

文章编号: 1007-4619 (2001) 05-0340-06

水稻时域散射特征分析及其应用研究

邵 芸, 郭华东, 范湘涛, 刘 浩

(中国科学院 遥感应用研究所遥感信息科学开放研究实验室, 北京 100101)

摘 要: 通过对肇庆试验区 1996 年和 1997 年获取的多时相、多模式雷达卫星 (RADARSAT) 数据分析, 从图像上直接提取地物的后向散射系数, 结合实地测量水稻的生长结构参数, 建立了水稻生长模型, 分析了不同生长周期(从 80 天到 120—125 天) 4 种类型水稻的时域散射特性。利用 1997 年 4 月至 7 月获取的 7 景标准模式雷达卫星数据, 对试验区内三个县和两个行政区共 5000 km² 面积范围内的作物进行分类和水稻产量预估, 水稻类型分类及面积量算精度达 91%。结果表明: 利用雷达遥感数据进行水稻种植面积量算和估产需要水稻生长期三个时相的数据, 即插秧期、抽穗期、收割前期。若能够获得多参数雷达图像, 可以用插秧期和收割前期的两个时相图像来代替上述的三个时相图像同样可以达到种植面积量算和估产的效果。这一结果充分说明多时相雷达卫星数据对我国南方水稻长势监测及估产具有明显优势和潜力。

关键词: 雷达遥感; 后向散射系数; 水稻; 时域分析; 估产

中图分类号: TP79/TP722.6 文献标识码: A

1 引 言

水稻是中国主要粮食作物, 它的长势监测和产量估算对国民经济建设具有重要意义。但是, 绝大多数水稻作物生长在温暖、潮湿、多雨的环境中, 在这些地区很难获得适时的光学遥感数据。因此, 具全天时、全天候、不依赖于光照条件、具有高重复覆盖率的主动微波遥感器—合成孔径雷达(SAR)被认为是热带、亚热带地区能为农业监测提供高分辨率遥感数据的最重要的信息源之一。SAR 不仅能获得光学遥感器不能及时获取的信息, 而有能够提供研究所必需的有关植被几何特性和含水量的信息。

为进行地球生物圈研究, 科学家们进行了一系列的大型研究计划, 如机载飞行计划、星载飞行计划, 并建立了大量微波后向散射模型来研究植被的后向散射特性^[1, 2]。相对农业而言, 微波遥感林业方面的论文要多得多。也有一些成功应用雷达进行农业遥感的例子^[3-9], 近年, 有文章特别着重于水稻监测^[10-18], 表明了采用合成孔径雷达(SAR)进行水稻监测的可行性。

本研究利用多时相雷达卫星(RADARSAT)图像

数据, 分析了不同生长周期(从 80 天到 120—125 天)水稻的后向散射特性, 制作了 4 种生长周期不同的水稻分布图。针对肇庆地区三个县和两个行政区共 5000 km² 范围内的水稻产量进行了预估, 水稻类型分类及面积量算精度达 91%, 充分说明多时相雷达卫星数据具有进行水稻长势监测及估产的潜力^[4]。

2 试验区概况及数据源

本研究试验区位于广东省肇庆地区, 东经 112.30°, 北纬 22.30°, 珠江三角洲的西北端。珠江三角洲地区人口密度很高, 经济发展程度属于全国最快的地区之一, 肇庆是珠江三角洲地区唯一的水稻输出地区。相对于人口密度, 该区的耕地资源非常有限。在过去的二十年里, 大量的耕地被用作基础设施、工业和城市发展用地, 或把原水稻田地用作种植具有更高经济价值的作物, 如茭实、香蕉、桔橙或用作渔场等。该区水稻田的面积相对较小, 一般为 100—500 m², 为窄窄的田埂所分割开。田埂上栽种树木或覆盖着高大的草木植物, 这些地物具有

收稿日期: 2000-08-15; 修订日期: 2001-01-08

基金项目: 国家 863 计划: SAR 技术用于南方水稻长势监测应用示范(编号: 863-308-13-03)项目, 国家自然科学基金重点项目“新型成像雷达对地观测机理及地物识别技术”(编号: 4989001)。

作者简介: 邵芸(1961—), 女, 中国科学院遥感应用研究所遥感信息科学开放实验室常务副主任, 研究员, 博士生导师。1986年毕业于北京大学, 主要从事雷达遥感应用基础研究, 特别是雷达农业遥感应用基础研究。已在国内外公开发表论文 70 多篇, 出版专著 3 部。

