

文章编号: 1007-4619 (2004)06-0481-17

中国农情遥感速报系统

吴炳方

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 介绍了中国农情遥感速报系统的建设情况, 系统内容包括农作物长势监测、农作物种植面积监测、农作物单产预测与粮食产量估算、作物时空结构监测和粮食供需平衡预警等。简要介绍了1998年以来中国农情遥感速报系统在监测内容与监测范围、监测频率、技术发展以及质量控制与过程检验体系建立等方面的进展, 并就中国农情遥感速报系统的发展方向提出了展望。

关键词: 农情遥感; 监测; 中国

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

中国是一个农产品生产大国、消费大国和贸易大国。农业生产形势, 特别是粮食生产状况是各级政府、农业生产管理部门、农产品购销与加工企业以及广大公众都关注的大事。农作物长势与产量是国家社会经济基础信息, 关系国计民生, 对于制定国家和区域社会经济发展规划, 制定农产品进出口计划, 确保国家粮食安全, 指导和调控宏观的种植业结构调整, 提高相关企业与农民的经营管理水平均具有重要意义。另一方面, 农情信息不仅是调控决策的重要依据, 而且可以带来巨大的商业利益, 历来受各国政府的重视, 都力争通过各种手段尽早地准确预报农作物产量。随着全球化趋势的深入与发展, 为应对国际国内市场竞争, 对农情信息的需求显得更加迫切。遥感技术具有客观、及时的特点, 可以在短期内连续获取大范围的地面信息, 用于农情监测具有得天独厚的优势。近20多年, 农作物遥感监测一直是遥感应用的一个重要主题。

本文旨在介绍中国农情遥感速报系统的建设背景、系统结构与内容、技术与运行状况、系统的检验体系和未来的发展方向等, 也是对中国农情遥感速报系统的总结与展望。

2 农情遥感监测概况

迄今为止, 国际上最主要的农情遥感监测与作物估产系统以美国、欧盟为主要代表, 美国农业部的国家农业统计局(NASS)和外国农业服务局(FAS)分别运行着国内和国外系统, 欧盟则由欧盟联合研究中心(JRC)负责运行。

美国于1974—1986年通过“大面积农作物估产实验”(LACIE)和“农业和资源的空间遥感调查”(AGRISTARS)两个大型农业遥感监测项目的攻关, 从1986年开始, 由美国农业统计局负责美国本土的农作物长势、粮食产量, 外国农业局负责对加拿大、墨西哥、阿根廷、巴西、前苏联、中国、印度、中东地区、澳大利亚等全球粮食主产国进行作物监测和粮食产量预测^[1]。

欧盟自1988年以来通过MARS计划开展了利用遥感技术对欧盟各国的耕地、作物种植面积和产量进行监测, 每两周向欧盟农业总部提供农业生产形势监测报告, 同时将监测结果用于农业补贴的申报核查和共同农业政策的改革^[2]。MARS项目监测的作物品种多达18种, 包括油料、土豆、葵花籽等, 每年发布6期综合性监测通报。另外, 由于欧盟的大米主要从东南亚进口, 为了得到较好的购买价格, 欧盟还建成了

收稿日期: 2004-03-26; 修订日期: 2004-05-18

基金项目: 中国科学院95重大项目(KZ951-A1-302-02)和特别支持项目(KZ95T-03-02); 中国科学院知识创新项目: 全球农作物遥感估产研究(KZCX2-313); 科技部国家十五科技攻关课题: 农业信息资源开发与共享技术研究(2001BA513B02)。

作者简介: 吴炳方(1962—), 男, 工学博士, 研究员, 博士生导师, 江西省玉山人, 从事农业与生态环境遥感研究, 发表论文40多篇。

E-mail: wubf@irsa.ac.cn

万方数据

应用 ERS 1/2 雷达数据估算东南亚地区水稻产量的系统,以便在粮食市场上获得更好的价格。

中国开展农业遥感监测工作起步较早,1979 年中国科学家就开始关注农作物遥感估产的经济意义及政治意义并提出了积极建议^[3]。从 1983 年到 1998 年的 15 年间,中国在农作物遥感估产方面取得了长足的进步,从冬小麦单一作物估产发展到小麦、水稻和玉米等多种农作物遥感估产,从小区域到横跨 11 省市的遥感估产,积累了大量的技术、方法、经验和人才^[4-9]。1998 年,在中国科学院和原国家发展计划委员会的支持下,中国科学院遥感应用研究所总结以前研究成果,开始了对农作物的遥感估产的集成,筹建“中国农情遥感速报系统”,边运行、边探索、边发展,当年实现全国范围的农作物长势监测,并逐步开展覆盖全国的小麦、玉米、稻谷、大豆估产和粮食总产量估算,为国家有关部委的决策提供了科学的依据,尤其是在 1998 年的洪涝灾害后的重建和粮情判断方面发挥了重要作用。2000 年以来,中国科学院遥感应用研究所逐步将“中国农情遥感速报系统”的监测范围推向全球尺度,开始启动全球主要小麦和大豆出口国的粮食估产试验,先后开展了北美、南美、澳洲和泰国等地区的作物长势动态监测和粮食总产预测。

3 系统内容

自 1998 年以来,中国农情遥感速报系统从建设

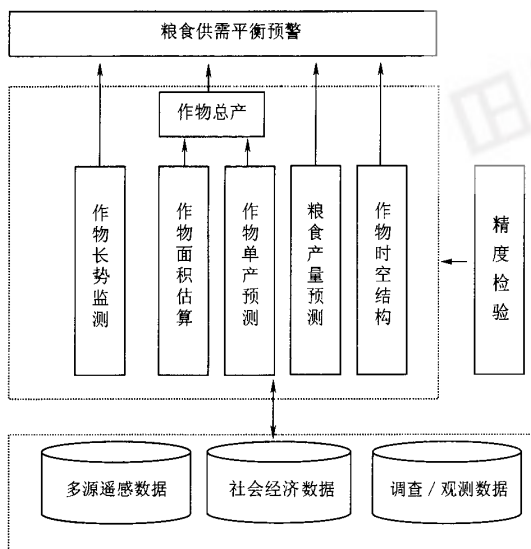


图 1 中国农情遥感速报系统内容

Fig.1 Content of China crop watch system using remote sensing

到运行已有 6 年。目前的中国农情遥感速报系统包括作物长势监测、主要作物产量预测、粮食产量预测、时空结构监测和粮食供需平衡预警等 5 个子系统(图 1)。

3.1 作物长势监测系统

作物长势指作物苗情的生长状况及其变化。农作物长势监测是农情遥感监测与估产的核心部分,其本质是在作物生长早期阶段就能反映出作物产量的丰欠趋势,通过实时的动态监测逐渐逼近实际的作物产量,因此作物长势监测是一个动态监测的过程,需要对作物的生长期进行持续的监测,跟踪作物的生长过程,尽早地获得作物产量的变化情况。这对于粮食生产者、政府部门和期货市场至关重要。

国内外作物长势遥感监测属于半定量的方法,主要采用年际间同期遥感影像对比分析,通过差值影像的分级显示,反映区域作物生长状况的相对差异^[10]。中国农情遥感速报系统通过对 NOAA AVHRR 数据处理流程的规范化和系统化,形成具有运行能力的农作物长势定性监测系统,这种监测方法能够提供每旬或每月监测结果,但用户在使用监测结果时只能看到当前时段作物长势信息,除非与前几期的监测信息放在一起对比,否则很难把握作物生长发展的态势,另外一个时段的作物长势好坏也无法反映作物最终产量情况。因此,在运行的同时,从农作物生长过程角度建立监测流程,形成农作物长势定量监测系统,为用户构建了综合的作物实时生长状况及苗情生长趋势的分析环境,实现了作物长势遥感监测综合分析。同时可以依据野外地面实测信息对遥感监测结果进行标定和检验。

作物长势监测系统主要包括生成标准化遥感数据产品、实时作物长势监测、作物生长过程分析、作物旱情遥感监测、作物长势综合分析等 5 个方面的内容。

3.1.1 标准化遥感数据产品

作物长势监测需要时间频率高,范围大的遥感影像数据。中国农情遥感速报系统主要利用 NOAA AVHRR 和 SPOT VGT 每旬的 NDVI 数据。为保证监测质量,对 NOAA AVHRR 遥感数据进行标准化处理,包括辐射标定、大气纠正、云标识和云污染去除等,生成质量一致的遥感数据产品集^[11,12]。

3.1.2 实时作物长势监测

实时作物长势监测是指在作物生长期内采用 NDVI 对比的方法监测作物长势。主要指利用实时

NDVI 图像的值,通过其与去年或多年平均,或指定某一年的对比,通过年际间 NDVI 图像的差值来反映实时的作物生长差异空间变化的状态,可以对差异值进行分级,来统计和显示区域的作物生长状况。人们可以通过多年遥感资料累积,计算出常年同一时段的平均植被指数,然后由当年该时段的植被指数与常年值的差异程度作为衡量指标,来判断当年作物长势优劣,评价当年作物长势状况的空间分布^[10]。

