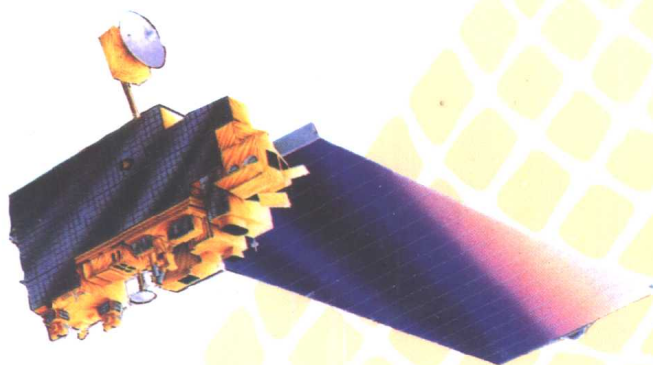


中国农作物遥感动态监测与估产系列专著

中国玉米 遥感动态监测与估产

万恩璞 徐希孺 主 编



中国科学技术出版社

7378993
109

中国农作物遥感动态监测与估产系列专著

中国玉米遥感动态监测与估产

万恩璞 徐希孺 主 编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

· 00803

内 容 提 要

本书是中国农作物遥感动态监测与估产系列专著之一, 主要介绍玉米遥感动态监测与估产技术路线, 基本方法, 玉米遥感估产的运行与集成系统的组成和功能。可供农学、生物学、地学、遥感、地理信息系统以及农业管理方面的专家和学者及教师和学生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国玉米遥感动态监测与估产/万恩璞、徐希孺主编—北京: 中国科学技术出版社, 1996. 8

ISBN 7-5046-2259-1

I. 中… II. ①万… ②徐… III. ① 遥感技术-应用-玉米-动态测定;
② 遥感技术-应用-农作物总产量, 玉米-预测 IV. S129
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 14223 号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码: 100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京科地亚印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 字数: 435 千字

1996 年 8 月第 1 版 1996 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1 1000 定价: 24.00 元

中国农作物遥感动态监测与估产系列专著编委会

主 任：孙九林

副主任：王乃斌 张琦娟

委 员：(按姓氏笔划为序)

万恩璞	王乃斌	王长耀	王延颐
孙九林	刘纪元	陈沈斌	吴炳芳
张晓阳	张琦娟	郑兴年	赵 锐
徐希孺	倪建华	高起江	熊利亚

责任编辑：陆宝英

责任校对：张林娜

00803

15125/01

序

农作物遥感动态监测与估产系列专著面世。这是我国遥感与信息科学工作者合作编著，有关主要粮食作物遥感动态监测与估产的理论与实践相结合的系列专著。她们既是“八五”国家科技攻关的总结；同时也是四十几个单位数百位科技工作者长期以来，持之以恒、自强不息、兼收并容、探索实验的结晶。对这套系列专著的出版，表示衷心祝贺！

粮食生产是人类社会持续发展最基本的物质条件，对任何国家来说都非常重要。纵观当代论述社会发展的各种学说，不论是《增长的极限》还是《没有极限的增长》，都把粮食生产能否满足人类自身繁衍生息以及社会经济日益增长的需求作为衡量的准则。且不论他们的观点是悲观或是乐观，有一点非常明确的共识，那就是粮食生产对于人类生存和社会持续发展都休戚相关，至关重要。

“民以食为天”，粮食生产是关系到维护世界和平，保持社会稳定和人民安居乐业的重大问题。中国是一个 12 亿人口的大国，尽管粮食总产量逐年大幅度上升，但是，由于人口增长和耕地面积的占用，粮食供销的态势仍然是相当严峻的。粮食生产受自然灾害、技术水平、资金投入等诸多因素的制约，经常出现波动，应用遥感技术监测农作物长势，作为产量估算的有效方法之一，使国家能及时、准确地掌握粮食生产状况，对于粮食宏观调控和贸易，无疑是具有很重要的意义的。

农业本是遥感的最大用户。遥感监测由静态到动态，由定性到定量，这是它的必然发展过程。“八五”期间将“重点产粮区主要农作物遥感估产”列入国家重点科技攻关项目，并选取黄淮海平原的小麦、松辽平原的玉米、江汉和太湖平原的水稻遥感监测与估产作为试点目标，以促进我国遥感和地理信息系统适应当前日益增多的社会需求是非常有远见的英明决策。经过四年多的努力，设计并初步建成适合我国国情的小麦、玉米和水稻遥感动态监测与估产信息系统，并出版了反映攻关成果的系列专著，无论是对我国农业现代化，或是对我国遥感应用领域的开拓，都是具有深远意义的巨大贡献。

农作物遥感动态监测与估产是一个具有挑战性的难题。特别是我国自然条件复杂，种植结构多样，地块小而分散，农业生产技术水平差距较大，很难用单一模式估算某种特定作物的产量，此其一；遥感信息获取难度大，特别是水稻种植区，梅雨、台风天气条件不利于卫星光学图像数据的获取，给水稻种植面积提取和单产模型的建立造成了很大困难。五年来，组织联合攻关，通过研究、试验、分析，以地理信息系统（GIS）为依据兼用甚高分辨率气象卫星（NOAA AVHRR）与陆地卫星（Landsat TM）数据，综合设计知识库和专家分析模型，提取小麦、玉米和水稻种植面积获得成功。为了适应国家和地方政府的需要，实验区域不断扩大；从 1994 年开始分别将黄淮海 22.5 万平方公里小麦估产区，扩大到河北省、河南省、山东省、北京市、天津市和安徽省阜阳地区，面积为 56.9 万平方公里，是原计划的 2.5 倍；将松辽平原玉米估产区 8.6 万平方公里，扩大到整个吉林省，是原计划的 2.1 倍；将江汉平原水稻估产区扩大到整个湖北省，是原计

