

农作物面积遥感监测 原理与实践

刘 佳 王利民 杨玲波 杨福刚 滕 飞 编著



科学出版社

农作物面积遥感监测 原理与实践

刘 佳 王利民 杨玲波 杨福刚 滕 飞 编著

科 学 出 版 社

内 容 简 介

本书共 10 章, 主要介绍了农作物面积遥感监测技术方法, 简要介绍了农作物面积遥感监测的研究背景及数据源情况, 详细描述了基于高分数据的农作物面积遥感监测总体技术路线, 并从数据的预处理技术、地面样方获取技术、农作物遥感监测分类技术方法及区域农作物面积识别和提取等方面进行了系统性研究, 对各类方法进行了实践检验, 同时面向海量遥感数据处理, 搭建农作物面积遥感监测硬件平台和软件环境, 从而对当前农作物面积遥感监测提取的完整业务化流程进行描述。

本书可为农业统计及决策部门、相关研究机构的农业遥感监测研究人员、高等院校农业遥感相关专业师生等开展农业遥感农作物面积监测业务工作及相关研究提供参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

农作物面积遥感监测原理与实践/刘佳等编著. —北京: 科学出版社, 2017.6

ISBN 978-7-03-051062-4

I. ①农… II. ①刘… III. ①遥感技术-应用-作物-种植面积-作物监测 IV. ①S127-39 ②S5-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 309582 号

责任编辑: 李秀伟 / 责任校对: 王晓茜

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 北京图阅盛世文化传媒有限公司

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

*

2017 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张: 13 1/4

字数: 267 000

定价: 120.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

“民以食为天”，粮食问题直接关系到国计民生，丰衣足食是老百姓幸福生活的基础。在现代社会中，粮食安全成为广泛关注的一个话题，中共中央 2004~2016 年连续发布以“三农”（农业、农村、农民）为主题的中央一号文件，强调了“三农”问题是中国社会主义现代化时期的“重中之重”。农作物的种植面积、长势情况、灾害监测、产量评估等是政府部门制定粮食政策的重要依据，准确的农作物种植面积及产量统计具有非常重要的意义。近年来，随着中国改革开放的不断深入，社会经济的方方面面发生了巨大的改变，尤其是农业领域，农作物的种植结构、不同农作物的种植面积和产量水平等变化日益频繁。这就在客观上要求政府及时掌握中国耕地和粮食播种信息，使中国国民经济宏观决策具有科学依据。

长期以来，农作物种植面积信息获取的主要方式是村级起报、逐级上报汇总，耗时耗力，且易受到行政手段的影响，精确性较难保证。同时，该方法无法获取农作物的具体空间分布及种植结构情况，信息组成单一，已经难以满足当前市场经济条件下农业、农村、农民发展的需求。

随着“3S”（GIS，地理信息技术；RS，遥感技术；GPS，全球定位技术）技术的发展，利用“3S”技术进行农作物种植面积的监测已逐渐成为农情监测的重要手段之一。在“十二五”国家科技重大专项“高分辨率对地观测系统专项”的支持下，我国已逐步发射了多颗高性能遥感卫星，为农作物种植面积遥感监测提供了充足且高质量的遥感监测数据源。同时，基于国产遥感卫星影像的农作物种植面积监测技术也已取得一定的进展，并形成了常态化的农作物面积遥感监测技术体系，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所（农业部遥感应用中心）按月向农业部提交农业遥感速报，包括全国主要农作物种植面积及长势、灾情等农业遥感监测信息。

农作物面积遥感监测的主要原理是基于遥感影像数据，利用农作物在遥感影像上呈现的独特特性，对农作物种植区域及不同的农作物进行分类识别，最终获取大尺度范围下的农作物空间分布及种植面积信息。利用遥感技术进行农作物面积提取具有实时性、客观性、准确性的优势，监测范围广、精度高、成本低。农作物面积遥感监测技术在实际应用发展的过程中已逐渐成熟，形成了多种农作物面积监测技术流程方法。

在以往的农作物种植面积业务化监测过程中，主要存在三个方面的问题：数

据源问题、农作物面积分类提取技术问题、业务化流程化应用。

农作物面积提取及农业遥感监测可利用数据源的问题，主要是以往遥感监测中国产数据源较少的问题及影像空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率等的限制问题。

高质量的卫星遥感影像数据是进行农业遥感监测及农作物面积遥感提取的基础，以往在农业遥感监测工作中进行业务化运行的常用卫星影像依然主要是国外的 MODIS 影像、Landsat 影像、WorldView 影像、SPOT 影像等，95%的数据依赖国外卫星，数据费用支出占总额的比例很大，这就导致我国遥感领域的基础数据源长期受制于人。