实时作物长势监测主要是通过两期 NDVI 图像的对比分析,即计算差值图像来实现的。利用每旬的最大 NDVI 合成图像与去年同期的最大 NDVI 图像合成相减,并将差值图像(8 bit)在 -100—100 间灰度级间均分为 5 个区间,形成反映作物长势的 5 个分级(差、稍差、持平、稍好、好)。同时,为了更好地反映作物的生长信息,通常将差值图像与耕地数据相叠加,仅保留耕作区域,以更准确地反映作物的生长信息,更能突出地反映农作物的长势情况。另外,作物长势实时监测还考虑地区差异和物候期变化等因素,因此作物长势监测图还叠加表征作物生长节律先后的物候数据。最后,将耕地分为水田和旱地作物分别成图^[10],以分别监测水田作物和旱地作物。

3.1.3 作物生长过程分析

农作物的生长状况不仅需要通过实时长势监测进行分析,还需要从作物生长的发展过程上进行趋势对比与分析。利用多时相遥感数据序列,可以反

映作物生长发育的动态变化过程。具体地,作物生育期内作物生长状况和生长条件的变化,都会动态地反映在 NDVI 时间曲线上。作物生长过程分析正是根据这一响应关系,通过分析 NDVI 过程曲线的变化特征,推测作物的生长发育状况,分析作物长势^[13]。

作物生长过程分析,首先需要构建时间序列 NDVI 图像,通过 Hants 等平滑技术将作物生长期连续观测到的遥感影像进行平滑处理,形成作物生长 NDVI 过程曲线^[14]。然后通过作物生长过程的年际对比来反映作物的生长状况。农作物 NDVI 时间曲线的对比分析,可以清楚地反映当年作物生长与参考年份的差异^[15],如物候期的推移、作物生长的速率、长势的程度、成熟的速率等,可以从整体上了解作物的生长过程状况,进而为作物产量的计算提供依据。

3.1.4 作物旱情遥感监测

利用短波红外水吸收性能的特点,与其他遥感、地理信息系统等本底数据相结合,建立旱情遥感监测模型,对全国的旱情进行周期性监测。系统在获取短波红外波段数据的基础上,计算得到作物的叶面缺水指数,与植被指数叠加分析,并与全国实测土壤湿度数据进行空间关联,建立模型,监测结果包括极度缺水、严重缺水、中度缺水、轻度缺水、不缺水 5 个缺水等级,分别用来指示作物的不同缺水态势(图 2)。

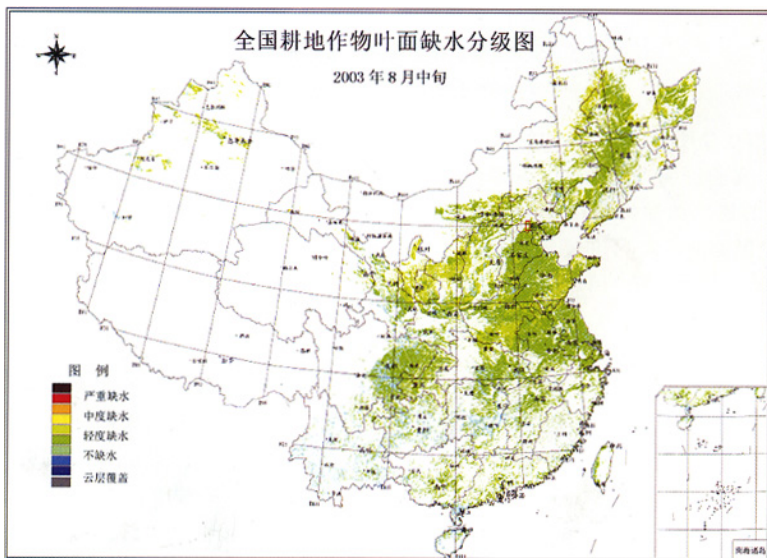


图 2 旱情监测图

Fig.2 Drought monitoring map

3.1.5 作物长势综合分析

作物长势监测是一个综合分析过程,既要根据实时作物长势监测、作物的生长过程分析和作物叶面缺水情况进行综合分析,也需要综合考虑农业气象条件、作物物候等因素,以及经济社会运行状况,进行综合诊断和分析,得出长势监测分析结果。

3.2 主要农作物产量预测

主要农作物产量预测包括冬小麦、春小麦、早

稻、中稻、晚稻、春玉米、夏玉米、大豆等 8 类作物,监测范围是该类作物在全国范围内的种植区,基础统计单元是县级行政单元,然后逐渐汇总到省级行政单元。作物产量遥感预测采用总产 = 单产 × 种植面积的思路,并以农作物遥感估产区划为基础,分别通过农作物种植面积的多级采样估算以及分区单产模型的确定而实现(图 3)。

3.2.1 作物面积监测系统

由于中国自然环境和种植制度的复杂性因素,

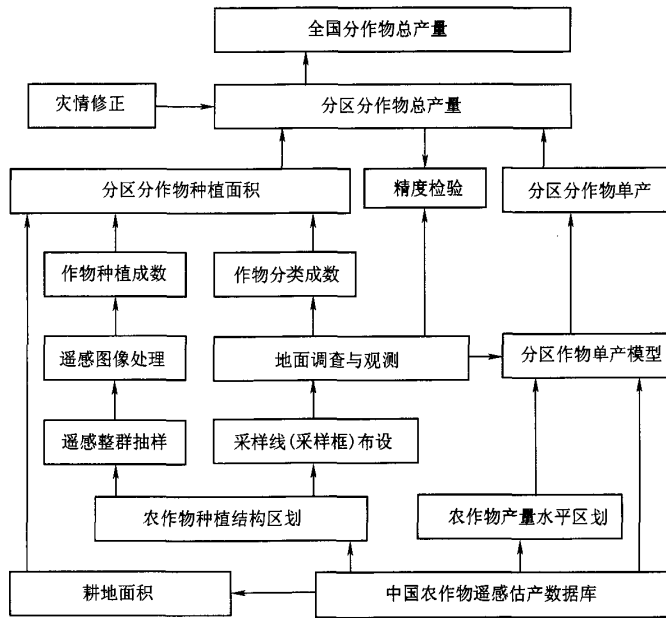


图 3 全国主要农作物遥感产量预报的业务流程

Fig.3 Crop production predication flowchart using remote sensing in China

导致作物插花种植现象明显,使农作物的遥感识别存在相当的难度,实验证明,即使采用 QuickBird 这样高空间分辨率的遥感图像仍然存在分类精度问题。与此同时,中国范围广大,不可能采用数据密集型的高度覆盖方式。因此,在中国进行作物种植面积监测,必须将遥感技术与抽样技术结合起来进行。

抽样技术在全球大型农业调查项目中广泛使用,如欧盟 MARS 计划采用了分层面积采样抽样方法^[1]、美国大面积农作物估产计划(LACIE)以及农业和资源的空间遥感调查计划(AGRISTARS)等都使用了面积抽样框架(Area Sampling Frame)^[16]。

值得注意的是,虽然 Landsat TM、Cbers CCD 等地球资源卫星数据难以提取每种作物类别的种植面积,但是却可以精确地提取作物总的种植面积,经过试验表明可以达到 97% 以上的精度^[17]。

因此,“中国农情遥感速报系统”在农作物种植面积区划的基础上,提出了将遥感技术与抽样技术相结合的综合监测方法。遥感技术与抽样技术相结合,最直接的选择就是采用 QuickBird 或 IKONOS 等特高分辨率遥感数据进行整群抽样,可以直接监测每种作物的种植面积,但是由于监测范围较大,为保证较高的精度,需要大量的数据,价格昂贵,且在较短的时间内进行接收,具有一定的难度,目前还不能满足“中国农情遥感速报系统”的运行要求。

“中国农情遥感速报系统”采用两个独立抽样框架解决了农作物种植面积的遥感监测问题^[18]。一是在整群抽样理论的支持下,以 1:10 万地形图标准分幅为抽样群进行整群抽样,指导遥感影像的选购,经过影像处理与分析得到农作物种植成数(图 4),二是在样条采样框架和 GVC 农情采样系统的配合