划的 2.1 倍；将太湖平原水稻估产区 6 万平方公里，扩大到整个江苏省和上海市，是原计划的 1.8 倍。提出了全国农作物遥感估产区划，在估产模型研究方面也取得了一些新的进展：以农学模型为基础，开展了遥感、气象等数据应用于多种农作物估产模型的研究，构建了一批适合于我国大面积遥感估产模型。更令人欣喜的是随着这些技术的发展，他们设计了具有快速、客观的小麦、玉米和水稻遥感监测与估产运行系统、地理信息系统，将整个估产的各个作业环节均纳入计算机系统运行，并能及时输出相应的运算结果、图件及文件。这些实验研究工作，为进一步开展其它农作物遥感动态监测与估产进行了有效的探索。这套专著具有开拓性和实用性的特点，是一套非常难能可贵的农业遥感应用系列丛书，相信会得到广大读者的欢迎。对于作者们知难而进、义无反顾，敢于“吃第一只螃蟹”的献身精神；敢于承担当代前沿课题，勇攀科学技术高峰的毅力和勇气，我是无比崇敬和支持的。创业维艰，农业遥感应用和农作物遥感监测与估产，在我国已经有了一个良好的开端，日新月异，任重道远，更寄希望于农学家、生态学家的联合攻关，寄希望于青年遥感、地理信息学家的前仆后继。中国作为一个农业大国，当然也一定会为生态农业的持续发展，作出世界性的贡献。

陳述彭

中国农作物遥感动态监测与估产系列专著

前 言

农作物的生长状况与产量是全社会都十分关注的问题,对每一种作物在生长过程中会发生什么问题,能取得什么样的收获,是国家管理部门和农民们在作物播种后到收获的一段时间内随时都想了解的。因此,长期以来对农作物产量的预测是农业战线的一项重要工作。随着科学技术的发展,预测的方法和手段逐步完善和提高,不但能较准确地估测出各种作物的最终产量,也能跟踪监测各类作物在不同生长期的长势,从而根据需要及时采取有效措施,对农作物的生长进行监控,保证当年产量的稳定增长。为了在农作物监测和估产中充分发挥和利用现代科学技术的成果,提高快速、准确、经济地获得监测和估产信息,为国家经济建设和农业生产服务,我国从80年代初就将农作物估产技术的研究和应用列为国家科技攻关任务,组织科研单位、高等院校及生产单位的专家学者及生产第一线的科技人员开展研究,从方法试验到大面积运行,经过十多年的反复试验研究,取得了重要的成果。虽然农作物估产和监测技术与理论十分复杂,若干问题还有待进一步探索,但进行一次系统的总结是十分必要的,目的在于将成功的有效的经验、方法和理论肯定下来,使有待进一步研究和讨论的问题系统化,以便在今后的实践中应用和解决。本系列专著就试图让多年参加农作物监测与估产的专家 and 实际工作者对我国及世界上这一领域成功而分散的方法和理论系统化、条理化,从而促进这一领域的理论和方法不断发展。

“八五”期间将“重点产粮区主要农作物遥感估产”列为攻关课题,使其在“七五”攻关成果的基础上进行大面积的估产试验,通过“八五”攻关在遥感估产的理论和方法及实用化上又向前迈进了一大步,为我们系统编著系列专著提供了重要的基础。

本系列专著以“八五”攻关课题“重点产粮区主要农作物遥感估产”课题为基础,以遥感信息估测作物播种面积、长势监测、单产估算的技术流程为线索,融遥感技术、地理信息系统技术、全球定位系统技术为一体,结合地面采样实测和历史状况分析,研究农作物遥感估产的基本机理和技术方法,探讨存在的问题和发展前景,为农作物监测和估产领域的发展、研究的深化、业务技术人员的培养、科研成果的推广应用等提供了一套完整的学术论著。

“八五”攻关课题以小麦、玉米、水稻三个品种为主要研究对象。因为在我国的粮食作物的每年产量中,这三个品种占到85%以上,解决了它们的遥感估产技术问题,就可以使我国粮食作物的遥感估产进入实用化阶段。本系列专著也是主要围绕这三个品种进

行研究，分五册正式印刷出版。这五部书既有独立的体系，又是一个整体，读者可以选用其中之一，也可系统研究全部。《中国农作物遥感动态监测与估产总论》是全面阐述遥感估产的基本原理和一般方法，截止“八五”末期已取得的实用化技术及全国农作物遥感估产区划；《中国农作物遥感动态监测与估产集成系统》是介绍估产信息系统的集成化运行与软件开发；其余三部是按品种详细论述单品种遥感估产的基本流程和方法，从而组合成《中国农作物遥感动态监测与估产》系列专著：

1. 《中国农作物遥感动态监测与估产总论》 孙九林主编
2. 《中国小麦遥感动态监测与估产》 王乃斌主编
3. 《中国水稻遥感动态监测与估产》 赵 锐等主编
4. 《中国玉米遥感动态监测与估产》 万恩璞等主编
5. 《中国农作物遥感动态监测与估产集成系统》 熊利亚主编

参加“八五”遥感估产攻关课题的单位涉及到中科院、农业部、国家科委、国家气象局、10个省市的政府和业务部门及有经验的农民，所以本系列专著实际上是所有参与“八五”攻关以及“七五”、“六五”科研攻关中涉及本领域的单位和人员的共同成果，是我国这一领域的系统科研成果的记载。具体负责组织编写系列专著的单位是，中国科学院—国家计划委员会自然资源综合考察委员会，并具体负责编写以下三部：

