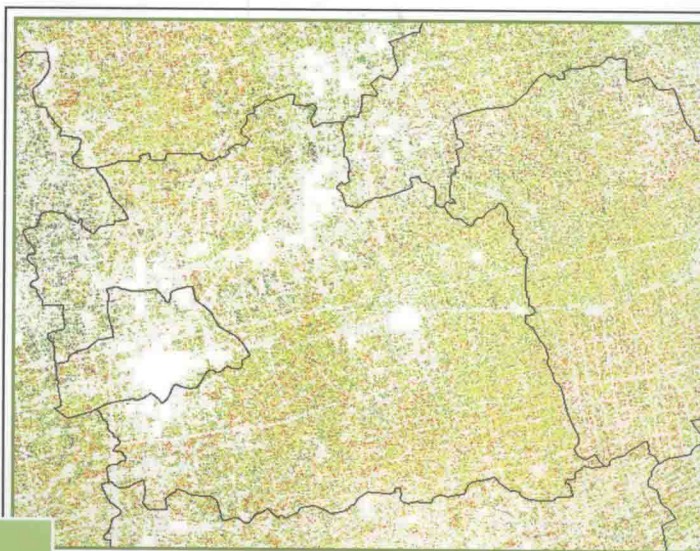


农作物遥感监测方法与应用

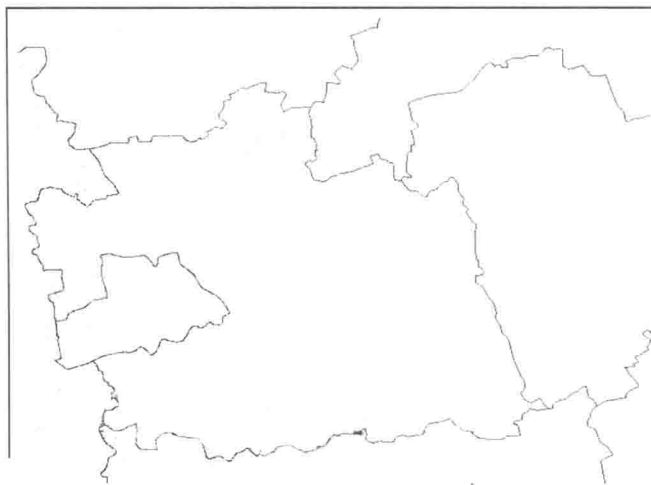
◎ 李卫国 著



中国农业科学技术出版社

遥感监测方法与应用

◎ 李卫国 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

农作物遥感监测方法与应用 / 李卫国著. —北京: 中国农业科学技术出版社,
2012. 12

ISBN 978 - 7 - 5116 - 1181 - 9

I. ①农… II. ①李… III. ①遥感技术 - 应用 - 作物 - 监测 IV. ①S127

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 305789 号

责任编辑 朱 绯

责任校对 贾晓红 郭苗苗

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82106626 (编辑室) (010)82109704 (发行部)

(010)82109709 (读者服务部)

传 真 (010)82109707

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787mm × 1 092mm 1/16

印 张 17.25 彩页 8

字 数 265 千字

版 次 2013 年 2 月第 1 版 2013 年 6 月第 2 次印刷

定 价 50.00 元

—— 版权所有 · 翻印必究 ——

前 言

作为农作物种植大国，及时、准确、大范围获取农作物种植类型、长势及其分布状况，对于农业生产管理和政府粮食政策制定意义极其重大。卫星遥感技术以其快速、准确、信息量大以及省工省时等优势，为解决上述问题提供了十分有效的手段，也逐渐得到各级政府部门的认识和重视。由于农作物的渍涝、干旱、病虫害害、热冷冻害等是影响农作物产量丰歉的主要原因，并具有连续性、突发性以及扩展性强等特点，给实时、大面积的农作物监测增加了难度，遥感监测技术自然也就成为客观获取这类农情信息的必然选择。随着搭载多功能传感器卫星发射升空，基于多源卫星遥感的农作物监测研究也将成为农业遥感领域研究的重点和热点。因此，利用多源卫星遥感数据，从农作物监测的范围、精度、预报时效性、模型机理性和实用化角度综合研究，形成较为完善的农作物遥感监测基本方法与应用模式，可最大限度为农业生产管理和防灾减灾提供技术支持。

