

文章编号: 1001-8166(2010)10-1013-10

“全球农情遥感速报系统 (CropWatch)”新进展*

吴炳方, 蒙继华, 李强子, 张飞飞, 杜鑫, 闫娜娜

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要:目前由中国科学院遥感应用研究所建设和运行的“全球农情遥感速报系统”,是世界上开展全球尺度农情遥感业务监测的主要运行系统之一,可以在中国和全球尺度提供作物长势、单产、种植面积、产量和旱情等农情信息。自 1998 年建设至今,已经发展成为一个独立运行、监测内容全面、技术先进、监测结果可靠,并具有快速响应能力的系统。2004 年,《遥感学报》(第 8 卷第 6 期)对该系统的主要技术方法进行了系统介绍。2005—2009 年,通过对 CropWatch 的不断完善,提高了系统的独立性和运行效率,并在 2008 年春季雪灾、汶川地震、2009 年冬小麦种植区春季干旱、2010 年西南大旱等关键时期发挥了重要作用。详细介绍了 2005—2009 年间在系统化建设、监测的独立性和系统的应用推广等方面的进展,并对系统在“十二五”期间的发展重点进行了展望。

关键词:“全球农情遥感速报系统”;遥感技术;农作物产量

中图分类号: P237. TP79 文献标志码: A

1 引言

粮食是重要的战略资源,也是重要的贸易产品,中国是农产品生产、消费和贸易大国,粮食安全越来越受到世界粮食市场的影响,为应对国际国内市场竞争,中国迫切需要全球范围的农情信息和粮食供求关系信息。遥感是目前快速、准确获取大范围农情信息的唯一有效技术,利用遥感技术进行农作物产量估算,一直受到各国政府的重视,发展至今已经取得了很大成功,我国的农情遥感监测也取得了长足的发展。国际上成功的农情遥感监测与作物估产系统主要包括美国^[1,2]、欧盟^[3-5]、FAO^[6,7]等。“全球农情遥感速报系统 (CropWatch)”正是面对这些需求进行建设的运行化农情遥感监测系统。

农业是重要的遥感应用领域,自 20 世纪 70 年代,美国等发达国家率先开展了主要农作物种植面积和产量估算工作以来^[8-10],就掀起了利用遥感技术监测农情信息的研究热潮。技术的研究需要以应用服务为导向,农情遥感监测技术研究也需要以信

息服务为导向。一个业务化系统的开发和运行,会对监测技术提出要求,也只有通过业务运行,才能发现存在的问题,明确研究重点,促进农情遥感监测技术的发展。

“九五”期间,中国科学院启动院重大项目,在中国科学院遥感应用研究所建立“中国农情遥感速报系统”(CropWatch)^[11],此后在中国科学院创新项目、“863”计划等的支持下,将监测范围拓展到全球 26 个国家,发展成为“全球农情遥感速报系统 (CropWatch)”。经过 12 年的努力,系统取得了长足发展,监测目标从冬小麦单一作物发展到小麦、水稻、玉米等多种作物,从小区域发展到大区域到全球尺度,从单一信息源发展到多种遥感信息源的综合应用,监测精度不断提高,已达到了业务化运行水平^[12]。

CropWatch 由作物长势监测、作物旱情监测、主要作物产量预测、粮食产量预测、作物种植结构、复种指数监测以及粮食供需平衡预警等 7 个子系统集成(图 1)。在监测频率和时效性方面,苗情和旱情

① 收稿日期: 2010-06-22 修回日期: 2010-08-30

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目“耕地保育与持续高效现代农业试点工程”(编号: KSCX1-YW-09-01)资助。

作者简介: 吴炳方(1962-),男,江西玉山人,研究员,主要从事农业与生态遥感研究。E-mail: wub@rsa.ac.cn

信息每旬提供 1 次; 面积和产量信息在作物收割前

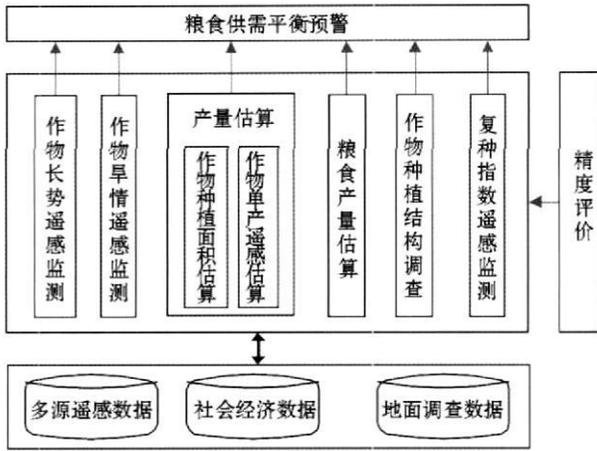


图 1 “全球农情遥感速报系统”结构
Fig 1 System structure of CropWatch

1 个月内提供, 收割后再提供复核后的结果; 种植结构信息每季度提供 1 次; 复种指数每年提供 1 次。目前已经监测中国及全球 26 个主要粮食生产国 (图 2), 覆盖全球粮食总产量 80% 以上的主要粮食生产国和消费国, 以其及时、准确、连续的监测结果为国家重大决策提供了可靠的信息支持。图 3 列出了系统监测的 2009 年全球主要作物生产国产量变化。在 1998 年大洪水、2000 年大旱、2006 年川渝高温干旱、2008 年雪灾及汶川大地震^[13-14]、2009 年初

北方干旱、2010 年西南大旱等极端事件中均应国家有关部门要求开展应急监测, 为关键时期粮食生产形势的准确判断提供了依据。

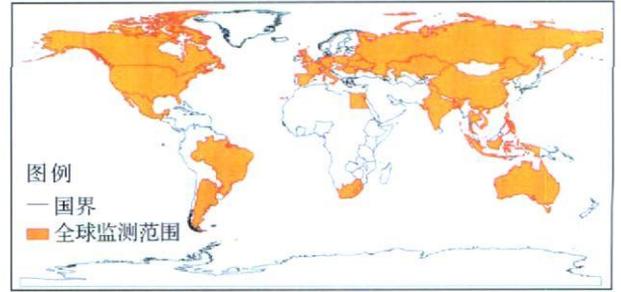


图 2 “全球农情遥感速报系统”监测范围
Fig 2 Monitoring range of CropWatch

2004 年, 《遥感学报》出版“中国农情遥感速报系统”专辑, 对 1998—2004 年的工作进行了系统的总结。2005 年以来, 在系统化、独立性、应急监测、系统推广以及方法改进等方面开展了持续的研究。本文介绍 2005—2009 年“全球农情遥感速报系统”所取得的最新进展, 并展望将来的发展重点。

