法进行作物不同等级冷害空间分布特征的研究，吉书琴等人(1998)利用卫星热红外信息监测宁夏低温冷害的分布、强度和路径的研究。由于农作物低温冷害的温度指标一般是以气温的形式给出的，高精度的地温/冠层温度转换为气温的技术也是该领域研究的热点(程勇翔 等，2012；冯美臣 等，2014)。齐述华等人(2005)基于1 km的空间尺度上浓密植被遥感陆面温度与气温近似相等的原理进行了气温反演研究。

1.6 土地资源遥感

农业土地资源是衣食之源，是人类农业生产、生活和经营开发的基础。在1995年启动的国际土地利用/土地覆被变化计划(Turner 等，1995)和2005年启动的全球土地计划(Global Land Project，2005)两大科学研究计划的推动下，利用遥感技术调查和监测自然和社会经济因素共同作用下的农业土地资源的类型、数量、分布、质量及其时空变化过程和规律受到广泛关注。农业土地资源遥感主要包括资源调查和变化监测。资源调查主要利用遥感分类技术方法来获取以空间和质量属性为主的状态信息，变化监测主要利用遥感变化检测技术方法来获取农业土地资源的时空变化信息(王静 等，2006)。经过近20年的快速发展，遥感在不同时空尺度下的农业土地资源调查和监测中发挥了重要作用，无论在理论和技术方法，还是在实践应用方面都取得了长足的进展。

早期的农业土地资源遥感多以耕地时空格局及其动态变化为主，重点监测耕地数量和空间变化态势，及与其他土地利用方式的相互转换特征、规律和过程(唐华俊 等，2015b)。技术方法从最初的目视解译法发展到基于统计学的分类法(如监督分类方法、多时相分类方法、多源数据结合分类法等)，以及其他遥感分类法(如神经元网络方法、模糊数学分类法、随机森林分类法、混合像元分解法等)(唐华俊 等，2010)。此外，面向对象的分类方法，如考虑像元空间邻域特征的上下文分析方法和考虑纹理特征的分类法也成为辅助于光谱特征分类的重要方法(Hu 等，2013)。然而，近年来耕地遥感制图研究呈现出两个明显的发展趋势。一是全球耕地制图受到国际社会高度重视，将高空间分辨率的全球耕地遥感数据研制提上日程。欧洲空间局基于MERIS数据研制了全球300 m空间分辨率的地表覆盖数据GlobCover。中国科学家在世界上率先研制了30m空间分辨率的全球耕地遥感数据产品，即清华大学的FROM-GLC数据集和国家基础地理信息中心的GlobeLand30数据集(Gong 等，2013；Chen 等，2015)，将全球耕地遥感数据集的空间分辨率提高了10倍。二是融合已有的多源耕地数据生产质量更高的耕地数据集受到广泛关注。多源数据融合是在不同来源耕地数据的对比分析基础上，通过一定的数学算法进行融合，凭借多源数据在时空分辨率、完整性、精度等方面的互补性，弥补单个耕地数据集的不足(Lu 等，2016)。融合方法包括基于回归分析的融合、基于数据一致性的融合、基于D-S证据理论的融合、基于数据集成方法的融合、基于模糊集合理论的融和基于统计模型

的融合等6类(陈迪 等，2016)。目前应用最广泛的是基于数据一致性分析的融合方法(Ramankutty 等，2008；Fritz 等，2015)和基于回归分析的融合方法(Kinoshita 等，2014；See 等，2015)。

近年来，随着土地系统概念的不断深入，农业土地资源遥感研究除关注耕地格局变化外，也开始重点关注耕地利用强度和集约度等格局及其变化。耕地的时间和空间利用强度多以耕地复种指数来衡量，即单位面积耕地一年几熟或几年几熟的问题。耕地复种指数遥感监测主要是根据时间序列植被指数年内的周期性变化对植被的生长与衰落等季节活动的准确描述来实现复种指数的有效监测(范锦龙和吴炳方，2004)。不同学者提出了不同的复种指数遥感监测方法，如基于傅里叶变换和决策树方法的耕地复种指数提取(Canisius 等，2007；左丽君 等，2009)；基于交叉拟合度检验法的复种指数提取(辜智慧，2003)。峰值法因其简单易成为目前耕地复种指数遥感监测最为广泛的方法(闫慧敏 等，2005；朱孝林 等，2008；吴文斌 等，2009；徐昔保和杨桂山，2013；丁明军 等，2015)。其假设复种指数与植被指数变化曲线的峰值较吻合，即一年一熟区的植被指数在年内形成明显的单峰曲线，一年两熟区耕地的植被指数形成双峰曲线。如何获取峰值的频数和分布成为关键，常用的方法包括直接比较法和二次差分法。然而，仅单纯计算峰值数目可能造成复种指数监测的误差，因为植被指数曲线会由于影像质量异常而出现噪声波峰。因此，温度数据、物候观测信息或连作和套作特征信息等作为约束条件常常用于对探测的峰值进行判定取舍。

农业土地利用集约度刻画了单位土地面积下农业生产资料(资金、劳动和技术等)投入的高低。目前，遥感技术已经用于水浇地、设施农业和地膜覆盖农田等农业土地利用集约化制图和监测中。水浇地是指有水源保证和灌溉设施，在一般年景能正常灌溉、种植旱生农作物的耕地。传统的非监督分类是水浇地遥感提取中应用最多的方法(董婷婷 等，2010)。FAO的第一张全球灌溉分布图GMIA(Döll和Siebert，2000)、国际水资源管理研究所(IWMI)的全球灌溉面积分布图GIAM(Thenkabail 等，2009)和MIRCA2000(Portmann 等，2010)利用非监督分类方法实现了水浇地的提取。监督分类方法也在水浇地遥感分类得到与应用，Thenkabail等人(2015)利用分层分类的监督分类方法实现了印度Ganges and Indus流域的水浇地分布制图；Mutlu和Garik(2000)利用决策树分类方法实现了美国水浇地和旱地的分类研究；Salmon等人(2015)综合遥感、气候和农业统计等数据，利用监督分类提取了2005年全球灌溉、雨养和水稻田空间分布。

基于遥感的设施农业提取方法包括两种：基于光谱特征的像元级分类和面向对象的遥感影像分类。传统的像元级分类方法受“同物异谱、异物同谱”影响严重，往往会出现较多错分、漏分，提取精度不高。中国设施农业主要是塑料大棚、日光温室及连栋温室，其空间尺度相对较小，具有规则的几何外形和边界，影像形状特征与结构特征清晰可辨，因此，基于高分辨率遥感影像，采用面向对象方法成为设施农业制图的主要方法(罗军 等，2007；王中华和刘一航，2009；邹利东 等，2014)。面向对象分类方法在高分辨率遥感影像应用优势突出，不仅可以充分考虑地物的光谱、形状、纹理及结构等信息，使得分割后形成若干互不交叠的非空子区域，减少“椒盐效应”；同时由于对象内部相对均一，因而在一定程度上减少了“同物异谱、同谱异物”以及混合像元难以提取的现象，所得到的设施农业分类精度远高于像元级的分类结果。尽管面向对象的分类方法对于提取设施农业有明显的优势，但它的特征提取部分要综合考虑地物的光谱、纹理和形状等信息，信息量比基于像元的方法大得多，面对这些高维度信息，遥感领域亟需推广一种普适性的高维数据分类算法。

地膜覆盖是20世纪中叶发展起来的一种以人工方法改善农作物生长环境的栽培技术，在中国使用面积广、强度大、增长速度快，地膜覆盖农田遥感监测日益成为农业土地资源遥感的热点方向。除常用的30 m空间分辨率Landsat TM数据在山东和新疆研究区的地膜覆盖制图中得到了应用(Zhao 等，2004；沙先丽，2012；Lu 等，2014)外，多数研究是利用米级空间分辨率的高分遥感数据进行地膜覆盖农田信息的提取，如Levin 等用1 m空间分辨率的AISA-ES高光谱数据提取地膜，透明塑料膜和黑色塑料膜提取精度分别达到90%和70%以上(Levin 等，2007)；Agüera 等人(2008)以及Agüera和Liu(2009)等利用最大似然法从

Quickbird和IKONOS影像提取温室大棚，两种影像数据都满足提取信息要求；Koc-San以WorldView-2数据源，分析了最大似然法、随机森林和支持向量机分类方法对玻璃温室棚和塑料温室棚识别能力，结果表明支持向量机的精度最高，其次是随机森林(Koc-San，2013)。Hasituya等人(2016)则综合考虑Landsat-8 OLI数据的光谱和纹理特征，建立了基于支持向量机的地膜覆盖农田识别方法。然而，目前的地膜覆盖农田研究多在小区域进行，区域尺度的制图方法和策略研究仍需要深入研究；此外，已有研究多集中在温室大棚或小拱棚为主的地膜监测，而中国使用面积最大的是塑料地膜(约占95%，其中99%为透明地膜)遥感监测研究仍较薄弱。

2 中国农业遥感研究展望

中国农业遥感的研究与应用在过去20年取得了全面发展与进步。在“十三五”以及未来10年，随着高分专项的进一步深入实施以及国家空间基础设施建设的推进，将有更多的国产卫星发射。随着传感器、物联网、互联网+、大数据、人工智能等技术的发展，以及现代农业发展的需求，农业遥感技术的研究与应用将进一步深入发展。主要表现在：