《农作物遥感监测方法与应用》是在国家 863 计划项目“基于模型和 3S 技术的稻麦产量监测预报系统”（2008AA10Z214）、国家自然科学基金项目“遥感信息与生长模型协同的小麦估产方法研究”（41171336）、农业部公益性行业专项课题“江苏中弱筋小麦遥感监测关键技术”（200803037-2）、江苏省农业科技自主创新项目“利用多源遥感进行小麦主要病虫害监测关键技术研究”（CX11-2043）、“主要农田植被信息遥感监测关键技术研究”（CX12-3054）、江苏省自然科学基金项目“冬小麦主要病害光谱特征与遥感识别研究”（BK2011684）和江苏省农业科学院（人才）科研基金项目“稻麦生长过程遥感监测模式与方法研究”

(6510805) 等多个科研项目的支持下,以冬小麦和水稻两大主要农作物为研究对象,围绕种植面积、长势、产量、籽粒品质、病虫害以及气候环境因素遥感监测等方面进行多年研究取得的科研成果。多名研究生直接参与书中的部分科学研究,付出了辛勤的劳动,他们是李正金、李花、蒋楠、赵丽花、付书雷、丁锦锋、熊世伟、庄东英、丁银芳、王旭、韩剑、刘龙等。在本书撰写中,全国著名农业信息领域专家赵春江研究员和曹卫星教授、农业遥感领域专家王纪华研究员和黄文江研究员给予了悉心指导和真挚帮助。本书中大量科研成果的取得,还得益于江苏省农业科学院科研管理部门对农业遥感学科发展的高度重视,特别得益于常有宏副院长等院所领导的深切关注与大力支持。

本书共设 10 章,第 1 章在概述以遥感为主的“3S”技术与作物模型概念的基础上,详述了农作物遥感监测研究进展及其存在问题;第 2 章叙述了农作物监测中的遥感数据处理方法,包括数据特征分析、数据融合和薄云雾去除的模型与方法;第 3 章叙述了农作物气候与环境遥感监测的模型与方法;第 4 章到第 7 章分别叙述了农作物长势、产量、籽粒品质以及病虫害监测的模型与方法;第 8 章叙述了农作物种植面积遥感监测方法;第 9 章叙述了多元化的农作物遥感监测信息系统的功能、设计及实现等方法;第 10 章介绍了农作物遥感监测应用的实地工作场景、技术交流、培训与成果推广的实例。

应用遥感信息技术改造传统农业是当代发达与发展中国家发展农业的共同选择,也是未来农业发展的必然趋势。由于农业生产过程及其与气候环境间的关系较为复杂,农业遥感监测方法及其理论仍在摸索或探究之中。本书虽是在结合多年研究成果基础上形成,但其理论性和实践性仍需深加诠释。期望本书的问世,能引起学术界更多关注,激发领域同仁的浓厚兴趣与交互,联袂推动农业遥感科学更好更快地发展。

江苏省农业科学院 研究员

李卫国

2012 年 11 月 28 日

目 录

第 1 章 农作物遥感监测概述	(1)
1.1 农作物遥感监测原理	(1)
1.2 遥感信息数据	(4)
1.3 地理信息系统	(5)
1.4 全球定位系统	(6)
1.5 作物模型	(7)
1.6 “3S” 信息技术在农作物监测中的综合应用	(8)
1.7 农作物遥感监测研究进展	(11)
1.8 农作物遥感监测研究存在问题与对策	(22)
1.9 农作物遥感监测研究发展对策	(23)
参考文献	(24)
第 2 章 农作物监测中遥感数据处理及应用	(32)
2.1 中高分辨率光学数据不同融合方式	(32)
2.2 基于 ARSIS 策略的多光谱遥感与 SAR 影像小波融合	(41)
2.3 基于薄云雾去除的遥感影像大气校正	(51)
参考文献	(60)
第 3 章 农作物气候与环境遥感监测	(65)
3.1 农作物冠层温度遥感监测	(65)
3.2 农作物旱情遥感监测	(74)
参考文献	(81)

