

基于合成孔径雷达数据的 旱地作物识别与长势监测研究

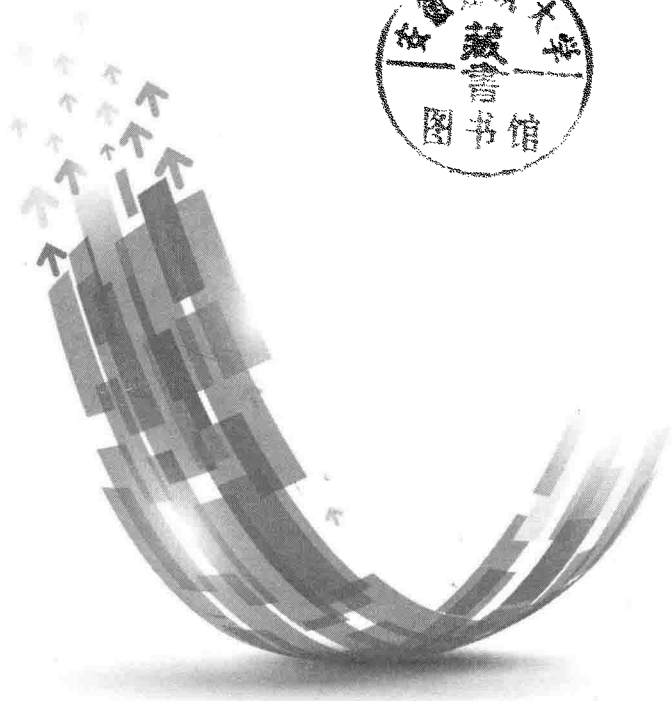
王迪 沈永林 周清波 陈仲新 东朝霞 著



中国农业科学技术出版社

基于合成孔径雷达数据的 旱地作物识别与长势监测研究

王 迪 沈永林 周清波 陈仲新 东朝霞 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基于合成孔径雷达数据的旱地作物识别与长势监测研究 / 王迪等著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2016. 11

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2819 - 0

I. ①基… II. ①王… III. ①合成孔径雷达 - 应用 - 旱地 - 作物监测 - 研究 IV. ①X835

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 269477 号

责任编辑 闫庆健

责任校对 杨丁庆

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)82106632 (编辑室) (010)82109702 (发行部)
(010)82109709 (读者服务部)

传 真 (010)82106650

网 址 <http://www.castp.cn>

经销者 各地新华书店

印刷者 北京昌联印刷有限公司

开 本 850mm × 1 168mm 1/32

印 张 5 彩插 8 面

字 数 124 千字

版 次 2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷

定 价 20.00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —

内容提要

本书系由作者承担的国家科技重大专项项目“高分农业遥感监测与评价示范系统”的研究成果编著而成。在我国北方旱地秋收作物生长关键期，云雨天气频繁，很难获得足量、有效的光学遥感数据，无法有效地解决农作物类型、面积及其空间分布等国家级农业遥感监测业务问题。鉴于合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar, SAR）具有全天时、全天候监测等优点，此项研究重点探讨了基于全极化 SAR 数据的旱地作物遥感识别与长势监测方法。全书共 6 章，内容包括：（1）用 SAR 数据监测研究农作物识别与长势现状与存在问题；（2）SAR 数据收集与预处理方法；（3）基于雷达后向散射特征识别旱地作物；（4）识别旱地作物辅助变量信息的提取及其重要性评价；（5）以全极化 SAR 数据监测研究旱地作物长势；（6）研究结论与展望。

本书有较强的系统性和创新性，可供从事微波遥感应用研究、农业遥感监测研究有关科研与技术人员，以及高等院校相关专业师生对农作物种植面积、长势监测研究的参考使用。

目 录

第一章 绪 论	(1)
一、研究背景与意义	(1)
二、国内外研究进展	(3)
1. 基于单波段、单极化 SAR 数据的作物识别 研究	(4)
2. 基于多波段、多极化 SAR 数据的作物识别 研究	(7)
3. 雷达和光学数据相结合的作物识别 研究	(15)
4. 基于 SAR 数据的作物长势监测研究	(18)
5. 问题与展望	(22)
三、研究内容与研究思路	(26)
1. 研究内容	(26)
2. 研究思路	(27)
四、本章小结	(28)
第二章 实验数据与基本原理	(30)
一、研究区概况	(30)
二、数据获取与地面试验	(32)