2 系统化

系统化是指在对监测技术进行流程化梳理的基础上, 进行软件系统开发, 形成业务监测系统平台, 利用系统开展监测来提高监测效率。

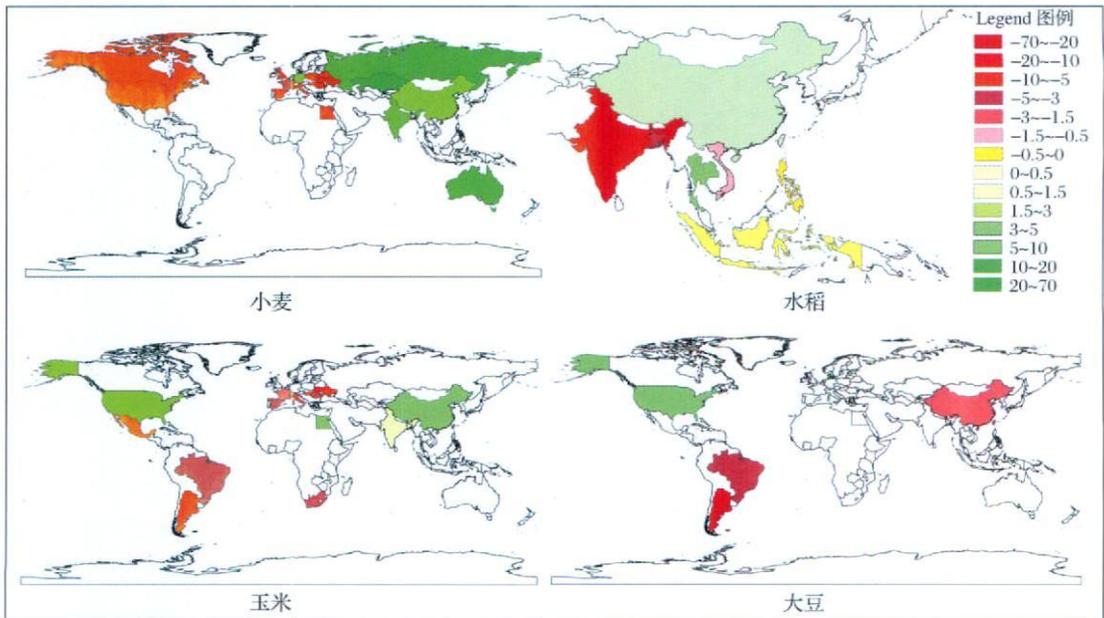


图 3 2009 年全球主要作物主产国产量变化
Fig 3 Production variation of major crops in major producing countries

农情遥感监测的工作头绪很多,不同的区域重复性很大,数据处理的内容和方式多种多样,而且处理的时效性又很强,因而往往需要加班加点完成处理工作,以提供及时的农情信息,对处理人员的素质要求很高。

以往整个农情遥感监测过程依赖于多种专业软件及其环境下开发的若干模块,对系统操作人员的专业技能要求较高,导致系统运行效率不高、可执行性差。为了提高效率,实现业务化,在近 5 年里开展了大量系统化方面的工作,对处理流程进行系统化梳理和开发,形成工程化运行系统。通过系统化,形成标准化的处理流程,减少不确定因素的干扰,提高处理效率和可靠性。系统化主要体现在数据库建设和集成化系统开发 2 个方面。

在数据库方面,以 Oracle 大型数据库作为基础

服务器平台, ArcSDE 作为空间数据引擎,进行了全国及全球农情遥感监测数据库的设计和开发,数据库集成了遥感数据、统计数据、气象数据、基础空间数据、监测结果数据等,可以进行农情遥感监测所涉及各类数据的存储和管理。

在集成化系统开发方面,分别设计开发了 MODIS 数据预处理系统、作物长势遥感监测系统^[15, 16]、农作物单产预测系统^[17]、作物旱情遥感监测系统^[18]、复种指数遥感监测系统、粮食产量预测系统。并根据区域的特点,将上述系统重新进行组织,形成省级农情遥感监测系统和县级农情遥感监测系统,系统均采用 CS 模式,采用 IDL 进行开发,县级农情遥感监测系统采用“IDL 开发 + VB 封装”,系统稳定性和性能得到了较大的提高。省级农情遥感监测系统的界面如图 4 所示。

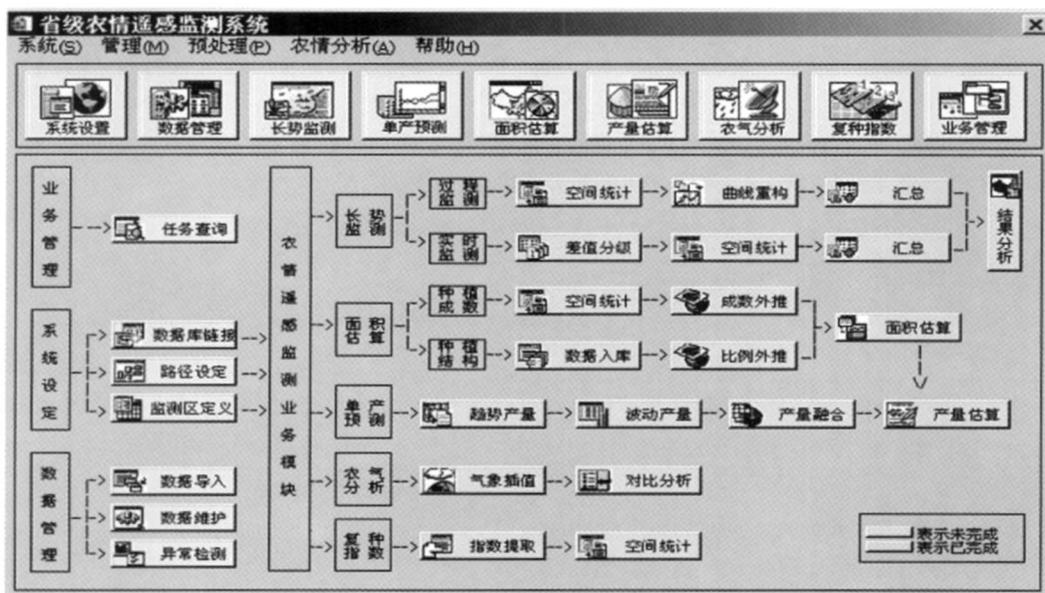


图 4 省级农情遥感监测系统界面

Fig 4 Interface of provincial crop monitoring system with remote sensing

系统化的进行提高了系统运行效率(表 1),目前监测工作仅需 3 名工作人员(不包括地面调查人员)就可以完成全国及全球 26 个粮食主产国的监测,与美国、欧盟及 FAO 的同类工作相比,可以使用较少的人员完成相同的监测任务。同时系统化还促进了系统的推广和移植,使更多的用户可以进行系统的操作和应用。