第4章 农作物长势遥感监测	(84)
4.1 农作物不同生长期长势遥感监测	(84)
4.2 基于多源遥感的农作物长势监测	(106)
4.3 基于模型的冬小麦生物量遥感监测	(117)
参考文献	(124)
第5章 农作物产量遥感监测预报	(128)
5.1 基于生态因子的冬小麦产量遥感监测	(128)
5.2 基于产量形成过程的冬小麦遥感估测	(132)
5.3 基于过程模型的冬小麦产量预测	(137)
5.4 遥感信息和模型耦合的水稻产量估测	(145)
参考文献	(153)
第6章 农作物品质遥感监测预报	(157)
6.1 基于氮素积累的冬小麦籽粒蛋白质含量预测	(157)
6.2 冬小麦籽粒蛋白质含量遥感监测预报	(167)
6.3 基于生态因子的冬小麦籽粒淀粉含量监测	(174)
6.4 基于生态因子的水稻籽粒直链淀粉预测	(180)
6.5 水稻籽粒垩白度品质指标预测	(183)
参考文献	(186)
第7章 农作物病虫害遥感监测	(192)
7.1 水稻稻飞虱遥感监测	(192)
7.2 冬小麦赤霉病遥感监测	(199)
参考文献	(207)
第8章 农作物种植面积遥感监测	(210)
8.1 基于 LAI 估测的农作物种植面积提取	(210)
8.2 基于多时相遥感的农作物面积提取	(214)
8.3 面向对象分类的农作物种植面积提取	(223)
参考文献	(230)

第 9 章 农作物遥感监测信息系统	(233)
9.1 基于模型的农作物生长预测系统	(233)
9.2 基于 GIS 的农作物生产管理信息系统	(240)
9.3 基于 GIS 的农作物遥感估产信息系统	(249)
9.4 基于 web 的农情数据管理信息系统	(260)
参考文献.....	(265)
第 10 章 农作物遥感监测应用图景	(269)
10.1 农作物遥感监测信息实地采集、技术交流与培训	(269)
10.2 农作物遥感监测技术网络宣传与推广应用	(272)
10.3 农作物长势、产量、品质以及病虫害遥感监测专题图 实例	(275)

第1章 农作物遥感监测概述

近年来，遥感信息技术的研究与应用对我国农作科技和生产管理产生深刻广泛的影响，很大程度上推动了传统农业向信息农业的转变。特别是以遥感为主的“3S”技术与作物模型在农作物生长、气候以及环境监测等方面的应用，显著地提高了区域农业生产的动态预测性和管理决策的科学水平，取得了较好的经济、社会和生态效益。经过多年的发展，围绕农作物种植面积提取、长势监测、产量与品质预测以及气候环境因素监测，在机理解释、方法研究和技术应用等方面取得了很大的进展，但同时还存在许多问题。本章在简要概述农作物遥感监测方法与机理的基础上，总结了农作物遥感监测的研究进展，指出其中存在的主要问题，并提出一些今后的研究设想。

1.1 农作物遥感监测原理

遥感（Remote Sensing, RS）是指远离地物，通过搭载在某种平台（本书指航天卫星）上的传感器获取地物光谱特征信息，根据地物的波谱反射和辐射特性，识别地物类型和状态的一种信息技术。

对农作物遥感监测的原理是建立在农作物光谱特征（图1-1）基础之上的，即农作物在可见光部分（被叶绿素吸收）有明显的吸收谷，近红外波段（受叶子内部构造影响）有较高的反射率，形成突峰，这些敏感波段及其组合（通常称为植被指数）可以反射农作物生长的空间信息。常用