另外，目前常用的遥感影像在空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率方面存在着一系列的矛盾和不足，导致业务化运行产生一系列的困难。例如，MODIS 影像具有幅宽大、重访周期短等优势，扫描宽度可达 2300km，一天之内可过境 4 次，且具有较多的波段设置，是以往农业遥感监测最常用到的卫星。然而，该卫星的空间分辨率较低，最高仅能达到 250m，这就导致混合像元、小宗农作物监测、空间破碎度较高地块监测的一系列局限性，进而导致精度的降低；Landsat 影像也是常用的农业遥感监测数据源，该卫星具有几何精度高、成像质量高、分辨率高的优点，其空间分辨率可达到 30m，波段设置也较多，应用领域较为宽广，然而该卫星的幅宽较小，只有 100 多千米，且重访周期长达 16d，在一些多云雾地区，往往无法满足农作物监测每月至少一景有效数据的要求，进而无法应用于全国尺度的农作物面积遥感监测。

以 2010 年度全国冬小麦主产区冬小麦种植面积本底调查为例，计算遥感数据的获取率。适合冬小麦种植面积遥感监测的数据时相在华北平原为 12 月中旬至翌年 1 月下旬、3 月中旬至 4 月下旬，华东和华中地区为 3 月上旬至 4 月下旬。一般以 10m 多光谱 ALOS 和 SPOT5 为主要数据源，当无法获取有效时序时依次以 SPOT4 和 TM 数据代替。假设全部采用 Landsat 影像，则全国主要监测区域最少需要 121 景，但检索到的适宜影像只有 72 景，有效率为 59.5%。全部采用 SPOT5 数据的话，检索到的适宜影像覆盖面积只占监测区的 20.1%，远远不能满足冬小麦种植面积本底调查对遥感数据的需求。

传统遥感分类方法在农作物面积提取及农业遥感监测体系业务化运行过程中存在可靠性、精确性、适用性、稳定性、时效性等方面的局限性。目前，农业遥感监测及农作物面积业务化提取中常用的方法包括目视解译法、监督分类法、决策树分类法、多时相法、分层抽样法等。目视解译法精度最高，然而其所费人力、物力巨大，只适合小范围农作物面积提取及样方验证等工作；监督分类法需要地面样方支撑，由于区域差异、生长状况差异、品种差异等，容易产生“同物异谱”、

“异物同谱”现象，若样方代表性不足，将造成分类精度降低。决策树分类法、多时相法往往互相结合，精度较高，适用性较强，但是过于依赖专家知识，对作业人员的要求较高，如果经验不足，往往无法获取高精度的结果；分层抽样法则具有较高的面积统计精度，工作量适中，但是利用该方法无法获取准确的农作物空间分布位置信息。

当前农作物面积提取业务化运行过程中存在系统性、流程性不够的问题，研究与应用脱钩的现象较多，以往研究的各项关键技术过于分散，未能组织成一个较为完整的工作流，以便在农业遥感监测体系中明确位置，达到研究为应用服务的目的。

本书针对以上几个问题，基于农业遥感监测实际应用过程中形成的技术积累，对农业遥感监测中涉及的遥感影像数据源、数据预处理技术、农作物面积分类识别技术、业务化运行技术等方面进行了探讨和叙述。

本书的第1章主要介绍了农业遥感监测的背景及国内外研究现状，并对农业遥感监测的主要技术进行了简单的介绍。第2章介绍了农业遥感监测过程中常用的国内外遥感影像数据源及其特性。第3章至第8章分别介绍了高分卫星影像数据的预处理技术、农作物地面样方获取技术、农作物面积遥感分类技术方法、区域农作物面积的识别和提取，同时对尺度效应对农作物面积分类识别精度的影响进行了分析。第9章简单介绍了农作物遥感监测硬件平台及软件环境。第10章对整体研究进行了总结及展望。

本书是作者在近年来业务化开展农作物面积遥感监测实践的基础上对相关研究的总结，并经过了实际业务流程的检验，既包含常用遥感监测技术方法在农业遥感监测领域的实际应用，又有在业务开展过程中提出的新的大尺度范围下大宗农作物面积监测业务化提取技术方法。本书阐述的主要内容是“十二五”国家科技重大专项“高分辨率对地观测系统专项”应用系统项目“高分农业遥感监测与评估示范系统（一期）”中的部分关键研究内容。

农作物面积遥感监测是一项复杂的科学研究，涉及遥感技术的方方面面，本书主要从实际工作的角度对已有工作进行总结性叙述。由于作者水平有限，难免挂一漏万，书中不足之处在所难免，希望各位读者予以批评指正。