3 独立性

独立性是指减少对农业统计的依赖,形成独立的农情信息源,发挥遥感客观的特点。

表 1 系统化对系统运行效率的影响

Table 1 Improvement on of efficiency by systematization

序号	监测内容	系统化前	系统化后	备注
1	数据预处理	6人时	2人时	天
2	长势监测	24人时	8人时	月
3	单产预测	24人时	8人时	季
4	种植面积监测	48人时	24人时	季
5	复种指数监测	24人时	6人时	年

监测结果的独立性是对业务系统的基本要求。在很长时间以来,农情监测采用的数据包括气象数据、统计数据和抽样调查数据,但这种以统计数据为

基础得出的结果缺乏独立性,与统计分析结果在本质上没有重大差别。

为了提供独立的信息服务, CropWatch 必须在使用数据和具有独立性,如果仍然依赖统计数据来建模,只能是“预测”统计数据。经过近 5 年的过渡,系统在农情监测的各个环节上都达到了较高的独立性。

作物单产预测方面,传统的农业气象模型和遥感指数模型依赖于作物单产统计数据,限制了模型适用性,而统计数据中的误差也会保留到预测结果中,更主要是不能独立于统计数据。为独立于统计数据,系统发展了基于“作物生物量—收获指数”的单产预测模型^[19]。该模型基于光合作用累积和作物生长水分条件的胁迫进行生物量估算,结合作物花期后的环境参数及绿色度变化规律,进行作物收获系数的估算^[20]。该方法独立于统计数据,并可以在全球尺度推广(图 5)。系统在研发过程中在全国设立多个实验区,基于地面观测数据进行模型的标定及验证。

作物种植面积遥感监测方面,利用遥感技术的发展提供的宽幅数据,对原来的基于 2 个独立采样框架的作物种植面积估算方法^[21]进行了改造,利用宽幅数据进行全覆盖提供作物的种植成数,方法具有很高的独立性,特别是采用 GVG 农情采样系统进

行全国范围的作物种植结构调查既客观又精确。该方法的优点是充分利用了遥感数据的特点,满足了业务化运行在精度和速度方面的双重要求,并且作物种植面积估算的报告单元可以是县级和省级。通过大范围作物种植面积遥感监测方法的过程验证与不确定性分析,确定了数据时相、抽样率与影响覆盖范围、作物种植成数与作物种植结构对作物种植面积估算的误差影响,建立了作物种植面积估算的误差评估模型^[22]。为了开展国外作物种植面积监测,研究了将中等分辨率遥感分类与高分辨率遥感分类数据相结合的大范围作物种植面积估算方法;发展了基于高光谱作物生化参数的作物精细识别方法和以多频率 SAR 数据同化为基础的作物分类识别与作物种植面积估算技术,拓宽了不同频率的 SAR 数据在农作物识别方面的融合应用^[23];开展了光学遥感数据与 SAR 数据融合的作物识别方法研究,通过作物生化参数的分类识别和多频率 SAR 数据的应用及集成,有望发展出作物精准识别方法,解决国外作物种植面积监测的难题。

作物长势监测方面,利用历史同期数据,形成了作物苗情监测方法,发展了基于作物群体特征和个体特征的作物长势定量监测方法,结合作物生理生态参数(生物量、叶面积指数、高度、覆盖度等)^[24-25]和作物生化参数(叶绿素、氮素浓度等)^[26]定量反

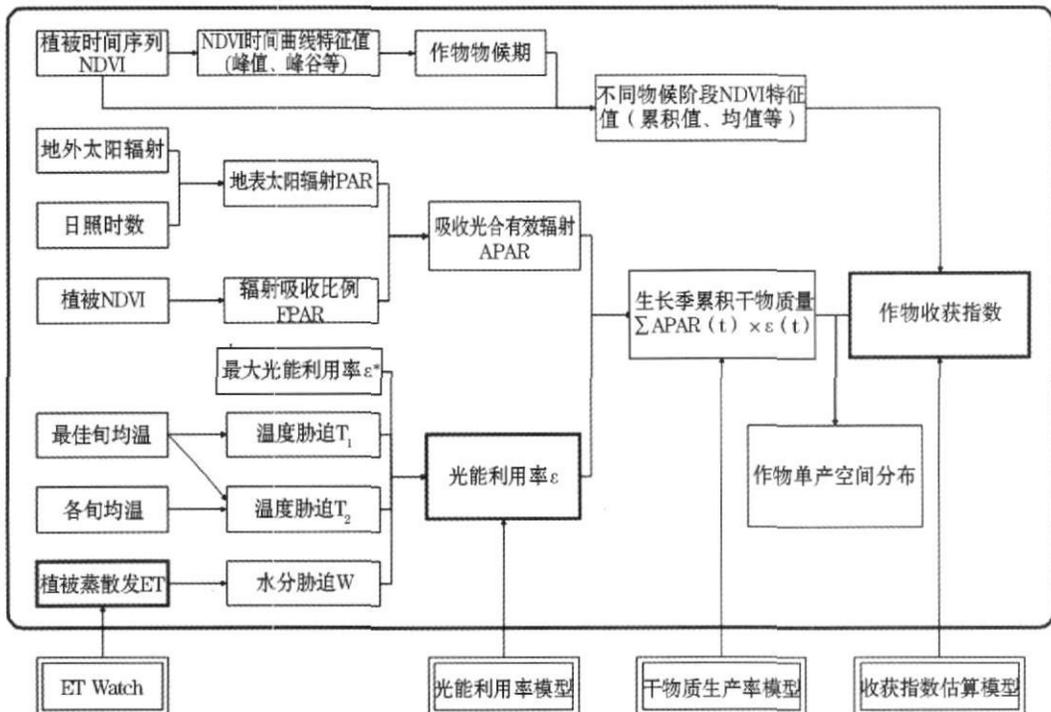


图 5 基于“作物生物量—收获指数”的单产预测模型流程

Fig 5 Flow of "biomass-HI" based crop yield estimation model

演, 综合作物个体发育与群体发展特征, 建立农作物长势遥感监测与评价体系, 开展作物长势评估。研究作物生理、生化参数在不同物候期的时间变化规律, 建立时间变化模型, 同时开展作物物候的变化监测^[27], 并对参数进行物候的归一化处理, 消除了物候差异对长势监测的影响, 可以在大范围内进行推