《中国农作物遥感动态监测与估产总论》；

《中国小麦遥感动态监测与估产》；

《中国农作物遥感动态监测与估产集成系统》。

中国科学院南京地理所与农业部江苏省农科院负责组织编写一部，即：

《中国水稻遥感动态监测与估产》。

中国科学院长春地理所与北京大学负责编写一部，即：

《中国玉米遥感动态监测与估产》。

所有作者都希望尽最大的努力将自己所负责的部分系统地编写好，特别是把这一领域的国内外的精华和实践整理出来，但限于我们的水平和时间很难如愿。书中错误和不妥之处，尤其是挂一漏万难免，衷心地希望读者批评、指正和补充，为我国的农作物遥感动态监测和估产科技领域的发展共同努力。

孙九林

1995年10月于北京

中国农作物遥感动态监测与估产系列专著概要

在我们编著的系列专著的开头设“专著概要”，是经过我们多方征求意见而决定的。许多专家学者及管理人员反映，很多专著内容丰富，篇幅长，很适合同行专家深入研究做参考。但对一般管理人员特别是高层领导与相关专业的专家，大部头的专著并不合适，他们希望了解其内容并有收益，又不可能从头到尾细读研究。这就提出了一个问题，能否有一个简要的介绍，他们不要通读全文就能对整部专著有一定程度的了解。这就是我们在每部专著前，先提出系列专著每一个分册的概要的意图，以此回敬各位读者，尤其是管理层次的专家和领导。

系列专著包含有五本论著，它们按照统一的设计和构思，成为系列专著，而对每一本来说又是一个独立的体系。从总体安排来说，《中国农作物遥感动态监测与估产总论》部分主要就农作物遥感估产国内外发展的概况，遥感估产的机理，主要技术流程，估产系统建设目前可能达到的水平，中国农作物的地域分布与气候天空云量的分布及获取遥感信息源的可能性及区划，以及遥感估产技术的发展等进行论述，特别指出到“八五”末期所达到的实用性程度，给读者一个总体的比较清楚的遥感估产的概貌；《中国小麦遥感动态监测与估产》是系列专著的第二部，它重点论述小麦遥感估产的机理和方法，包括估产区划、地面采样点布设技术、利用 TM 提取面积，以及在 GIS 支持下，TM 和 NOAA 资料结合提取面积的基本方法和流程，小麦在一个生长周期中所进行的长势动态监测及预报、墒情和苗情的监控，遥感估产综合模型的研制，大面积小麦估产系统的建立与应用等；《中国玉米遥感动态监测与估产》是系列专著的第三部，它集中分析国内外玉米遥感估产发展的概况，玉米遥感估产的基本理论和方法，估产区划和采样框架布设，玉米播种面积的提取方法，气象卫星资料在玉米估产中的应用，灾害对玉米产量的影响，玉米估产系统的建设及“遥感（RS）、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）”一体化在估产中的应用等；《中国水稻遥感动态监测与估产》是系列专著的第四部，它全面介绍了国内外水稻遥感动态监测与估产的现状，水稻估产的机理，估产区划与采样框架布设，估产背景数据库的建设，水稻种植面积提取的方法和过程，单产模型的构建，专家系统的设计，估产精度的理论分析和研究，估产集成系统的运行与推广等；《中国农作物遥感动态监测与估产集成系统》是系列专著的第五部，它介绍大面积多品种遥感动态监测与估产综合集成系统的建设和运行，包括遥感图像处理系统，估产背景数据库，估产模型系统及模型自动生成工具库系统，综合集成软件系统等，有机地将异机平台的系统综合集成一个平台上实现大面积估产运行，从理论上和方法上做了全面系统的论述。综上所述，这五本书是一个有机的整体和巧妙的分工。下面较详细地介绍每本书的概要。

1. 《中国农作物遥感动态监测与估产总论》

这是系列专著中的第一部，它从总体上进行了介绍。

遥感技术的基本概念。遥感（remote sensing）技术是在一定距离上，不直接接触目

标物体，测量、判定和分析物体性质的技术。它主要是利用目标物体反射和辐射的电磁波，接收这种电磁波的装置叫传感器（sensor），其载体称为遥感平台。人们利用遥感技术实质就是利用一切物体都具有反射和发射不同波长电磁波的特性，来认识物体及其存在的环境。任何地物都有自己独特的波谱反射和辐射特性，人眼在可见光波段区别各种物体的本领就是利用了这一特性。物质（含地物）都具有反射、吸收和发射电磁波的能力和特性。这是物体的基本特性，相同物体具有相同电磁波谱特性，不同的地物具有相异的电磁波谱特性，地学遥感正是利用这种差异。

农作物遥感动态监测和基本方法。采用遥感技术对农作物进行动态监测和估产的基本方法是：首先在估产区根据其自然条件、气候特征以及历史的粮食产量和播种面积的实际情况，将基本类似的区域进行区划成若干估产区，通常保留行政单元，然后根据区划的实际情况，按区进行地面样点布设，在布设样点时要考虑数学上的合理性和地学领域的可能性；估产信息源的选择，遥感估产当然是以选择遥感信息为主，但是地面样点实测数据，地理背景信息以及时间序列的粮食播种面积和产量也是十分重要的；目前遥感信息源主要有三种类型，即 30×30 平方米分辨率的 TM 资料， 1100×1100 平方米分辨率的气象卫星资料以及航空遥感取得的航片。在实际估产活动中要进行农作物的各种面积的提取，动态长势监测，单产的预报。通常选用分辨高的 TM 资料进行计算机分类获取面积，采用 NOAA AVHRR 资料来计算农作物的植被指数，进行长势监测与估产模型的建立。

