

王纪华 赵春江 黄文江 等 © 著

农业定量遥感 基础与应用



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是作者多年来从事农业定量遥感研究与应用的成果,书中涉及的内容主要反映了近年来北京市农林科学院国家农业信息化工程技术中心在国家“973”、“863”、国家自然科学基金、农业部“948”、北京市科技计划等项目的支持下,与多家科研教学单位的同行通力合作取得的科研成果。本书系统地介绍了农业定量遥感基础、农业定量遥感数据获取方法、农业定量遥感数据处理方法、作物信息定量遥感理论与模型以及定量遥感技术在农业中的应用。

本书可供从事农业信息技术、3S 技术应用、信息资源管理,特别是现代农林业等学科领域的科研及管理工作者参考,也可作为有关学校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

农业定量遥感基础与应用/王纪华,赵春江,黄文江等著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-022434-7

I. 农… II. ①王…②赵…③黄… III. 遥感技术-应用-农业
IV. S127

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 099004 号

责任编辑:张会格 李晶晶 王 静/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 8 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2008 年 8 月第一次印刷 印张: 24 3/4 插页: 10

印数: 1—2 000 字数: 479 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

序

农业是国民经济的基础。我国加入 WTO 后，农业由过去主要面对国内市场竞争变为参与国内、国际两个市场的竞争，由过去的资源约束变为受资源和市场的双重约束，面临着严峻的挑战。农业和农村经济结构的战略性调整、提高农业综合效益和增加农民收入的任务十分繁重。这对农业科技发展提出了迫切的需求。

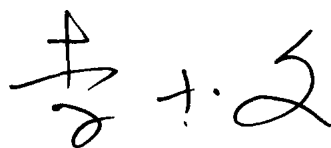
遥感作为现代信息技术的前沿，能够快速准确地收集农业资源和生产的信息，结合地理信息系统和全球定位系统等其他现代高新技术，能实现信息收集和分析的定时、定量、定位。其客观性强，人为干扰少，能支持更及时更准确的决策。因此，在农业发展的新阶段，运用遥感技术开展农情监测工作，将为农业生产提供高质量的服务，促使农业决策科学化提高到一个新的水平。

遥感技术在农业领域得到了越来越多的应用。利用遥感影像数据监测农田、水域、林业、草场、设施等资源动态变化的技术已有广泛应用；农作物估产、长势、品质、病虫害等农情遥感监测信息系统也初步建立或进入业务化运行；针对突发性农业资源与环境事件以及重大疫情的遥感实时快速监测技术正成为当前研究的热点。研究的逐步深入对定量遥感技术提出了越来越高的要求，迫切需要多学科交叉与合作。为此，北京市农林科学院在 2000 年与我们联合申报了“地图学与地理信息系统”专业博士学位授权点，并共同参与了国家“973”、“863”多个项目。我敬佩他们围绕农业定量遥感进行了大量、深入的研究和有益的探索。

《农业定量遥感基础与应用》是作者数年努力的成果的结晶。该书围绕现代农业对定量遥感的应用需求这一主题，详细介绍了农业定量遥感的农学基础、实验设计、数据获取及处理的方法、规范，以及作物信息定量遥感理论与模型。该书同时总结了近年来在多个课题中农业定量遥感的应用成果，介绍了定量遥感技术在精准生产管理决策支持，作物长势、作物品质的遥感监测，遥感估产，以及作物灾害遥感监测等的理论与应用等方面的进展。

该书作者都是来自农业定量遥感研究一线的中青年专家，既有海内外深厚的学养，又有丰富的实践经验。书中采用大量第一手实验数据，写作风格质朴，内容翔实，案例具体，突出了新颖性和实用性。本书提出的农业定量遥感实验和研究的方法及规范，对同行的相关研究和应用具有重要的参考价值，必将对促进农

业遥感技术的发展和农业信息资源系统的建设、对推动我国农业向精准化、数字化方向发展起到积极作用。在该书出版之际，我谨祝以作者为领导和骨干的研究团队，取得更加辉煌的成就。

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters '李小文' (Li Xiaowen).