广。为辅助分析作物长势的成因, 为独立于地面观测的气象数据, 系统使用遥感数据获取温度、降水、FPAR 等要素, 发展了基于遥感的气象与环境要素监测, 可以更快并在更大范围 (全球) 开展运行化监测, 解决了气象数据获取的滞后对系统及时性的影响 (图 6)。

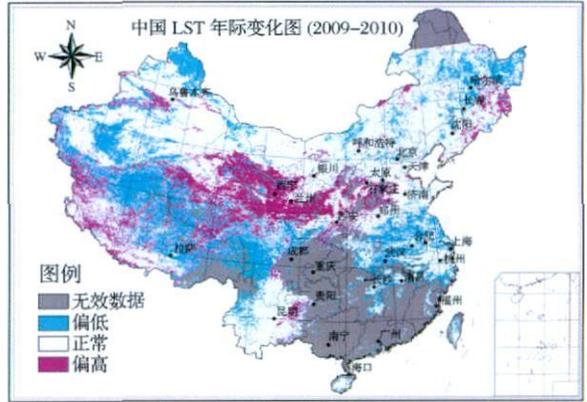
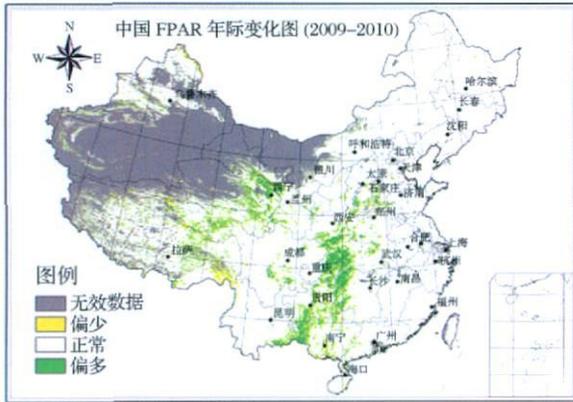


图 6 农业气象条件监测结果

Fig 6 Agrometeorological condition monitoring

旱情遥感监测方面, 利用 MODIS 历史序列植被指数和温度文件, 开展了植被状态指数与温度条件指数最值参数文件的提取方法研究^[28], 发展了基于植被与温度条件的农业旱情遥感监测研究^[29], 分析了农业旱情遥感指数应用中的不确定性^[30], 并基于此参数文件进行了 2005 年以来全国耕地旱情的监测。开展了 SMM /1 亮温与 AMSR-E 土壤含水量间关系的研究, 发展了被动微波辐射与光学信息联合的表层土壤含水量反演方法, 利用地面观测墒情站的数据分析了模型的适用性; 结合地面观测的土壤含水量观测实验, 利用不同频率, 不同极化的雷达数据, 开展了基于水云模型的土壤含水量估算方法的研究。

全球尺度的模型标定与验证。为了在全球监测结果中获取更高的监测精度, 系统开始有计划地开展全球尺度的模型标定与验证。除了参加 GEO 组织的 JECAM 计划可以获取到全球分布的观测数据外, 中国科学院遥感应用研究所还分别与美国马里兰大学、俄罗斯空间技术研究所、哈萨克斯坦航天局国家空间技术研究中心、波兰测地与绘图研究所等国际上一系列同领域研究机构签署了联合研究意向书, 全球尺度的模型标定与验证正在开展中。

遥感数据源上, 早期系统监测所使用的数据均为国外遥感数据, 包括 NOAA AVHRR、SPOT VEGETATION

TATDN、MODIS、Landsat TM /ETM、IRS P6 等, 随着国内遥感数据的不断丰富, 系统针对国内遥感数据开展模型标定^[31, 32], 成功地将 CBERS、HJ-1、FY3 等数据应用于系统, 逐步取代国外数据, 成为系统的主要数据源 (图 7)。

4 系统应用与推广

系统在以月为频率开展常规监测的同时, 针对可能影响区域或全国粮食生产的重大自然灾害, 开展了一系列应急监测, 2005—2009 年进行针对性应急监测的事件包括 2006 年川渝大旱、2008 年初南方雪灾^[13]、2008 年汶川地震^[14]、2009 年年初的北方旱情、2009 年夏秋的东北旱情等 (图 8)。以 2009 年应国家统计局要求开展新疆棉花种植面积应急监测为例, 从遥感数据的获取、地面采样的组织实施到结果的生产只用了 15 天的时间, 应急能力很好地服务了国家相关部门 (图 9)。

在国内推广上, 向郑州华粮科技股份有限公司、国家粮油信息中心、江西省遥感信息系统中心、陕西省遥感中心等单位进行了移植, 并在这些单位进行了运行。旱情监测系统已经移植到水利部水利信息中心、民政部减灾中心, 系统集成到防汛抗旱指挥系统二期工程, 并投入运行。