(1)天地网一体化的农业遥感数据的获取。遥感数据的获取是农业遥感研究与应用的基础。在过去的20年中国自主的陆地资源卫星遥感数据从无到有，数据的种类不断增多，数据质量也不断提高，有力支撑了农业遥感研究与应用。现在卫星遥感数据对农业遥感研究与应用的满足度还不高，从卫星和传感器参数的设计还没有充分体现农业的需求。关键作物生长期与关键农事管理节点需要微波遥感全天候农业遥感数据获取，农业定量遥感、作物品种与品质监测、病虫害遥感监测等需要高光谱遥感数据，另外荧光遥感、偏振遥感等新型遥感器在作物生理与生长状态监测方面都讲发挥重要作用。另外，为满足农业遥感的需求，未来卫星与遥感器设计还应该考虑多种遥感器的协同与立体观测。中国航空遥感也得到了快速发展，特别是无人机遥感呈现爆发式发展，为农业遥感提供了新的数据获取手段。由于农业自身的特点，未来基于有人机和无人机的航空遥感将是农业遥感数据获取的重要组成部分，应该重点发展。传感器技术和互联网技术的快速发展催生了物联网的诞生于飞速发展，基于地面固定平台、车载等移动平台以及人基智能终端的新型物联网将是农业遥感数据获取的重要组成部分。未来中国农业遥感的研究与应用将在天地网一体化的遥感数据获取体系的支持下开展。

(2)人工智能与大数据等新技术的应用。农业遥感中不管作物种类、土地利用类型等的分类识别，还是作物生长状态的定量遥感，都是非常复杂的认知系统。由于遥感数据本身波段间的相关性，遥感器设计波段的有限性，以及地物同物异谱、异物同谱的光谱复杂性，从数学上讲遥感信息提取的遥感反演都是病态反演，需要先验知识的支持。人工智能与大数据技术的发展，为包括农业遥感信息提取与信息反演的应用提供了信息的技术途径，也将推动农业遥感理论与应用的发展。

(3)拓宽农业遥感的应用范围和应用领域。中国农业遥感在过去20年，在精准农业、农业保险监测与评估、农业工程监测、农业政策效果评估等方面也开展研究与应用，并取得初步成效。如应用遥感技术进行作物表型研究，促进的作物遗传育种的工作。遥感技术作为一门新技术在农业的研究与应用多个领域具有广泛应用前景，通过与农学领域的其他学科交叉结合，不仅可以从方法学上推动其他学科发展，同时这种跨学科应用也将丰富农业遥感的理论与技术方法体系。

参考文献(References)

Agüera F, Aguilar F J and Aguilar M A. 2008.Using texture analysis to improve per-pixel classification of very high resolution images for mapping plastic greenhouses. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 63(6): 635–646 [DOI:10.1016/j.isprsjprs.2008.03.003]

Agüera F and Liu J G. 2009.Automatic greenhouse delineation from QuickBird and Ikonos satellite images. Computers and Electronics in Agriculture, 66(2): 191–200 [DOI: 10.1016/j.compag.2009.02.001]

Atzberger C. 2013. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. Remote Sensing, 5(2): 949–981 [DOI: 10.3390/rs5020949]

Bai Y L, Yang L P, Wang L, Lu Y L and Wang H. 2010.Theagricul-

turelow-altitude remote sensing technology and its application prospect.Agriculture Network Information, (1): 5–7 (白由路, 杨俐苹, 王磊, 卢艳丽, 王贺. 2010. 农业低空遥感技术及其应用前景. 农业网络信息, (1): 5–7) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-6251.2010.01.002]

Cai J and Jiang D. 2011. The effect of climate change on winter wheat production in China. Journal of Agro-Environment Science, 30(9): 1726–1733 (蔡剑, 姜东. 2011. 气候变化对中国冬小麦生产的影响. 农业环境科学学报, 30(9): 1726–1733)

Canisius F, Turral H and Molden D. 2007.Fourier analysis of historical NOAA time series data to estimate bimodal agriculture. International Journal of Remote Sensing, 28(24): 5503–5522 [DOI: 10.1080/01431160601086043]

Chen H L, Li Y and Zhang H W.2015.Operational application and research review of crop growthmonitoring with remote sensing. Meteorological and Environmental Sciences, 38(1): 95–101 (陈怀亮, 李颖, 张红卫. 2015. 农作物长势遥感监测业务化应用与研究进展. 气象与环境科学, 38(1): 95–101) [DOI: 10.3969/j.issn.1673-7148.2015.01.013]

Chen J, Chen J, Liao A P, Cao X, Chen L J, Chen X H, He C Y, Han G, Peng S, Lu M, Zhang W W, Tong X H and Mills J. 2015. Global land cover mapping at 30 m resolution: a POK-based operationalapproach. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 103:7-27 [DOI:10.1016/j.isprsjprs.2014.09.002]

Chen S S, Liu Q H, Chen L F, Li J and Liu Q. 2005. Review of research advances in remote sensing monitoring of grain crop area. Transactions of the CSAE, 21(6): 166–171 (陈水森, 柳钦火, 陈良富, 李静, 刘强. 2005. 粮食作物播种面积遥感监测研究进展. 农业工程学报, 21(6): 166–171) [DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2005.06.037]

Chen Z X, Li S, Ren J Q, Gong P, Zhang M W, Wang L M, Xiao S L and Jiang D H. 2008. Monitoring and management of agriculture with remote sensing//Liang S L, ed. Advances in Land Remote Sensing: System, Modeling, Inversion and Application. Netherlands:Springer: 397–421 [DOI: 10.1007/978-1-4020-6450-0_15]

Chen Z X, Liu H Q, Zhou Q B, Yang G X and Liu J. 2000. Sampling and scaling scheme for monitoring the change of winter wheat acreage in China.Transactions of the CSAE, 16(5): 126–129 (陈仲新, 刘海启, 周清波, 杨桂霞, 刘佳. 2000. 全国冬小麦面积变化遥感监测抽样外推方法的研究. 农业工程学报, 16(5): 126–129) [DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2000.05.033]

Chen Z X, Zhou Q B, LiuJ, Wang L M, Ren J Q, Huang Q, Deng H, Zhang L and LiD D. 2011. CHARMS-China agricultural remote sensing monitoring system//Proceedings of 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'2011). Vancouver, BC: IEEE: 3530–3533 [DOI: 10.1109/IGARSS.2011.6049983]

Cheng Y X, Wang X Z, Guo J P, Zhao Y X and Huang J F. 2012. Methods review of monitoring, evaluation and forecasting ofcrop cold damage.Chinese Journal of Agrometeorology, 33(2): 297–303 (程勇翔, 王秀珍, 郭建平, 赵艳霞, 黄敬峰. 2012. 农作物低温冷害监测评估及预报方法评述. 中国农业气象, 33(2): 297–303) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-6362.2012.02.023]

Chosa T, Miyagawa K, Tamura S, Yamazaki K, Iiyoshi S, Furuhata M and Motobayashi K. 2010. Monitoring rice growth over a production region using an unmanned aerial vehicle: preliminary trial for establishing a regional rice strain//Proceedings of the 3rd IFAC International Conference Agricontrol. Australia: IFAC [DOI: 10.3182/20101206-3-JP-3009.00031]

Ding M J, Chen Q, Xin L J, Li L H and Li X B. 2015. Spatial and temporal variations of multiple cropping index in China based on SPOT-NDVI during 1999–2013. Acta Geographica Sinica, 70(7): 1080–1090 (丁明军, 陈倩, 辛良杰, 李兰晖, 李秀彬.2015. 1999–2013年中国耕地复种指数的时空演变格局. 地理学报, 70(7): 1080–1090) [DOI: 10.11821/dlxb201507005]

Döll P and Siebert S. 2000. A digital global map of irrigated areas.ICID Journal, 49(2): 55–66

Dong T T, Wang Z Yand Wu Y F. 2010.Progress in the research on classification of irrigated land and dry land. Remote Sensing Information, (4): 129–134 (董婷婷, 王振颖, 武玉峰. 2010. 水浇地与旱地分类的研究进展. 遥感信息, (4): 129–134) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2010.04.023]

Du X, Wu B F, Li Q Z, Meng J H and Jia K. 2009.A method to estimated winter wheat yield with the MERIS data//Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium. Beijing: PIERS

Fan J L and Wu B F. 2004. A methodology for retrieving cropping index from NDVI profile. Journal of Remote Sensing, 8(6): 628–636 (范锦龙, 吴炳方. 2004. 复种指数遥感监测方法.遥感学报, 8(6): 628–636) [DOI: 10.11834/jrs.20040613]

Fang H L, Liang S L, Hoogenboom G, Teasdale J and Cavigelli M. 2008.Corn-yield estimation through assimilation of remotely sensed data into the CSM-CERES-Maize model. International Journal of Remote Sensing, 29(10): 3011–3032 [DOI:10.1080/01431160701408386]

Feng L, Wu W, Chen X L, Tian L Q, Cai X B and Su G Z. 2010.Diseases and insect pests area monitoring for winter wheat based on-HJ-CCD imagery.Transactions of the CSAE, 26(7): 213–219 (冯炼, 吴玮, 陈晓玲, 田礼乔, 蔡晓斌, 苏国振. 2010. 基于HJ卫星CCD数据的冬小麦病虫害面积监测. 农业工程学报, 26(7): 213–219) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.07.037]

Feng M C, Wang C, Yang W D, Zhang M J and Xiao L J. 2014. Progress of remote sensing monitoring crop chilling and freeze injury. Journal ofShanxi AgriculturalUniversity(Natural Science Edition), 34(4): 296–300 (冯美臣, 王超, 杨武德, 张美俊, 肖璐洁. 2014. 农作物冷冻害遥感监测研究进展. 山西农业大学学报(自然科学版), 34(4): 296–300) [DOI: 10.3969/j.issn.1671-8151.2014.