的植被指数有归一化植被指数、差值植被指数、比值植被指数和垂直植被指数等（表 1-1）。

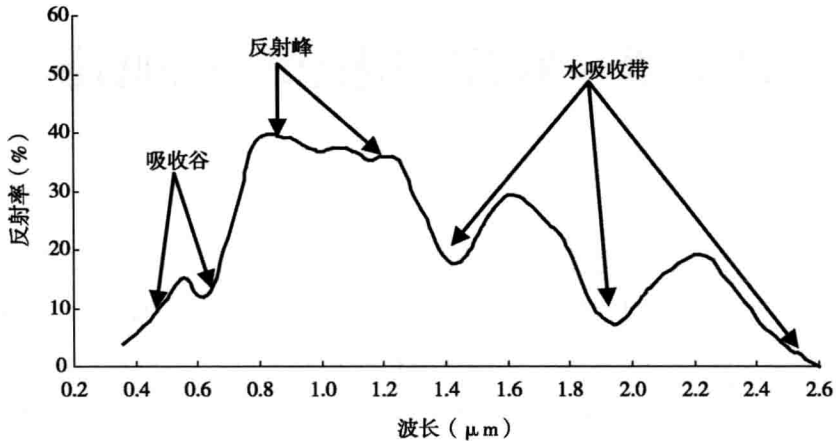


图 1-1 农作物光谱反射特征

表 1-1 农作物监测常用植被指数类型

名 称	计 算 式	用 途	说 明
比值植被指数 (Ratio vegetation index, RVI)	$RVI = R_{ir}/Red$	不受土壤含水量的影响, 对大气影响敏感, 当植被覆盖小于 50% 时, 分辨率较弱	R_{ir} : 近红外波段的反射率; Red : 红光波段的反射率
归一化差值植被指数 (Normalized difference vegetation index, NDVI)	$NDVI = \frac{R_{ir} - Red}{R_{ir} + Red}$	对绿色 (叶绿素) 植被响应能力强, 对土壤背景变化敏感。当植被覆盖率大于 15% 并小于 80% 时, 监测性能较好	
差值植被指数 (Differential vegetation index, DVI)	$DVI = R_{ir} - Red$	能消除大气效应和土壤的影响	

(续表)

名 称	计 算 式	用 途	说 明
垂直植被指数 (Perpendicular vegetation index, PVI)	$PVI = \cos\alpha \times Rir - \sin\alpha \times Red + C$	受土壤亮度和大 气的影响较小	$\cos\alpha = 0.69;$ $\sin\alpha = 0.72;$ $C = 4.56$
土壤调节植被指 数 (Soil adjus- ted vegetation in- dex, SAVI)	$SAVI = \frac{Rir - Red}{Rir + Red + L} \times (1 + L)$	受土壤和植被冠 层背景的干扰小	$L = 0.5 \sim 1$
增强植被指数 Enhanced vegeta- tion index	$EVI = \frac{Rir - Red}{Rir + C_1 \times Red - C_2 \times Blue + L} \times (1 + L)$	可以减少因大气 水气吸收而引起 的噪音。对冠层 (如 LAI、冠层 类型等)变化敏 感	$C_1 = 6$ $C_2 = 7.5$ $L = 0.5 \sim 1$

雷达遥感与可见光、近红外遥感不同,不必依靠太阳光的能量,并且微波能够穿透云雾、雨雪,甚至对土壤、植被也能穿透一定厚度。这些优越性使得微波遥感不再局限于在晴天条件下进行,具有全天时、全天候工作的能力,能够提供光学遥感所不能提供的某些信息。不同地物有不同的电磁波反射、辐射特性,对于雷达而言,地物的波谱特性主要表现为地物对某一波长或某几个波长(包括不同的极化特征)的雷达波束的不同散射特征。经过雷达图像定标,可以提取地物目标的后向散射系数。后向散射系数 σ^0 为:

$$\sigma^0 = \frac{DN^2}{K} \sin(\alpha)$$

其中, DN 为图像元灰度值, K 为定标系数, α 为入射角。

农作物后向散射系数主要受到物候期、波段、极化方式、自身入射角等多种因素的影响。另外,雷达影像的斑点噪声、纹理特征,田间的人为因素、地形、土壤(粗糙度、含水量等条件)、农作物品种等客观因素,也会造成后向散射系数的变化。