农作物种植面积提取。书中详细介绍如何利用 TM 资料进行计算机自动分类，NOAA 资料混合像元的分解及在 GIS 支持下的作物播种面积的提取方法，其精度小麦可达 95% 以上，而玉米、水稻可达 90% 以上的精度指标。

农作物长势动态监测。长势动态跟踪监测可以分析农作物在不同生长周期的发育情况，也可以对比历年的差异，从而提出管理措施，以便保证增产。长势监测的信息源利用 NOAA 资料建立植被指数曲线，在不同生长期进行采样，如小麦在一个生长期中可跟踪监测 8~12 次。

估产精度分析。能否取得可信的精度是遥感估产中的重要问题，在书中介绍了理论上的分析依据和具体方法。

结合“八五”遥感攻关项目的开展，叙述了黄淮海地区所开展的小麦估产活动，江苏、湖北及上海市的水稻估产过程，吉林省的玉米估产情况。

在遥感估产中要牵涉到土地利用结构和农作物的结构，本书中做了详细的介绍。一个地区可能存在多种土地利用类型，如农田、林地、牧地、水体、工矿业用地、居民区用地、交通过地等，它们按一定的比例组合在一起，构成了当地的土地利用结构。定性确定不同土地利用结构条件下农作物遥感监测和估产的重要性的目标作物识别的主要背景干扰源就十分必要。根据 1986 年全国各县、旗、市各种土地利用类型的面积资料计算土地利用类型面积比，重点考虑农田面积比、林地面积比和牧草地面积比，把全国土壤利用结构分成 10 种类型。

农作物结构分布。一个地区的农作物结构包括农作物种类、熟制和套复种类型三个方面。我们以中国种植业区划为基础，参考中国耕作制度区划，确定各种种植业区的作物组合、熟制、农田植被指数季节变化形式及套复种类型。有十个不同的种植区，即东

北大豆、春麦、玉米、甜菜区；北部高原小杂粮、甜菜区；黄淮海棉、麦、油、烟、果区；长江中下游稻、棉、油、桑、茶区；南方丘陵双季稻、茶、柑桔区；华南双季稻、热带作物、甘蔗区；川陕盆地稻、玉米、薯类、柑桔、桑区；云贵高原稻、玉米、烟草区；西北麦、棉、甜菜、葡萄区；青藏高原青稞、小麦、油菜区。

主要农作物的布局。水稻实际上主要在秦岭淮河以南、青藏高原以东，包括长江中下游、华南、云贵以及陕南、豫南，常年水稻播种面积和产量都占全国的90%以上，是我国水稻集中分布带。水稻在整个生长期的最适温度是18~28℃，是喜温好湿的作物。小麦是我国第二大粮食作物，近年来播种面积和产量分别占全国粮食的1/4和1/5，我国以种冬小麦为主，其品种和产量分别占全国小麦的85%和90%。小麦分布广泛，相对集中，黄淮海平原和长江流域是我国小麦的集中分布带，其种植面积、总产都占全国的80%以上。玉米是我国第三大作物，它的分布是：北方春玉米区、黄淮海平原玉米区、西南山地丘陵玉米区，这三个区的种植面积和总产量都占全国玉米的90%以上。其次是南方丘陵玉米区，西北灌溉玉米区，青藏高原玉米区。棉花是我国的主要经济作物，棉花占经济原料的80%，主要产棉省有15个，目前我国棉花的90%分布在黄河流域棉区和长江流域棉区，其中山东、河北、河南、江苏、湖北、新疆是六大产棉省区。新疆的发展潜力很大。大豆是重要的粮油兼用作物，分为北方春大豆区、黄淮海夏大豆区、南方多作大豆区。

农作物的关键生长期。水稻——幼穗发育期是影响水稻产量的关键时期，其次是灌浆期和分蘖期。所以对产量的监测的最好时段为穗分化至齐穗期，其次是分蘖灌浆期，提取水稻种植面积的最佳时期应是水稻孕穗至齐穗期。小麦——拔节至抽穗是对小麦产量形成的关键阶段，是形成大穗的重要时期，同时这段时期又是决定小麦有效穗数的关键阶段。所以小麦拔节期是用遥感方法估计北方冬小麦面积的最适宜时期。小麦的长势监测最佳时段有返青期、拔节期、抽穗期。对返青期的监测可发布冬小麦的丰歉趋势预报；拔节期的监测可以发布小麦产量的趋势预报；抽穗期可进行遥感估产，发布冬小麦产量的预报等。玉米——拔节至抽雄和抽雄至成熟是玉米产量形成的关键期。该期应作为玉米遥感监测的重要时期；棉花——一般应在孕蕾期、蕾期、花铃期进行遥感监测；大豆——大豆的开花结荚期应是大豆遥感监测的主要时期。

选择遥感信息源与天空云量和晴天日数密切相关。当知道了每个作物的关键生长期和监测阶段后，就需要了解此时在监测地区能否收到可用的信息源。年平均总云量以四川、贵州最高，是全国的高值中心，然后向四周减少，其次东北西部、新疆的山区和西藏东南部也是相对多云中心。中国的年晴天日数基本上是由南向北增加的，从几天增至126天（相当于月平均0~12天）。

有了上述的资料就可以得到主要农作物遥感估产的最佳时相和信息源。农作物遥感估产最佳时相的选择必须兼顾作物预测最佳时相和单产模型最佳时相两个方面，其选择依据比较复杂。本书中论述了作物物候历的种间差异和产量形成的关键期，参考太阳高度和土壤光谱噪声的变化以及作物面积的代表性，以现有实验研究所得到的主要农作物植被指数（或反射率）的季节变化曲线为参考标准，确定了全国各地水稻、小麦、玉米和棉花遥感估产的最佳时相。在此基础上，还根据各种作物最佳时相的空间分布特点和大地形的走向，把每一种作物的分布区域都划分为若干个最佳时相区。估产信息源是非