李小文，中国科学院院士

2008年7月

前 言

农业生产是有生命的生产活动，同时又受到地理和气象条件的制约，因而具有生产分散性、时空变异性、灾害突发性等难点，这正是农业行业长期处于落后被动地位的根本原因。初步实践已经证明，发展农业信息科学，运用农业信息技术，对克服农业生产的上述难点，改变或部分改变农业生产管理的被动局面，提升农业总体科技水平和农产品市场竞争力具有重要的意义。农业信息科学是农业科学与信息科学相互交叉与融合而形成的一门新的学科，是运用现代高新技术研究和调控农业生产活动中信息流的科学。它的主要功能就是面向农业生产的“产前、产中、产后”各环节，及时准确地获取、处理、分析、存储、传输信息和结果表达等，具有很强的目的性和广阔的应用前景。

由遥感技术（RS）、地理信息技术（GIS）和全球定位技术（GPS）组成的3S技术反映了地球空间科学的最新成果，构成了人类对地观测的崭新手段，极大地拓展了人类的视觉和触觉，成为现代信息技术的前沿。其中，遥感技术是20世纪60年代以来，在现代物理学（包括光学技术、红外技术、微波雷达技术、激光技术和全息技术等）、电子计算机技术、数学方法和地球科学理论的基础上发展起来的一门新兴的、综合性的边缘学科。遥感技术目前已广泛应用在农业、地理、地质、海洋、水文、气象环境监测、地球资源勘探、军事侦察等多个方面。

农业是遥感最重要和最广泛的研究应用领域之一。从早期的土地利用和土地覆盖面积估测研究、农作物大面积遥感估产研究开始，已扩展到目前的3S集成对农作物长势的实时诊断研究、应用高光谱遥感数据对重要的生物和农学参数的反演模型算法和机理研究，在应用方面涉及农情监测、草地产量估测以及森林动态监测等多层次和多领域。遥感技术和计算机技术的发展及应用，已经使农业生产和研究从沿用传统经验方法的阶段进入到量化精准作业的新阶段。

尽管遥感技术能够快速准确地收集植被、土壤、水等农业资源和农业生产的信息，但是目前面临的问题是大量的遥感数据仍未得到真正有效的利用，与之相反的是，农业生产调控决策所需求的有效信息又十分匮乏。由于遥感的成像过程十分复杂，经历了从辐射源穿过大气层，到达地球表面，再穿过大气层最后才到达探测器的过程，每一个环节都存在不确定性，导致遥感模型的精度还不能充分满足应用需求。这一方面依赖于传感器研制手段的进步，另一方面则需要进一步

深入研究定量遥感的技术和方法。

《农业定量遥感基础与应用》正是利用遥感技术获取并定量解析农作物叶绿素、叶面积指数以及农田土壤养分和水分等农学参数的一种尝试,书中涉及的内容主要反映了2000年以来本研究团队承担国家“973”、“863”、北京市科技计划等项目取得的成果,主要有:国家“973”课题“定量遥感在精细农业及其他领域的应用示范研究”(G2000077907);国家“863”课题“稻麦品质遥感监测与预报技术研究”(2002AA243011)、“智能化农业信息技术研发关键技术研究”(2004AA115190)、“冬小麦、玉米波谱库数据获取及应用示范”(2002AA130010-2)、“作物病害遥感监测地面测试与实验”(JZ2005001-06);农业部948项目“作物田间信息获取与基于影像GIS的快速诊断系统”(2001-230);北京市科学技术委员会项目“遥感在作物优质调控栽培及农田环境监测上的应用”(H010710010123);北京市自然科学基金重点项目“面向精准农业的作物光谱信息系统研究”(6021002)、“基于3S技术的京郊农田环境监测与决策支持研究”(4061002);国家自然科学基金项目“基于冠层光谱的光合作用荧光发射光谱探测及应用”(40301035)、“基于遥感数据的冬小麦变量施肥算法及机理研究”(40471093)、“作物冠层组分垂直分布的光谱响应机理和反演模型研究”(40571118)等。本书是北京市农林科学院国家农业信息化工程技术研究中心的研究团队与多家科研、教学单位通力合作取得的科研成果。

本书的第1章以简洁的内容系统地介绍了农业定量遥感基础,包括定量遥感应用的农学基础,农业定量遥感流程以及农业定量遥感的需求;第2章叙述了农业定量遥感数据获取方法,包括农田取样与遥感配套的农学参数测试规程、地物光谱测量原理、方法与规范;第3章则介绍了农业定量遥感数据处理方法;第4章介绍了作物信息定量遥感理论与模型。作者希望通过前四章的介绍,使读者对农业定量遥感基础、技术和特点有一个整体的认识。从第5章开始,系统介绍了定量遥感技术在农业中的应用。其中,第5章介绍了农田尺度下作物变异与遥感监测,基于遥感技术的作物精准施氮理论与试验;第6章介绍了作物长势遥感监测原理与方法,作物产量遥感预测原理与方法;第7章介绍了作物品质遥感监测的需求以及遥感监测原理与方法,作物品质遥感监测模型与应用以及品质监测与调优系统开发;第8章着重介绍了以冬小麦为主要对象的病虫害、倒伏及冻害等灾害的遥感监测研究方法。