1. 野外实测数据与方法	(34)
2. 光学数据及预处理	(40)
3. 雷达数据及预处理	(40)
三、雷达遥感基本原理	(43)
1. 微波的散射	(43)
2. 雷达方程	(44)
3. 雷达遥感系统参数	(45)
4. 雷达遥感及雷达图像的特征	(47)
四、本章小结	(48)

第三章 基于雷达后向散射特征的旱地作物

识别	(49)
一、典型地物后向散射特征分析	(49)
1. 玉米	(50)
2. 棉花	(51)
3. 水体	(51)
4. 建筑物	(52)
5. 树林	(52)
二、典型地物分类指标选取	(54)
三、典型地物可分离性分析	(56)
1. 水体可分离性分析	(56)
2. 玉米可分离性分析	(57)
3. 棉花可分离性分析	(62)
4. 建筑物可分离性分析	(63)

四、典型地物识别与精度评价	(64)
1. 决策树分类法	(64)
2. 支持向量机分类法	(66)
3. 精度评价	(70)
五、本章小结	(71)
第四章 旱地作物识别辅助变量信息提取及其 重要性评价	(73)
一、旱地作物分类辅助变量信息提取	(73)
1. 极化信息提取	(73)
2. 纹理信息提取	(80)
二、旱地作物识别时相优选	(81)
1. 随机森林分类法	(81)
2. 单一时相条件下旱地作物识别	(83)
3. 不同时相组合条件下旱地作物识别	(85)
三、旱地作物分类变量重要性评价	(87)
1. 极化方式对旱地作物分类精度的影响	(87)
2. 多变量信息组合对分类结果的影响	(88)
3. 分类辅助变量重要性评价	(94)
四、本章小结	(101)
第五章 全极化 SAR 数据的玉米长势监测	(103)
一、研究区玉米基本生长参数地面观测	(104)
二、玉米后向散射系数与生长参数的相关 分析	(105)

三、玉米生长参数经验模型建立	(113)
1. 叶面积指数经验模型建立	(113)
2. 株高经验模型建立	(116)
3. 玉米干重鲜重经验模型建立	(117)
四、玉米生长参数反演	(117)
1. 叶面积指数反演	(118)
2. 株高反演	(121)
3. 玉米植株干重鲜重反演	(121)
五、精度验证	(123)
六、本章小结	(127)
第六章 结论与展望	(128)
一、主要工作和结论	(128)
二、特色与创新点	(130)
三、问题与展望	(131)
1. 存在问题	(131)
2. 展望	(131)
参考文献	(133)

第一章 绪 论

一、研究背景与意义

我国是农业生产和消费大国，农作物产量的丰欠历来受到社会及政府部门重视（陈水森等，2005）。及时了解、掌握主要农作物的种植面积和长势信息，对于准确估计和预测农作物产量（Xavier 等，2005），加强作物生产管理，确保粮食安全具有重要的意义（Reynolds 等，2000；Allen 等，1996）。

传统的农作物种植面积、长势信息主要通过行政单元逐级汇总上报，或是利用农户抽样调查方法进行。该方法普遍存在耗时、耗力、耗财等缺陷，且易受错报、漏报和空报等主观因素影响。因此，传统方法很难及时、准确地获取大区域农作物的种植面积、空间分布及长势信息（王迪等，2012）。随着空间技术的不断发展，遥感技术以其宏观、准确、动态、及时等优点已广泛应用于大范围的农作物种植面积、长势监测中；其监测结