在国际推广方面, CropWatch 的研究团队积极

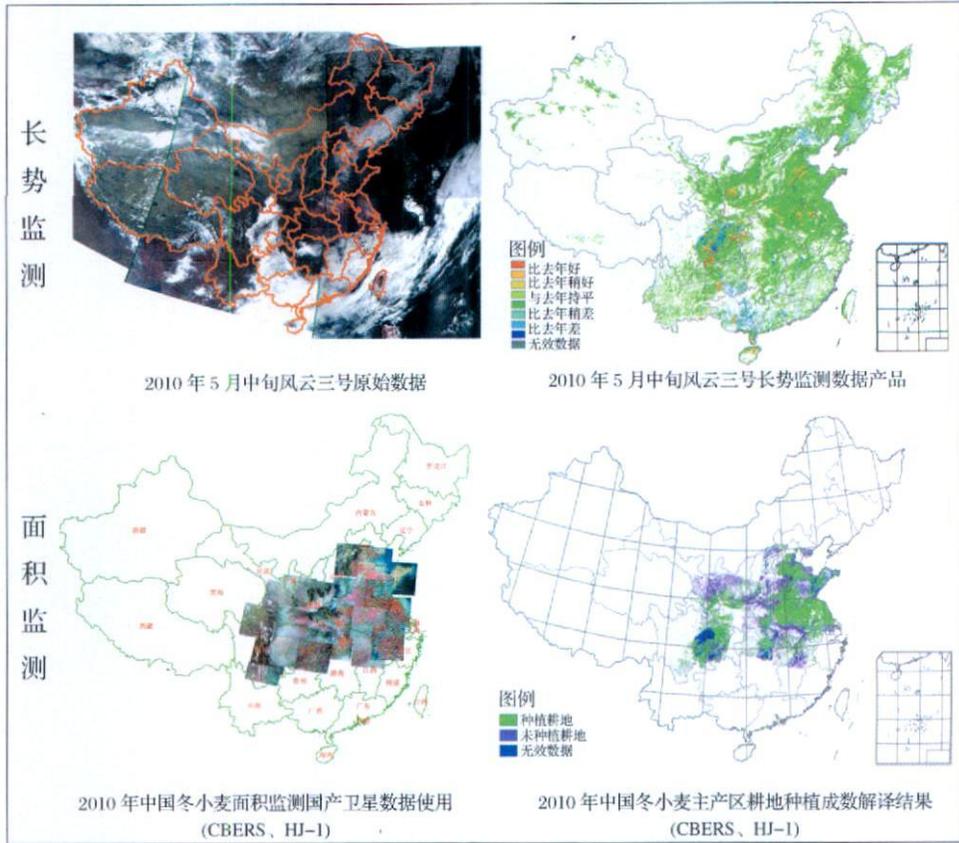


图 7 国产数据在系统中的应用

Fig. 7 Application of domestic satellite data in CropWatch

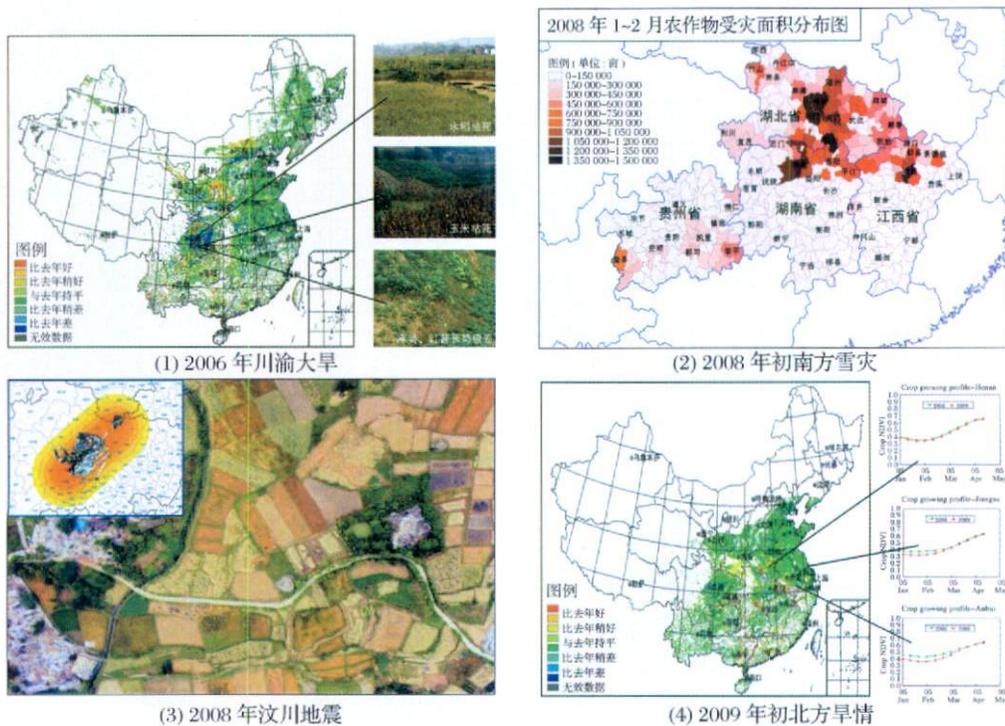


图 8 关键时间 CropWatch 的监测结果

Fig. 8 Monitoring result of CropWatch at crucial moment

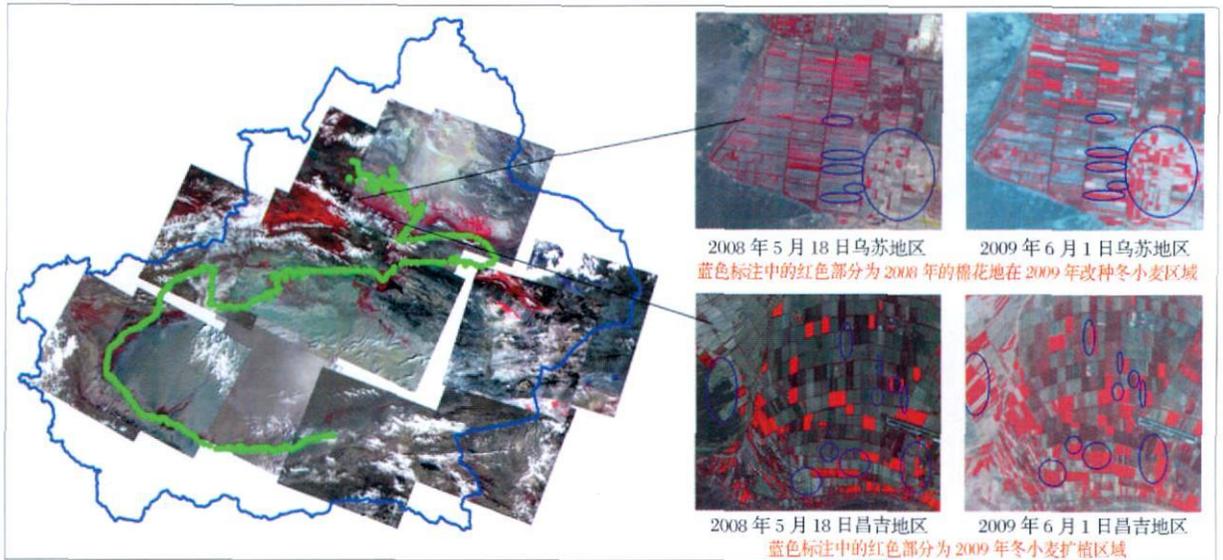


图 9 2009 年新疆棉花应急监测

Fig 9 Emergency monitoring of cotton acreage in Xinjiang in 2009

参与国际交流与合作, 参与了 GEO 计划, 吴炳方担任了该计划农业主题的联合主席。系统参加了 GEO 框架下 JECAM 和 PAY 计划, 前者旨在开展支持农情遥感监测技术研究的全球联合观测, 后者旨在将美国、欧盟、中国和 FAO 的监测结果进行联合发布, 增加全球农情信息的透明度。通过该系统的发布, CropWatch 的部分监测信息将用户拓展到了全球。

系统发展的技术在高中低产田监测和水分生产率监测与节水效果评估方面得到了广泛推广。基于遥感估算作物生物量和收获指数的方法进行耕地作物单产空间分布的制图, 结合遥感估算获取的耕地复种指数, 得到耕地的单季单产。然后基于单产区划数据, 确定阈值实现高中低产田空间分布的监测。

目前该方法已经在黄淮海平原进行了成功应用, 并实现了区域增产潜力的估算^[33]。该方法及其应用为我国千亿斤粮食增产计划的实施提供依据。水分生产率是评价农业灌溉用水管理水平和节水效果的重要指标, 基于开展区域作物单产的空间制图, 同时与遥感监测的蒸散量结合起来, 进行水分生产率的监测, 反映农业水资源利用效率的空间差异。目前该方法已经在海河流域得到了成功应用^[34] (图 10)。

信息发布的多元化, 纸质的速报是系统监测结果的传统发布方式, 随着网络技术的进一步普及, 电子版 (pdf) 的速报已经成为了监测结果向决策部门提供相关信息服务的主要方式, 同时系统已经开发出中文 (www.cropwatch.com.cn) 和英文 (www.cropwatch.com.cn/en/index.htm) 的网站发布系统,

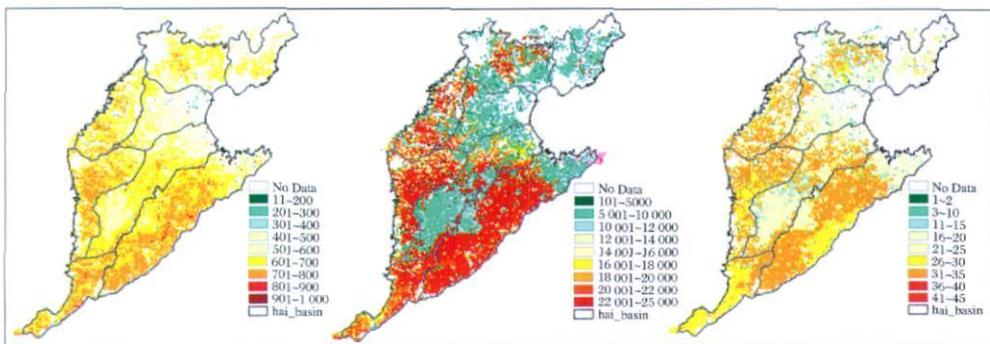


图 10 海河流域平原区多年平均 ET/mm (左), 干物质量 /kg/hm² (中) 和水分生产率 /t/1000 kg/m³ (右)