作 者

2016年12月16日

目 录

第 1 章 农作物面积遥感研究背景	1
1.1 引言	1
1.2 农业遥感监测的理论基础	2
1.3 农作物面积遥感监测国内外研究现状	5
1.4 农作物面积遥感监测主要技术方法简介	7
1.4.1 目视解译	8
1.4.2 非监督分类	8
1.4.3 监督分类	9
1.4.4 面向对象分类	10
1.4.5 决策树分类	11
1.4.6 混合像元分解	12
1.4.7 空间抽样法	13
1.4.8 单时相及多时相分类法	13
第 2 章 农作物面积遥感监测数据源	15
2.1 引言	15
2.2 主要遥感数据源介绍	16
2.2.1 MODIS 影像	17
2.2.2 Landsat 影像	17
2.2.3 RapidEye 卫星影像	18
2.2.4 WorldView 卫星影像	19
2.2.5 Sentinel 哨兵系列卫星影像	20
2.2.6 环境 (HJ) 系列卫星影像	21
2.2.7 资源 (ZY) 系列卫星影像	22
2.2.8 高分系列卫星影像	23
2.2.9 Google Earth 影像	24
2.2.10 无人机影像	24
2.3 农作物分类辅助数据	25
2.3.1 基础地理信息数据	25
2.3.2 统计年鉴资料	25
2.3.3 地面实测数据	26

第3章 基于高分数据的农作物面积遥感监测总体技术路线 30

第4章 农作物面积遥感监测影像预处理技术研究 33

4.1 引言 33

4.2 基于6S大气辐射传输模型的GF-1影像快速大气校正 34

4.2.1 研究背景 34

4.2.2 6S模型大气校正概述 35

4.2.3 试验数据获取 36

4.2.4 基于6S模型的GF-1卫星影像大气校正 37

4.2.5 结果与分析 41

4.2.6 小结 46

4.3 基于RPC参数区域网平差的GF-1卫星影像几何校正 47

4.3.1 研究背景 47

4.3.2 几何校正概述 48

4.3.3 试验数据获取 49

4.3.4 研究方案 51

4.3.5 结果与分析 53

4.3.6 小结 58

第5章 农作物面积遥感监测地面样方获取技术研究 59

5.1 引言 59

5.2 无人机遥感数据的农作物面积提取 59

5.2.1 研究背景 59

5.2.2 研究区概况 61

5.2.3 研究方案 61

5.2.4 数据获取与应用 62

5.2.5 农作物识别 68

5.2.6 小结 70

5.3 Google Earth影像辅助的农作物面积地面样方调查 71

5.3.1 研究背景 71

5.3.2 研究区概况 72

5.3.3 数据获取与处理 73

5.3.4 研究方案 74

5.3.5 结果与分析 75

5.3.6 小结 77

第6章 农作物遥感监测分类技术方法研究 79

6.1 引言 79

6.2 基于目视解译方法的粮豆轮作项目实施效果遥感监测	79
6.2.1 研究背景	79
6.2.2 研究区概况	80
6.2.3 数据获取与处理	80
6.2.4 研究方案	84
6.2.5 结果与分析	88
6.2.6 小结	91
6.3 基于 HJ 时序影像的多种农作物种植面积同时提取	92
6.3.1 研究背景	92
6.3.2 研究区概况	93
6.3.3 研究方案	93
6.3.4 结果与分析	97
6.3.5 小结	101
6.4 基于分层决策树的高分时序影像农作物面积提取	102
6.4.1 研究背景	102
6.4.2 研究区概况	102
6.4.3 数据获取与处理	102
6.4.4 研究方案	105
6.4.5 结果与分析	109
6.4.6 小结	110
6.5 短波红外波段对农作物面积提取精度影响的研究	111
6.5.1 研究背景	111
6.5.2 研究区概况	112
6.5.3 数据获取与处理	113
6.5.4 地面样方调查	113
6.5.5 研究方案	114
6.5.6 结果与分析	116
6.5.7 小结	121
6.6 红边波段对农作物面积提取精度影响的研究	122
6.6.1 研究背景	122
6.6.2 研究区概况	123
6.6.3 数据获取与处理	124
6.6.4 研究方案	126
6.6.5 结果与分析	127
6.6.6 小结	132