果可为国家农业生产管理、粮食政策制定提供重要参考依据。自 20 世纪 80 年代以来,国内外众多学者利用光学遥感影像对不同时空尺度下的农作物进行了种类识别与长势监测研究,在理论和方法层面均取得了长足的进展。目前,国家农业部农作物遥感监测业务所采用的遥感数据源也主要是光学遥感影像。但光学遥感在我国北方旱地作物监测时,受作物生长关键期频繁的云雨天气限制,常无法获取完整、连续的可用数据,严重地影响了监测工作的时效性和监测结果的准确性。

合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 遥感技术以其具有全天时、全天候监测地表信息的能力,和不受天气条件的限制获取数据,弥补了多云雨气象条件下光学遥感数据获取能力的不足,在作物遥感监测方面具有广泛的需求空间和巨大的应用潜力。另外,雷达遥感不仅能保障数据源,还具备监测植被“饱和点”高、对水分、结构敏感等特点,在农作物监测上具有独特的优势 (杨浩, 2015)。尽管国内外学者在利用雷达技术进行农作物类型识别、长势监测方面开展了大量研究工作,但仍存在诸多问题,主要表现在: ①研究对象大多集中于水田作物 (如水稻), 对旱地作物 (如玉米、大豆、棉花等) 的研究较少; ②监测精度仍需进一步提升, 尤其是针对旱地作物; ③旱地作物的分类方法普遍存在条理性不足, 即: 大多分类方法主要依赖于对地物

后向散射系数特征的统计，而较少考虑地物的散射机制差异。

为此，本项研究以利用全极化合成孔径雷达（Polarimetric Synthetic Aperture Radar, Pol SAR）数据，进行旱地作物的识别与生物学参数的反演，并深入剖析旱地作物的后向散射变化规律，科学地构建旱地作物遥感分类指标，探寻作物分类的最佳时相与最优极化方式，定量地评价各种辅助分类变量的相关性。在此基础上，建立了雷达后向散射系数与作物生长参数的相关模型，实现对旱地作物类型的准确识别和长势的精准监测。预期成果有：为高分三号雷达遥感卫星在农情监测业务中提供技术储备；弥补光学遥感在多云雨、雾霾气象条件下对粮食主产区有用数据短缺的问题；促进雷达技术在农业遥感监测业务工作中发挥更大作用。本项目研究对旱地作物识别和长势遥感监测具有重要的理论意义和实用价值。

二、国内外研究进展

雷达发射的能量脉冲的电场矢量，可以在垂直或水平面内被偏振。无论哪个波长，雷达信号可以传送水平（H）的或者垂直（V）的电场矢量，接收水平（H）的或者垂直（V）的或者两者的返回信号。雷达遥感系统

常用 4 种极化方式——HH（水平和水平极化）、VV（垂直和垂直极化）、HV（水平和垂直极化）、VH（垂直和水平极化）。前两者为同向极化，后两者为异向（交叉）极化。SAR 技术诞生以来，在农业应用中得到了长足的发展。依据其特有的全天时、全天候的成像能力，雷达遥感被广泛的应用于南方水稻的监测中（凌飞龙等，2007；汪小钦等，2008；杨沈斌，2008；张萍萍等，2006；杨沈斌等，2008；Haldar 和 Patnaik，2010），并取得了显著的效果。除此之外，合成孔径雷达还可实现对某些地物的穿透探测，提供不同于光学遥感所能提供的信息（例如，雷达可记录电磁波的振幅信号和相位信息），这些特点不仅使得雷达数据成为光学遥感数据的有力补充，更成为进行农作物分类、监测及估产的重要手段。

1. 基于单波段、单极化 SAR 数据的作物识别研究

20 世纪 80 年代末至 2002 年，该时期星载 SAR 数据多为单参数数据，即每次只能获取单波段、单极化或单入射角的 SAR 影像，因此不能获取观测该地物散射过程的完整信息。受雷达技术自身条件的制约，农作物 SAR 识别研究多采用单波段、单极化影像作为数据源，涉及的星载传感器包括 ERS-1/2、JERS-1 和 RADARSAT-1，采用的波段大多为 C 波段（JERS-1 为 L 波段），可选取的