1.2 遥感信息数据

遥感信息数据是由目标物所反射或发射电磁波信息的集合体。遥感信息数据依据标准的不同分类各异,如依据获取高程的不同,可分为卫星遥感数据(如气象卫星、陆地卫星、海洋卫星),航空遥感数据(飞机、气球)和地面遥感($\leq 100\text{M}$)。常用的卫星遥感数据有 NOAA/AVHRR、Landsat/TM、SPOT/CCD、CBERS/CCD、HJ/CCD、EOS-MODIS、Radar-sat/SAR、IKONOS/CCD、QUICKBIRD/CCD、IRS/LISS、ERS/SAR 等。

NOAA/AVHRR 是美国的气象卫星遥感数据,一般有 5 个谱段,空间分辨率为 1.1km ,扫描带宽度 $2\,800\text{km}$,主要用于大面积种植估算;Landsat/TM 是美国的陆地卫星遥感数据,有 6 个谱段,空间分辨率为 $15 \sim 30\text{m}$,扫描带宽度 185km ,主要用于确定作物类型和长势状况;SPOT/HRV 是法国的卫星遥感数据,有 3 个谱段,空间分辨率为 $10 \sim 20\text{m}$,扫描带宽度 60km ,可以用于确定作物类型和长势状况;CBERS/CCD 是中国和巴西共同研制的中巴地球资源卫星的遥感影像数据,空间分辨率为 20m ,扫描带宽度 113km ;HJ 为我国环境减灾卫星,包括 A 星和 B 星,其轨道高度为 650km 。CCD 相机 4d 对全球覆盖一次(HJ-1A 与 HJ-1B 卫星组网后重访周期为 2d),有 4 个谱段,空间分辨率为 30m ,单台 CCD 相机的幅宽为 360km (两台幅宽为 710km),主要用于长势与面积种植监测;EOS-MODIS 是美国中分辨率卫星(TERRA 星和 AQUA 星)遥感数据,有 36 个谱段,空间分辨率为 $250 \sim 1\,000\text{m}$,扫描带宽度 $2\,300\text{km}$,主要用于大面积种植估算;Radarsat/SAR 是加拿大的雷达遥感卫星影像数据,有 3 个谱段,空间分辨率为 $3 \sim 5\text{m}$,扫描带宽度 $50 \sim 100\text{km}$,可用于作物估产与生长监测;IKONOS/CCD 是美国第一颗高分辨率遥感卫星的遥感数据,扫描带宽度 11km ,空间分辨率为 1m ,其波谱范围与 TM 相似;QUICKBIRD/CCD 是美国的陆地卫星遥感数据,空间分辨率为 $1 \sim 4\text{m}$ 。可以用于确定单

个作物的品种类型和营养状况；IRS/LISS 是印度的卫星遥感数据，有 4 个谱段，空间分辨率为 23 ~ 146m，扫描带宽度 70 ~ 148km，可用于作物估产与生长监测；ERS/SAR 是欧洲空间局的星载合成孔径雷达遥感影像，具有全天时、全天候对地球表面进行观测的能力。空间分辨率为 18 ~ 30m，扫描带宽度 75 ~ 100km，目前在作物长势监测上应用不多。受我国遥感卫星及地面设施整体发展水平的影响，我国各个领域使用的卫星遥感数据 90% 以上来自美、法等国，虽然中巴资源卫星已经发射成功，但其提供标准遥感数据能力仍较有限。航空遥感资料为航空相片，地面遥感资料多为作物光谱特征离散数据，有关航空遥感数据和地面遥感数据已有许多报道，不再赘述。目前主要的遥感图像处理软件有 Ilwis、PCI、ERMapper、ENVI 和 ERDAS 等。

1.3 地理信息系统

地理信息系统（Geographic Information System, GIS）是利用计算机及其外部设备可对地球表面与空间信息进行输入、存储、编辑、分析、查询、显示、输出等操作的数据库管理系统。它具有数据采集、数据库管理、空间数据分析和数据输出四大功能，其核心是对空间属性数据的综合处理和分析。国际上地理信息系统的发展起始于 20 世纪 60 年代，当时加拿大首先开发了用于自然资源管理和土地规划的地理信息系统（CGIS）。该系统被认为是世界上第一个使用的地理信息系统。70 年代，随着计算机和数据库技术的快速发展，地理信息系统得到迅速发展，如美国用来管理全国范围的土地利用的 GIRAS 地理信息系统等。目前常用的地理信息系统软件有 ARC/INFO、MAP/INFO、MAP/GIS 和 ARCVI 等。