Fig 10 The average ET map, dry matter map and crop water production efficiency map of multi years in the Plain of Hai Basin left-ET/mm, middle-dry matter/kg/hm², right crop water production efficiency /t/1000 kg/m³

分别向注册用户和公众用户提供信息服务。

5 讨论与展望

自 1972 年美国发射第一颗陆地卫星以来, 遥感的业务化与产品化进展缓慢, 但遥感本身的发展势头并没有受到多少影响, 这对于任何一项新技术来说是不可思议的。业务化的核心是完整性、高精度和成本合理。很长时间以来, 遥感在这 3 个方面都很难满足业务化的要求, 最近随着环境星的发射和数据免费政策的实施, 成本方面的问题得到一定程度的缓解。在 GEOSS 确定的 9 个主要受益领域中, 农业主题的农情监测业务化程度还是比较高的。经过 12 年的努力, CropWatch 已经发展成为一个高度运行化的监测系统, 能提供作物长势、单产、种植面积、产量、复种指数、旱情、种植结构等农情信息, 精度满足业务部门的要求。

农情遥感监测技术已经基本成熟, 业务化工作也取得了极大的推进。在未来的 5 年里, CropWatch 要专注于技术研发, 充分利用遥感技术发展带来的机遇, 提高遥感在农情监测中的作用和贡献, 发挥独立信息源的作用。

目前制约农情监测的技术问题还是作物类型的识别问题, 这个问题一直没有得到很好的解决, 利用遥感与地面调查相结合的方法只适合于国内, 也不符合利用遥感减少地面调查强度、降低成本的初衷, 将遥感用作辅助地面采样框架的布设利用了遥感的“照片”功能, 而没有利用遥感的“监测”功能。CropWatch 在监测作物种植面积时, 利用植种成数与分类成数的方法, 充分利用了遥感数据的监测功能, 先获得耕地的种植比例, 在总量上进行控制, 然后结合地面调查的方法确定作物种植面积和粮食作物的面积。随着遥感技术的发展, 满足业务化要求的作物类型遥感识别技术正逐步成熟。

从国家决策者到农户都需要农情信息, 但 CropWatch 更多地是为宏观决策提供信息支持, 随着信息技术特别是互联网技术的发展, CropWatch 的监测结果应该通过网络进行发布(旱情、长势), 为更多的用户提供信息服务, 并允许用户进行网上定制, 允许用户将自己的信息上传至网络参与运算, 得到自己的监测结果。

农情遥感监测得到的信息只能反映农业, 特别是粮食生产的形势及发展过程, 只有与市场需求、区域供需平衡、价格波动等结合起来进行综合分析, 才能发挥更大的作用, 给出粮食生产形势和供需平衡