常关键的环节,对不同信息源需要不同对待,如气象卫星的空间分辨率很低,图像中的混合像元很多,地物结构复杂的地区尤甚,很难完全实现不同地物信息的分离,而且卫星姿态也很不稳定,不同时相遥感信息的可比性很差,但其时间分辨率很高,每天都可以接收到信息,所以它适用于地物类型单一,接收遥感信息困难(云量多)的地区。陆地卫星的空间分辨率很高,信息提取的精度较高,是目前陆地资源遥感中较理想的信息源,但由于时间分辨率低,云量多的地区接收到信息的可能性很小,所以它适用于地物类型复杂,接收遥感信息容易的地区。

中国遥感估产区划。书中根据中国主要农作物的分布、物候、生长期以及相对应的天空云量和晴天日数,与相应的卫星过境的时间进行匹配,进行了水稻、玉米、小麦及棉花的估产区划。

遥感估产信息系统。地理信息系统和遥感技术结合进行农作物估产是“八五”攻关的特色,所以就地理信息系统的结构、功能、具体建设过程都做了介绍。

2.《中国小麦遥感动态监测与估产》

小麦是我国第二大粮食作物。利用遥感技术对其估算产量在国内外都比其它作物早,关键技术是作物识别和面积估算与长势分析和单产模型建立,在此基础上获得最终的总产。

小麦遥感估产区划。估产区划是为正确分层抽样奠定可靠基础。区划原则是从小麦生产特点、形成条件、发展方向、主要问题及相关措施等方面考虑。选择能反映小麦主产地域差异的主导因素——气候、地貌、土壤、肥料和有效灌溉面积等作为区划的指标,并把它对小麦生产限制程度的差异分为一、二、三、四等。一等是对小麦生产基本无限制或稍有限制,小麦适宜性好;二等有一定限制,小麦种植适宜性较好,需要对限制因素采取一定程度改善措施才能获得高产;三等表示对小麦生产有大的限制,种植适宜性差,需要对限制因素采取大的改善措施,才能有较好的收成;四等表示限制性很大,不适宜小麦种植。在这些原则和指标的指导下,“八五”期间所从事的黄淮海平原遥感估产区划分了小麦的生产区和亚区两个层次。生产区采用大的地貌单元作为主要划分指标,得出了16个生产环境、生产特点和产量水平各异的小麦生产区,即滨海平原小麦生产区、燕山太行山山地丘陵小麦生产区、燕山太行山伏牛山山前平原小麦生产区、海河黄河冲积平原小麦生产区、黄土丘陵小麦生产区、豫西山地丘陵小麦生产区、南阳盆地小麦生产区、豫北低平原小麦生产区、豫中低平原小麦生产区、淮北平原小麦生产区、豫南山地丘陵小麦生产区、鲁西北平原小麦生产区、鲁西平原小麦生产区、沂蒙山前低丘平原小麦生产区、沂蒙山前低丘平原小麦生产区、沂蒙山地丘陵小麦生产区、鲁东丘陵小麦生产区。采用单位面积产量为指标在16个小麦一级生产区内划出57个小麦生产亚区。

框架结构与抽样布点。框架结构是样点的空间组合形式,即抽样布点的层次体系。不同的框架结构具有不同的样本量和不同的效应。好的框架结构具有样本少、监控性好、代表性强等优点,可以获得事半功倍的效果,反之,则适得其反。黄淮海小麦估产区根据估产精度达95%的要求,采用六级两类的框架结构来监控估产区的小麦生产情况,获得遥感估产所需的信息。六级指:小麦生产区、亚区、监测县、监测地段(或称大样方)、监测点、监测样方。两类指:多项监测和单项监测。抽样是在保证精度和代表性前提下,

抽取尽可能少的样本(样点),代表尽可能多的小麦生产类型及其范围,并以此推算估产区的小麦产量,达到多快好省的目的。按区划在 57 个亚区中抽样,分两步:即先确定抽样亚区,然后,在抽样亚区内选择代表该亚区生产条件 and 生产平均水平的监测县。

冬小麦地物波谱特性。冬小麦遥感估产实质是冬小麦及其背景地物反射或发射的电磁波,穿过大气,入射到空间探测器(星载或机载)并被记录下来的能量信息,经过适当处理和分析,达到估产目的。因此,地物波谱研究是冬小麦遥感估产最重要的物理基础之一。“八五”冬小麦攻关估产的信息源主要来自 Landsat TM 和 NOAA AVHRR,它们工作在电磁波谱的光学波段。

冬小麦播种面积自动提取。选用多种卫星遥感信息源进行冬小麦播种面积的提取,即陆地卫星的 TM (Landsat 5),气象卫星 NOAA AVHRR 数据和快视 TM 数据(Quick Look TM)。对 TM 资料进行一系列的技术处理,采用“分景处理,以省汇总”的方法,将每一景 TM 图像逐幅处理,提取的冬小麦面积以县统计单元层层汇总,得到省级行政区的当年小麦种植面积数据。应用 TM 快视数据进行面积提取,是由于高分辨率的 TM 数据采用绿度模式识别方法能够准确、快速地提取冬小麦当年的种植面积,但 TM 资料比较昂贵。快视 TM 是将一景 TM 图像经过每隔 16 点采样后压缩到一张 3 英寸软盘上提取使用,它保持 TM 的波谱分辨率,空间分辨率降低到 480 米×480 米的区域,但该区域的反射光谱亮度值并不是区域内光谱特征的综合反映,仅被该区域左上角一个像元的亮度所代替,即快视相当于对整景 TM 的均匀成数抽样,以样本光谱值代表总体的光谱特征。利用绿度模式识别方法对快视 TM 分县求取阈值,分区汇总,逐轨道提取出小麦播种面积,与用 TM 提取的结果相比,地区级预报面积相对误差在 2%~4% 以内,可满足大面积估产的要求。采用 NOAA AVHRR 资料进行面积提取,需要进行各种技术处理,才能达到一定精度要求。如用 NOAA AVHRR 与 TM 结合,即用 TM 作为 NOAA 的采样模块取得面积与 NOAA 绿度等级对应,进行回归分析,求出 NOAA 各级绿度对应的麦土比,从而推算全区小麦面积。