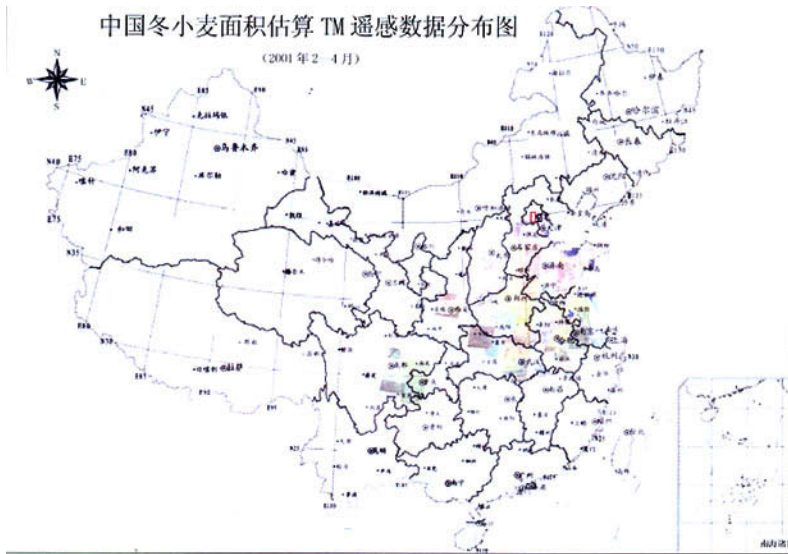


图4 2001年中国冬小麦面积估算 TM 影像分布图

Fig.4 Landsat TM images used for winter wheat acreage in 2001

下,调查农作物分类成数。新的种植面积估算技术与原来的技术体系相比,系统化更强,尤其是对农作物种植成数的估算,突破了原来订购遥感影像的随意性,借用抽样技术为指导,保证了农作物种植成数的估算精度。

3.2.2 作物单产预测系统

作物单产是当年作物生产水平的度量,同时也是作物产量预测或产量估算的重要环节之一。在全国农作物总产量预测中,单产预测与面积监测同等重要。现阶段的“中国农情遥感速报系统”主要采用技术上成熟可靠的农业气象模型来估算作物单产^[19]。

考虑到农业气象模型在全国具有较多的应用例子,检验精度和预测时效性基本能够满足农情遥感监测运行的需要。中国农情遥感速报系统没有直接针对农作物单产建立自己的单产预测模型,而是通过文献调查,总结中国农气模型的历史经验及成果分析,直接借用前人建立的预测模型,通过规范化模型使用空间范围,重新标定模型参数,建立了一套用于全国农作物单产预测的农业气象估产模型集,并在此基础上开发了农作物单产预测系统。

因此,农作物单产预测可归结为:首先搜集全国现有的各种农业气象模型,标定其适用的作物类型、空间范围以及预测因子等要素。模型搜集完备后进行模型适用范围确定,通过农作物单产区划将模型

由原来的试用区域延伸到一个具有较大范围的区域(即区划单元)。作物单产的模拟同样是在农作物单产区划的基础进行的,在每个区划单元内,选定一些代表性的县进行单产模拟和精度检验。然后根据农作物单产水平的空间变异规律,采用空间插值方法将单点模拟生成的单产预测数据外推到整个区划单元。最后通过对耕地像元上的单产值进行统计平均,得到区域内的平均作物单产(图5, $1\text{hm}^2 = 15$ 亩)。

3.3 粮食产量估算系统

粮食是关系国计民生的重要战略物资。通常,农作物的产量估算面对的是大宗的作物的产量估算,如小麦、水稻、玉米等,除大宗作物之外还有许多小品种作物,如高粱、谷子、薯类等,详细的产量估算比较困难,也没有必要,但国家需要的是总的粮食产量信息,根据国内习惯,一般分成夏粮、早稻和秋粮3类。早稻已在农作物产量监测中完成,需要估算夏粮和秋粮的总产量。

夏粮和秋粮的产量估算通过前一年的粮食产量与当年产量变幅来完成。即,夏(秋)粮总产量_{今年} = 夏(秋)粮总产量_{去年} × 变幅。当年产量的变幅包括种植面积变幅和单产变幅两部分。则,粮食产量 = 去年粮食产量 × (1 + 单产变幅) × (1 + 种植面积变幅)。对全国及分省粮食产量(粮食总产量、夏粮产

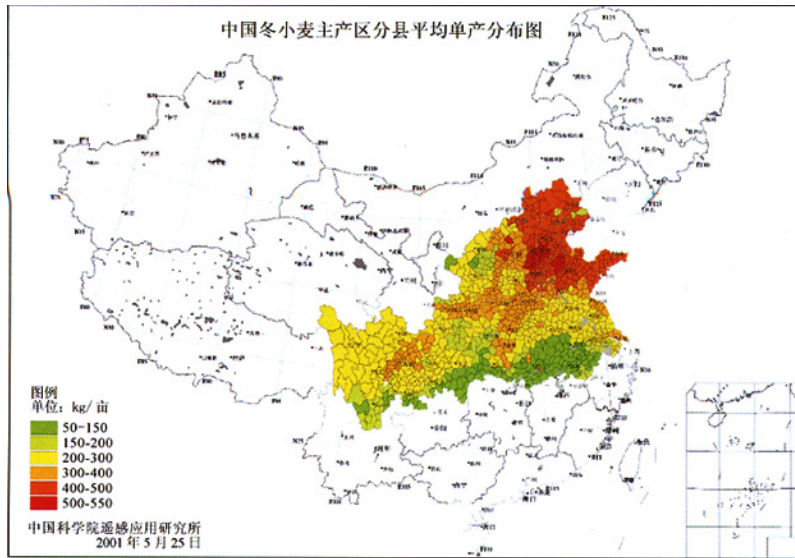


图 5 2001 年冬小麦单产预测

Fig.5 Winter wheat yield prediction in 2001

量、秋粮产量)进行预测和估算,预测指在粮食作物收割前,估算指在收割后。种植面积变幅是基于整群抽样技术通过两年间的遥感影像分类监测对比得到。单产变幅通过建立基于遥感参数的粮食单产预测模型获得(图6)。对于不同地区的不同作物类型,利用不同的遥感参数(如 *NDVI*, *LAI* 等)和遥感参数过程线参数(过程线峰值、上升速率、下降速率

等),建立具有较高相关性的粮食产量预测模型^[20-23]。其中,粮食种植面积变幅监测用 Landsat TM 或 Cbers CCD 数据,粮食单产变幅采用高时间分辨率的 SPOT VGT 数据。表 1 是 2002 年与 2003 年全国粮食产量及变幅估算结果。

表 1 2002 年与 2003 年全国粮食产量及变幅

Table 1 Grain production and change extent between 2003 and 2002

项目	2003 年/万 t	2002 年/万 t	增减/%
夏粮	11098.83	11430.06	- 2.90
早稻	3462.72	3565.17	- 2.87
秋粮	32988.45	33652.67	- 1.97
粮食合计	47550.00	48647.90	- 2.26

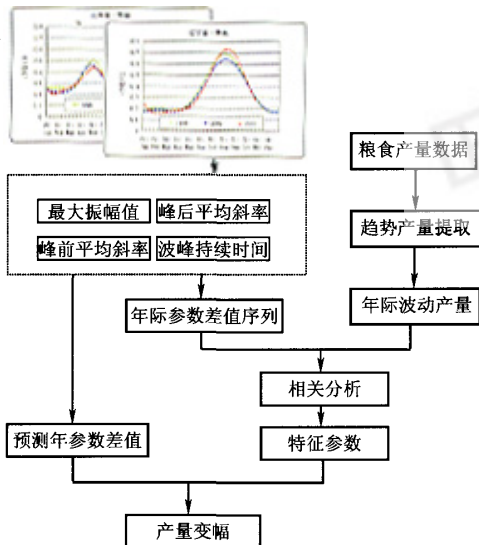


图 6 粮食单产变幅预测流程图

Fig.6 Grain yield change extend prediction

3.4 作物时空结构监测

作物时空结构的监测包括两方面内容:一是农作物种植结构及其变化的监测(空间结构);二是复种指数及其变化监测(时间轮作)。其中作物种植结构及其变化的监测主要反映了空间上各种作物的镶嵌结构及其变化趋势,既是中国农业种植结构的现状反映,也是中国当前农业结构调整政策的反映。复种指数是反映水土光与自然资源利用程度的重要指标之一,其含义是作物生长期内耕地的利用次数,是耕地利用效率的有效度量。因此,作物时空结构

的监测,是作物长势、种植面积与粮食总产之外能够有效反映粮食生产能力和潜力的关键因素,具有同样重要的监测意义。

中国农情遥感速报系统采用样条采样框架技术与 GVG 农情调查系统,通过野外调查的方式进行农作物种植结构监测^[24]。样条采样框架技术是在农作物种植结构区划的基础上,基于面积采样框架技术设计适用于低成数、多插花种植地区的采样技术^[18]。通过布设线状样区,结合 CVG 农情采样系统^[25],在全国通过 8 个采样片每年 2—3 次的野外调查,汇总得到全国各省、市以及农作物种植结构区划单元的农作物种植结构。通过连续几年的监测,较好地反映了中国农作物种植结构的调整现状。