1.4 全球定位系统

全球定位系统 (Global Positional System, GPS) 是接收人造卫星的电波, 准确确定接收机自身空间位置的无线电导航系统。它是美国国防部在海军导航系统 (Navy Navigation Satellites System, NNSS) 基础上开发而成的。1970 年始建, 早期有 21 颗卫星, 1988 年增至 24 颗, 1993 年 24 颗工作卫星与 3 颗备用卫星全部进入轨道运行。GPS 由卫星、地面控制系统、用户接收机三部分组成, 其信号分为民用定位服务 (SPS, Standard Positioning Service) 和军用精确定位服务 (PPS, Precise Positioning Service) 两类。工作卫星均匀分布在太空 6 个夹角为 60° 的近似圆的轨道平面上, 平均高度为 2.02 万 km, 运行周期为 12h, 地球上任一地方任一时刻可收到 4 颗以上卫星信号, 精度可达 15m。地面控制系统是整个 GPS 系统的中枢, 负责对卫星的监测、采集数据、处理信息以及传输数据等工作。用户接收机的功能是全天候、实时、连续、高精度地接收 GPS 卫星信号, 处理并向用户提供定位导航的空间数据信息。

GLONASS 是俄罗斯的全球定位系统, 由 24 颗卫星构成, 分布在高度为 1.9 万 km 的 3 个轨道面上, 全球任一点在任一时刻可以收到 5 ~ 10 颗卫星, 精度可达 24m。欧盟 1999 年初正式推出“伽利略”计划, 部署新一代定位卫星。该方案由 27 颗运行卫星和 3 颗预备卫星组成, 可以覆盖全球, 位置精度达几米, 亦可与美国的 GPS 系统兼容, 该计划预计于 2010 年投入运行。

另外, 中国还独立研制了一个区域性的卫星定位系统——北斗导航系统。该系统的覆盖范围限于中国及周边地区, 不能在全球范围提供服务, 主要用于军事。

1.5 作物模型

作物模型（又称作物生长模型）是将作物、环境和栽培措施作为一个整体系统，应用系统分析的原理和方法，对作物的物候发育、光合生产、器官形成、同化物积累与分配以及产量与品质形成等生理过程及其与环境的关系加以综合概括和量化分析，建立的动态数学模型，如 MARCOS（Moduls for annual crop simulation，英）、CERES（Crop-Environment-Resources Synthetic System，美）、ORYZA（荷）、O' Lerry（澳）、SIMRIW（日）、RCSODS（Rice Cultivation Simulation Optimization Decision-making System，中）、WheatGrowth（中）等模型。作物模型的研究促进了对作物生长规律由定性描述向定量分析的转化过程；通过建立主要驱动变量及其与状态变量的动态关系，可对作物生长发育态提供可靠而准确的预测。

利用作物模型可对不同气象、土壤、时间和品种条件下的作物阶段发育、器官形成、干物质物积累、产量和品质形成、土壤水分和养分动态进行预测。作物模型主要是被集成于决策支持系统（或信息管理系统）之中而应用的，如美国夏威夷大学利用 CERES-Wheat 模型，在输入运行模型所需灌溉、肥料、土壤、气象等资料后，可以对小麦的干物质积累、叶片、茎秆、根的生长和产量的形成进行预测，帮助决策者或生产者估算小麦的产量；荷兰的瓦赫宁根农业大学与菲律宾国际水稻所 IRRI 合作组建了水稻综合性模拟系统（ORYZA2000），可以模拟水稻叶、茎、根、粒的干物质生产过程；日本的 Horie 等人研制出 SIMRIW 模型，结合气象信息系统评估日本不同地区的水稻潜在生产力和全球气候变化对各地区水稻生长和产量的影响，在预测水稻生育期、结实率及产量的影响等方面有一定特色；江苏省农业科学院利用作物栽培计算机模拟优化决策系统（RC-SODS），可以预测不同类型稻麦品种在各地的生育期、光合生产、产量结构的变化，确定其相应最适栽培季节、基本苗、群体、穗粒结构等调控指