本书作者都是直接参与相关课题研究的专家和技术骨干,其中,第1章由刘良云、赵春江编写;第2章由黄文江、王纪华、马智宏编写;第3章由宋晓宇、刘良云编写;第4章由李存军、宋晓宇编写;第5章由赵春江、黄文江、王之杰、周脚根编写;第6章由徐新刚、刘良云编写;第7章由王纪华、李存军、李卫国、潘瑜春编写;第8章由黄文江、刘良云编写。全书由王纪华、赵春江、宋

晓宇统稿。多位博士研究生、博士后以及硕士研究生直接参与了书中部分研究工作，他们是张超、鲍艳松、张永江、杨敏华、王昌佐、沈涛、李翔、卢艳丽、黄木易、谭昌伟、景娟娟、竞霞、蒋阿宁、梁红霞、谢伯承、葛忠强、钟耀武、陈万辉、马景宇、赵新元、唐怡、李佛琳、田振坤、陈鹏飞、马金锋、王婷、齐腊、阎晓娟、马丽、罗菊花、王娴、王芊、刘峰、王大成、孙安利、王伟、宫彦萍、靳宁、顾晓鹤、杨贵军、王鹏飞、黎锐等。此外，北京农产品质量检测与农田环境监测技术研究中心马智宏、常红、王北洪、李伟国等，为本书所涉及的试验数据的获取，付出了辛勤的劳动。

无论在国内还是国外，农业定量遥感在遥感技术领域还是一支新军，技术研究有待进一步发展，应用也有待进一步深入和拓展。作者期望本书的问世，将会使读者对农业定量遥感技术的基础及应用有所了解，同时也起到抛砖引玉的作用，引发人们对于这一领域的兴趣和关注，促进我国农业定量遥感的发展，从而惠及农业和农民，那将使我们感到无限的欣慰。由于定量遥感技术是一项新技术，正处在发展成熟之中，一些深入的机理尚在探讨之中；同时也限于本书作者的学识水平，书中的内容和观点难免存在不妥之处，欢迎读者不吝指正。

王纪华

2008年5月

目 录

序

前言

第 1 章 农业定量遥感基础	1
1.1 农业定量遥感流程	1
1.2 定量遥感应用的农学基础	4
1.2.1 植被的反射光谱特征	4
1.2.2 土壤的反射光谱特征	5
1.2.3 植被的荧光光谱特征	8
1.2.4 叶片生化组分与吸收特征波段	9
1.3 农业定量遥感的需求	10
参考文献	15
第 2 章 农业定量遥感试验设计、数据获取方法与规范	18
2.1 农田取样与遥感配套的农学参数测试规范	18
2.1.1 主要农学参数的选择	18
2.1.2 观测时期的选择	19
2.1.3 作物生理生化参数测定	22
2.1.4 作物生物量与形态结构参数测量	25
2.1.5 土壤理化参数测定	32
2.1.6 环境参数测量	34
2.1.7 作物品质遥感地面调查规范	35
2.2 地物光谱测量原理、方法与规范	37
2.2.1 地物光谱测量原理与规范	37
2.2.2 地物反射率波谱数据测定原理和处理方法	39
2.2.3 地物光谱测量规范	42
2.3 荧光光谱测量原理、方法与规范	44
2.3.1 叶片水平的叶绿素荧光探测方法与实验装置	45
2.3.2 冠层水平的 Fraunhofer 线探测日光诱导荧光方法	48
2.4 农业定量遥感应用试验	50
2.4.1 小麦冠层生理生化参数遥感反演试验	51