中国农情遥感速报系统采用时间序列 *NDVI* 曲线监测复种指数^[26]。首先,通过农作物物候区划进行作物熟制分区,形成熟制基本一致的区划单元,然后,在每个物候区划单元内,采用 Hants 技术对 *NDVI* 数据集进行时间序列重构^[27],形成具有峰态的 *NDVI* 过程线,其中,每个峰代表了一次耕地利用或作物生育期。最后计算每个像元的极大值个数,得到每个像素的峰频图像,即复种指数图像,将其统计到行政单元或指定的区域,形成基于行政单元或特定区域的复种指数图像。利用该技术,通过连续监测,即得到复种指数变化趋势图像。

3.5 粮食供需平衡预警

区域粮食供需平衡是国家粮食宏观调控的重要内容,及时准确的区域粮食供需信息是宏观调控的基础。2002 年开始,中国按省级行政单元划分产区、销区和产销平衡区,放开学区的粮食市场。加入 WTO 后,中国农产品市场将逐步与国际市场接轨,为此,加强国家粮食供需的宏观调控成为十分迫切的任务。

遥感估产信息作为国家粮食供需平衡分析的信息源,与统计数据相比,遥感监测信息可以更加客观、及时地对粮食生产进行预测,在粮食供需平衡预测中克服统计数据获取滞后的缺点^[28]。加上遥感监测数据具有空间分布特性和分作物品种监测的特点,因此利用遥感估产数据,结合统计数据进行粮食供需平衡预测分析比单纯使用统计数据具有更大的优点,使得供需平衡分析可以采用国家、省甚至于县级尺度,能够有效提高国家粮食宏观调控决策的水平。

4 技术的发展与革新

中国农情遥感速报系统自 1998 年开始建设至今,经历了“边运行、边发展”的 6 年历程,6 年来对监测技术进行了大量的改进与革新,在不断提高监测精度的同时,逐渐形成了农情遥感监测技术体系。根据各种技术发展特点,可将其归纳为数据标准化处理、农作物长势监测、农作物种植面积估算和农作物单产估算、新的农情信息发掘等 5 个方面(表 2)。

4.1 数据标准化处理

数据标准化处理工作是农情遥感速报系统的一项重要内容,它是农作物长势监测、粮食遥感监测、复种指数监测等内容的基础。1998 年至今,中国农情遥感速报系统的数据处理经历了从流程化到业务化再到标准化的过程。

1998 年,根据农作物长势监测需要,建立了一套针对 NOAA AVHRR 数据处理的基本流程。经过一系列程序编写,实现了低分辨率卫星数据的流程化处理,开展日常运行业务,满足了 1998—2001 年的农作物长势监测的需要。2002 年,在分析农情遥感信息监测内容及要求的基础上,对 1998 年形成的基本处理流程进行了标准化建设,形成了包括传感器标定、天顶角纠正、辐射标定、日地距离纠正、云检测、几何纠正、大气纠正、双向反射因子纠正、地表温度反演在内的标准化处理流程,并对其中的云检测技术和大气纠正技术进行了改进^[12]。利用每日真实的大气参数进行遥感数据的标准化处理,完成了 2002 年至今的作物长势监测、时空结构监测和粮食产量估算。

4.2 农作物长势监测

自 1998 年开始,农作物长势监测经历了从定性监测到定量监测再到综合监测的过程。从 1998 年开始,使用植被指数来判断农作物生长态势,通过连续两年的对比将全国分为明显好于往年、好于往年、与去年相等、比往年差、明显比往年差 5 个等级。1999 年,引入植物叶面缺水指数 (*NDWI*) 进行作物缺水分析,2000 年,考虑到作物种植的特征,根据全国土地利用数据库,对水田作物和旱地作物分开监测。但这些均是对农作物长势的定性监测。到 2001 年底,开始对农作物长势进行定量监测,对农作物长势与去年相比的优劣进行量化评价,发布作

表 2 中国农情遥感速报系统的技术革新与发展
Table 2 Technique development and innovation of Crop Watch

技术更新分类	监测内容	1998	1999	2000	2001	2002	2003
数据标准化	规范化到业务化						
	标准化						
长势监测	从简单到综合的定期性监测	植被指数					
		叶面缺水指数					
		水田、旱地分开					
		过程监测					
	农气资料分析						
	综合性定量监测						
种植面积	二级区划						
	三级区划						
	三级区划						
单产估算	生产类型区划下的农业气象模型						
	单产区划下的农业气象模型						
其它	时空结构监测	种植结构					
		复种指数					
	粮食遥感						

物长势比去年或优劣的百分比,如与去年相比好 30%,并在作物主产区,发布了不同长势等级地区的面积百分比。

同时,农作物长势技术上也经历了一个从简单到综合的过程,1998年,植被指数是评价作物长势的唯一信息,1999年,开始引入作物叶面缺水指数,与植被指数一起分析作物长势,2001年,开始引入农作物长势的过程监测,从作物生长过程的角度对作物长势进行评价,使农作物长势监测形成为包括以实时作物长势监测和生长过程监测为主的综合监测体系。

从作物长势的分析层面上,也经历了从国家级的单一层面到包括全球、全国、省和作物主产区 4 个层面的过程。1998—2000年,作物长势监测仅包括全国性长势监测;2001年,长势监测范围扩展到北美,并在以后陆续扩展到南美和澳大利亚;2002年,则在全球和全国两个监测层面的基础上,增加了作物重点省份和作物主产区的作物长势监测,发展成为包括 4 个监测层面的监测模式。

4.3 农作物种植面积估算

1998年,通过分析中国农作物种植制度特征,

提出在 1:10 万中国土地资源数据库和农作物种植结构区划的基础上,综合采用遥感技术与抽样技术相结合的方法估算农作物种植面积。利用遥感监测农作物种植成数,利用样条采样框架技术与 GVC 农情采样系统调查农作物分类成数。经过 5—6 年的发展,到 2003 年已经形成完善的农作物种植面积估算体系。

1998年,根据中国农情遥感速报系统的种植面积估算需要,根据农业生产的自然条件、种植结构特征以及作物生产水平等因素,进行了农作物种植结构区划,共包括 11 个一级区划,44 个二级区划。同时,在二级区划的基础上,进行了样条采样框架布设,并开发了 GVC 农情采样系统。但在以后的使用过程中,发现区划方案在物候节律、土地利用方式、耕作水平等方面存在较大缺点。2000年,参考 FAO 在农业区划中对于垦殖水平的因子考虑,利用全国 1:10 万比例尺的土地资源数据,按垦殖率水平将全国划分为 5 种类型区,然后将之与二级区划进行叠加,并与省界叠加,整理后形成 102 个三级区划单元^[16]。与之相适应,在农作物种植结构三级区划基础上重新布设了采样线路,提高了采样率,并研制了

新一代 GVG 农情采样系统^[25]。

2003年,为了进一步完善农作物种植面积遥感监测技术体系,提出了基于两个独立抽样框架的农作物种植面积遥感监测方法。第一个抽样采用整群抽样技术,用于选购合适位置的遥感影像进行农作物种植成数的估算,抽样过程中,以二级区划为基础,以1:10万地形图国际标准分幅为抽样框,利用遥感数据进行分层整群抽样,利用遥感能够高精度提取作物总的种植面积的特点。在每个层内抽取能够满足估算精度要求的一定数量的面积样方,在每一个样方内利用 TM 影像提取农作物总播种面积,以此来估算层内的农作物总种植成数(即所有作物的种植面积占耕地面积的比例)。第二个抽样以第三级区划为基础,借鉴面积采样框架技术,提出了一种适合中国农作物种植结构特征的样条采样框架,用于完成不同农作物类别在所有播种作物中的分类成数。同时借助 GVG 农情采样系统,通过野外采样,调查作物区内每种作物类型的分类成数(即某类农作物种植面积占所有作物种植面积的比例)^[25]。作物总种植成数与每种作物类型的分类成数相乘就得到具体每种作物类型的种植成数,种植成数与耕地面积相乘得到具体每种作物类型的种植面积。

水稻种植面积估算时,同时采用了雷达数据和光学遥感数据,由于雷达数据监测水稻种植面积精度较高,能够满足运行化要求,而光学数据的提取精度相对较低,因此,水稻种植面积估算是混合性的方法,对于有雷达数据的区划单元采用面积抽样框架方法,对于有光学数据的区划单元采用两个独立的抽样方法。

4.4 农作物单产估算

在1998年系统建设之初,中国农情遥感速报系统的农作物单产预测就直接采用在中国具有良好使用基础和精度保证的农业气象模型。通过农作物生产类型区划,建立模型规范化使用标准和原则,使各种农业气象模型在空间范围和模型参数上重新得以膨化,形成了中国农情速报系统自己的农业气象单产预测模型集,形成独特的农作物单产预测系统^[19]。

1998年,根据中国农情遥感速报系统的单产预测需要,根据农业自然条件、单产水平等因素进行了农作物生产类型区划,共包括11个一级区划,39个二级区划。但在以后的使用过程中,发现区划方案在物候节律、土地利用方式、作物类型等方面存在较