04.002]

Feng S Y, Ma Y, Huo Z Land Song X F. 2012. Simulation study of field water transformation under deficit irrigation with SWAP model. Transactions of the CSAE, 28(4): 60–68 (冯绍元, 马英, 霍再林, 宋献方. 2012. 非充分灌溉条件下农田水分转化SWAP模拟. 农业工程学报, 28(4): 60–68) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.04.010]

Feng W, Yao X, Zhu Y, Tian Y C and Cao W X.2008.Monitoring leaf nitrogen concentration by hyperspectral remote sensing in wheat.Journal of Triticeae Crops, 28(5): 851–860 (冯伟, 姚霞, 朱艳, 田永超, 曹卫星. 2008. 基于高光谱遥感的小麦叶片含氮量监测模型研究. 麦类作物学报, 28(5): 851–860)

Fritz S, See L, McCallum I, You L, Bun A, Moltchanova E, Duerauer M, Albrecht F, Schill C, Perger C, Havlik P, Mosnier A, Thornton P, Wood-Sichra U, Herrero M, Becker-Reshef I, Justice C, Hansen M, Gong P, Abdel Aziz S, Cipriani A, Cumani R, Cecchi G, Conchedda G, Ferreira S, Gomez A, Haffani M, Kayitakire F, Malanding J, Mueller R, Newby T, Nonguierma A, Olusegun A, Ortner S, Rajak DR, Rocha J, Schepaschenko D, Schepaschenko M, Terekhov A, Tiangwa A, Vancutsem C, Vintrou E, Wenbin W, van der Velde M, Dunwoody A, Kraxner F and Obersteiner M. 2015. Mapping global cropland and field size. Global Change Biology, 21(5): 1980–1992 [DOI: 10.1111/gcb.12838]

Global Land Project. 2005. Science Plan and Implementation Strategy. Stockholm: IGBP Secretariat

Gong P, Wang J, Yu, L, Zhao Y C, Zhao Y Y, Liang L, Niu Z G, Huang X M, Fu H H, Liu S, Li C C, Li X Y, Fu W, Liu C X, Yue X, Wang X Y, Cheng Q, Hu L Y, Yao W B, Zhang H, Zhu P, Zhao Z Y, Zhang H Y, Zheng Y M, Ji L Y, Zhang Y W, Chen H, Yan A, Guo J H, Liang Y, Wang L, Liu X J, Shi T T, Zhu M H, Chen Y L, Yang G W, Tang P, Xu B, Giri C, Clinton N, Zhu Z L, Chen J and Chen J. 2013. Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data. International Journal of Remote Sensing, 34(7): 2607–2654 [DOI:10.1080/01431161.2012.748992]

Gu Z H. 2003. A study of calculating multiple cropping index of crop in China using SPOT/VGT multi-temporal NDVI data. Beijing: Beijing Normal University (辜智慧. 2003. 中国农作物复种指数的遥感估算方法研究——基于SPOT/VGT多时相NDVI遥感数据.北京: 北京师范大学)

Guo L, Pei Z Y, Zhang SL, Sun J Y, Liang Z L and Teng D J. 2010.Estimation method of sugarcane leaf area index using HJ CCD images.Transactions of the CSAE, 26(10): 201–205 (郭琳, 裴志远, 张松龄, 孙娟英, 梁自力, 腾冬建. 2010. 基于环境星CCD图像的甘蔗叶面积指数反演方法. 农业工程学报, 26(10): 201–205) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.10.034]

Hasituya, Chen Z X, Wang L M, Wu W B, Jiang Z W and Li H. 2016. Monitoring plastic-mulched farmland by Landsat-8 OLI imagery using spectral and textural features. Remote Sensing, 8(4): 353 [DOI: 10.3390/rs8040353]

He J, Liu B F and Li J. 2014.Monitoring model of leaf area index of winter wheat based on hyperspectral reflectance atdifferent growth stages. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 30(24): 141–150 (贺佳, 刘冰锋, 李军. 2014. 不同生育时期冬小麦叶面积指数高光谱遥感监测模型. 农业工程学报, 30(24): 141–150) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.24.017]

He Y J, Pan X B, Pei Z Y, Ma S J, McNirn H andShang J L. 2013. Estimation of LAI and yield of sugarcane based on SPOT remote sensing data.Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 44(5): 226–231 (何亚娟, 潘学标, 裴志远, 马尚杰, McNirn H, Shang J L. 2013. 基于SPOT遥感数据的甘蔗叶面积指数反演和产品估算. 农业机械学报, 44(5): 226–231) [DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.039]

Hu Q, Wu W B, Xia T, Yu Q Y, Yang P, Li Z G and Song Q. 2013. Exploring the use of Google Earth imagery and object-based methods in land use/cover mapping. Remote Sensing, 5(11): 6026–6042 [DOI:10.3390/rs5116026]

Hua G Q.2011. Study on maize growth monitoring and maize mapping based on full-polarization SAR data.Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology (化国强. 2011. 基于全极化SAR数据玉米长势监测及制图研究.南京: 南京信息工程大学)

Huang M Y, Wang J H, Huang Y D, Huang W J, Zhao C J and Liu L Y. 2004. Research progress for monitoring the winter wheat striperust by hyperspectral remote sensing. Journal of Anhui Agricultural University, 31(1): 119–122 (黄木易, 王纪华, 黄义德, 黄文江, 赵春江, 刘良云. 2004. 高光谱遥感监测冬小麦条锈病的研究进展(综述). 安徽农业大学学报, 31(1): 119–122) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-352X.2004.01.027]

Huang Q, Li D D, Chen Z X, Liu J and Wang LM. 2012.Monitoring of planting area and growth condition of winterwheat in china based on MODIS data.Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 43(7): 163–167 (黄青, 李丹丹, 陈仲新, 刘佳, 王利民. 2012. 基于MODIS数据的冬小麦种植面积快速提取与长势监测.农业机械学报, 43(7): 163–167) [DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.07.030]

Huang Q, Tang H J, Zhou Q B, Wu W B, Wang LM and Zhang L.2010. Remote-sensing based monitoring of planting structure and growthcondition of major crops in Northeast China.Transactions of the CSAE, 26(9): 218–223 (黄青, 唐华俊, 周清波, 吴文斌, 王利民, 张莉. 2010. 东北地区主要作物种植结构遥感提取及长势监测. 农业工程学报, 26(9): 218–223) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.09.037]

Huang Q, Teng F, Ren J Q, Wu W B, Li D D and Deng H. 2012. The application of China-CGMS in the main crop growth monitoring in Northeast China//Proceedings of the 1st International Confer-

ence on Agro-Geoinformatics. Shanghai: IEEE [DOI: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2012.6311698]

Huang Q, Zhou Q B, Wang L M and Li D D. 2014.Relationship between winter wheat growth grades obtainedfrom remote-sensing and meteorological factor. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 45(12): 301–307 (黄青, 周清波, 王利民, 李丹丹. 2014. 基于遥感的冬小麦长势等级与气象因子相关性分析. 农业机械学报, 45(12): 301–307) [DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.12.043]

Ji S Q, Zhang Y S, Guan D X and Zhang S J.1998. Remote sensing monitoring on crop chilling damage and meteorological prediction. Journal of Shenyang Agricultural University, 29(1): 16–20 (吉书琴, 张玉书, 关德新, 张淑杰. 1998. 辽宁地区作物低温冷害的遥感监测和气象预报.沈阳农业大学学报, 29(1): 16–20)

Jia M Q. 2013. Research on rice microwave scattering mechanism and parameter inversion. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China (贾明权. 2013. 水稻微波散射特性研究及参数反演. 成都: 电子科技大学)

Jia Y Q, Li B, Cheng Y Z, Liu T, Guo Y, Wu X H and Wang LG. 2015. Comparison between GF-1 images and Landsat-8 images in monitoringmaize LAI.Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 31(9): 173–179 (贾玉秋, 李冰, 程永政, 刘婷, 郭燕, 武喜红, 王来刚. 2015. 基于GF-1与Landsat-8多光谱遥感影像的玉米LAI反演比较. 农业工程学报, 31(9): 173–179) [DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.09.027]

Jiang D, Wang N B and Yang X H. 1999. Study on forecasting of crop yield using satellite remote sensing in China. Chinese Journal of Nature, 21(6): 351–355 (江东, 王乃斌, 杨小唤. 1999. 我国粮食作物卫星遥感估产的研究. 自然杂志, 21(6): 351–355) [DOI: 10.3969/j.issn.0253-9608.1999.06.012]

Jiang X D, Xu Z Y and Lou J.2001. Study on monitering winter wheatsown areas in northern Anhui province by use of the CBERS-1satellite remote sensing image. Geology of Anhui, 11(4): 297–302 (蒋旭东, 徐振宇, 娄径. 2001. 应用CBERS-1卫星数据进行安徽省北部冬小麦播种面积监测研究. 安徽地质, 11(4): 297–302) [DOI: 10.3969/j.issn.1005-6157.2001.04.013]

JiangZ W, Chen Z X, Chen J, Liu J, Ren J Q, LiZ N, Sun L and Li H. 2014a. Application of crop model data assimilation with a particle filter for estimating regional winter wheat yields. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(11): 4422–4431 [DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2316012]

Jiang Z W, Chen Z X, Chen J, Ren J Q, Li Z N and Sun L. 2014b. The estimation of regional crop yield usingensemble-based four-dimensional variational data assimilation. Remote Sensing, 6(4): 2664–2681 [DOI:10.3390/rs6042664]

Jiang Z W, Chen Z X, Ren J Q andZhou Q B. 2012. Estimation of crop yield using CERES-Wheat model based on particle filterdata assimilation method. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 28(14): 138–146 (姜志伟, 陈仲新, 任建强, 周清波. 2012. 粒子滤波同化方法在CERES-Wheat作物模型估产中的应用.农业工程学报, 28(14): 138–146) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.14.022]

Jiang Z W. 2012.Study of the remote sensing data assimilation technology for regional winter wheat yield estimation.Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science (姜志伟. 2012. 区域冬小麦估产的遥感数据同化技术研究. 北京: 中国农业科学院研究生院)