2.4.2	小麦冠层生化组分垂直分布遥感反演试验	52
2.4.3	玉米冠层生理生化参数遥感反演试验	52
2.4.4	作物品质遥感预测预报试验	53
2.4.5	作物株形遥感识别试验	57
2.4.6	作物病害遥感识别和损失评估试验	58
2.4.7	作物逆境荧光遥感探测试验	59
2.4.8	基于遥感数据的变量施肥试验	61
	参考文献	61
第3章	农业定量遥感数据处理	63
3.1	农业定量遥感数据预处理	63
3.1.1	遥感器定标	63
3.1.2	大气校正	65
3.1.3	几何校正	68
3.2	不同平台遥感数据的大气校正实例	69
3.2.1	航空成像光谱数据 OMIS 的大气校正	69
3.2.2	Landsat TM/ETM 遥感影像大气纠正	84
3.3	遥感信息融合技术	102
3.3.1	常用的影像融合方法	102
3.3.2	两种高保真的影像融合方法及评价	104
3.4	遥感作物分类技术	114
3.4.1	遥感图像分类的概念	114
3.4.2	遥感图像分类的原则与步骤	114
3.4.3	遥感图像分类的基本算法	115
3.4.4	作物种植面积遥感监测的时相选择研究	120
3.4.5	基于地物空间信息的浮动先验概率最大似然作物分类研究	122
3.4.6	利用多时相 Landsat 近红外波段监测冬小麦和苜蓿种植面积	130
3.4.7	利用多时相遥感影像监测季节性裸露农田	134
	参考文献	138
第4章	作物定量遥感监测理论与模型	141
4.1	不同肥水管理条件下的冬小麦全生育期光谱响应	141
4.1.1	肥水胁迫条件下冬小麦的生理生化参数的响应	141
4.1.2	肥水胁迫条件下的冬小麦冠层光谱特性	142
4.2	不同管理条件下的夏玉米全生育期光谱响应	143
4.2.1	不同种植密度下的夏玉米反射光谱特性	144
4.2.2	夏玉米生长发育进程的反射光谱特性	144

4.2.3	不同叶面积指数下的夏玉米反射光谱特性	145
4.2.4	氮素胁迫下的夏玉米反射光谱特性	145
4.3	作物生物生理生化参数的模型反演	146
4.3.1	基于 PROSPECT 模型的叶片水平的反演	147
4.3.2	基于 PROSAIL 模型的作物信息模型反演	150
4.4	作物光谱特征分析和特征选择	156
4.4.1	植被指数	156
4.4.2	导数光谱分析	157
4.4.3	光谱吸收谷/反射峰特征分析	159
4.4.4	光谱特征位置分析与提取	161
4.5	作物生理生化参数的经验/半经验定量遥感模型	163
4.5.1	叶面积指数反演模型	163
4.5.2	叶片水分光谱反演模型研究	163
4.5.3	基于红边宽度的植株含水量光谱反演模型	168
4.5.4	冬小麦叶绿素遥感反演模型	170
4.5.5	作物氮素遥感反演模型	171
4.5.6	冠层糖氮比的光谱反演	171
4.6	冠层养分垂直分布的光谱反演	174
4.6.1	作物生化组分的垂直分布	175
4.6.2	基于偏最小二乘法算法的作物生化组分垂直分布遥感反演	176
4.6.3	基于多角度光谱信息的作物生化组分垂直分布遥感反演	178
4.7	作物株形指标的反演	181
4.7.1	不同生育时期、不同株形品种特征	181
4.7.2	多时相数据对小麦株形的识别	182
4.7.3	多时相数据对玉米株形的识别	183
4.7.4	基于多角度信息的作物株形遥感识别	184
4.8	作物水肥胁迫的叶绿素荧光被动探测与诊断	191
4.8.1	单叶水平小麦水分胁迫荧光探测	191
4.8.2	单叶水平玉米不同水分胁迫下的反射率光谱和荧光光谱	193
4.8.3	冠层水平水分胁迫荧光探测	195
4.8.4	小麦氮肥胁迫的叶绿素荧光诊断	196
4.9	定量遥感肥水参数与作物模型的链接	198
4.9.1	定量遥感肥水参数与作物模型链接的方法	198
4.9.2	定量遥感肥水参数与作物模型的链接流程	199
4.9.3	模型链接的应用及影响因子分析	200

4.9.4 定量遥感参数与农学模型链接的实例	201
参考文献	203
第5章 基于遥感技术的精准生产管理决策	207
5.1 农田尺度作物长势变异与遥感监测	207
5.1.1 利用航空成像光谱数据监测土壤供氮量及变量施肥	207
5.1.2 基于 Quickbird 遥感影像的农田管理区域划分	210
5.1.3 基于 OMIS 航空遥感影像的管理区域划分与验证	220
5.2 基于遥感技术的作物精准施肥理论与试验	226
5.2.1 变量施肥研究的必要性和研究现状	226
5.2.2 基于土壤养分数据的冬小麦变量施肥技术	227
5.2.3 基于冠层光谱指数的冬小麦变量施肥技术	231
5.2.4 基于不同叶位 SPAD 值的变量施肥技术	236
5.2.5 基于遥感数据及作物生长模型的冬小麦变量施肥研究	240
5.2.6 基于遥感技术的作物精准施肥理论与试验存在的问题及展望	243
5.3 基于遥感技术的作物精准灌溉理论、算法与试验	244
5.3.1 基于遥感技术的作物精准灌溉理论、算法与试验	244
5.3.2 土壤含水量遥感探测技术	246
5.3.3 作物水分探测与精准灌溉决策试验	254
参考文献	256
第6章 作物长势和产量遥感监测理论与应用	259
6.1 作物长势遥感监测	259
6.1.1 作物长势遥感监测原理与方法	259
6.1.2 株型对作物长势遥感监测的影响	263
6.1.3 基于高光谱定量遥感的作物长势诊断	270
6.2 作物产量遥感监测	276
6.2.1 作物产量遥感预测原理与方法	276
6.2.2 作物单产遥感监测应用	280
参考文献	288
第7章 作物品质遥感监测理论与应用	290
7.1 作物品质遥感监测的指标与需求分析	290
7.1.1 作物品质评价指标	290
7.1.2 我国作物品质现状	291
7.1.3 作物品质的主要影响因素	292
7.1.4 作物品质监控现状与遥感品质监测的思路	292
7.2 作物品质形成的农学机理	294