冬小麦长势监测。大面积冬小麦遥感监测的基本方法是利用覆盖周期短而覆盖面积大的 NOAA 卫星,对地面植被吸收的光谱信息和地面实际情况进行分析,结合常规方法资料,建立作物监测模式。利用小麦长势模拟监测小麦长势,发布苗情监测通报,指导农业生产。由于利用遥感信息模拟小麦长势是一个比较复杂的问题,当前在世界上尚无成熟的办法。通常分为群体模拟和个体模拟两种,应用遥感信息模拟小麦长势只能是群体模拟。群体模拟实质上是对一个特定区域有限生态系统的模拟。常用的模拟方法有:小麦生长一日历模拟,它是某一个特定区的农事历,必须考虑地域性的差异。其次是年际变化,影响年际变化的主要因子是气候,如热量异常、水分异常等都能够影响到小麦生长发育进程。各地农事历的信息均是本年度遥感估产的有效信息,一方面在监测通报中反映出来,指导生产,另一方面将其输入专家系统,作为产量估算的参数。小麦长势绿度—时间模拟,它是依靠实时监测的绿度(NDVI 值)和时间两个变量构成的小麦长势模拟。以播种到成熟的日期和绿度(NDVI 值),分别为小麦长势模拟的横坐标和纵坐标,随着两个坐标值的变化绘制出 NDVI 曲线,以此来模拟小麦全生育期生长发育情况。小麦长势温度—时间模拟,它是以时间和积温为变量来刻画小麦长势的。横坐标仍然取全生育期的天数(因地而异),温度主要取零度以上积温值,并随小麦生长的时间而逐步累加,

以此来监测小麦生长状况。

遥感图像混合像元分解。众所周知，遥感技术的核心问题是识别分类问题。遥感在不与目标直接接触的情况下，获取有关目标的信息，并据此对目标物进行识别、判定、分类和作进一步分析，不同地物具有不同的遥感特性是现代遥感的基础。地物的总辐射水平的高低是地物的第一个重要遥感特性（辐射特性），辐射平衡关系是地物的第二个重要遥感特性。辐射随波段变化的方向和强度各不一样，这是地物的第三个重要遥感特性。遥感对地物的识别主要是利用地物的辐射特性，对地物的探测是以像元为单位的，像元除了有一定的波谱参量外，还表征了地物的空间分布，即具有一定的面积，如果一个像元内仅包含一种地物，则这个像元称为典型像元，如果一个像元内包含几种地物，则称这种像元为混合像元。一般情况下，不同地物具有不同的辐射特性，故混合像元的辐射特性与任何典型像元的辐射特性都不相同。从而使这个像元不属于构成该像元的任何典型地物，而介于这些典型地物之间。从混合像元中将各种不同的地物区分开，即混合像元的分解方法研究是人们十分关注的，目前常用的方法有：匹配像元分解、折半像元分解、双邻像元分解、相关像元分解等。

小麦估产模型。在早期研究小麦估产模型的众多学者之中，最有成效的应是加拿大的贝尔（Beier, W）。他先后研制了“经验统计模型”、“作物—天气产量预测模型”、“作物—生产模拟模型”，现在仍然有学者利用贝尔的建模思想，构建农学—气候估产模型。为了适应遥感技术的需要，在构建时，将遥感信息作为变量加入到模型中，产生了遥感估产模型。如光谱—产量模型、绿度产量模型等。在实际构建冬小麦大面积估产模型时考虑到形成产量的三要素（亩穗数、穗粒数、千粒重），采用分段相关建模。叶面积指数与亩穗数之间有较好的线性关系，而绿度指数在冬小麦形成亩穗数阶段又与叶面积指数有比较好的相关关系，因此在确定亩穗数时，应考虑绿度为主要因子。冬小麦穗粒数的多少取决于拔节至灌浆初期生长状况，冬小麦在此阶段对温度要求严格，如果温度较高，发育便加快，小花退化就多，因而形成小穗数多、穗粒数少的状况，反之温度适宜，穗粒数就增加，可见温度因子是此段建模的依据。影响小麦千粒重形成的时间主要在灌浆期。该时期正处在初夏，气温迅速上升，如果水肥条件不佳，遇到连续三天 30℃ 高温，就会造成“逼熟”，叶子干枯，停止灌浆，形成瘪粒，千粒重下降。因此，构建千粒重模型时应综合考虑水、温、肥等条件。在形成千粒重过程中，绿度的变化速率是很有意义的指标。它既能体现小麦后期水、肥条件的性状，也能表示小麦后期的生命过程。根据这些分析，采用绿度指数—温度—绿度变化速率来构建大面积小麦遥感估产模型。即：

$$\hat{Y} = a \sum G \cdot b \frac{T_0}{T} (D_0 - D_i) \cdot [Q/K + c] + W$$

式中 $\hat{Y}$ ——估算的单位面积产量（公斤/公顷）； G ——返青至抽穗绿度累加以 $\sum G$ 表示； T_0 ——抽穗始期至灌浆始期小麦品种需要的积温或多年平均地温累加（℃）； T ——当年抽穗始期至灌浆始期积温或当年地温累加（℃）； D_0 ：小麦灌浆起始日期（天）； D_i ——抽穗始期日期（天）； Q ——小麦品种标准千粒重（克）；

$$K = \sqrt{1 + \frac{\Delta G}{\Delta T^2}}$$

ΔG ——灌浆始期至灌浆终止的绿度差； ΔT ——灌浆始期至灌浆终止日期差； a 、 b 、

c ——试验常数; W ——自由项(专家意见)。

式中: T_a 、 D_0 、 D_1 、 Q 具有地域性规律, G 、 T_1 、 ΔG 和 ΔT 为动态变量, a 、 b 、 c 和 W 可根据实际情况调整。