极化方式仅为 VV 或 HH 中的一种方式。Asehbach 等 (1995) 在文章中表明, 单时相、单极化的雷达数据极大地限制了农作物 SAR 的分类识别效果, 尤其是在地块分布破碎、种植布局复杂的区域。另外, 这一时期 SAR 数据空间分辨率较低也是制约农作物 SAR 分类识别精度的重要因素 (杜鹤娟等, 2013)。

1989 年, Le Toan 等 (1989) 通过分析 X 波段 SAR 图像中地物的后向散射特征, 发现水稻后向散射系数 (σ^0) 随时间的变化较其他作物大得多, 并首次验证了利用 SAR 图像进行水稻识别的可行性 (Breiman, 2001)。该研究论文奠定了雷达遥感在农作物监测中的应用基础。这一时期, 为改善农作物识别精度, 国内外学者只能在单极化雷达数据的基础上结合多时相信息进行农作物识别 (王迪等, 2014)。具体根据多时相 SAR 数据分析农作物 σ^0 的时域变化特征, 利用农作物与周围地物的 σ^0 特征差异对其进行分类与识别。继 ERS-1 雷达卫星成功反射之后, 日本、泰国、印度等国家的学者根据水稻 σ^0 随时相变化大这一特点, 开展了一系列水稻 SAR 识别研究 (Brown 等, 2003; Chen, 2008), 其研究结果证明了 SAR 在水稻识别研究中的可行性与优越性。由于水稻在其全生育期内 σ^0 变化较大, 另外其独特的下垫面 (水面) 构成, 使水稻主要散射机制与其他地表覆盖类型存在较大差异, 因此, 这一阶段的农作物

SAR 识别研究大多针对水稻开展 (de Roo 等, 2001; Dong 等, 2013; Durden 等, 1995; Frate 等, 2003; Freeman 等, 1998; Guinon 等, 1984; Haldar 等, 2010)。

对于分类精度方面, Le Toan 等 (1989) 利用多时相的 ERS-1 和 RADARSAT-1 C 波段 SAR 数据分别在印度尼西亚和日本进行了水稻遥感识别试验研究, 提出利用水稻 σ^0 时域变化差异的阈值分类方法, 分类精度可达 80% 以上 (Haralick 等, 1973)。Shao 等 (2011) 利用多时相 (1996—1997 年) C 波段 RADARSAT-1 数据在广东省肇庆地区开展了水稻监测和估产研究, 结果表明利用多时相 RADARSAT-1 数据进行水稻识别, 精度可达 91%。Choudhury 和 Chakraborty (2006) 利用多时相的 RADARSAT-1 窄幅 ScanSAR 数据对印度奥里萨邦的水稻面积和长势进行了监测, 结果表明水稻 σ^0 在全生长期内表现出明显的时序变化特征, 同时存在一个较大的动态变化区间 (>10 dB)。基于这一特征, 利用专家知识决策分类法对试验区的水稻进行识别, 识别精度高达 98%。胡德勇等 (2008) 利用 RADARSAT-1 数据结合纹理信息进行水体和居民地信息的提取, 精度为 82.57%, Kappa 系数为 0.58。该时期雷达数据多为单参数数据, 因此不能获取观测地物散射过程的完整信息。

随着研究的深入, 尽管多时相 SAR 数据被广泛应

用,但单波段、单极化 SAR 图像提供的信息量实属有限。另外,“同物异谱”和“异物同谱”现象严重,相同的地物可能呈现出截然不同的后向散射特征,同样,不同的地物在某种条件下呈现出相同的后向散射系数,使得地物难以区分(李富城,2009),使用单波段、单极化数据进行农作物识别所获得的分类结果已经无法满足实际应用需求(Park 等,2010; Soria-Ruiz 等,2007)。