Jiao X F, Yang B J and Pei Z Y. 2006. Paddy rice area estimation using a stratified sampling method with remote sensing in China.Transactions of the CSAE, 22(5): 105–110 (焦险峰, 杨邦杰, 裴志远. 2006. 基于分层抽样的中国水稻种植面积遥感调查方法研究. 农业工程学报, 22(5): 105–110) [DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2006.05.024]

Jin A F. 2000.Geographical distribution of delayed chilling injury of bean in Yanbian.Yanji: Yanbian University (金爱芬.2000. 延边地区粮豆作物延迟型冷害的地理分布规律研究.延吉: 延边大学)

Ju W M, Sun H and Tang Z C. 1997. Estimation of flooded area with weather satellite remote sensing technique.Scientia Meteorologica Sinica, 17(2): 131–136 (居为民, 孙涵, 汤志成.1997.气象卫星遥感估算洪涝面积.气象科学, 17(2): 131–136)

Kinoshita T, Iwao K and Yamagata Y. 2014.Creation of a global land cover and a probability map through a new map integration method. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 28: 70–77 [DOI: 10.1016/j.jag.2013.10.006]

Koc-San D. 2013.Evaluation of different classification techniques for the detection of glass and plastic greenhouses from WorldView-2 satellite imagery. Journal of Applied Remote Sensing, 7(1): 073553 [DOI: 10.1117/1.JRS.7.073553]

Kong L Y, Yan H, Bao Y S and Chen H L. 2012.Remote sensor monitoring method for winter wheat growth based on keydevelopment periods. Chinese Journal of Agrometeorology, 33(3): 424–430 (孔令寅, 延昊, 鲍艳松, 陈怀亮. 2012. 基于关键发育期的冬小麦长势遥感监测方法. 中国农业气象, 33(3): 424–430) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-6362.2012.03.016]

Kuenzer C, Guo H D, Huth J, Leinenkugel P, Li X W and Dech S. 2013. Flood mapping and flood dynamics of the Mekong Delta: ENVISAT-ASAR-WSM based time series analyses. Remote Sensing, 5(2): 687–715 [DOI: 10.3390/rs5020687]

Leng P, Song X N, Li Z L, Ma J W, Zhou F C and Li S. 2014. Bare surface soil moisture retrieval from the synergistic use of optical and thermal infrared data. International Journal of Remote Sensing, 35(3): 988–1003 [DOI: 10.1080/01431161.2013.875237]

Levin N, Lugassi R, Ramon U, Braun O and Ben-Dor E. 2007.Remote sensing as a tool for monitoring plasticulture in agricultural landscapes. International Journal of Remote Sensing, 28(1): 183–202 [DOI: 10.1080/01431160600658156]

Li H L and Luo Y. 2009. Spatiotemporalvariations of crop radiation use

efficiency and harvest index: research progress.Chinese Journal of applied ecology, 20(12): 3093–3100 (李贺丽, 罗毅. 2009. 作物光能利用效率和收获指数时空变化研究进展. 应用生态学报, 20(12): 3093–3100)

LI H, Chen ZX, Jiang Z W, Wu W B, Ren J Q, Liu B and Hasituya. 2016a. Comparative analysis of GF-1, HJ-1, and Landsat-8 data for estimating the leaf area index of winter wheat.Journal of Integrative Agriculture [DOI: 10.1016/S2095-3119(15)61293-X]

LI H, Jiang Z W, Chen Z X, Ren J Q, Liu B and Hasituya. 2016b. Assimilation of temporal-spatial leaf area index into the CERES-Wheat model with Ensemble Kalman Filter and uncertainty assessment for improving winter wheat yield estimation. Journal of Integrative Agriculture [DOI: 10.1016/S2095-3119(16)61351-5]

Li J G, Huang S F and Li J R. 2010. Research on extraction of water body from ENVISATASAR images: a modified Otsu threshold method. Journal of Natural Disaster, 19(3): 139–145 (李景刚, 黄诗峰, 李纪人. ENVISAT卫星先进合成孔径雷达数据水体提取研究--改进的最大类间方差阈值法.自然灾害学报, 19(3): 139–145) [DOI: 10.13577/j.jnd.2010.0323]

Li J, Ren H L, Liu S and Tang X L. 2012. Quantitative analysis of remote sensing monitoring information of rainstorm and floodin 2010, Jilin.Jilin Meteorology, (2): 38–41 (李健, 任红玲, 刘实, 唐晓玲. 2012. 2010年夏季吉林省特大暴雨洪涝灾害遥感监测信息的定量分析. 吉林气象, (2): 38–41)

Li KL, Jiang JJ, Mao RZ and Ni SX.2005.The modeling of vegetation through leaf area index by means of remote sensing.Acta Ecologica Sinica, 25(6): 1491–1496 (李开丽, 蒋建军, 茅荣正, 倪绍祥. 2005. 植被叶面积指数遥感监测模型. 生态学报, 25(6): 1491–1496) [DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2005.06.038]

Li W G, Li Z J and Yang C. 2010.Grading monitoring of winter wheat growth condition by CBERS satellite image.Journal of Agricultural Science and Technology, 12(3): 79–83 (李卫国, 李正金, 杨澄. 2010. 基于CBERS遥感的冬小麦长势分级监测. 中国农业科技导报, 12(3): 79–83) [DOI: 10.3969/j.issn.1008-0864.2010.03.14]

Li W G, Zhao C J, Wang J Hand Liu L Y. 2007.Research situation and progress of wheat condition monitoring based on growth model and remote sensing.Remote Sensing for Land & Resources, (2): 6–9 (李卫国, 赵春江, 王纪华, 刘良云. 2007. 遥感和生长模型相结合的小麦长势监测研究现状与展望. 国土资源遥感, (2): 6–9) [DOI: 10.3969/j.issn.1001-070X.2007.02.002]

Liang L, Yang M H, Zhang L P and Lin H. 2011.Wheat leaf area index inversion using hyperspectral remote sensingtechnology.Spectroscopy and Spectral Analysis, 31(6): 1658–1662 (梁亮, 杨敏华, 张连蓬, 林卉. 2011. 小麦叶面积指数的高光谱反演.光谱学与光谱分析, 31(6): 1658–1662) [DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)06-1658-05]

Liu F, Li C J, Dong Y Y, Wang Q, Wang J H andHuang W J. 2011. Monitoring crop growth based on assimilation of remote sensing data and cropsimulation model. Transactions of the CSAE, 27(10): 101–106 (刘峰, 李存军, 董莹莹, 王芊, 王纪华, 黄文江. 2011. 基于遥感数据与作物生长模型同化的作物长势监测. 农业工程学报, 27(10): 101–106) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.10.018]

Liu G D, Wu M Q, Niu Z and Wang C Y. 2015. Investigation method for crop area using remote sensing sampling based on GF-1 satellite data. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 31(5): 160–166. (刘国栋, 邬明权, 牛铮, 王长耀. 2015. 基于GF-1卫星数据的农作物种植面积遥感抽样调查方法. 农业工程学报, 31(5): 160–166) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2015.05.023]

Liu H J, Zhao C J, Wang J H, Huang W J and Zhang X L.2011. Soil organic matter predicting with remote sensing image in typicalblack-soil area of Northeast China.Transactions of the CSAE, 27(8): 211–215 (刘焕军, 赵春江, 王纪华, 黄文江, 张新乐. 2011. 黑土典型区土壤有机质遥感反演. 农业工程学报, 27(8): 211–215) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.08.036]

Liu J S, Cao W B and Ma R. 2008.Study on remote sensing estimation models about LAI of cotton. Scientia Agricultura Sinica, 41(12): 4301–4306 (刘姣娣, 曹卫彬, 马蓉. 2008. 棉花叶面积指数的遥感估算模型研究. 中国农业科学, 41(12): 4301–4306) [DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2008.12.048]

Liu L Y, Huang M Y, Huang W J, Wang J H, Zhao C J, Zheng L F and Tong Q X. 2004. Monitoring stripe rust disease of winter wheat using multi-temporalhyperspectral airborne data.Journal of Remote Sensing, 8(3): 275–281 (刘良云, 黄木易, 黄文江, 王纪华, 赵春江, 郑兰芬, 童庆禧.2004. 利用多时相的高光谱航空图像监测冬小麦条锈病.遥感学报, 8(3): 275–281) [DOI: 10.11834/jrs.20040313]

Liu L, Shen R P and Ding G X. 2011. Studies on the estimation of soil organic matter content based on hyper-spectrum.Spectroscopy and Spectral Analysis, 31(3): 762–766 (刘磊, 沈润平, 丁国香. 2011. 基于高光谱的土壤有机质含量估算研究. 光谱学与光谱分析, 31(3): 762–766) [DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)03-0762-05]

Liu T, Su W, Wang C, Liu R, Li Z and Jiang F F. 2016. A method of estimating maize LAI using airborne LiDAR data. Journal of China Agricultural University, 21(3): 104–111 (刘婷, 苏伟, 王成, 刘睿, 李治, 姜方方. 2016. 基于机载LiDAR数据的玉米叶面积指数反演. 中国农业大学学报, 21(3): 104–111) [DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2016.03.14]

Lu L Z, Di L P and Ye Y M. 2014.A decision-tree classifier for extracting transparent plastic-mulched landcover from Landsat-5 TM images. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(11): 4548–4558 [DOI:10.1109/JSTARS.2014.2327226]

Lu M, Wu W B, Zhang L, Liao A P, Peng S and Tang H J. 2016. A

comparative analysis of five global cropland datasets in China. Science China Earth Sciences, in press