大局限性。2001年在完成农作物种植结构区划的同时,将中国农业气候资源和农业气候区划叠加入农作物生产类型区划,并利用GIS对分区边界的空间一致性进行修正,生成农作物单产区划,共包括132个农作区和一个非作物区,共133个区划单元。新的农作物单产区划具有客观、更有利于建立农业估产模型等优点,对于提高农作物单产估算精度具有很大帮助^[17]。

4.5 新的农情信息

中国农情遥感速报系统在对其监测技术完善与更新的同时,不断发掘新的农情信息,包括农作物时空结构变化监测和粮食产量遥感估算。

作物时空结构的监测技术研究。首先,通过时间序列遥感数据重构,将作物生长过程线应用于复种指数的监测中,通过作物生长过程线的峰频监测完成了像素级的农作物复种指数估算,并通过统计汇总得到不同空间尺度的农作物复种指数,形成了基于遥感的农作物复种指数监测方法。同时,使用样条采样框架技术与GVG农情采样系统,通过连续监测,分析不同年份的农作物种植结构变化趋势,形成了农作物种植结构变化监测方法。

粮食产量的遥感估算技术研究是在农作物种植面积遥感监测技术和农作物单产预测技术逐渐完成和成熟之后提出来的。中国农情遥感速报系统在分析影响粮食产量关键因子的基础上,通过估算粮食产量变幅实现最终的粮食产量估算。同时,将粮食产量变幅分解为单产变幅和种植面积变幅两个部分,然后根据基于遥感参数过程曲线的粮食单产模型得到,面积变幅根据地面采样结果得到,最终形成独立的粮食遥感监测方法。

5 系统运行

中国农情遥感速报系统自1998年运行以来,监测内容、监测范围、监测频率等各个方面都在不断拓展,以满足用户对信息的需求。

5.1 监测内容与监测范围的开拓

在中国农情遥感速报系统的监测内容与监测范围方面,自1998年始一直处于开拓阶段,从最初的中国东部作物长势监测到全国范围的长势、种植面积和总产业务运行,2001年开始,走出国门开展北美、南美、澳大利亚、泰国的作物长势、粮食总产和水

表 3 中国农情遥感速报系统监测内容与监测范围的拓展过程
Table 3 Monitoring items and spatial development of Crop Watch

监测范围		监测内容	1998	1999	2000	2001	2002	2003
国内		长势						
		种植面积						
		总产						
		粮食产量及变幅						
		种植结构						
		复种指数						
		样地观测 (GVG、LAI)						
		旱情样地观测						
国外	北美	长势						
		作物总产						
	南美	长势与作物总产						
	澳洲	长势与作物总产						
	泰国	水稻面积						
中国农情遥感速报		旬报						
		月报						

稻面积估算,表 3 概括了 1998 年以来的监测内容与范围的拓展过程。

1998 年,监测业务仅局限于农作物长势监测,空间范围是从中国东部逐步拓展到全国范围,共发布了 3—9 月间 8 旬农作物长势通报,为 1998 年洪水过后的灾后重建和农业生产形势判断方面,为国家有关部门提供了科学的依据。

1999 年,将农作物长势监测频率确定为常规业务,从 3 月下旬至 9 月下旬以旬为周期发布全国农作物长势信息,同时在全国范围开始农作物产量估算,开始在作物收割前 1 个月内,开展全国范围内 8 种主要农作物(包括冬小麦、早稻、春玉米、春小麦、中稻、夏玉米、大豆、晚稻)的种植面积估算和总产量预报,全年发布产量通报 6 期。

2000 年,农作物长势监测、种植面积估算和总产量预报纳入运行日程,并开始全国粮食总产量的预测、估算及年度变幅估计,并在旬报上发布。

2001 年,利用作物生长过程监测作物长势,开展省级作物长势监测,形成长势监测技术体系。作物种植面积估算方面,布置了江苏江宁、吉林德惠两个检验样地,对分类成数(种植)的 GVG 调查方法进行精度检验,并开展 LAI 等作物生理参数的定期观测。同时,将监测范围迈出国门,开展全球性农情遥感监测,当年的监测范围包括北美的加拿大、美国和

墨西哥,发布每月一次的长势监测通报。另外,在农情信息的发布形式上,除保留原来的旬报形式外,开始发布 4—10 月的月度“中国农情遥感速报”,每年 7 期。

2002 年,继续完善利用作物生长过程监测作物长势的技术,开展粮食主产区的作物长势监测,并加强分省作物长势监测。同时,开始发布全国种植结构变化监测结果和种植面积年度变化监测结果;同时增加地面实验样地,布置江苏江宁、吉林双阳、湖北新州、河北栾城共 4 个样地,开展作物地面参数测量和样条采样框架的检验工作;此外,进一步扩大全球农情遥感监测范围,开始进行南美(巴西、阿根廷)、澳洲和北美等地的作物长势监测和粮食总产预测试验,并对泰国水稻面积进行了遥感监测。

2003 年,为进一步开展作物地面参数及样条采样框架的检验工作,将地面实验样地增加到 9 个;进一步完善长势监测中的叶面积指数的检验工作,布置了 1 个旱情监测样地,开展地面参数观测。2003 年第 4 季度,中国粮油价格大幅上涨,引起国家有关领导人的关注。但根据中国农情速报系统的分析,大豆及豆制品价格的上涨明显不正常,因为中国东北地区的大豆明显增产、美国大豆也没有减产,印度和欧洲只有少量减产,这不符合市场供求规律。到 2003 年 11 月底,大豆价格下跌 10% 左右,粮油企业

每吨亏损达100—200元,从全国计,仅2003年的大豆进口一项开支达30多亿元人民币^[29]。如果我们的监测信息能够及时提供给粮食企业,特别是进出口企业,则可以避免粮食企业在进口上的盲目跟从,减少亏损。

2000年开始,粮食遥感监测信息开始用于粮食供需的决策,解决了区域粮食供需平衡分析中动态信息短缺的问题。粮食遥感监测信息的实时动态更新特点满足了区域粮食供需平衡的要求。2000年和2001年度,来自遥感的估产数据与来自国家统计局部门的信息差异很大,但与来自粮食市场和粮食流通行业的信息之间相吻合,而且是具有空间分布的数据。

5.2 监测频率的调整与形成

中国农情遥感速报系统自1998年运行至今,在监测频率上也有较大调整。

农作物长势的监测频率在1998系统试运行之时,仅进行了8个关键时期的长势监测。1999年开始将监测频率固定为作物生长期的每旬一次,每年进行20次监测。2001年开始,新增加每月一次的月度监测,除国内农作物长势监测外,还进行北美、南美、澳大利亚等全球农作物长势监测,每年进行27次信息发布。

农作物产量估算工作开始于1999年,于作物成熟前1个月进行作物种植面积、单产和总产监测。2002年,根据需要对每种作物进行两次监测。第一次于作物成熟前1个月,用于作物单产预测、种植面积估算和作物总产预测。第二次于作物成熟期进行,用于估算作物单产和总产。两次前后相差1个月。

根据国家有关部委的惯例,粮食产量包括夏粮、早稻和秋粮3个方面,但是由于早稻产量已经在作物产量估算中完成,因此粮食产量估算的频率每年分3次进行,分别为夏粮产量估算、秋粮产量估算和全年粮食估算。

6 精度检验

农情遥感监测结果在得到各部门使用的同时,也受到用户对监测精度的质疑。2000—2002年的运行表明,遥感监测的结果与市场经济的运行数据相近,误差很少。但尽管如此,只有对遥感监测过程是否精确可靠进行全方位的检验,才能使用户在使用

监测结果时放心,做到心中有数,这一问题已成为农情遥感监测能否顺利进入决策流程的关键。

中国农情遥感速报系统在建立之初就重视检验体系的建设,经过3—4年的建设,初步形成了独立的检验体系。检验内容包括作物种植面积、作物单产、粮食产量、作物长势、旱情以及种植结构等各个方面。目前在农作物种植成数和分类成数以及作物长势监测精度检验方面取得了很好的结果。随着检验体系的完善与检验内容的不断增加,中国农情遥感速报系统的监测精度水平会越来越高。

6.1 检验体系

目前为止,精度检验的内容主要集中在主要作物种植面积遥感估算的精度检验和作物长势监测的精度检验两个方面,随着现场观测数据的积累,其他方面的精度检验工作将相应地展开。

由于目前主要采用NDVI数据监测作物长势,因此利用地面叶面积指数检验作物长势,特别是作物生长过程的精度。

LAI地面测量通过布置样区测定。2001年江苏江宁和吉林德惠布置了两个实验区,进行作物生理参数实地监测工作,重点包括LAI、生物量的实地测算。2002年,将样区增加到4个,共有吉林双阳、江苏江宁、湖北新州、河北栾城等4个样地,测量内容相同。在地面测量的同时,记录实地作物长势。