的全景描述。

目前全球气候变化对粮食安全的影响越来越明显, CropWatch 将致力于全球气候变化条件下, 中国和全球主要粮食生产系统的中长期粮食产量模拟预测, 并结合供需平衡分析, 开展全球主要产粮国家和全球尺度的粮食安全预警。

农田作物及其生长环境信息的准确获取是开展精准农业的关键, 我们将对系统在宏观大范围农情监测中所积累的农情监测技术进行改进, 发展农田尺度的作物参数、环境参数和农情参数监测技术^[35], 并开展监测技术在精准农业框架下的应用示范。

6 结 语

“全球农情遥感速报系统”经过 12 年的努力, 已经发展成为一个高度运行化的系统, 能提供作物长势、单产、种植面积、产量、复种指数、旱情、种植结构等农情信息。除了直接服务于国家相关部委和决策部门外, 还分别对全国、省以及县一级的用户进行了系统的定制和推广, 在关键时期的农业决策中发挥了重要的作用。

2004 年《遥感学报》出版“中国农情遥感速报系统”专辑, 标志着系统达到了运行化水平。在此后的 5 年时间里, 系统不断发展, 在系统化、独立性、系统应用与推广以及信息发布方式的多元化等方面取得了长足的进步。未来 CropWatch 将致力于全球气候变化条件下的粮食安全预警, 发展农田尺度的农情参数遥感监测技术, 发展 CropWatch 的网络服务并允许用户进行网上定制。

参考文献 (References):

- [1] USDA FAS. GLAM-Global agricultural monitoring[EB/OL]. [http // www. pecad. fas. usda. gov/glam. cfm](http://www.pecad.fas.usda.gov/glam.cfm), 2005
- [2] USDA FAS. The FAS crop explorer: A web success story[EB/OL]. [http // www. fas. usda. gov/info/fasworldwide/2005/06-2005_2005](http://www.fas.usda.gov/info/fasworldwide/2005/06-2005_2005)
- [3] EC JRC. MARS unit about us[EB/OL]. [http // mars. jrc. it/mars/Aboutus](http://mars.jrc.it/mars/Aboutus) 2010.
- [4] Genovese G. Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System[R]. Vol 1 to Vol 4, EUR-report 21291 EN, 2004
- [5] Banth B, Royer A, Genovese G, et al. The use of remote sensing within the MARS crop yield monitoring system of the european commission[C]// EPRS Archives Vol XXXVI, Part 8, Remote Sensing Applications for a Sustainable Future, 2006.
- [6] FAO. Global information and early warning systems [EB/OL]. [http // www. fao. org/WAICENT/foinfo/economic/giews/english/](http://www.fao.org/WAICENT/foinfo/economic/giews/english/)

- index.htm, 2010
- [7] Hielken a J U, Snijders F L. Operational use of environmental satellite remote sensing and satellite communications technology for global food security and locust control by FAO: The ARTEMIS and DIANA systems[J]. *Acta Astronautica*, 1994, 32(9): 603-616
- [8] Macdonald R B. The LACIE Symposium, Lyndon B. Johnson Space Center, National Aeronautics and Space Administration [M]. Houston: NASA, 1979
- [9] Hallum C R. Experiment design overview [C]// Proceedings of the Large Area Crop Inventory Experiment (LACIE) Symposium, held at NASA/JSC, Houston, Texas 1978 23-26
- [10] U. S. Department of Agriculture. AgRISTARS Preliminary Technical Program Plan [R]. 1979.
- [11] Wu Bingfang. Operational remote sensing methods for agricultural statistics [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(1): 23-35. [吴炳方. 全国农情监测与估产的运行化遥感方法 [J]. 地理学报, 2000 55(1): 23-35.]
- [12] Wu Bingfang. China crop watch system with remote sensing [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004 8(6): 482-496 [吴炳方. 中国农情遥感速报系统 [J]. 遥感学报, 2004 8(6): 482-496]
- [13] Wu Bingfang, Li Qiangzi, Chi Yaobin, et al. Crop damage monitoring using remote sensing in January and February in south China in 2008 [J]. *Engineering Science*, 2008 10(6): 63-69. [吴炳方, 李强子, 迟耀斌, 等. 2008年 1~2月雪灾作物灾情遥感监测方法 [J]. 中国工程科学, 2008 10(6): 63-69]
- [14] Li Qiangzi, Zhang Feifei, Du Xin, et al. Grain loss in main disaster area caused by Wenchuan earthquake [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2009 13(5): 928-939. [李强子, 张飞飞, 杜鑫, 等. 汶川地震粮食受损遥感快速估算与分析 [J]. 遥感学报, 2009, 13(5): 928-939.]
- [15] Meng Jihua, Wu Bingfang, Li Qiangzi, et al. An operational crop growth monitoring system by remote sensing [J]. *Sinichigh Technology Letters*, 2007, 17(1): 94-99. [蒙继华, 吴炳方, 李强子, 等. 运行化的农作物长势遥感监测系统 [J]. 高技术通讯, 2007 17(1): 94-99]
- [16] Meng JH, Wu B F, Li Q Z. A global crop growth monitoring system based on remote sensing [C]// The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 2008, XXXV II Part B7: 1 695-1 698
- [17] Xu Xingang, Wu Bingfang, Meng Jihua, et al. Design and implementation of crop yield forecasting system [J]. *Computer Engineering*, 2008 34(9): 283-285. [徐新刚, 吴炳方, 蒙继华, 等. 农作物单产预测系统的设计与实现 [J]. 计算机工程, 2008, 34(9): 283-285.]
- [18] Mu Lingli, Yan Nana, Wu Bingfang. Development of a drought monitoring system and its methodology [C]// Proceeding of Digital Agriculture and Rural Informatization in Beijing 2005: 644-650 [牟伶俐, 闫娜娜, 吴炳方. 旱情遥感监测方法与系统开发 [C]// 2005年中国数字农业与农村信息化学术研讨会议, 2005: 644-650]
- [19] Du Xin, Wu Bingfang, Meng Jihua, et al. A method to estimate winter wheat yield with the MERIS data [C]// Proceeding of Progress In Electromagnetics Research Symposium, 2009.
- [20] Du Xin, Wu Bingfang, Meng Jihua, et al. Estimation of harvest index of winter wheat based on remote sensing data [C]// 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment Italy (Stresa), 2009
- [21] Wu Bingfang, Li Qiangzi. Crop acreage estimation using two individual sampling frameworks with stratification [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004 8(6): 551-569. [吴炳方, 李强子. 基于两个独立抽样框架的农作物种植面积遥感估算方法 [J]. 遥感学报, 2004 8(6): 551-569.]
- [22] Li Qiangzi. Validation and Uncertainty Analysis of Large Area Crop Acreage Estimation with Remote Sensing [D]. Beijing: Dissertation of Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences 2007. [李强子. 大范围农作物种植面积遥感估算方法的过程验证与不确定性分析 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2007.]
- [23] Jia Kun, Wu Bingfang, Li Qiangzi, et al. Improvement of classification accuracy integrating C- and X-band synthetic aperture radar data [C]// Proceedings of 2009 3rd IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Beijing, China (IEEE Press), 2009: 350-355.
- [24] Meng Jihua, Wu Bingfang, Li Qiangzi. Method for estimating crop leaf area index of China using remote sensing [J]. *Transactions of the CSAE*, 2007 23(2): 160-167. [蒙继华, 吴炳方, 李强子. 全国作物叶面积指数遥感估算方法 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 160-167.]
- [25] Chen Xueyang, Meng Jihua, Du Xin, et al. Study on monitoring the winter wheat leaf area index based on HJ-1 CCD data [J]. *Remote Sensing for Land & Resources* 2010 84(2): 55-58 [陈雪洋, 蒙继华, 杜鑫, 等. 基于环境星 CCD 数据的冬小麦叶面积指数遥感监测模型研究 [J]. 国土资源遥感, 2010 84(2): 55-58.]
- [26] Meng Jihua, Wu Bingfang, Li Qiangzi, et al. Monitoring crop N status with remote sensing—A case study of winter wheat in north China plain [C]// 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment Italy (Stresa), 2009
- [27] Meng Jihua, Wu Bingfang, Li Qiangzi, et al. Monitoring crop phenology with MERIS data—A case study of winter wheat in north China plain [C]// Proceeding of Progress In Electromagnetics Research Symposium, Beijing, China 2009
- [28] Yan Nana, Wu Bingfang, Huang Huiping, et al. Extraction of vegetation condition index and temperature condition index [J]. *World Sci-tech R & D*, 2005 27(4): 65-71. [闫娜娜, 吴炳方, 黄慧萍, 等. 植被状态指数和温度条件指数的提取方法 [J]. 世界科技研究与发展, 2005 27(4): 65-71.]
- [29] Mu Lingli, Wu Bingfang, Yan Nana, et al. Agricultural drought monitoring with vegetation condition and temperature condition [J]. *World Sci-tech R & D*, 2006 28(3): 26-31 [牟伶俐, 吴炳方, 闫娜娜, 等. 基于植被与温度条件的农业旱情遥感监测研究 [J]. 世界科技研究与发展, 2006 28(3): 26-31.]
- [30] Mu Lingli, Wu Bingfang, Yan Nana, et al. Validation of agricult