Luo J, Pan Y C, Wang J H, Lu Z, Cao R L and Yan G J. 2007. Study on building agricultural resource information collection technology based on high-resolution remote sensing image. Geography and Geo-information Science, 23(3): 51–54 (罗军, 潘瑜春, 王纪华, 陆洲, 曹荣龙, 阎广建. 2007. 基于高分辨率遥感影像的设施农业资源信息采集技术研究. 地理与地理信息科学, 23(3): 51–54) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-0504.2007.03.012]

Ma Y P, Wang S L, Zhang L and Hou Y Y. 2005.A preliminary study on the re-initialization/re-parameterization of a crop model based on remote sensing data.Acta Phytoecologica Sinica, 29(6): 918–926 (马玉平, 王石立, 张黎, 侯英雨. 2005. 基于遥感信息的作物模型重新初始化/参数化方法研究初探. 植物生态学报, 29(6): 918–926)

Meng J H. 2006. Research to crop growth monitoring indicators with remote sensing.Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (蒙继华. 2006. 农作物长势遥感监测指标研究. 北京: 中国科学院研究生院)

Mo W H. 2006.Monitoring flood disaster with remotely sensed data from EOS/MODIS. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology (莫伟华. 2006. 基于EOS/MODIS卫星数据的洪涝灾害遥感监测应用技术研究. 南京: 南京信息工程大学)

Ozdogan M and Gutman G. 2008. A new methodology to map irrigated areas using multi-temporal MODIS and ancillary data: an application example in the continental US. Remote Sensing of Environment, 112(9): 3520–3537 [DOI: 10.1016/j.rse.2008.04.010]

Niu Z, Chen Y H, Sui H Z, Zhang Q Y and Zhao C J. 2000.Mechanism analysis of leaf biochemical concentration byhigh spectral remote sensing. Journal of Remote Sensing, 4(2): 125–130 (牛铮, 陈水华, 隋洪智, 张庆员, 赵春江. 2000. 叶片化学组分成像光谱遥感探测机理分析. 遥感学报, 4(2): 125–130) [DOI: 10.11834/jrs.20000208]

Pan B, Zhao G X, Zhu X C and Wang N N. 2012.Estimation of phosphorus content in apple tree canopy based on hyperspectrum. Infrared, 33(6): 27–31 (潘蓓, 赵庚星, 朱西存, 王娜娜. 2012. 基于高光谱的苹果树冠层磷素状况估测模型研究. 红外, 33(6): 27–31) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.06.006]

Pan Y Z, Zhang J S, Zhu W Q and Zhao J H. 2013.Grain Crop Acreage Statistical Measurement and Yield Estimation by Remote Sensing. Beijing: Science Press (潘耀忠, 张锦水, 朱文泉, 赵建华. 2013. 粮食作物种植面积统计遥感测量与估产.北京: 科学出版社)

Pei Z Y and Yang B J. 1999.Study on macroscopical flood hazard monitoringbyremote sensing using NOAA image. Transactions of the CSAE, 15(4): 203–206 (裴志远, 杨邦杰. 1999. 应用NOAA图像进行大范围洪涝灾害遥感监测的研究. 农业工程学报, 15(4): 203–206) [DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.1999.04.041]

Portmann F T, Siebert S and Doll P. 2010. MIRCA2000-Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: a new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. Global Biogeochemical Cycles, 24(1): Gb1011[DOI: 10.1029/2008gb003435]

Qi S H, Wand J B, Zhang Q Y, Luo C F and Zheng L. 2005.Study onthe estimation of air temperature from MODIS data. Journal of Remote Sensing, 9(5): 570–575 (齐述华, 王军邦, 张庆员, 骆成凤, 郑林. 2005. 利用MODIS遥感影像获取近地层气温的方法研究.遥感学报, 9(5): 570–575) [DOI: 10.11834/jrs.20050583]

Qian Y L, Hou Y Y, Yan H, Mao L X, Wu M X and He Y B.2012.Global crop growth condition monitoring and yield trend prediction with remotesensing. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 28(13): 166–171 (钱永兰, 侯英雨, 延昊, 毛留喜, 吴门新, 何延波. 2012. 基于遥感的国外作物长势监测与产量趋势估计. 农业工程学报, 28(13): 166–171)

Ramankutty N, Evan A T, Monfreda C and Foley J A. 2008.Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. Global Biogeochemical Cycles, 22(1): GB1003[DOI:10.1029/2007GB002952]

Ren J Q, Chen ZX, Tang H J and Shi R X. 2006.Regional yield estimation for winter wheat basedon net primary production model. Transactions of the CSAE, 22(5): 111–117 (任建强, 陈仲新, 唐华俊, 石瑞香. 2006. 基于植物净初级生产力模型的区域冬小麦估产研究. 农业工程学报, 22(5): 111–117) [DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2006.05.025]

Ren J Q, Chen Z X, Tang H J, Zhou Q B and Qin J. 2011. Regional crop yield simulation based on crop growth model and remote sensing data. Transactions of the CSAE, 27(8): 257–264 (任建强, 陈仲新, 唐华俊, 周清波, 秦军. 2011. 基于遥感信息与作物生长模型的区域作物单产模拟. 农业工程学报, 27(8): 257–264) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.08.045]

Ren J Q, Chen Z X, Tang H J and Zhou Q B. 2007. Yield estimation for winter wheat at regional scale usinglong-time series NOAA-NDVI data. Remote Sensing Technology andApplication, 22(3): 326–332 (任建强, 陈仲新, 唐华俊, 周清波. 2007. 长时间序列NOAA-NDVI数据在冬小麦区域估产中的应用. 遥感技术与应用, 22(3): 326–332) [DOI: 10.3969/j.issn.1004-0323.2007.03.005]

Ren J Q, Chen Z X, Zhou Q B, Liu J and Tang H J.2015. MODIS vegetation index data used for estimating corn yield in USA. Journal of Remote Sensing, 19(4): 568–577 (任建强, 陈仲新, 周清波, 刘佳, 唐华俊. 2015. MODIS植被指数的美国玉米单产遥感估测. 遥感学报, 19(4): 568–577) [DOI: 10.11834/jrs.20154146]

Ren J Q, Chen Z X, Zhou Q B and Tang H J. 2010a. LAI-based regional winter wheat yield estimation by remote sensing. Chinese Journal of Applied Ecology, 21(11): 2883–2888 (任建强, 陈仲新, 周清波, 唐华俊. 2010a. 基于叶面积指数反演的区域冬小麦单产遥感估测. 应用生态学报, 21(11): 2883–2888)

Ren J Q, Chen Z X, Zhou Q B andTang H J. 2010b. Retrieving the spatial-explicit harvest index for winter wheat from NDVItime series data. Transactions of the CSAE, 26(8): 160–167 (任建强, 陈仲新, 周清波, 唐华俊. 2010b. 基于时序归一化植被指数的冬小麦收获指数空间信息提取. 农业工程学报, 26(8): 160–167) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.08.028]

Ren J Q, Chen Z X, Zhou Q B and Tang H J. 2008. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10(4): 403–413 [DOI: 10.1016/j.jag.2007.11.003]

Ren J Q, Liu X R, Chen Z X, Zhou Q BandTang H J. 2009. Prediction of winter wheat yield based on crop biomass estimation at regional scale. Chinese Journal of Applied Ecology, 20(4): 872–878 (任建强, 刘杏认, 陈仲新, 周清波, 唐华俊. 2009. 基于作物生物量估计的区域冬小麦单产预测. 应用生态学报, 20(4): 872–878)

Ren J Q, Tang H J and Chen Z X. 2005. The status-quo and trends of crop yield estimation and prediction methods//Tang H J and Zhou Q B, eds. Resources Remote Sensing and Digital Agriculture. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press: 11–20 (任建强, 唐华俊, 陈仲新. 2005. 农作物产量估计和预报方法研究现状与发展趋势//唐华俊, 周清波. 资源遥感与数字农业. 北京: 中国农业科学技术出版社: 11–20)

Rudorff B F T, Aguiar D A, Adami M and Salgado M P G.2012.Frost damage detection in sugarcane crop using MODIS images and SRTM data//Proceedings of 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.Munich: IEEE: 5709-5712

Salmon J M, Friedl M A, Frolking S, Wisser D and Douglas E M. 2015. Global rain-fed, irrigated, and paddy croplands: a new high resolution map derived from remote sensing, crop inventories and climate data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 38: 321–334 [DOI: 10.1016/j.jag.2015.01.014]

See L, Schepaschenko D, Lesiv M, McCallum I, Fritz S, Comber A, Perger C, Schill C, Zhao Y Y, Maus V, Siraj M A, Albrecht F, Cipriani A, Vakolyuk M, Garcia A, Rabia A H, Singha K, Marcarini A A, Kattenborn T, Hazarika R, Schepaschenko M, van der Velde M, Kraxner F, Obersteiner M. 2015. Building a hybrid land cover map with crowdsourcing and geographically weighted regression. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 103: 48–56 [DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.06.016]

Sha X L. 2012. A study on extraction of plastic-mulched landcover and on retrieval of mulched land surface temperature using remote sensing data.Hangzhou: Zhejiang University (沙先丽. 2012. 地膜农田遥感信息提取及覆膜地表温度反演. 杭州: 浙江大学)

Shen K J, He H, Meng H W and Sun G N. 2012. Review on spatial sampling survey in crop area estimation. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 33(4): 11–16. (申克建, 何浩, 蒙红卫, 孙冠楠. 2012. 农作物面积空间抽样调查研究进展.中国农业资源与区划, 33(4): 11–16)

Shi Y, Ji S P, Shao X W, Tang H J, Wu W B, Yang P, Zhang Y J and Shibasaki R. 2014. Framework of SAGI agriculture remote sensing and its perspectives in supporting national food security. Journal of Integrative Agriculture, 13(7): 1443–1450 [DOI: 10.1016/S2095-3119(14)60818-2]