7.2.1 碳氮代谢与作物品质	294
7.2.2 品质形成的影响因素	297
7.3 作物品质遥感监测预报原理和方法	299
7.3.1 作物品质遥感监测预报模式	299
7.3.2 作物品质遥感监测技术路线	300
7.3.3 作物品质监测预报方法	301
7.3.4 作物品质遥感监测的基本流程	302
7.3.5 作物品质遥感监测模型	302
7.4 作物品质遥感监测技术集成及应用	303
7.4.1 基于氮素运转的小麦品质遥感监测	303
7.4.2 水肥胁迫下的小麦品质监测预报	327
7.4.3 利用多时相遥感数据监测小麦籽粒品质	330
7.4.4 多源遥感数据集成预报作物品质	336
7.5 区域作物品质遥感监测预报示范应用	341
7.5.1 北京小麦品质遥感监测应用示范	341
7.5.2 河南小麦品质遥感监测应用示范	341
7.5.3 黑龙江小麦、大麦、水稻、大豆品质遥感监测应用示范	344
7.5.4 江苏小麦品质遥感监测应用示范	347
7.6 作物品质监测与调优栽培信息系统	349
7.6.1 系统总体结构设计	349
7.6.2 系统功能实现数据流程	350
7.6.3 系统主要功能介绍	351
参考文献	354
第8章 作物病虫害遥感监测研究	356
8.1 作物病害遥感监测研究	356
8.1.1 冬小麦条锈病光谱特征及遥感监测	356
8.1.2 小麦条锈病的荧光遥感探测	368
8.2 小麦蚜虫遥感监测	373
8.3 冬小麦倒伏遥感监测	374
8.3.1 倒伏小麦冠层光谱特征分析	375
8.3.2 多时相卫星遥感监测小麦倒伏程度	377
8.4 冬小麦冻害遥感监测	378
参考文献	380

第1章 农业定量遥感基础

1.1 农业定量遥感流程

定量遥感是当前遥感发展的前沿，它是指利用传感器获取地表地物的电磁波信息，在计算机系统的支持下，通过数学或物理的模型将获取的遥感信息与所观测的地表目标参量联系起来，定量地反演或推算出某些地学、生物学及大气等目标参量。定量遥感可以根据探测能量的波长和探测方式、应用目的不同分为可见光-反射红外遥感、热红外遥感、微波遥感三种基本形式，其主要环节包括遥感器定标、大气纠正、几何纠正、定量遥感模型构建四部分。

遥感器定标是指建立遥感器每个探测元件所输出信号的数值与该探测器对应像元内的实际地物辐射亮度值之间的定量关系，将遥感器记录的灰度值（DN值）转换为遥感器入瞳处/大气顶层（top of atmosphere, TOA）的辐射值。遥感器定标是遥感数据量化处理中最基本的环节，其定标精度直接影响到遥感数据的可靠性，也直接关系到遥感应用产品的通用性。遥感器常用的定标技术包括实验室定标、星上定标、场地定标等。

大气纠正是消除光谱信号在大气辐射传输过程中由于大气的干扰引起的信号退化的一种图像处理及光谱处理方法。由于遥感器在空中获取地表信息时，受到大气分子、气溶胶、云粒子、水汽等大气成分的吸收和散射的影响，而大气中水汽和气溶胶含量具有很大的时空变换特征，其结果是目标反射辐射能量被衰减，空间分布被改变，部分与目标物无关的大气散射辐射进入遥感器视场，因此，对于已经经过绝对辐射标定的遥感影像，还必须经过大气纠正才可以得到地表目标的真实信息。针对农业定量遥感，大气校正的目的是为了消除气溶胶、水汽等的影响，将星上/机载遥感器测量的入瞳处/大气顶层（TOA）的辐射值转换为农作物冠层顶部（top of canopy, TOC）的辐射/反射值。