小麦估产专家系统。上述的分段相关构建可以称为遥感—气候综合单产预测模型,此外还有小麦单产趋势模型、小麦单产与土壤水分关系预测模型等,它们都在一定程度上保证了估产的精度,在实际运用中它们可以得出不同的三种预测结果,目前还不能评价哪一种模型最好,最好的方法是保留各模型的预测结果,对结果进行分析,积累能够改进和提高精度的知识,即把专家知识和预测模型结合起来运用估产专家系统。它是基于小麦估测领域的专业知识,实体是一系列的计算机程序控制的一个符号系统,它的功能是用来模拟专家的知识 and 思维进程,对面向的问题推导出专家的结论,因此,问题、知识、推理控制是组成一个实用专家系统的三个支撑基本要素。一个小麦估产专家系统的基本结构是由人机交互、知识库、推理机组成。

小麦估产信息系统。现代快速准确的估产活动是完全基于计算机的信息处理自动化的过程,因而一个功能齐全的遥感估产信息系统是十分重要的技术支撑。主要包括图像处理系统、估产背景数据库系统、估产模型系统及专家系统、用户交互系统等。

3. 《中国玉米遥感动态监测与估产》

玉米是世界性农作物,产量仅次于小麦和水稻,将近占世界粮食总产量的 1/4。中国是世界上玉米第二生产大国,仅次于美国,所以中国的玉米生产及准确预报对我国及世界粮食的生产和预报都有着深远的影响。中国玉米产量占中国粮食产量的 18%。玉米的生长环境范围很广,对环境的适应性很强。南起海南省北至黑龙江省,东起台湾西至新疆都有玉米的种植。但主要产区集中在东北、华北和西南山区,种植面积占全国玉米总面积的 85% 以上。

在进行遥感玉米动态监测和估产中,首先要进行区划和地面采样点的布设。针对大面积的估产区,参考国家已进行过的各种类型的农业区划,参考农业气候、地貌、土壤、土地利用、作物、作物种植区划、历史产量水平、生产潜力、农业技术条件、灾害和社会经济条件的资料制定出相应的区划指标。具体分区时要考虑区划内作物生长综合条件(气候、地貌、土壤、作物历等)的一致性、作物生产社会经济条件的相对一致性、作物栽培措施和农业技术条件的相对一致性,以作物产量分布为主导,突出作物生产的地域差异、保证县级行政区界的完整和区域性差异诸原则。采样框架布设是为获取遥感估产有关的地面实测参数,为作物播种面积、长势监测,估产模型,精度检验提供依据。采样点布设的数量,可根据精度要求进行分层确定,区划的一级区为第一级,扣除非耕地面积,估产作物占耕地面积的比例,二级区为第二层,根据区划代表性原则选择样本县,样本县为第三层,结合县级综合自然区划,并考虑到第二层区划特征,根据等距加权抽样原理选择若干样本为第四层,在样本中选择样本田,在县级土地详细图上计算出实际面积。在样本田中确定观测点,它是进行农学、产量数据观测的实测位置,选择要有代表性、生长季内要稳定。

在玉米遥感估产中所用的信息源主要是陆地卫星 TM 磁带信息和 NOAA 气象卫星信息,分别用来提取播种面积和长势监测,推导估产模型。玉米从播种到成熟为一生,一

般有三个生育期,即苗期阶段(出苗—拔节);穗期阶段(拔节—抽雄);花粉期(抽雄—成熟)。提取玉米种植面积主要选取穗期阶段和花粉期阶段的图像。玉米的生育期是指玉米从播种到成熟的天数,我国种植的玉米品种生育期一般为70~150天,根据其生育期可分为早熟、中熟和晚熟三类。早熟春玉米为70~100天,积温2000~2200℃;中熟春玉米为100~120天,积温2300~2500℃;晚熟春玉米为120~150天,积温2500~2800℃。由于玉米的生育期不同,其生长过程具有一定的差异性。晚熟玉米在9月中旬收获,早熟玉米在8月末收获,因此在选取遥感图像时就要考虑其差异。

遥感图像数据源的选择。估产区基础数据的获取,如玉米播种面积、环境背景数据等,采用TM数据作为主要信息源(2,3,4,5波段),对于大面积的一般数据,如长势、植被指数等,采用气象卫星数据(1和2波段作为主要数据源波段,其它波段作为辅助数据源波段);选取玉米穗期和花粉期两个阶段的图像进行玉米种植面积的信息提取,选择出苗、拔节、抽雄、开花、吐丝和成熟时期的图像进行长势分析。

为了准确、快速、有效和经济地获取玉米种植面积,通常采取以样区为基础,以TM图像数据为基本数据源,同时采用NOAA AVHRR,国土卫星照片等遥感数据,参照土地利用现状图、地面光谱测试数据、农学观测数据并进行野外实地考察和验证,点面结合,多层遥感数据源、多种非遥感资料参与,综合研究获得当年的玉米播种面积。