2003年,为完善农作物长势监测中的叶面积缺水指数的检验,在山西太谷新布置了1个旱情监测样地,进行地面旱情参数测量,同时进行作物分布图制作和作物生理参数测量。

主要作物种植面积的精度检验是作物种植成数的遥感提取的精度检验和地面调查的作物分类成数的精度检验。种植成数精度检验采用甚高分辨率遥感数据作为参考数据,由甚高分辨率遥感数据提取的作物种植面积是相当精度的,以此为依据来检验基于TM或CBERS数据的种植成数提取精度,于2002年选定河南开封地区,2002年和2003年选定山西太谷作为实验区进行种植成数的精度检验。

分类成数的精度检验通过地面样区调查进行,在样区同时进行作物种植模式调查和GVG农情采样,通过比较两者的结果进行精度评价。样区选择与LAI地面测量相同,2001年有两个样区,2002年增加到4个,2003年和2004年增加到8个,除已有的4个外,新增了江西南昌、四川绵阳,宁夏银川和山西太谷等4个样区,并且同步开展GVG农情采样

视野宽度的检验^[30]。

从 2004 年开始,在早情、长势、单产方面的精度检验将得到进一步加强。

6.2 种植成数与分类成数精度检验

在中国农情遥感速报系统中,农作物种植成数的获取主要使用 Landsat TM 和 CBERS CCD 数据,因此从 2001 年开始,中国农情速报系统即在全国选择实验区进行农作物种植成数的遥感监测精度检验工作。

2001 年在开封实验区,2003 年在太谷实验区,分别进行了夏季作物和秋季作物的种植成数监测。同时结合地面调查和 IKONOS 和 Quickbird 甚高分辨率遥感数据,进行高精度的作物种植面积提取。结果表明,利用 Landsat TM 数据对于夏季作物种植成数的识别精度可以达到 99% 以上,对于秋季作物的识别精度也可达到 97% 以上^[17]。

样条采样框架技术是中国农情遥感速报系统中的核心内容。它重点解决了中国目前土地使用制度下农作物分类成数的地面调查问题。因此,对于它的检验显得尤其重要。

2003 年在太谷实验区,进行了样条采样框架的精度检验工作。检验过程采用对比分析方法。即首先借助实验区内的高分辨率遥感影像,进行地面作物填图调查,然后按照样条框架技术原理进行农作物成数调查。最后将两种结果对比,取得了不错的精度。检验数据表明,玉米、大豆等大宗作物的成数检验精度不低于 96%^[31]。

1999 年以来,先后在吉林双阳、江苏江宁、河北栾城、湖北新州等 4 地各选定一个面积最小为 5km × 5km 的样区分别进行单季水稻(江宁)、双季水稻(新州)、小麦与玉米(栾城)、玉米与大豆(双阳) GVG 分类成数采样检验。根据野外实际采样数据,各样区抽样获取的主要粮食作物分类成数和该地区采用 GVG 系统得到的分类成数比较。德惠样区 2000 年所得的采样误差是水稻 3.2%,玉米 6.3%,2001 年水稻 3.0%,玉米 4.8%。表明 GVG 采样的误差可以接收。从不同样区的检验结果得到样条采样框架与 GVG 采样的总体精度在 89%—99% 之间,大宗作物的精度较好^[25]。

检验结果表明样条采样框架与 GVG 农情采样系统在分类成数提取的精度是相当高的,能够满足运行化的要求,太谷试验区的检验也同样表明,这套方法只能用于大宗作物,对于小面积作物的分类成

数精度很差,满足不了运行化的要求。

综合种植成数和分类成数的精度检验结果,两者的精度均在 95% 以上,说明提出的基于分层的两个独立的抽样方法能够满足运行的要求。

6.3 长势监测精度检验

为了配合长势监测的精度检验开展的地面观测主要包括生长期、株高、叶面积指数、种植结构等观测,在样条采样基础上,由 GVG 农情采样系统采集野外实拍照片,并通过监测样区作物的生物量和叶面积指数等生理参数指标,对作物长势监测结果进行检验。通过样区的实测叶面积指数与作物生长过程的对比,河北栾城县样区内耕地的冬小麦和夏玉米作物生长过程线与实测的 LAI 值具有很好的线性相关关系,相关系数的平方值 R^2 分别为 0.80 和 0.86,吉林省双阳样区的作物生长过程线和 LAI 移动平均拟合分析中,春玉米和大豆的 NDVI 与 LAI 呈“P”形对应关系^[32]。

充分利用地面采样系统(GVG)的野外照片,通过样条采样路线年度间的重复性,进行对比年际间作物生长状况的对比,验证实时遥感监测作物长势结果。

6.4 单产预测的置信检验

中国农情遥感速报系统在使用前人的模型时,首先进行膨化处理,然后使用历史数据进行单产预测。在整个预测过程中进行 4 个阶段的检验。

第一阶段是相关性检验,主要用于检验拟合模型的显著性相关程度,按 95% 的置信水平对不具有显著性相关水平的因子予以剔除。

第二阶段是标准误差检验,用于检验回归模型的拟合精度,模型的拟合精度决定了预测精度。其中,标准误差的计算公式为

$$s = \sqrt{\frac{1}{n - k - 1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} = \sqrt{\frac{SS_e}{\nu}} \quad (1)$$

其中, SS_e 为残差平方和, ν 为自由度。标准误差反映了基于回归模型预测值与实际值的平均误差总和,误差平方和越小,模型的精度也就越高。检验过程中要求标准误差不超过均值的 15% 水平。

第三阶段是总体相关显著性检验,按 95% 的置信水平进行 F 检验,用于检验 x 与 y 之间的线性统计关系是否可以接受。

第四阶段是回归系数检验,同样按 95% 置信水平对回归系数进行 t-检验。保证回归系数具有统计

学意义。

对于检验过程中没有满足要求的县级行政单元,用附近的县代替重新进行模拟。

7 中国农情遥感速报系统的展望

7.1 降低监测费用,提高遥感贡献度

中国农情遥感速报的费用仍然很高,其中最大的支出是地面采样费用和遥感数据购置费用,各占总费用的1/3强。提取农作物种植面积的最主要数据源是美国陆地卫星TM/ETM遥感数据,水稻用RadarSat遥感数据。采用TM等遥感数据作为主要数据源遇到的问题一是费用昂贵,二是从TM中提取作物种植面积的精度不高,特别是秋粮作物的品种繁多、间作套作普遍;三是数据源得不到保证,在中国南方地区,多阴雨天气,农作物生长期内的遥感数据接收率很低。雷达遥感数据的全天候特点及水稻后向散射系数的特性,使得利用雷达遥感数据提取水稻种植面积取得了很好的效果,但费用更加昂贵。

因此需要发展基于新颖遥感数据的方法,如采用将要发射的科技部微小卫星的多光谱遥感数据,其空间分辨率为32m,幅宽600km,每3.5d覆盖一次同一地区,基本上可以在10d时间内合成一幅无云污染的影像,可用于构建作物生长过程期间的光谱过程,可以肯定,在作物生长期,即使是在南方地区,可以得到5个时相以上的无云图像,从而为作物多时相分类提供了数据保障,同时由于高时空分辨率的特征,为县级作物长势、健康监测和生物量估算提供了数据保障,实现更高精度更高可靠性的农情监测信息服务。

另一方面,遥感的作用目前主要用于农作物长势监测和农作物种植面积的估算,而作物的单产预测主要采用农业气象模型。作物产量遥感预测模型的缺乏也正是遥感估产中最薄弱的环节。出现这种现象的主要原因是所需的遥感参数如反照率、植被指数(如NDVI)与作物产量间的关系是间接的而不是直接的,有的遥感参数如叶面积指数(LAI)、吸收性光合有效辐射分量(FAPAR)虽然与作物产量有更直接的关系,但由于地球表面的异质性,遥感提取时存在很大的不确定性,并受时间、区域特征、作物类型特征以及波段宽度、大气、土壤、地形等因素的影响^[33, 34]。

万方数据

遥感提取的信息既能综合反映作物的群体结构特性,又能反映作物个体的差异。因此如果能将地块的真实产量与遥感提取的、与作物产量有直接关系的信息结合起来,就能达到客观精确的产量预测,作物生理参数如LAI、FAPAR和生物量、NPP等与作物产量有着更直接的关系,是估算作物产量的理想参数^[35],其中LAI、FAPAR可用遥感提取得到。

7.2 开拓新的信息服务方式

目前的作物长势监测与估产信息产品主要是面向宏观决策部门,今后需要开发服务于地方部门和企业级用户的中观与微观信息产品及综合信息服务产品。地方政府需要指导农户根据市场需求进行作物结构调整,利用遥感技术可以对大范围作物种植结构进行调查监测,同时通过对产量的预测结合市场信息可为各地进行作物结构调整提供综合信息服务。大中型农业种植企业对作物生长的健康状况十分关注,利用遥感技术可以对作物的生长状态(如绿度及其变化)进行实时监测,为其提供作物总体的健康诊断信息,为田间管理与生产提供服务。粮食购销、贸易与加工企业则十分关注市场的供需情况,利用遥感技术可以预测各地粮食产量丰欠态势,然后通过分析粮食供需区域平衡状况为企业生产的经营管理提供服务。服务方式可以包括:

推送式服务 通过系统自动或主动地(邮件、消息或网站形式)将用户需求信息实时发送到用户。使用户能够按照自己的需要随意查询浏览(如点播)、选择、组合相关信息。

决策性服务 目前主要提供国家级服务,随着效率与精度提高,今后根据技术发展及精度水平为地方各级政府部门服务。

协议式服务 通过系统运行,满足国家大中型企业、农场的特殊性农情遥感监测服务(如某种特殊作物、作物品质、粮食区域平衡等内容)。

7.3 发展旱情遥感定量监测与评估系统

旱灾是影响农作物生长的重要灾害之一。目前的“中国农情遥感速报系统”利用短波红外波段对叶面含水量敏感的性能,建立叶面缺水指数,经土壤湿度验证后,定性监测每旬全国旱情分布和强度。但这种方法的缺点是具有滞后性,主要表现为降雨后土壤墒情的改善并不能在叶面缺水指数中得到立即反映。因此,需要建立新的旱情监测体系来提高监测水平。

遥感在旱情监测方面的应用需要进一步定量化和标准化,利用作物水分胁迫指数(*CWSI*)、植被状态指数(*VCI*)和归一化温差指数(*NDTI*)监测旱情范围,开展旱情遥感监测结果的区域标定和定量分级,开发 4 种旱情监测指数的同化方法,然后通过与气象、农业等信息的集成,估算各类干旱指数及其综合指数,形成标准化的旱情监测预测业务流程,建成业务运行系统,以图表和统计数据的形式按日、旬、月、季等不同时段输出,反映旱情实况和未来短期旱情发展变化的信息,进行全国及地方的旱情监测预测。

利用 *Radarsat-2*、*AMSR-E* 等微波遥感数据直接监测土壤湿度,开展旱情监测,同时开展旱情对粮食生产的影响分析,大大有利于农作物长势和粮食生产水平预测的精度。

7.4 现有信息产品的细化与精化

不同层次的用户对农情信息的需求在内容上不尽相同,而且对于信息的时效性、精度和可靠性等方面的需求也有差异。为更好地服务于广大用户,中国农情遥感速报系统将进一步细化和精化现有信息产品,提高信息产品监测精度和可靠性水平,在保持目前全球、全国、省和主产区农情信息产品的服务的同时,将产品推广到县级农情信息产品服务,这就需要切实采用新的数据和新的技术快速实现信息产品的改造与提高。

作物生理参数,如 *LAI/FAPAR* 能够更直接地反映作物的生长与生产情况,用 *LAI/FAPAR* 来取代 *NDVI* 进行作物长势监测,能够最大限度的消除 *NDVI* 本身固有的误差和缺陷。同时提高监测尺度,采用 *MODIS 250m* 分辨率数据建立监测体系,可以大大地提高监测精度,并能为地方提供服务。

以作物生长过程监测为基础,建立基于生物量(或净初级生产力)、作物生理参数过程的作物单产预测模型。分析其时间过程曲线的特征参数(峰值、上升、下降速度等)与产量的相关关系,从中筛选出敏感的参数因子,建立特征参数与单产的关系,建立作物单产的遥感预测方法,提高作物单产预测水平。

7.5 提高系统化水平

系统化是提高系统可执行性和效率的技术。粮食遥感监测工作头绪很多,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,另外一方面又对处理人员的素质要求很高。为了提高效率,实现

业务化,需要对处理流程进行系统化梳理和开发,通过多层次的规范化、标准化、专业化建设,形成大规模工程化运行系统。只有通过系统化,形成标准化的处理系统,才能使系统有效地得到利用,减少不确定因素的干扰,提高处理效率和可靠性。

进行系统化建设必须解决信息处理流程的明确化、细致化、集成化,理顺各个局部之间的关系;定量化研究也是系统化研究的一部分,从定性向定量,从局部向系统转化。

系统化的核心是理顺信息流程,合理分解业务过程,组合系统的功能,进行统一的设计开发。系统化包括数据处理流程化、业务流程化、开发流程系统化、系统运行规范化。

数据处理流程化,数据处理工作是信息系统建设的基本工作,包括基础的信息采集、处理、入库等工作,是基本的信息加工过程。

业务流程系统化,信息系统的组织实施需要多个业务部门的参与和分工合作,在各个环节之间以信息流作为主线。

业务流程化的过程,同时也是对业务处理过程数据流分析的过程。通过现有业务过程的整合、规范化,提取出标准的业务处理过程。规范化过程中,需要对业务处理过程中的数据特征、类型、存储格式进行统一的标准化处理,同时也是确定业务过程中对能够计算机实现过程的提取,给出数据流程图和系统的业务处理流程图。

7.6 精度检验

精度检验是农情遥感监测结果能否顺利进入决策流程的关键,为此还需要加大精度检验的力度。要进行过程检验,对每一项工作存在的误差进行分析,在以往检验工作开展的基础上,进一步从作物种植面积、作物单产、粮食面积及单产、作物长势、旱情以及种植结构等方面,从每一步监测过程入手进行全方位的检验,并建立每项监测内容的质量控制方案,进行过程控制。

8 结 论

中国农情遥感速报系统经过 6 年的运行与发展,在为国家发展与改革委员会、农业部、国家粮食局等有关部门提供服务的同时,不断进行技术革新,扩大监测范围和监测内容,逐渐形成了据有中国特色的农情遥感监测技术体系,形成了比较规范的运

行流程,目前为止,提供的信息产品包括国内的农作物长势监测、作物和粮食产量估算,种植结构监测,以及旱情监测等内容;同时也开展了北美、南美、澳大利亚、泰国的农情遥感监测。

在农作物长势遥感监测方面,通过建立系统化的监测体系,使农作物长势监测由定性逐步走向定量。在农作物种植面积遥感监测方面,中美欧三方均采用遥感技术与抽样技术相结合的方法,由于考虑到地块破碎,种植结构复杂,插花种植现象明显,采用了适用于中国具体特点的基于两个独立抽样的农作物种植面积监测技术,进行样条采样框架建设,并开发了GVG农情采样系统。在作物单产预测方面,则通过借用前人的预测模型,经膨化处理后再选取部分代表点进行估计,然后通过空间外推到整个作物生产区。并发展了农作物时空结构、粮食产量预测方面的监测技术。

目前,中国农情遥感速报系统一方面在进一步加强监测技术规范化、标准化和系统化,采用新的遥感数据源,不断改进监测技术方法,提高监测精度和可靠性,细化、丰富监测内容,扩大监测范围。另一方面,伴随技术革新与系统发展的质量控制与过程检验体系也逐步建立起来,从2001年开始布设地面实验样地以来,不断革新和完善检验方法,正在形成完善的质量控制和检验体系。

参考文献(References)