6.7 基于随机森林分类算法的农作物精细识别及面积提取应用研究	133
6.7.1 研究背景	133
6.7.2 研究区概况	134
6.7.3 数据获取与处理	134
6.7.4 研究方案	135
6.7.5 结果与分析	138
6.7.6 小结	141
第7章 区域农作物面积识别与提取	143
7.1 研究背景	143
7.2 研究区域	144
7.3 数据获取及预处理	145
7.3.1 GF-1 卫星影像预处理	145
7.3.2 基于分类单元的 NDVI 合成	146
7.3.3 训练及区域验证样本的获取	146
7.4 研究方案	150
7.4.1 技术路线	150
7.4.2 中国冬小麦物候特点	150
7.4.3 冬小麦面积指数影像构建	151
7.4.4 最优 WWAI 提取阈值自适应确定	153
7.4.5 种植面积提取精度验证	153
7.5 结果与分析	153
7.5.1 重点研究区冬小麦识别提取及精度验证	153
7.5.2 区域冬小麦面积提取与精度验证	156
7.6 小结	157
第8章 尺度效应对农作物面积提取的影响研究	159
8.1 研究背景	159
8.2 研究区概况	160
8.3 数据获取与处理	161
8.4 研究方案	162
8.4.1 技术思路	162
8.4.2 地面调查	163
8.4.3 景观破碎度计算	163
8.4.4 精度验证方式	163
8.5 研究过程和结果	163
8.5.1 冬小麦面积识别精度的尺度效应	163

8.5.2	冬小麦识别精度与景观破碎度的关系	165
8.5.3	冬小麦像元可识别程度的尺度效应	166
8.5.4	冬小麦斑块大小的尺度效应	167
8.5.5	冬小麦光谱变化的尺度效应	168
8.6	小结	169
第 9 章	农作物面积遥感监测硬件平台和软件环境	170
9.1	开发背景	170
9.2	硬件环境建设	170
9.2.1	硬件结构概述	170
9.2.2	并行计算集群	170
9.2.3	存储	174
9.2.4	网络	175
9.3	管理平台开发	175
9.3.1	群管理平台	175
9.3.2	数据库管理平台	175
9.3.3	数据调度平台	178
9.4	运行效率测试	181
9.4.1	并行能力	181
9.4.2	计算效率	182
9.5	小结	182
第 10 章	展望	183
参考文献		185

第1章 农作物面积遥感研究背景

1.1 引言

我国是农业大国，粮食生产是关系社会稳定和人民生活的重大问题。因此，农业生产情况一直受到国家、各级政府管理部门的高度重视。农业生产中，耕地面积、农作物播种面积、农作物长势情况等信息是国家每年制定生产管理措施及经济计划的重要依据。因此，通过农业统计调查，及时准确获取农作物的种植情况（面积、产量），准确估计农作物种植面积和农作物产量，对国家掌握农业粮食生产状况，制定合理、有效的农村政策措施，确保国家粮食安全具有十分重要的意义。

遥感作为采集地球表面地理目标信息的有效技术手段，以其对地表信息获取的覆盖面广、信息量大、周期短、受地面条件限制少、调查成本相对较低等优点，在农情监测方面具有明显的技术优势，是精确农情信息获取的关键技术。近年来，随着经济的快速发展，耕地面积逐年减少，区域内粮食种植面积和产量年际与季节波动幅度大，如何利用遥感技术监测主要粮食作物的种植面积和单产，及时准确地为政府决策部门提供粮食生产状况，对于粮食宏观调控和贸易，无疑具有非常重要的意义。在农作物遥感估产中，农作物种植面积的遥感估算是农作物产量预测的基础和主要内容；精确而及时的农作物种植面积更新信息对于农业管理十分必要。到目前为止，诸多关于农作物种植面积提取的遥感方法与模型已经提出并得到广泛应用。从最初的遥感图像人工目视解译法到各种基于统计学原理的传统计算机自动分类方法及其他计算机辅助的遥感分类法，农作物遥感信息提取在方法的准确性与时效性上发生了质的飞跃，计算机遥感图像分类技术以其可重复性、准确性、时效性等特点，成为了现代农作物种植面积遥感测量的关键技术之一。利用遥感技术进行粮食作物种植面积调查最直接的方法是以遥感数据作为主要数据源，进行分类识别，对分类结果直接进行统计得到作物面积。根据不同传感器及遥感数据的空间分辨率、时间分辨率和光谱分辨率的不同，发展出许多分类识别的方法。

农业遥感监测是以遥感技术为主的空间信息技术对农业生产过程进行的动态监测。农业遥感监测的内容是对主要粮经作物的种植面积、作物布局、作物长势、农业灾害发生与发展、作物产量等生长过程进行系统监测。其范围大、时效高和客观准确的优势是常规监测手段无法企及的。民以食为天，粮食安全问题在过去、