2. 基于多波段、多极化 SAR 数据的作物识别研究

随着雷达技术的不断发展,继 2002 年 3 月 1 日欧空局发射的 ENVISAT-ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) 卫星之后,在世界范围内进入到一个携带雷达传感器的卫星发射高峰期。2006—2007 年,ALOS-PALSAR、Terra-SAR、COSMO-SkyMed1/2 和 RADARSAT-2 卫星相继发射升空,这些卫星上的雷达传感器不再局限于早期的单极化、单频率工作模式,而是具有更多的极化方式(多极化和全极化)、频率选择及更多的幅宽和空间分辨率。以此为标志,星载 SAR 从早期的单波段、单极化进入到多波段、多极化阶段。相比于单波段、单极化 SAR 数据,多极化、多波段 SAR 数据能够提供更为丰富的地物雷达波散射信息,在农作物分类和长势监测方面更具优势(Liu 等,2014)。目前国内外在利用多

极化、多波段 SAR 数据进行农作物识别方面,可概括为两大方向:一是利用多极化 SAR 数据进行农作物识别研究;二是联合多波段 SAR 数据的农作物识别研究。

(1) 多极化 SAR 的农作物识别。与单一极化模式相比,多极化或全极化能够提取地物目标的极化矩阵、几何结构细节、介电常数等信息,对地表植被散射体的空间分布、高度和植被散射体的形状和方向均很敏感,因此在农作物识别方面更具优势。以往众多研究表明,单极化 SAR 数据在进行农作物识别时存在一定的局限性,已不能满足现有的应用需求。多种极化方式及其组合可有效提高农作物分类与识别精度。这一阶段开展农作物识别研究使用的雷达数据源主要为 ENVISAT-ASAR (Wang 等, 2010), 该数据包含两种极化方式 (HH/VV)。研究对象大多为水稻, 研究内容可归纳为 4 类: 一是评价多极化与单极化 SAR 数据在农作物识别精度上的优劣; 二是利用极化方式的组合运算 (比值) 进行农作物识别; 三是根据农作物在不同极化方式上的差异进行分类识别; 四是农作物 SAR 识别的极化方式寻优。

在评价多极化与单极化 SAR 数据的农作物识别精度方面,全极化 SAR 比单极化 SAR 能提供更多、更全面关于地表的极化散射信息,因此在实际应用中取得了比单极化更好的分类效果 (Lee 等, 2001)。Henning 等 (1999) 利用 SAR 对作物进行分类,认为与单波段、单

极化或一个时相相比,多波段、多极化和多时相可以大大提高分类精度。McNairn 等(2000)采用机载 C 波段极化 SAR 数据对苜蓿、玉米、大豆和小麦进行了遥感识别研究,并将单极化与双极化结果进行了对比,其结果显示 HH-HV-VV 3 种极化组合方式的农作物识别精度显著提高,这表明增加极化方式数量的重要性。Frate 等(2003)通过研究发现,相对于单极化(VV)工作模式,采用 VV、HH 和 HV 3 种极化组合方式对大麦、玉米、油菜等 7 种类型的农作物进行识别时,识别精度由原来的 55% 提高到 85%。Stankiewicz(2006)以农作物地面调查数据作为验证依据,对 ENVISAT ASAR 双极化数据在农作物识别方面的效率进行了评价,结果表明利用双极化 ASAR 数据进行农作物识别可以获得较高的分类精度。为评价 MAPSAR (multi-application purpose SAR) 在农业应用上的潜力,Silva 等(2007, 2012)以机载 L 波段 SAR-R99B 为替代数据对多种农作物类型进行遥感分类研究,发现单极化 SAR 数据的识别能力最差,识别精度不足 59%; 2 种极化方式组合起来可显著区分不同类型农作物,当 VV-HV 组合时,识别精度可达 78%; 3 种极化方式组合时的总体识别精度高达 85.4%。化国强等(2012)利用 2 景 Radarsat-2 全极化 SAR 遥感影像,对水稻及其共生植被进行了后向散射特征差异性分析,并利用 HH 和 VV 两种极化比值对水