Song C Q, You S C, Liu G H, Ke L H and Zhong X K. 2011.The spatial pattern of soil moisture in northern tibetbased on TVDI method.Progress in Geography, 30(5): 569–576 (宋春桥, 游松财, 刘高焕, 柯灵红, 钟新科. 2011. 基于TVDI的藏北地区土壤湿度空间格局. 地理科学进展, 30(5): 569–576) [DOI: 10.11820/dlkxjz.2011.05.008]

Song X N, Ma J W, Li X T, Leng P, Zhou F C and Li S. 2013. Estimation of vegetation canopy water content using hyperion hyperspectral data. Spectroscopy and Spectral Analysis, 33(10): 2833–2837 (宋小宁, 马建威, 李小涛, 冷佩, 周芳成, 李爽. 2013. Hyperion高光谱数据的植被冠层含水量反演. 光谱学与光谱分析, 33(10): 2833–2837) [DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2013)10-2833-05]

Steddom K, Heidel G, Jones D, and Rush C M.2003. Remote detection of rhizomania in sugar beets. Phytopathology, 93(6): 720–726 [DOI: 10.1094/PHYTO.2003.93.6.720]

Tan C W, Wang J H, Zhu X K, Wang Y, Wang J C, Tong L and Guo W S. 2011. Monitoring main growth status parameters at jointing stage inwinter wheat based on Landsat TM images.Scientia Agricultura Sinica, 44(7): 1358–1366 (谭昌伟, 王纪华, 朱新开, 王妍, 王君婵, 童璐, 郭文善. 2011. 基于Landsat TM影像的冬小麦拔节期主要长势参数遥感监测. 中国农业科学, 44(7): 1358–1366) [DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2011.07.007]

Tang H J, Wu W B, Yang P, Zhou Q B and Chen Z X. 2010. Recent progresses in monitoring crop spatial patterns by using remote sensing technologies. Scientia Agricultura Sinica, 43(14): 2879–2888 (唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 周清波, 陈仲新. 2010. 农作物空间格局遥感监测研究进展. 中国农业科学, 43(14): 2879–2888) [DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2010.14.006]

Tang H J, Wu W B, Yu Q Y, Xia T, Yang P and Li Z G. 2015a. Key research priorities for agricultural land system studies. Scientia Agricultura Sinica, 48(5): 900–910 (唐华俊, 吴文斌, 余强毅, 夏天, 杨鹏, 李正国. 2015a. 农业土地系统研究及其关键科学问题. 中国农业科学, 48(5): 900–910) [DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2015.05.08]

Tang H J, Zhou Q B, Liu J, Li Z G and Wu W B. 2015b. Mapping of Crops in China-Wheat. Beijing: Science Press (唐华俊, 周清波, 刘佳, 李正国, 吴文斌. 2015b. 中国农作物空间分布遥感制图—小麦篇. 北京: 科学出版社)

Tang L L, Li C R and Dai C D.1998. Effects of radarsat on flood-fighting and disaster-minimizing in 1998. Remote Sensing Technology and Application, 13(4): 1–4 (唐伶俐, 李传荣, 戴昌达. 1998. 雷达

卫星在1998年抗洪减灾中的作用. 遥感技术与应用, 13(4): 1–4)

Tang Z C and Sun H. 1989. NOAA satellite data analysis for winter wheat coldinjury.Journal of Remote Sensing Information, (4): 39 (汤志成, 孙涵. 1989. 用NOAA卫星资料作冬作物冻害分析. 遥感信息, (4): 39)

Thenkabail P S, Schull M and Turral H. 2005. Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data. Remote Sensing of Environment, 95(3): 317–341 [DOI: 10.1016/j.rse.2004.12.018]

Thenkabail P S, Biradar C M, Noojipady P, Dheeravath V, Li Y J, Velpuri M, Gumma M, Gangalakunta O R P, Turral H, Cai X L, Vithanage J, Schull M A and Dutta R. 2009. Global irrigated area map (GIAM), derived from remote sensing, for the end of the last millennium. International Journal of Remote Sensing, 30(14): 3679–3733 [DOI: 10.1080/01431160802698919]

Thenkabail P S. 2010. Global croplands and their importance for water and food security in the twenty-first century: towards an ever green revolution that combines a second green revolution with a blue revolution. Remote Sensing, 2(9): 2305–2312 [DOI: 10.3390/rs2092305]

Tian Q J, Gong P, Zhao C J and Guo X W. 2001.A feasibility study on diagnosing wheat water status using spectral reflectance. Chinese Science Bulletin, 46(8): 666–669 (田庆久, 宫鹏, 赵春江, 郭晓维. 2000. 用光谱反射率诊断小麦水分状况的可行性分析. 科学通报, 45(24): 2645–2649) [DOI: 10.1007/BF03182831]

Turner Ⅱ B L, Skole D L, Sanderson S, Fischer G, Fresco L and Leemans R. 1995. Land-Use and Land-Cover Change: Science/Research Plan. Stockholm: IGBP Secretariat

Vaudour E, Noirot-Cosson P E and Membrive O. 2015.Early-season mapping of crops and cultural operations using very high spatial resolution Pléiades images.International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 42: 128–141 [DOI:10.1016/j.jag.2015.06.003]

Wang K, Zhou Z F, Liao J and Fu Y. 2015.Model for estimating tobacco leaf area index in Guizhou Karst mountainous areas based on SAR data. Acta Tabacaria Sinica, 21(6): 34–39 (王昆, 周忠发, 廖娟, 符勇. 2015. 基于合成孔径雷达(SAR)数据的贵州喀斯特山区烟草叶面积指数估算模型. 中国烟草学报, 21(6): 34–39) [DOI: 10.16472/j.chinatobacco.2014.562]

Wang J L, Lv H Q, Zhang G P and Song Y B. 2005.Agro-Meteorology Forecast. Beijing: Meteorology Press (王建林, 吕厚荃, 张国平, 宋迎波. 2005. 农业气象预报. 北京:气象出版社)

Wang J L, Song Y B, Yang F Y, Zheng C L and Chen H. 2007.Research on the Crop Yield Prediction in the Main Food Producing Regions in the World. Beijing: Meteorology Press (王建林, 宋迎波, 杨霏云, 郑昌玲, 陈晖. 2007. 世界主要产粮区粮食产量业务预报方法研究. 北京: 气象出版社)

Wang J. 2006. L and Resource Remote Sensing Monitoring and Evaluation Method.Beijing: Science Press (王静. 2006. 土地资源遥感监测与评价方法. 北京: 科学出版社)

Wang N B. 1996. Dynamic Monitoring and Yield Estimation of Chinese Winter Wheat by Remote Sensing.Beijing: Science and Technology of China Press (王乃斌. 1996. 中国小麦遥感动态监测与估产.北京:中国科学技术出版社)

Wang P, Luo X W, Zhou Z Y, Zang Y and Hu L.2014. Key technology for remote sensing information acquisition based on microUAV. Transactions of the CSAE, 30(18): 1–12 (汪沛, 罗锡文, 周志艳, 臧英, 胡炼. 2014. 基于微小型无人机的遥感信息获取关键技术综述.农业工程学报, 30(18): 1–12) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.18.001]

Wang Z H and Liu Y H. 2009. Study on building agricultural high-resolution remote sensing image information extract technology. Journal of Agricultural Mechanization Research, (1): 63–65, 70 (王中华, 刘一航. 2009. 设施农业的高分辨率遥感影像信息提取方法的研究. 农机化研究, (1): 63–65, 70) [DOI: 10.3969/j.issn.1003-188X.2009.01.019]

Wei Z M. 2003. Study on crop-water relationship and availability of field irrigation water based on SWAPmodel simulation in arid area. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University (魏占民. 2003. 干旱区作物—水分关系与田间灌溉水有效性的SWAP模型模拟研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学)

Wu B F, Meng J H, Li Q Z, Zhang F F, Du X and Yan N N. 2010. Latest development of “CropWatch”-an global crop monitoring system with remote sensing. Advances in Earth Science, 25(10): 1013–1022 (吴炳方, 蒙继华, 李强子, 张飞飞, 杜鑫, 闫娜娜. 2010. 全球农情遥感速报系统(CropWatch)新进展.地球科学进展, 25(10): 1013–1022) [DOI: 10.11867/j.issn.1001-8166.2010.10.1013]

Wu B F, Zhang F, Liu CL , Zhang L and Luo ZM. 2004. Anintegrated method for crop condition monitoring. Journal of Remote Sensing, 8(6): 498–514 (吴炳方, 张峰, 刘成林, 张磊, 罗治敏. 2004. 农作物长势综合遥感监测方法. 遥感学报, 8(6): 498–514) [DOI: 10.11834/jrs.20040602]

Wu B F. 2000. Operational remote sensing methods for agricultural statistics.Acta Geographica Sinica, 55(1): 25–35 (吴炳方. 2000. 全国农情监测与估产的运行化遥感方法. 地理学报, 55(1): 25–35) [DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2000.01.004]

Wu B F. 2004. China crop watch system with remote sensing.Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 19(3): 202–205 (吴炳方. 2004. 中国农情遥感监测研究. 中国科学院院刊, 19(3): 202–205) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2004.03.011]

Wu W B, Yang P, Tang H J, Ryosuke S, Zhou Q B and Zhang L. 2009. Monitoring spatial patterns of cropland phenology in North China based on NOAA NDVI data. Scientia Agricultura Sinica, 42(2): 552–560 (吴文斌, 杨鹏, 唐华俊, Ryosuke S, 周清波, 张莉. 2009. 基于NDVI数据的华北地区耕地物候空间格局.中国农业科学,

42(2): 552–560) [DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2009.02.021]