现在及未来都是国家生存与发展的重大问题，如何为我国粮食安全和农产品贸易提供及时准确的农作物长势、面积、灾情定量和动态信息，已经使农业遥感成为决策信息不可替代的重要来源，并和常规统计调查手段相结合，共同构成现代立体型农业信息采集处理分析系统。随着遥感等空间技术的发展，农业遥感监测在技术发展和应用深度均进入了一个全新时期，同时，也成为信息农业、精准农业和数字农业的一个重要组成部分。我国农业遥感监测已有 30 余年的研究历史，从“六五”计划开始至现在，经历了技术研究到示范应用这个过程，目前，能在一定程度上满足国家粮食安全和农业结构调整的信息需求。但由于我国国土辽阔、地形复杂、农作物种植结构多样、农户规模小，以及遥感技术发展的局限性，农业遥感在某些关键技术和应用运行方面仍然需要加强研究。通过研究和技术改进，使遥感技术在农业领域发挥更重要的作用。

近年来，随着我国国产遥感卫星不断发射，国产高分卫星农业技术研究与应用体系日趋成熟，尤其是 HJ（环境）系列卫星、ZY（资源）系列卫星、GF（高分）系列卫星的发射，研究运用遥感技术进行农业遥感监测及农作物面积遥感提取技术方法的迫切性不断提高。本书将以国产 GF-1 影像为主要数据源，结合其他数据（无人机航拍、Google Earth 影像、HJ 影像等），系统研究全国主要农作物面积业务化提取技术的完整流程，包括数据获取及预处理技术、农作物识别及面积提取技术、全国尺度农作物面积业务化提取技术等，为实现基于国产高分卫星数据的全国农业遥感监测及主要农作物面积提取提供了可行的技术路线。

本章将从农业遥感监测的理论基础、农作物面积遥感监测国内外研究现状及农作物面积遥感监测主要技术方法三个方面进行叙述，讲解农作物面积遥感监测的发展、现状及主要技术方法，使读者对当前形势下的农业遥感监测有更直观的了解。

1.2 农业遥感监测的理论基础

遥感技术是从人造卫星、飞机或其他飞行器上收集地物目标的电磁辐射信息，并以此对地面环境或目标进行识别判断的技术。任何物体都有不同的电磁波反射特征或辐射特征，这些反射特征或辐射特征又可以反映出不同地物的不同物质成分和结构信息。地球上各类型的地物，如植被、水体、土壤、岩石等，具有不同的光谱特征，其特征的差异是进行地物分类识别的基础。农业遥感的主要研究对象是植被中的农作物，农作物植被独特的反射光谱特征、周期性的生长特性及其他特性是农业遥感进行作物反演识别的基础。

典型植被反射光谱特征如图 1-1 所示，地面植被的光谱响应特征明显区别于其他地物，其光谱特征既与其内在的特性有关，又与植被生长的环境、植被发育

情况和健康状况等密切相关。在可见光 ($0.38\sim 0.78\mu\text{m}$) 范围内, 植被的色素 (主要是叶绿素) 是形成植被独特光谱特征的关键因素, 在 $0.45\mu\text{m}$ 的蓝光波段及 $0.65\mu\text{m}$ 的红光波段内, 叶绿素能吸收掉大部分的入射太阳光, 用于光合作用, 同时在两个吸收带之间的绿色波段 ($0.54\mu\text{m}$) 范围内, 由于吸收相对较弱, 形成一个小反射峰, 因此大部分的植被呈现绿色。而在近红外波段, 植被的光谱特征主要受到植被叶细胞构造的影响, 在该波段形成一个非常强烈的反射峰, 因此常常使用植被在近红外波段的高反射率和可见光波段的低反射率的特性进行植被的识别。而在可见光波段与近红外波段之间 ($0.67\sim 0.76\mu\text{m}$), 植被反射率从低到高迅速攀升, 红边波段与植被的各项生理参数密切相关, 是描述植物色素状态和健康状态的重要指示波段, 是进行遥感植被调查的理想波段。在中红外波段范围内, 植被的光谱特征主要受植被中含水量的影响, 在 $1.4\mu\text{m}$ 、 $1.9\mu\text{m}$ 和 $2.7\mu\text{m}$ 波段范围内, 形成水分的强烈吸收带, 其中, $2.7\mu\text{m}$ 是水分的主要吸收波段位置。一般情况下, 随着植被叶片水分含量的减少, 植被中红外波段的反射率将明显增大。