卫星成像时因倾斜扫描、地形起伏及传感器姿态角的变化，往往会使遥感影像产生像点位移，造成影像变形。几何纠正就是利用一系列控制点，根据计算模型对遥感影像数据与标准图像或地图进行几何整合的过程。其基本过程包括：地面控制点的选取、多项式纠正模型和重采样模型的确定等。

定量遥感模型是从抽取遥感专题信息的应用需求出发，对遥感信息形成过程进行模拟、统计、抽象或简化，最后用文字、数学公式或者其他的符号系统表达

出来。定量遥感模型概括起来分为三类：物理模型、统计模型和半经验模型。物理模型是根据物理学原理建立起来的模型，模型中的参数具有明确的物理意义。统计模型又被称为“经验模型”，其建模思路是对一系列观测数据作经验性的统计描述或进行相关分析，建立遥感参数与地面观测数据之间的回归模型。半经验模型则综合了物理模型和统计模型的优点，其建模思路既考虑模型的物理含义，又引入经验参数。

定量遥感模型一般分为正演模型和反演模型。所谓正演模型是根据已知的地表上目标地物的固有波谱特性参数以及大气的各种辐射传输参数，进而求出目标地物电磁波（反射）辐射强度，其过程也称为前向建模。前向建模是从遥感机理出发，用物理模型来描述电磁波传播过程，揭示电磁波与地表物质之间的相互作用规律，在此基础上形成遥感信息模型。反演模型则是根据目标地物的电磁波（反射）辐射强度，求出不同尺度上辐射源、大气、地表物和传感器有关的任一参数，又称为后向建模。遥感参数反演就是利用从传感器接收到的由地表地物发射（反射）的电磁波信息，基于一定的计算模型，根据遥感数据获取时的各种环境参数如大气状况、成像时间等信息计算出大气或地表目标物的相关物理参数，如地表反射率、植被参数以及温度等。

在可见光、近红外及短波红外波段，星载或机载传感器所接收到的辐射主要是太阳-地面-大气系统反射和散射的太阳辐射，辐射信号中包含了地面和大气的综合信息，利用农业定量遥感模型可以前向模拟大气顶部目标地物的星上反射率，也可以从获取的遥感影像中反演大气和目标地物的相关物理参数。如图 1-1 所示，这是一个双向模型，既可进行前向模拟，也可以进行后向模型反演。

在前向模拟过程中，首先需要用 PROSPECT 模型（Jacquemoud and Baret, 1990）模拟出叶片的反射率和透过率，然后结合土壤反射率的影响，利用 SAIL 模型来模拟冠层的反射率，得到冠层反射率后，通过大气辐射传输模型来模拟地物目标在大气顶部的反射率。前向模拟模型可分为三个层次：

第一层为背景层。主要考虑土壤背景对星上反射率的贡献。参数包括土壤质地、土壤粗糙度、土壤湿度等影响土壤亮度的因子。

第二层为植被。需分别考虑叶片和冠层对星上反射率的贡献。其中，PROSPECT 模型是叶片反射率模拟模型，它可以以较少的输入参数模拟叶片的反射率和透过率，其输入参数包括叶片结构参数、叶绿素含量、等效水厚度、干物质含量等参数。而 SAIL 模型（Verhoef, 1984）是冠层反射率模拟模型，可以耦合 PROSPECT 模型模拟出 400~2500nm 的冠层光谱。SAIL 模型是辐射传输模型中比较典型的一个，它是在 Suits 模型（Suits, 1972）的基础上发展起来的，与 Suits 模型的最大不同之处在于以接近真实的叶子取任意角去代替 Suits 模型的水平投影和垂直投影。它求解冠层内的上行和下行散射光强度，并给出任