Xiang H T and Tian L. 2011.Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). Biosystems Engineering, 108(2): 174–190 [DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2010.11.010]

Xu X B and Yang G S. 2013. Spatial and temporal changes of multiple cropping index in 1995–2010 in Taihu Lake basin, China. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 29(3): 148–155 (徐昔保, 杨桂山. 2013. 太湖流域1995–2010年耕地复种指数时空变化遥感分析. 农业工程学报, 29(3): 148–155) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.03.020]

Xue LH, Yang LZ and Fan XH. 2006. Estimation of nitrogen content and C/N in rice leaves and plant with canopyreflectance spectra.Acta Agronomica Sinica, 32(3): 430–435 (薛利红, 杨林章, 范小晖. 2006. 基于碳氮代谢的水稻氮含量及碳氮比光谱估测. 作物学报, 32(3): 430–435) [DOI: 10.3321/j.issn:0496-3490.2006.03.019]

Yan F, Li M S, Wang YJ andQin Z H.2006.Application of remote sensing technique to monitor agricultural disasters.Journal of Natural Disasters, 15(6): 131–136 (闫峰, 李茂松, 王艳姣, 覃志豪.2006.遥感技术在农业灾害监测中的应用. 自然灾害学报, 15(6): 131–136) [DOI: 10.3969/j.issn.1004-4574.2006.06.023]

Yan H M, Liu J Y and Cao M K. 2005.Remotely sensed multiple cropping index variations in China during 1981–2000. Acta Geographica Sinica, 60(4): 559–566 (闫慧敏, 刘纪远, 曹明奎. 2005. 近20年中国耕地复种指数的时空变化.地理学报, 60(4): 559–566) [DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2005.04.004]

Yan S Y, Liu Y L, Wei C J and Wang T. 2007.Remote sensing image interpretation theory and methods.Beijing: Ocean Press (阎守邕, 刘亚岚, 魏成阶, 王涛. 2007. 遥感影像群判读理论和方法. 北京: 海洋出版社)

Yan Y, Liu Q H, Liu Q, Li J and Chen L F. 2006.Methodolagy ofwinter wheat yield prediction based on assimilation of remote sensing data with crop growth model. Journal of Remote Sensing, 10(5): 804–811 (闫岩, 柳钦火, 刘强, 李静, 陈良富. 2006. 基于遥感数据与作物生长模型同化的冬小麦长势监测与估产方法研究. 遥感学报, 10(5): 804–811) [DOI: 10.11834/jrs.200605119]

Yang B J and Pei Z Y. 1999.Definition of crop condition and crop monitoring using remote sensing.Transactions of the CSAE, 15(3): 214–218 (杨邦杰, 裴志远. 1999. 农作物长势的定义与遥感监测. 农业工程学报, 15(3): 214–218)

Yang B J, Wang M X and Pei Z Y, 2002.Remote sensing monitoring of winter wheat.Transactions of the CSAE, 18(2): 136–140 (杨邦杰, 王茂新, 裴志远. 2002. 冬小麦冻害遥感监测. 农业工程学报, 18(2): 136–140) [DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2002.02.034]

Yang B. 2013.Application of remote sensing technology in agricultural disaster monitoring of reclamation area.ModernizingAgriculture, (4): 66–67 (杨博. 2013. 遥感技术在垦区农业灾害监测中的应用. 现代化农业, (4): 66–67) [DOI: 10.3969/j.issn.1001-0254.2013.04.039]

Yang L and Yang Y Z.2016.The spatial and temporal pattern of soil moisture in the west Liaohe river basinbased on TVDI method and its influencing factors.Journal of Arid Land Resources and Environment, 30(2): 76–81 (杨玲, 杨艳昭. 2016. 基于TVDI的西辽河流域土壤湿度时空格局及其影响因素. 干旱区资源与环境, 30(2): 76–81) [DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2016.049]

Yang P, Wu W B, Zhou Q B, Chen Z X, Zha Y, Tang H J and RyosukeS.2007. Assimilating remotely sensed LAI into GIS-based EPIC model for yieldassessment on regional scale. Transactions of the CSAE, 23(9): 130–136 (杨鹏, 吴文斌, 周清波, 陈仲新, 查燕, 唐华俊, 柴崎亮介. 2007. 基于作物模型与叶面积指数遥感影像同化的区域单产估测研究. 农业工程学报, 23(9): 130–136) [DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2007.09.024]

Yang P, Wu W B, Zhou Q B and Zha Y.2008.Research progress in crop yield estimation models based on spectral reflectance data. Transactions of the CSAE, 24(10): 262–268 (杨鹏, 吴文斌, 周清波, 查燕. 2008. 基于光谱反射信息的作物单产估测模型研究进展. 农业工程学报, 24(10): 262–268) [DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2008.10.054]

Yang X G, Liu Z J and Chen F. 2010. The possible effects of global warming on cropping systems in China: I.Thepossible effects of climate warming on northern limits of cropping systems and crop yields in China. Scientia Agricultura Sinica, 43(2): 329–336 (杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 2010. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响Ⅰ.气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析. 中国农业科学, 43(2): 329–336) [DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2010.02.013]

Yu S K, Yao Y M, Wang D Y and Si H Q. 2013.Studies on the inversion of soil organic matter content based on hyper-spectrum. Chinese Agricultural Science Bulletin, 29(23): 146–152 (于士凯, 姚艳敏, 王德营, 司海青. 2013. 基于高光谱的土壤有机质含量反演研究. 中国农学通报, 29(23): 146–152) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-6850.2013.23.027]

Yu T and Tian G L. 1997.The application of thermal inertia method the monitoring of soil moisture of North China Plain based on NOAA-AVHRR data. Journal of Remote Sensing, 1(1): 24–31, 80 (余涛, 田国良. 1997. 热惯量法在监测土壤表层水分变化中的研究. 遥感学报, 1(1): 24–31, 80) [DOI: 10.11834/jrs.19970104]

Zhang J C. 2012. Methods for information extraction of wheat disease based on multi-source remote sensing data.Hangzhou: Zhejiang University (张竞成. 2012.多源遥感数据小麦病害信息提取方法研究.杭州: 浙江大学)

Zhang J H, Du YZ, Liu X F, He Z M and Yang L M. 2012. Progress in leaf area index retrieval based on hyperspectral remote sensing and retrieval models. Spectroscopy and Spectral Analysis, 32(12): 3319–3323 (张佳华, 杜育璋, 刘学锋, 何贞铭, Yang L M. 2012.

基于高光谱数据和模型反演植被叶面积指数的进展. 光谱学与光谱分析, 32(12): 3319–3323) [DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2012)12-3319-05]

Zhang M H, Qin Z H, Liu Xand Ustin S L.2003. Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4(4): 295–310 [DOI: 10.1016/S0303-2434(03)00008-4]

Zhang R H, Sun X M and Zhu Z L. 1998. A speedier measuring technology for leaf area index-a calibration tool in quantitative remote sensing of vegetation. Remote Sensing for Land & Resources, (1): 54–60 (张仁华, 孙晓敏, 朱治林. 1998. 叶面积指数的快速测定方法——植被定量遥感的地面标定技术. 国土资源遥感, (1): 54–60)

Zhang R H. 1992. A remote-sensing thermal inertia model for soil moisture and its application. Chinese Science Bulletin, 37(4): 306–311 (张仁华. 1991. 土壤含水量的热惯量模型及其应用. 科学通报, 36(12): 924–927)

Zhang S Q, Jia Y Q, Cheng Y Z, Liu T, Guo Y, Wu X H and Wang L G. 2015. Study on rice growth monitoring based in GF-1 image. Journal of Henan Agricultural Sciences, 44(8): 173–176 (张素青, 贾玉秋, 程永政, 刘婷, 郭燕, 武喜红, 王来刚. 2015. 基于GF-1影像的水稻苗情长势监测研究. 河南农业科学, 44(8): 173–176) [DOI: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2015.08.037]

Zhang W J, Wang S Q, Chang H and Yu G R. 2005.Application of remote sensing technique in soil carbon storage researches.Progress in Geography, 24(3): 118–126 (张文娟, 王绍强, 常华, 于贵瑞. 2005. 遥感在土壤碳储量估算中的应用. 地理科学进展, 24(3): 118–126) [DOI: 10.11820/dlkxjz.2005.03.014]

Zhang X F, Chen H L, Zheng Y F, Zou C H, Chen D and Fu X J. 2006. Monitoring the freezing injury of winter wheat by remote sensing.Journal ofNanjing Institute of Meteorology, 29(1): 94–100 (张雪芬, 陈怀亮, 郑有飞, 邹春辉, 陈东, 付祥建. 2006. 冬小麦冻害遥感监测应用研究.南京气象学院学报, 29(1): 94–100) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-7097.2006.01.014]

Zhang X Y, Chen Y Y, Su Z S, Zhou H P and Ma Y P. 2001. A study on monitoring frost of main crop in the area of Ningxia by using remote sensing.Remote Sensing Technology and Application, 16(1): 32–36 (张晓煜, 陈豫英, 苏占胜, 周慧琴, 马玉平. 2001. 宁夏主要作物霜冻遥感监测研究.遥感技术与研究, 16(1): 32–36) [DOI: 10.3969/j.issn.1004-0323.2001.01.007]

Zhao G X, Li J, Li T, Yue Y D and Warner T. 2004.Utilizing Landsat TM imagery to map greenhouses in Qingzhou, Shandong Province, China. Pedosphere, 14(3): 363–369

Zhao H, Yang Z W, Li L and Di L P. 2011.Improvement and comparative analysis of indices of crop growth condition monitoring by remote sensing. Transactions of the CSAE, 27(1): 243–249 (赵虎, 杨正伟, 李霖, 狄黎平. 2011. 作物长势遥感监测指标的改进与比较分析. 农业工程学报, 27(1): 243–249) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.039]