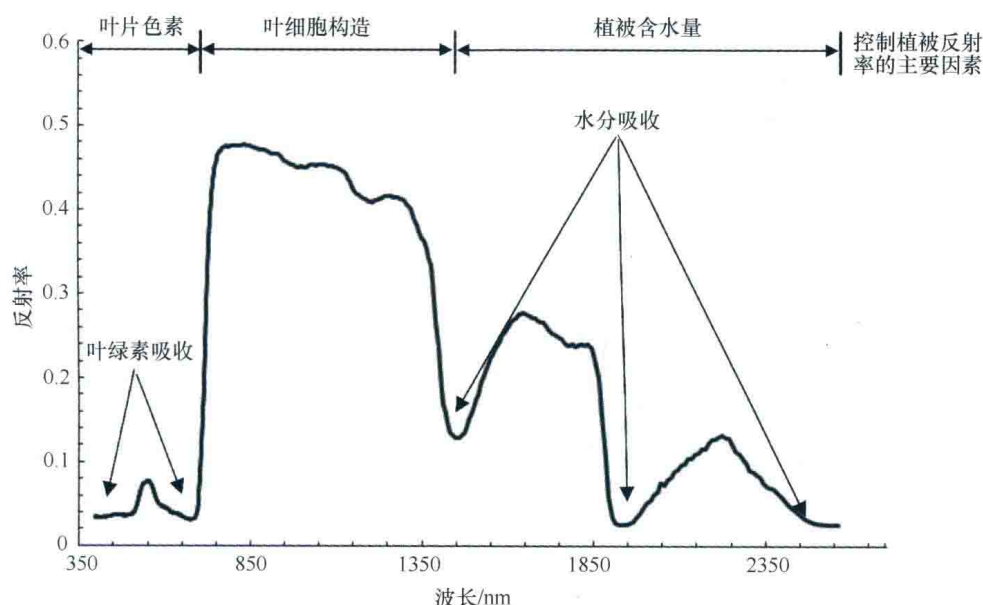


图 1-1 植被光谱反射特征曲线

农作物区别于其他地类的另一大特性是其周期性生长的特性, 即农作物的物候期, 所谓“春种秋收”、“春华秋实”即描述植被这种周期性的生长特点。依据农作物物候期的规律, 使用不同时相的遥感影像, 可以有效区分植被与非植被、不同种类的植被。使用归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 时序曲线可以标记农作物的物候期, 以冬小麦为例, 图 1-2 为 2013~2014 年度华北地区典型冬小麦的物候曲线, 横轴为时间、纵

轴为归一化植被指数。冬小麦发育时期一般可以分为播种期、出苗期、分蘖期、越冬期、返青期、拔节期、抽穗期、乳熟期和成熟期 9 个时期，由图 1-2 可以看出，冬小麦一般在 10 月初播种，此时 NDVI 较小；经过出苗期到分蘖期后，冬小麦不断生长，NDVI 逐渐提高；12 月中下旬开始进入越冬期后，冬小麦 NDVI 逐渐降低；至翌年 3 月开始返青，4 月进入生长旺期，冬小麦 NDVI 达到最高点；经过抽穗期、乳熟期至成熟期后，NDVI 逐渐减小，至 6 月中下旬收割完毕。可见冬小麦整个生长季近 8 个月，其生长状态可以从 NDVI 时序曲线清晰地反映出来，利用这种独特的周期性生长特性，结合多时相遥感影像，可以很好地区分单景影像上难以区分的地物类别。