- tural drought indices and their uncertainty analysis [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2007, 27 (2): 119-122. [牟伶俐, 吴炳方, 闫娜娜, 等. 农业旱情遥感指数验证与不确定性分析 [J]. 水土保持通报, 2007, 27 (2): 119-122]
- [31] Du Xin, Chen Xueyang, Meng Jihua *et al.* 6S model based atmospheric correction of HJ-1 CCD data [J]. *Remote Sensing for Land & Resources* 2010, 84 (3): 22-25 [杜鑫, 陈雪洋, 蒙继华, 等. 基于 6S 模型对环境星 CCD 数据的大气校正 [J]. 国土资源遥感, 2010, 84 (3): 22-25]
- [32] Meng Jihua, Wu Bingfang, Ni Liming *et al.* Validation of HJ-1 HSI red edge parameters based on spectral reflectance of hyperion [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis* 2010, 30 (8): 2205-2210. [蒙继华, 吴炳方, 钮立明, 等. 利用 Hyperion 数据进行环境星 HSI 红边参数真实性检验 [J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30 (8): 2205-2210]
- [33] Wu Bingfang, Du Xin, Meng Jihua *et al.* A new method to identify high middle and low productivity field with remote sensing and its application in Huanghuaihai river basin [C] // *Proceeding on Development of Modern Agriculture and National Food Security* 2009, 2009 [吴炳方, 杜鑫, 蒙继华, 等. 高中低产田遥感监测方法及在黄淮海流域的应用 [C] // 2009 年现代农业发展与国家粮食安全论坛论文集, 2009.]
- [34] Li Fapeng, Li Qianxiang, Wang Zhiliang. Analysis of agricultural water saving in Hai basin based on remote sensing water productivity [C] // *Proceeding of Orient Academic Forum*, 2009
- [35] Meng Jihua, Wu Bingfang, Li Qiangzi *et al.* Research advances and outlook of crop monitoring with remote sensing at field level [J]. *Remote Sensing Information*, 2010, (3): 134-140 [蒙继华, 吴炳方, 李强子, 等. 农田农情参数遥感监测进展及应用展望 [J]. 遥感信息, 2010, (3): 134-140]

Latest Development of “CropWatch” — An Global Crop Monitoring System with Remote Sensing

WU Bingfang MENG Jihua LI Qiangzi ZHANG Feifei DU Xin YAN Nana
(*Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract “CropWatch”, developed and operated by Institute of Remote Sensing Applications (Chinese Academy of Sciences), is one of the three operational crop monitoring systems with remote sensing that can provide global scale crop information. The system can provide information on crop yield, crop condition, crop acreage, crop production and agricultural drought etc. The system has been developing since 1998. After 12 years' improvement, it has been developed into a system that can provide independent, comprehensive and fast large scale crop information with advanced monitoring technology. A special issue on “CropWatch” was published by “Journal of Remote Sensing” in 2004 to summarize its methodology and development from 1998 to 2004. After that (2005-2009), “CropWatch” has made great improvement on system efficiency and independency. Great contribution from the system has been witnessed in snow disaster in south China in 2008, Wenchuan earthquake in 2008, drought in north China in 2009 and drought in southwest China in 2010. The paper introduces the development of the system between 2005 and 2009 in systematization, independency, system application and system extension in detail and then presents a future perspective on the system's development in the Twelfth Five Years (from 2011 to 2016).

Key words “CropWatch”; Remote sensing; Crop production