Zhao J, Huang W J, Zhang Y H and Jing Y S.2013.Inversion of leaf area index during different growth stages in winter wheat. Spectroscopy and Spectral Analysis, 33(9): 2546–2552 (赵娟, 黄文江, 张耀鸿, 景元书. 2013. 冬小麦不同生育时期叶面积指数反演方法. 光谱学与光谱分析, 33(9): 2546–2552) [DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2013)09-2546-07]

Zhao R, Tang J Y and He L H.2002. A discussion on growing state survey and yield estimation of paddy in Jiangsu Province by means of remote sensing.Remote Sensing For Land & Resources, (3): 9–11 (赵锐, 汤君友, 何隆华. 2002. 江苏省水稻长势遥感监测与估产. 国土资源遥感, (3): 9–11) [DOI: 10.3969/j.issn.1001-070X.2002.03.003]

Zhao W and Li Z L. 2013.Sensitivity study of soil moisture on the temporal evolution of surface temperature over bare surfaces. International Journal of Remote Sensing, 34(9-10): 3314–3331 [DOI: 10.1080/01431161.2012.716532]

Zhou C H and Luo J C. 1999.Remote Sensing Image Geoscience Analysis.Beijing: Science Press (周成虎, 骆剑承. 1999. 遥感影像地学理解与分析. 北京: 科学出版社)

Zhou Q B. 2004.Status and tendency for development in remote sensing of agriculture situation. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 25(5): 9–14 (周清波. 2004. 国内外农情遥感现状与发展趋势. 中国农业资源与区划, 25(5): 9–14) [DOI: 10.3969/j.issn.1005-9121.2004.05.003]

Zhou Y Z, Zhou J, Li Y and Wang X F. 2014. Simulating the evapotranspiration with SEBAL and Modified SEBAL (M-SEBAL) models over the desertand oasis of the middle reaches of the Heihe River. Journal of Glaciology and Geocryology, 36(6): 1526–1537 (周彦昭, 周剑, 李妍, 王旭峰. 2014. 利用SEBAL和改进的SEBAL模型估算黑河中游戈壁、绿洲的蒸散发. 冰川冻土, 36(6): 1526–1537) [DOI: 10.7522/j.issn.1000-0240.2014.0183]

Zhu X L, Li Q, Shen M G, Chen J and Wu J. 2008. A methodology for multiple cropping index extraction based on NDVI Time-series. Journal of Natural Resources, 23(3): 534–543 (朱孝林, 李强, 沈妙根, 陈晋, 吴锦.2008. 基于多时相NDVI数据的复种指数提取方法研究.自然资源学报, 23(3): 534–543) [DOI: 10.3321/j.issn:1000-3037.2008.03.021]

Zou L D, Guo H, Zhu X F, Wang Y Y, Zheng X C and Wang J K. 2014. Automatically extracting the spatial distribution information of facility agriculture. Remote Sensing Technology and Application, 29(4): 669–674 (邹利东, 郭航, 朱秀芳, 王艳艳, 郑学昌, 王建阔. 2014. 设施农业空间分布信息自动提取方法研究. 遥感技术与应用, 29(4): 669–674) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2014.4.0669]

Zuo L J, Dong T T, Wang X, Zhao X L and Yi L. 2009. Multiple cropping index of Northern China based on MODIS/EVI. Transactions of the CSAE, 25(8): 141–146 (左丽君, 董婷婷, 汪潇, 赵小丽, 易玲. 2009. 基于MODIS/EVI的中国北方地区耕地复种指数提取.农业工程学报, 25(8): 141–146)

Progress and perspectives on agricultural remote sensing research and applications in China

CHEN Zhongxin, REN Jianqiang, TANG Huajun, SHI Yun, LENG Pei, LIU Jia, WANG Limin, WU Wenbin, YAO Yanmin, HASIYUYA

Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agri-Informatics, Ministry of Agriculture, Beijing 100101, China

Abstract: This paper represents a literature review on the progress in the field of research and applications of agricultural remote sensing in the past 20 years in China. In remote sensing information retrieval, the space–ground–network integrated technical system has emerged because of the rapid development of Earth observation satellites, the booming of unmanned aerial vehicles, as well as the extensive and intensive application of wireless sensor networks and the Internet of Things in China. In quantitative remote sensing, various agricultural parameters, including LAI, soil moisture, and crop nutrients have been inverted from remote sensing data via statistical and/or mechanical models. In crop acreage estimation and crop mapping by remote sensing, considerable progress in algorithms and operational system development has been made in the past 20 years in China. In crop growth monitoring and yield estimation/prediction, quantitative remote sensing data products as well as various remote sensing indexes have been used with in-situ data. Various empirical models have also been investigated. Remote sensing data assimilation with crop growth models is a prevailing issue in this research field. For agricultural disaster monitoring and assessment with remote sensing, drought, flood, pests, plant disease, and so on have been studied with different types of remote sensing data and quantitative data products with various models. Some of these research outcomes and systems have been operational. In remote sensing for agricultural land resources, the research foci is shifting from land resources quantity research to spatial patterns and their dynamics, as well as to specific elements of agricultural lands, e.g., facility agriculture land and plastic-mulching cropland. The classification methods are more diverse, and novel methods, including object-oriented methods, machine learning methods, knowledge-based algorithms, and so on, are investigated. In the past 20 years, significant progress has been made in the research and application of agricultural remote sensing in China. In the future, an increasing number of Earth observation satellites will be in orbit with the application of the China High Resolution Earth Observation System and National Spatial Infrastructure. Sensor technology, Internet plus, big data, and artificial intelligence, among other technologies, are expected to develop rapidly. In this new era, the agriculture development pattern will change with the upgrade of the national economy and social development in China. Many new demands and opportunities will occur in agricultural remote sensing research and application. First, the space–ground–network integrated technical system for agricultural information retrieval will be applied more extensively to meet diverse demands in various agricultural sectors. Second, new techniques, including artificial intelligence, big data, and so on, will play important roles in solving critical problems in agricultural remote sensing research and applications. Third, remote sensing is expected to be applied more extensively in new sub-disciplines of agronomy, which will not only improve agricultural research but also enrich the theory and techniques in remote sensing.

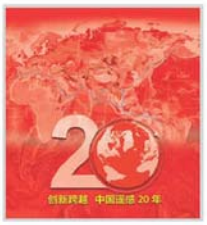
Key words: agriculture, remote sensing, application, research, progress, China

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41371396)

www.jors.cn JOURNAL OF REMOTE SENSING 遥感学报

遥感学报

启功先生创刊题名



封面说明

About the Cover

创新跨越 中国遥感20年

Innovation-driven development of remote sensing 20 years in china

《遥感学报》创刊至今紧紧跟随中国科技的发展，大胆改革，奋发进取，见证了中国遥感科学发展的辉煌历程，忠实地记录着中国遥感事业不断创新跨越的非凡成就。本期学报收录了从遥感基础理论、技术方法到遥感应用的综述论文共 49 篇，其中包括了从国产卫星到遥感载荷的最新成就与发展规划，从定量遥感到大数据等前沿科学的研究进展与创新成果，也涵盖了气象、海洋、环境、国土、防灾减灾等主要行业领域的应用现状与未来愿景，凝练并浓缩了 20 年来中国遥感科学从研究到应用，从定性到定量，从技术到服务，从单一遥感到 3S 技术融合，独立自主，锐意创新，不断跨越的发展之路。

Journal of Remote Sensing has been tightly followed the development of China's science and technology ever since her birth, and with far-sighted reform and effort, she has become a witness of the extraordinary history of China's remote sensing science and faithfully reordered the great achievements of remote sensing in China. This issue included 49 reviews covering remote sensing theory, technology and its application. Broad aspects of these reviews ranged from the achievements and future design of China's sensors, to quantitative remote sensing and cutting-edge science of big data theory. With respect to application, these reviews covered both current status and future vision, including meteorology, ocean, environment, land and disaster prevention. The issue also provided an-ever extension of China's remote sensing science with a shifting emphasis from quality to quantity, technology to service, single-sensor to 3S fusion.

遥感学报

JOURNAL OF REMOTE SENSING

YAOGAN XUEBAO（双月刊 1997年创刊）

第20卷 第5期 2016年9月25日

(Bimonthly, Started in 1997)

Vol.20 No.5 September 25, 2016

主　管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主　办	中国科学院遥感与数字地球研究所 中国地理学会环境遥感分会	Sponsored	by	Institute of Remote Sensing and Digital Earth,CAS The Associate on Environment Remote Sensing of China
主　编	顾行发	Editor-in-Chief		GU Xing-fa
编　辑	《遥感学报》编委会 北京市朝阳区大屯路中国科学院遥感与数字地球研究所 邮编：100101　电话：86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail: jrs@radi.ac.cn	Edited	by	Editorial Board of Journal of Remote Sensing Add: P.O.Box 9718, Beijing 100101, China Tel: 86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail: jrs@radi.ac.cn
出　版	科　学　出　版　社	Published	by	Science Press
印刷装订	北京科信印刷有限公司	Printed	by	Beijing Kexin Printing Co. Ltd.
总 发 行	科　学　出　版　社 北京东黄城根北街16号 国内邮发代号：82-324 邮政编码：100717 电话：86-10-64017032 E-mail:sales_journal@mail.sciencep.com	Distributed	by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: 86-10-64017032 E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
国外发行	中国国际图书贸易总公司 北京 399 信箱　邮政编码：100044 国外发行代号：BM 1002	Overseas distributed	by	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399, Beijing 100044, China

中国标准连续出版物号：ISSN 1007-4619 / CN 11-3841/TP

CODEN YXAUAB

定价：70.00元

官网　微站

ISSN 1007-4619

9 771007 461163 09