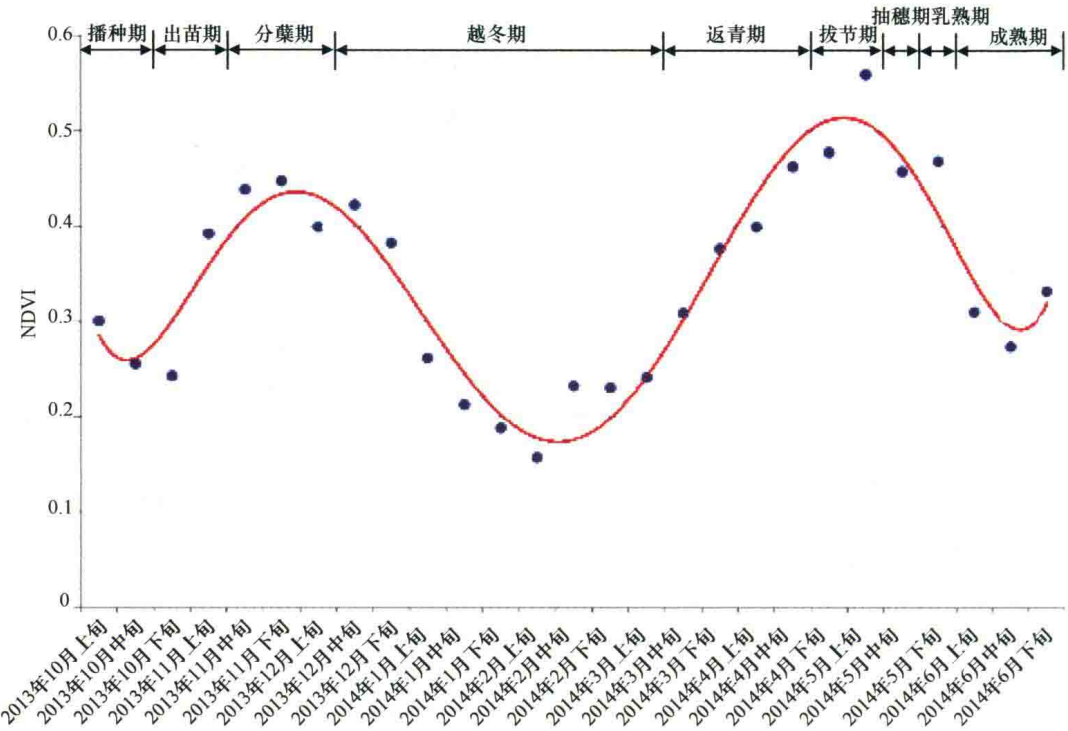


图 1-2 华北地区冬小麦典型物候曲线

除了作物的光谱特征及物候特性外，作物还具有区别于其他地物的典型特性。例如，作物生长的耕地一般为平地，因此坡度较小，可以结合耕地资料或数字高程模型（DEM）资料进行辅助解译；作物的纹理一般较为细致，有规则分割的田埂；水稻等喜水作物附近有灌溉沟渠等。综合这些作物相关特性，进行作物面积遥感识别监测，可以有效提高作物分类提取的精度。图 1-3 为 GF-2 全色与多光谱融合影像，由图 1-3 可以看出，在高分辨率尺度下，城镇地区纹理粗糙、林地纹理稍显细密、冬小麦地块则纹理紧致。