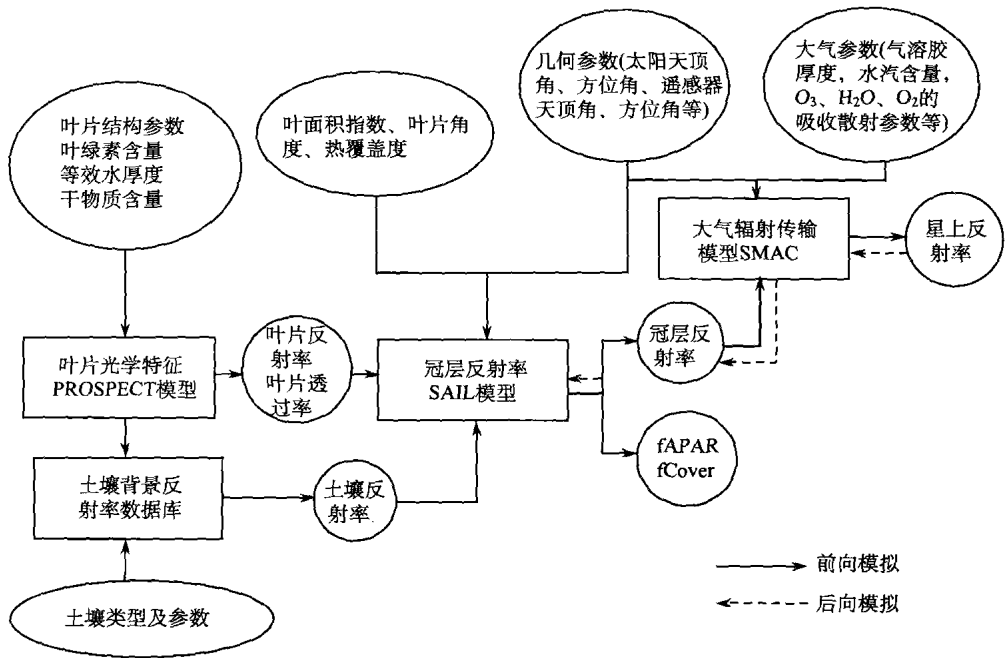


图 1-1 农业定量遥感流程

fAPAR 表示光合有效辐射吸收系数，fCover 表示覆盖度

意太阳天顶角、天空散射光和观测角条件下的方向反射率。SAIL 模型考虑了叶面积指数 LAI (leaf area index)、叶角度分布 LAD (leaf angle distribution) 两个基本结构参数，冠层组分的透射、反射，土壤反射这三个光谱参数。

第三层为大气。主要考虑大气对星上反射率的影响。在入射与反射的路径上，大气对各种波长的辐射有不同程度的吸收和散射，这一过程中所涉及的大气参数包括气溶胶、水汽、臭氧、氧气等对辐射通量的吸收以及散射。此外，遥感器与太阳的几何参数，也是模拟时需要输入的参量。

在后向模型反演过程中需要考虑尺度效应、混合像元等问题。不同遥感图像像元所对应的地表单元具有从小于 1m 到数千米的不同的空间分辨率。这些不同尺度的像元，反映出的同一地表物体的信息量是不同的，其空间异质性程度因尺度不同而有明显差异。在某一尺度上观测到的性质，总结的定理和定律，在另一个尺度上不一定有效，需要验证和修正。尺度效应研究是根据定量遥感反演需求确定不同的空间尺度，着重研究不同尺度信息的空间异质性的特点，尺度变化对信息量、信息分析模型和信息处理结果的影响，并进行尺度转化的定量描述。混合像元是指包含两种或两种以上地物类型的像元。陆地表面在遥感像元尺度上通常是混合像元，需要对其进行分解，求得各地物类型在混合像元中所占的比例。

1.2 定量遥感应用的农学基础

物质在电磁波作用下，会在某些特定波段形成反映物质成分和结构信息的光谱吸收与反射特征。物质的这种对不同波段光谱的响应特性通常被称为光谱特征。光谱特征是用遥感方法探测各种物质性质和形状的重要依据。不同的作物或同一作物在不同的环境条件、不同的生产管理措施、不同生育期，以及作物营养状况不同和长势不同时都会表现出不同的光谱反射特征。作物光谱特征分析在作物识别、作物估产、作物长势监测、作物营养诊断及作物生产管理等各方面都有重要作用。

1.2.1 植被的反射光谱特征

植物叶片光谱特征的形成是由于植物叶片中化学组分分子结构中的化学键在一定辐射水平的照射下，吸收特定波长的辐射能，产生了不同的光谱反射率的结果。因此特征波长处光谱反射率的变化对叶片化学组分的多少非常敏感，故称敏感光谱。植物的反射光谱，随着叶片中叶肉细胞、叶绿素、水分含量、氮素含量以及其他生物化学成分的不同，在不同波段会呈现出不同的形态和特征的反射光谱曲线（图 1-2）。绿色植物的反射光谱曲线明显不同于其他非绿色物体的这一特征是用来作为区分绿色植物与土壤、水体、山石等的客观依据。