- [1] Liu H Q, Jin M Y. Application of Remote Sensing in Agriculture in the United States[J]. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 1999, 20(2): 56—60. [刘海启,金敏毓. 美国农业遥感技术应用状况概述[J]. 中国农业资源与区划, 1999, 20(2): 56—60.]
- [2] Liu H Q. The Introduction of MARS Plan of European Commission and Chinese Agriculture Remote Sensing Application[J]. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 1999, 20(3): 55—57. [刘海启, 欧盟 MARS 计划简介与我国农业遥感应用思路[J]. 中国农业资源与区划, 1999, 20(3): 55—57.]
- [3] Chen S P. Application in Agricultural Science of Remote Sensing[M]. *Geo-science Explore III (Remote Sensing Application)*, Beijing: Science Press, 1990. [陈述彭, 遥感在农业科学技术中的应用[M]. 陈述彭. 地学的探索, 第三卷, 遥感应用, 北京: 科学出版社, 1990.]
- [4] Li Y Z. Winter Wheat Dynamic Monitoring and Production Estimating with Meteorology Satellite Remote Sensing[M]. Beijing: Meteorology Press, 1993. [李郁竹. 冬小麦气象卫星遥感动态监测与估产[M]. 北京: 气象出版社, 1993.]
- [5] Chen S B. Research Papers Corpus of Technology Test for Wheat Maize and Rice Production Estimation with Remote Sensing[C]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993. [陈沈斌. 小麦、玉米和水稻遥感估产技术试验研究文集[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.]
- [6] Zhao R, Wang Y Y, Dai J F et al. China Rice Dynamic Monitoring and Production Estimating with Remote Sensing[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996. [赵锐, 王延硕, 戴锦芳等. 中国水稻遥感动态监测与估产[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.]
- [7] Xu X R. Bulletin on Environment Monitoring and Crop Yield Estimation with Remote Sensing[C]. Beijing: Beijing University Press, 1991. [徐希骞. 环境监测与作物估产的遥感研究论文集[C]. 北京: 北京大学出版社, 1991.]
- [8] Huang J F, Xie G H. Winter Wheat Remote Sensing Using Meteorological Satellite[M]. Meteorological Press, 1996. [黄敬峰, 谢国辉. 冬小麦气象卫星综合遥感[M]. 气象出版社, 1996.]
- [9] Xiao Q G, Zhou S S, Chen W Y et al. The Application of NOAA/AQVHRR to Estimate Winter Wheat Yield in Large Scale Area[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1986, 1(4): 299—307. [肖乾广, 周嗣松, 陈维英等. 用气象卫星数据对冬小麦进行估产的实验[J]. 环境遥感, 1986, 1(4): 299—307.]
- [10] Wu B F. 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.]
- [11] Liu C L, Wu B F. Application of Cloud Detection Algorithm for the Advanced Very High Resolution Radiometer[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6): 677—687. [刘成林, 吴炳方. NOAA AVHRR 云标识技术的应用分析[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 677—687.]
- [12] Wu B F, Liu C L. China Territory 1km AVHRR Dataset[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6): 529—550. [吴炳方, 刘成林. 中国陆地 1km AVHRR 数据集[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 529—550.]
- [13] Wang N B. Winter Wheat Dynamic Monitoring and Yield Estimation with Remote Sensing in China[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996. [王乃斌. 中国小麦遥感动态监测与估产[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.]
- [14] Genovese G, Vignolles C, Negre T. et al. A Methodology for a Combined Use of Normalized Difference Vegetation Index and CORINE Land Cover Data for Crop Yield Monitoring and Forecasting: A Case Study on Spain[J]. *Agronomie*, 2001, 21(1): 91—111.
- [15] Roerink G J, Menenti M. Time Series of Satellite Data: Development of New Products [R] Report of the Netherlands Remote Sensing Board, 2000.
- [16] Sushil Pradhan. Crop Area Estimation Using GIS, Remote Sensing and Area Frame sampling[J]. *JAG*, 2001, 3(1): 86—92.
- [17] Li Q Z, Wu B Y. Assessment of Crop Proportion Monitoring Using Landsat TM Imagery[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6): 581—587. [李强子, 吴炳方. 作物种植成数的遥感监测精度评价[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 581—587.]
- [18] Wu B F, Li Q Z. 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.]
- [19] Meng Q Y, Li Q Z, Wu B F. Operational Crop Yield Estimating Method for Agricultural Statistics [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):602—610. [孟庆岩, 李强子, 吴炳方. 农作物单产预测的运行化方法[J]. 遥感学报, 2004, 8(6):602—610.]
- [20] Paul C Doraiswamy, Paul W Cook. Spring Wheat Yield Assessment Using NOAA AVHRR Data [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1995, 21(1): 43—51.
- [21] Paul R Bullock. Operational Estimates of Western Canadian Grain Production Using NOAA AVHRR LAC data [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1992, 18(1): 23—29.
- [22] Groten S M E. NDVI-crop Monitoring and Early Yield Assessment of Burkina Faso [J]. *INT. J. Remote Sensing*, 1993, 14(8):1495—1515.
- [23] Jiang D, Wang N B, Yang X H, et al. Principles of the Interaction Between NDVI Profile and the Growing Situation of Crops [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2):247—252. [江东, 王乃斌, 杨小唤等. NDVI 曲线与农作物长势的时序互动规律[J]. 生态学报, 2002, 22(2):247—252.]
- [24] Wu B F, Fan J L, Tian Y C, et al. Fast Investigation Method of Crop Planting Structure and its Application over China in 2002 [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):618—627. [吴炳方, 范锦龙, 田亦陈等. 全国作物种植结构快速调查技术与应用[J]. 遥感学报, 2004, 8(6):618—627.]
- [25] Wu B F, Tian Y C, Li Q Z. GVG, a Crop Type Process Monitoring Instrument [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):570—580. [吴炳方, 田亦陈, 李强子. GVG 农情采样系统及其应用[J]. 遥感学报, 2004, 8(6):570—580.]
- [26] Fan J L, Wu B F. Methodology of Cropping Index Retrieval from NDVI Profile [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):628—638. [范锦龙, 吴炳方. 复种指数遥感监测方法[J]. 遥感学报, 2004, 8(6):628—638.]
- [27] Zhang F, Wu B F, Liu C L et al. A Method for Extract Regional Crop Growth Information with Time Series of NDVI Data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):515—528. [张峰, 吴炳方, 刘成林等. 区域作物生长过程信息的遥感提取方法[J]. 遥感学报, 2004, 8(6):515—528.]
- [28] Zeng L, Zhang Y, Zhang X et al. A Short-term Model of Grain Supply and Demand Balance Based on Remote Sensing Monitoring and Agriculture Statistical Data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):645—654. [曾澜, 张勇, 张雪等. 基于遥感估产和农业统计的粮食供需平衡模型研究[J]. 遥感学报, 2004, 8(6):645—654.]
- [29] Ran X D. Soybean Trade and National Storage is great needed [N]. *Economics Overview*, 2003, Dec. 1: A3. [冉学东. 大豆贸易受挟制, 国家储备刻不容缓 [N]. 经济观察报, 2003. 12. 1: A3 版]
- [30] He L H, Chu K H, Xiao X M. The Relationship of Vegetation-derived Index and Site-measured Rice LAI [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):672—676. [何隆华, 储开华, 尚向明. Vegetation 图像植被指数与实测水稻叶面积指数的关系[J]. 遥感学报, 2004, 8(6):672—676.]
- [31] Li Q Z, Wu B F, Xu W B. Assessment of Crop Proportion Monitoring Using Landsat TM Imagery [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):588—592. [李强子, 吴炳方, 许文波. 作物种植成数的遥感监测精度评价[J]. 遥感学报, 2004, 8(6):588—592.]
- [32] Wu B F, Zhang F. The Integrate Method for Crop Growing Monitor [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6):498—514. [吴炳方, 张峰. 农作物长势综合遥感监测方法[J]. 遥感学报, 2004, 8(6):498—514.]
- [33] Benedetti R, Paolo R. On the Use of NDVI Profiles as a Tool for Agricultural Statistics: The Case Study of Wheat Yield Estimate and Forecast in Emilia Romagna [J]. *Remote Sensing. Environment*, 1993, 45:311—326.
- [34] Quarmby N A. The Use of Multi-temporal NDVI Measurements from AVHRR Data for Crop Yield Estimation and Prediction [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 14(2):199—210.
- [35] Zhang J H, Wang C Y, Fu C B. A Study of Crop Yield Estimation Model Based on Remote Sensing Information and Crop Photosynthesis [J]. *Journal of Nature Resource*, 2004, 15(2):170—174. [张佳华, 王长耀, 符宗斌. 遥感信息结合光合特性研究作物光合产量估测模型[J]. 自然资源学报, 2000, 15(2):170—174.]

China Crop Watch System with Remote Sensing

WU Bing-fang

(*Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101*)

Abstract: The paper introduces China Crop Watch System with Remote Sensing (CropWatch), including its contents, technical innovation and operational development, validation and future activities.

Crop Watch contents 5 components, consisting of crop condition monitoring, crop acreage estimation and yield prediction, grain production estimation, cropping index and crop structure monitoring, and drought monitoring. Each component is described briefly in this paper and detailed in following papers.

Since 1998, the CropWatch has been put in operation. Each year, there are 7 monthly bulletins released, covering crop condition, crop acreage and yield, drought, agro-meteorology, cropping index and crop structure, and also grain production. And there are 21 10-days announcements released, covering drought and crop condition.

During the operational period since 1998, the technology used by the CropWatch are consistently improved. All AVHRR image from 1991 are processed for calibration and correction precisely which began in 2000, including sensor calibration, zenith correction, cloudy detection and masking, geometric correction, atmospheric correction, *BRDF* correction, and *NDVI* and surface temperature calculation. The CropWatch uses both different image and growing profile of *NDVI* to monitor the crop condition, estimates crop acreage using remote sensing and sampling technique based on stratification. The cluster-sample framework is used to estimate plant proportion with TM and Radarsat image as samples, and transect - sampling framework is used to survey crop type proportion in planted-area.

At the same time, The Crop Watch continuously expands its monitoring area. From 1998 to 2003, its monitoring area has been expanded from east China to national wide, to north and south America, to Australia and Thailand. Meanwhile, the Crop Watch continuously expands its monitoring contents, from crop condition monitoring, crop acreage estimation and crop yield prediction, to grain production, crop structure, and cropping index.

The Crop Watch has its own validation programme. Each year, a few validation sites have been selected to do the field measurement for verifying specific results. For example, in 1999, Jiangning in South China were Dehui in North China were two sites. The crop *LAI* every 10 days and crop type proportion have been measured to verify the crop condition and crop acreage. Validation shows that the accuracy are up to 97% for plant proportion and 95 crop type proportion.

Key words: CropWatch; monitoring; China