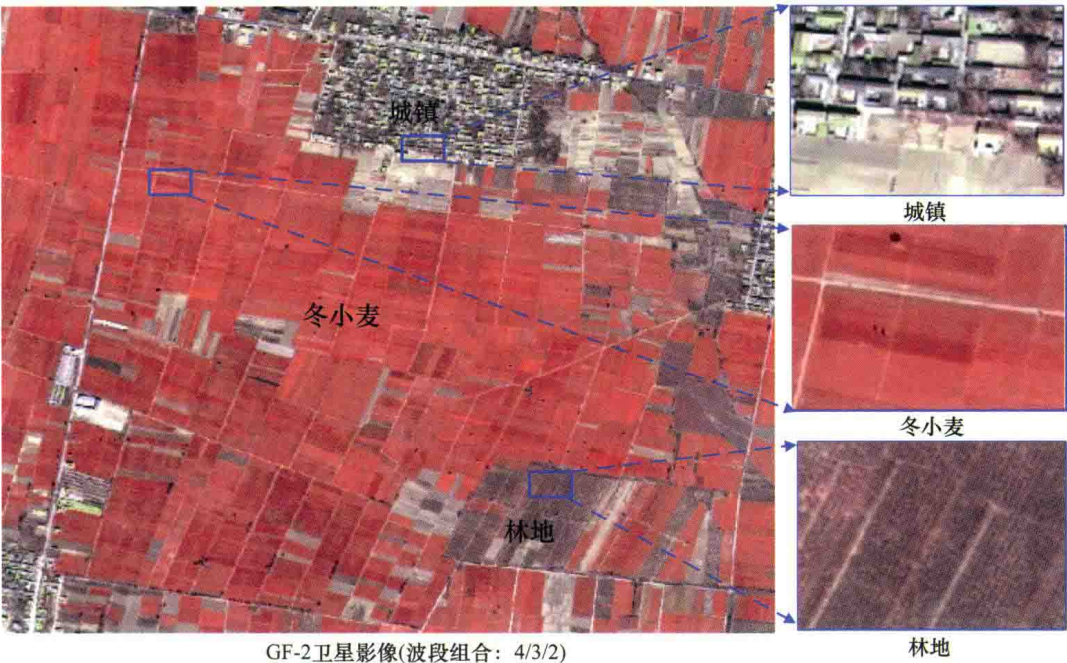


图 1-3 GF-2 卫星影像典型地物纹理

1.3 农作物面积遥感监测国内外研究现状

农作物种植面积是农作物估产的基本要素，其空间分布图在环境、经济和政治方面，特别是农业政策方面，具有非常重要的作用（Vaudour et al., 2015；Thenkabail, 2010）。我国是世界农业大国，农作物面积和产量的丰歉历来受到我国和世界各国政府部门的高度重视，是国家制定粮食政策和经济计划的重要依据。近年来，随着中国经济的迅猛发展，农业生产面临新形势，加之全球气候变化等因素的影响，农作物种植面积及其空间分布出现波动性变化（蔡剑和姜东，2011；杨晓光等，2010）。快速准确地掌握我国主要农作物种植面积及其空间分布，对于辅助政府有关部门制定科学合理的粮食政策和世界粮食安全具有极其重要的意义，是确保国家粮食安全、合理调整种植结构、正确处理“三农”问题的重要保障。

我国作物种植种类繁多，主要作物包括冬小麦、玉米、水稻、大豆等，根据国家统计局统计资料，2015 年全国粮食播种面积 11 334.05 万 hm^2 （170 010.75 万亩^①），全国粮食总产量 62 143.5 万 t。长期以来，我国作物面积及产量信息主要依靠抽样统计调查，采用行政手段逐级上报汇总的方式获取，该方法容易受到人为因素的影响，费时费力，越来越难以满足相关部门管理、决策的需求。遥感影像具有覆盖面积大、重访周期短、信息资料丰富、现势性强、费用低的优点，遥感

① 1 亩 $\approx 666.7\text{m}^2$ 。

技术已逐步成为作物面积监测的重要技术之一，农业遥感监测技术的研究也日益受到人们的重视。

在国际上，利用遥感技术进行作物面积监测起步较早，并已取得了丰富的成果。早在 1974 年，美国就开展了“大面积作物估产试验”(Large Area Crop Inventory and Experiment, LACIE) 计划，应用 Landsat MSS 影像对作物进行识别，估算作物的面积、单产和总产。到 1978 年，估产的范围从美国扩大到全球，估产的对象从小麦扩展到玉米、大豆、水稻等农作物，估产的精度也不断提高，对冬小麦估产的精度达 90% 以上。LACIE 计划是最早开展的农业遥感监测工作，成为了遥感在农业上应用的里程碑。在此之后，从 1980 年开始，美国又制定了“农业和资源的空间遥感调查计划”(AGRISTARS)，进行美国及世界多种粮食作物的长势评估和总产量预报，此计划成功地将面积抽样框架技术(area sampling frame)和遥感技术引入农作物种植面积估测中，该计划的实施为美国农业获取了巨大的利益。到 2009 年，美国首次实现了其全国 20 多种农作物的遥感空间分布制图，并在以后逐年更新，现在已实现每年几十种农作物的监测和空间分布制图，在第二年的 1 月通过互联网向全球发布，空间分辨率为 30m。美国的农作物空间分布制图不仅服务了该国的农业生产，产生的科学数据产品还在气候变化研究、生态学、土地管理、环境风险评价、生物能源、植物保护、水资源管理、高效施肥、农业保险等方向有科学研究与应用，推动了科技进步 (<http://nassgeodata.gmu.edu/CropScape/>; Boryan and Yang, 2012)。

欧盟于 1987 年提出了 MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing) 计划，该项目研究的目的是利用遥感技术开发出欧盟内部农业统计体系的新方法，并研制能够实际应用的运行系统。该项目中的优先研究内容包括农作物种植面积清查、农作物总产量清查、农作物总产量预报。MARS 可快速提供关于欧洲农作物状况的早期统计信息，这些信息包括每年种植面积较前一年变化的百分比，以及预计当年的农作物产量。这些信息必须动态地在欧盟每月出版的《农作物状况通报》上发表。MARS 主要应用于以下两个方面：一是针对欧盟范围内的农业补助金申请情况，对农作物申报结果进行核查；二是利用遥感技术对农作物进行检测并进行作物产量估计。2003 年，欧盟启动了全球环境与安全监测 (Global Monitoring for Environment and Security, GMES) 计划(又称为哥白尼计划)，GMES 计划主要应用于能源、农业、生态系统、健康、应急管理、绿色经济、气候等各个领域，是由欧洲委员会和欧洲太空总署联合倡议、于 2003 年正式启动的一项重大航天发展计划，主要目标是通过协调管理和集成，实现环境与安全的实时动态监测，为决策者提供数据，以帮助他们制定环境法案，或是对诸如自然灾害和人道主义危机等紧急状况作出反应，保证欧洲的可持续发展和提升国际竞争力。

Sentinel 哨兵系列卫星即为该计划所发射的卫星。在农业方面，该计划开展了全球