玉米估产模型的建立。通常采用NOAA AVHRR资料作为遥感估产基本信息源,因为它具有①探测周期短,覆盖面积大;②适于植被研究的通道,CH₁和CH₂通道光谱的线性组合,可反映植被的光谱信息;③资料易于获取,实时性强,经济;④分辨率可在其它技术措施的配合下满足大面积估产的需要。利用NOAA AVHRR资料和地面光谱资料合成PVI,然后利用日照时数与PVI合成遥感估产因子PST。采用PST因子估产生物学意义明确,首先PVI能够消除土壤对植被光谱信息的影响,能反映作物瞬时光合作用的大小,而 $PST = \int PVI dt$ 则反映一段时间内光合产量的大小。具体建模时,利用NOAA AVHRR的资料,辅以玉米估产单元图,通过GIS,分估产单元得到PVI值,合成PST,利用灰色系统方法分拔节孕穗期、灌浆成熟期二阶段建立遥感估产模型。其步骤:①NOAA—AVHRR的数据预处理;②分估产单元PVI值的生成;③估产模型的建立。利用每个估产单元在玉米不同生长期所得到的PVI值,形成空间分布图,可以发现一年中玉米长势的空间分布,而利用多年的PVI值空间分布图迭加分析可以反映出不同估产单元玉米长势的年际差异,从而预报长势,指导生产。

估产系统:在遥感玉米估产中,主要使用两类数据,一种是TM和NOAA数据,即图像数据,另一种是地面基础数据。这些数据通过估产系统进行管理和分析应用。

TM与NOAA图像数据:

TM图像的空间分辨率为30米×30米/像元,辐射分辨率为256个数量级,TM有7个光谱段,在玉米估产中使用其中三个。

• TM3: 0.63~0.69微米,红波段,为叶绿素的主要吸收波段,反映不同植物的叶绿素吸收及植物健康情况,用于区分植物种类和植物覆盖度。

• TM4: 0.76~0.90微米,近红外波段,对绿色植物类别差异最为敏感(受植物细胞结构控制),用于生物量调查,作物长势测定,水域判别等。

• TM5: 1.55~0.90 微米, 中红外波段, 处于水的吸收带 (1.4~1.9 微米) 内, 对含水量最为敏感, 用于土壤温度或植物含水量调查, 水分状况的研究, 作物长势分析等, 易于区分云和雪。

NOAA 指气象卫星携带的改进型高分辨率辐射仪 AVHRR (advanced very high resolution Radiometer) 所获取的卫星遥感图像。空间分辨率 1100 米×1100 米/像元, 辐射分辨率为 256 个数量级, AVHRR 有 5 个光谱段, 选用其中两个, 即 CH1 为 0.58~0.68 微米, 可见光波段, CH2 0.725~1.1 微米, 近红外波段。

地面基础数据:

这是辅助数据, 它是从地面采集而得, 而在遥感估产中必须用到的, 通常在背景数据库, 其中有估产区划图的数字化数据, 土地利用图, 含有估产区划内土地利用形式的信息, 估产区的土地面积数据, 自然环境数据如社会经济、自然条件、农学、光谱及灾害分布的数据等, 以及其它的统计数据。

由图像处理系统、背景数据库系统、估产模型系统以及计算机软、硬件环境综合集成软件系统构成了玉米遥感估产的信息系统。估产系统逐步实现了玉米播种面积提取、长势动态监测、单产估测的自动化和完全实用化。

4. 《中国水稻遥感动态监测与估产》

在小麦、玉米、水稻三个品种的遥感动态监测与估产中, 属水稻的难度大, 其中除遥感估产的机理和方法过去研究不多外, 遥感信息源的获取也有很大困难, 不但 TM 资料难以获得, 而且 NOAA 资料也很难在大面积上获取, 这就给估产活动增加了难度。我国的水稻种植几乎遍及全国, 大致分六大稻作区, 即华南湿热双季稻作区, 位于南岭以南; 华中湿润单、双季稻作区, 淮河、秦岭以南, 南岭以北; 华北半湿润单季稻作区, 秦岭、淮河以北, 长城以南; 东北半湿润早熟单季稻作区, 辽东半岛西北与长城以北、大兴安岭以东地区; 西北干燥单季稻作区, 大兴安岭以东地区; 西北干旱单季稻作区, 大兴安岭以西, 长城、祁连山与青藏高原以北地区; 西南高原湿润单季稻作区。六大产区是在水热条件比较适宜的长江流域及南方地区。在整个水稻生长期中, 5~10 月六产区的天气正值阴雨季节, 因此遥感信息源的获取就成了很大的问题。特别是 TM 资料, 往往多年中很难收到一景可用的图像。

通过多年利用遥感信息对水稻进行估产试验研究得知, 水稻遥感估产技术是一个综合性很强的实用化技术体系, 通常它由六大部分组成: 即水稻遥感估产区划和多级采样技术; 水稻遥感估产背景数据库的建立; 遥感图像处理, 水稻种植面积的提取; 水稻长势监测与单产模型的建立; 灾害对水稻估产的影响和估产精度分析; 估产系统的综合集成等。

水稻遥感估产以亚洲水稻主要生产国为先行和先进, 中国、日本、印度、泰国等都进行过较大面积的遥感估产试验, 水稻估产取得较好的效果。中国水稻种植面积据 1990 年统计为 33064 千公顷, 占世界的 22.7%, 次于印度为世界第二, 水稻总产为 191748 千吨, 约占世界的 37%, 为世界之首。中国水稻品种复杂, 各地区分布差异性很大, 播种面积提取必须反映出品种差异如早、中、单季晚稻和双季后作稻的不同分布。而单产更要受到地理背景因素和品种的影响, 所以首先要进行估产区划。