标。南京农业大学提出“作物光反应与发育进程的模拟模型系统”，量化了作物的生长发育与产量形成规律，而且为大田作物生长的监测与定量栽培提供了科学指导。

1.6 “3S”信息技术在农作物监测中的综合应用

1.6.1 “3S”技术在作物面积与产量估测中的应用

“3S”技术在农作物面积与产量监测中的应用，最早源于美国。1974年，美国农业部、国家海洋大气管理局、宇航局和商业部联合开展了“大面积作物估产试验”（Large Area Crop Inventory and Experiment），当时主要是对美国的小麦面积和产量进行估算，后来发展到对加拿大和苏联等国的小麦种植情况的全面监测。20世纪90年代初GPS技术的民用化，推动了“3S”在作物面积与产量估测中的广范应用，为众多国家取得了巨大的经济和社会效益。“3S”技术在进行作物面积与产量估测中的应用模式如图1-2所示，RS被作为及时获取农情信息的主要手段，如利用RS影像提取作物种植面积、反演LAI以及冠层温度等。GPS作为精确定位工具，可以精确获取农田间信息，在对RS的解译信息提供纠正的同时，还可以获取RS影像无法获取的农情数据，比如栽培技术、经济情况、粮食行情、耕作措施等。GIS则作为RS空间农情信息管理与分析的平台，利用其处理、分析、显示、存储等功能，可为政府管理部门和农业生产者提供及时准确的作物种植面积和产量信息数据。目前绝大多数国家在农作物面积与产量监测中“3S”技术的应用是基于这一模式的。

1.6.2 “3S”技术在精细农作中的应用

“3S”技术在精细农业中的应用模式如图1-3所示，即利用RS影像

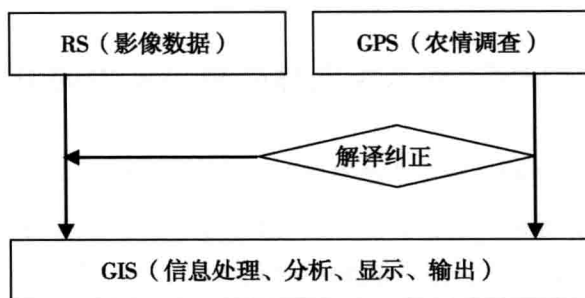


图 1-2 “3S”技术在农作物监测中的应用模式

和 GPS 精确提取作物种类、面积数据、产量数据、长势情况等，在此基础上利用 GIS 进行数据处理与长势分析，并结合气象、土壤、社会经济等基础数据库，及时查找作物生长中存在的问题，提炼出针对所存在问题的田间管理综合方案，再通过 GPS 和智能机械实现精细农作的目的。

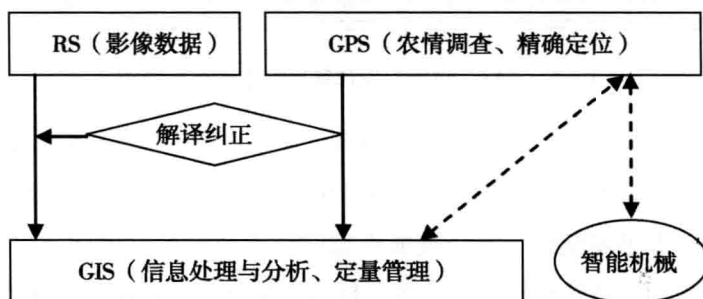


图 1-3 “3S”技术在精细农业中的应用模式

目前，“3S”在精细农业中的应用主要体现在施肥和喷洒农药上，我国仍处在研究阶段，国外有一些成功的事例。如美国生产有一种智能联合收割机，在其上安装 GPS 系统和 GIS 系统，通过自动测产、田块面积量算以及基础土壤数据量测等流程，基本可以实现肥料的准确使用和农药的定量喷洒，既提高了作物产量和管理水平，又降低了肥料和农药的消耗。