图 1-2 中 400~700nm（可见光）是植物叶片的强吸收波段，反射和透射都很低。由于植物色素吸收，特别是叶绿素 a、b 的强吸收，在可见光波段形成两

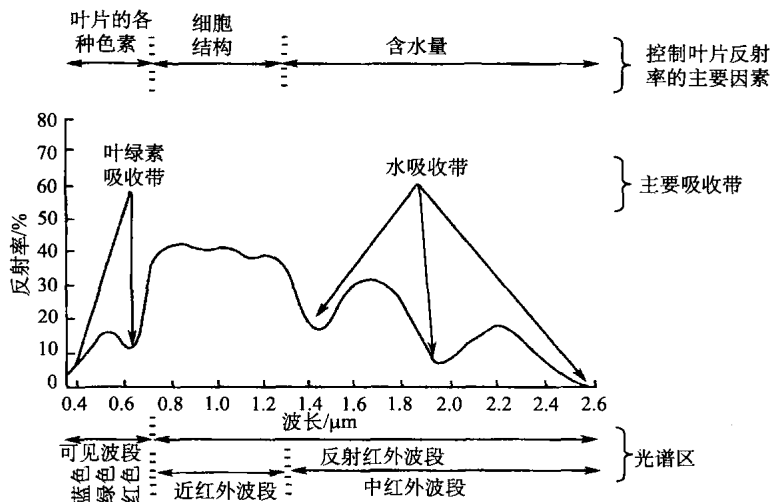


图 1-2 典型绿色叶片的光谱反射率特性

个吸收谷（450nm 蓝光和 660nm 红光附近）和一个反射峰（550nm 的绿光处），呈现出其独特的光谱特征，即“蓝边”、“绿峰”、“黄边”、“红谷”等区别于土壤、岩石、水体的独特光谱特征。

700~780nm 波段是叶绿素在红波段的强吸收到近红外波段多次散射形成的高反射平台的过渡波段，又称为植被反射率“红边”。红边是植被营养、长势、水分、叶面积等的指示性特征，得到了广泛应用与证实。当植被生物量大、色素含量高、生长旺盛时，红边会向长波方向移动（红移），而当遇病虫害、污染、叶片老化等因素发生时，红边则会向短波方向移动（蓝移）。

780~1350nm 是与叶片内部结构有关的光谱波段，该波段能解释叶片结构光谱反射率特性。由于色素和纤维素在该波段的吸收小于 10%，且叶片含水量也只是在 970nm、1200nm 附近有两个微弱的吸收特征，所以光线在叶片内部的多次散射的结果便是近 50% 的光线被反射，近 50% 被透射。该波段反射率平台（又称为反射率红肩）的光谱反射率强度取决于叶片内部结构，特别是叶肉与细胞间空隙的相对厚度。但叶片内部结构影响叶片光谱反射率的机理比较复杂，已有研究表明，当细胞层越多，光谱反射率越高，细胞形状、成分的各向异性及差异越明显，光谱反射率也越高。

1350~2500nm 是叶片水分吸收主导的波段。由于水分在 1450nm 及 1940nm 的强吸收特征，在这个波段形成 2 个主要反射峰，位于 1650nm 和 2200nm 附近。部分学者（王纪华等，2001；Tian et al., 2001）在室内条件下利用该波段的吸收特征反演了叶片含水量，但由于叶片水分的吸收波段受到大气中水汽的强烈干扰，而将大气水汽和植被水分对光谱反射率的贡献相分离的难度很大，目前虽取得了部分进展，但仍满足不了田间条件下植被含水量的定量遥感需求。

由于植被的光谱特性由其组织结构、生物化学成分和形态学特征决定，不同作物类型、不同植株营养状态虽具有相似的光谱变化趋势，但是其光谱反射率大小是有差异的。植物叶及冠层的形状、大小以及与群体结构（涉及多次散射、间隙率和阴影等）都会对冠层光谱反射率产生很大影响，并随着作物的种类、生长阶段等的变化而改变。因此，研究作物的冠层光谱特性受冠层结构、生长状况、土壤背景以及天气状况等因素影响程度及其机理，是实现作物长势等指标定量遥感监测的基础。

1.2.2 土壤的反射光谱特征

土壤的机械组成、有机质含量、土壤孔隙度和黏土矿物类型等理化特性的多样性，使各类土壤均具有其独特的光谱特性。刘伟东（2002）对 50 个剖面 124 个土壤样品的光谱曲线分析如图 1-3 所示。可以看出不同土壤的光谱曲线形态各异，但存在着一些共同的性质：土壤的光谱曲线总体上变化比较平缓，而且多数