很强的回波响应。在水稻生长的早期, 这些线性特征对于图像分类具有重要的影响, 而且在计算水稻的种植面积时必须加以考虑。

在 多 国 国 际 合 作 项 目 GlobeSAR 计 划 的 支 持 下, 加 拿 大 机 载 CV 580 SAR 系 统 在 1993 年 第 一 次 对 试 验 区 成 像^[19-21], 成 为 笔 者 开 始 在 农 业 遥 感 应 用 研 究 的 起 点。本 项 研 究 的 数 据 源 是 多 时 相 雷 达 卫 星 数 据: 即 从 1996 年 3 月 到 12 月 获 得 的 13 景 图 像 和 从 1997 年 4 月 到 7 月 获 得 的 7 景 图 像, 所 用 雷 达 数 据 的 系 统 参 数、成 像 方 式、图 像 获 取 日 期 见 表 1。

表 1 合成孔径雷达(SAR)数据的系统参数

Table 1 System parameters of SAR data

| 数据源 参数 | RADARSAT (精细模式) | RADARSAT (标准模式) |
|-----------|---|---|
| 频率/GHz | C | C |
| | 5.3 | 5.3 |
| 极化方式 | HH | HH |
| 入射角/(°) | 43-46(F4) | 36-42(S5), 41-46(S6) |
| 成像分辨率/m | 10×10 | 30×30 |
| 像元宽度/m | 6.25×6.25 | 12.5×12.5 |
| 成像宽度/km | 50 | 100 |
| 成像日期 | 1996年: 6月17日, 8月4日, 9月21日, 10月15日, 11月8日, 12月2日 | 1996年: 3月26日, 4月25日, 6月10日, 8月23日, 28日, 9月16日, 11月27日 1997年: 4月25日, 5月19日, 6月4日, 6月12日, 6月29日, 7月6日, 7月22日 |

3 研究方法

3.1 水稻后向散射特性

为研究水稻后向散射特性随时间变化的规律, 我们从 1996 年获得的 13 景和 1997 年的 7 景已定标过的 RADARSAT 卫星图像数据中提取不同水稻类型的后向散射系数。将 1996 年 8 月 4 日、9 月 21 日、10 月 15 日、11 月 8 日和 12 月 2 日获取的图像数据作为一个数据集, 将 1997 年 4 月 25 日、5 月 19 日、6 月 4 日、6 月 12 日、6 月 29 日、7 月 6 日、7 月 22 日获取的图像数据作为另一个数据集, 对两个数据集分别配准, 以作为本研究图像处理分析的数据集。

首先, 为比较不同生长期水稻的绝对后向散射特性, 需要把获取的图像数据转换为后向散射系数。卫星地面站接收的标准模式或精细模式的

RADARSAT 图像数据格式是 16 位无符号整型数据, 利用卫星轨道参数, 我们可以计算出图像上每一个像元的距离方向上的入射角, 然后利用下面的定标公式可以把 RADARSAT 卫星图像数据转换为后向散射系数。

$$\sigma_{jk}^0 = 10 \log(DN_{jk}^2 + A_0) / A_j + 10 \log(\sin(I_j))$$

上式中, DN 为雷达图像的灰度值, A_0 , A_j 为雷达系统自动增益控制系数, I_j 是每个像元沿距离方向上的入射角。

然后, 在图像数据集上选择一个 20×20 像元的区域来提取后向散射系数。方法是: 在上述 400 个像元中把数值在 N 至 $N+1$ 范围内出现概率最大的后向散射系数作为图像数据获取当天的水稻后向散射系数。实际上, 对于像水稻这样的分布目标, 所获取的图像上并没有统一的后向散射系数值, 而是在某一个范围内变化的数值(在 10 dB 至 -40 dB 范围内变化)。其原因主要是雷达图像的斑点噪声, 这也是我们必须选择一个大区域, 如 20×20 像元面积, 用该区域内的代表值表示目标后向散射系数的原因。对所选择的若干个样区, 测定它们的均值, 标准差, 最小值, 最大值, 以及 400 个像元中位于 N 至 $N+1$ 范围内最大出现几率的后向散射系数值, 确保我们选择的后向散射系数值准确并具有代表性。

最后, 用图表示水稻随时间变化的后向散射系数值。图 1 显示了 1996 年 5 种类型的水稻后向散射系数随时间变化图, 图 2 显示了 1997 年 4 种类型的水稻后向散射系数随时间变化图。

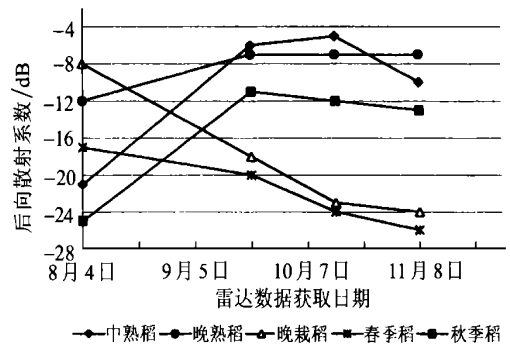


图 1 水稻后向散射系数随时间的变化关系图(1996)

Fig. 1 Backscatter coefficients of rice as a function of time (1996)

3.2 图像处理

多时相雷达卫星图像数据处理可以分为 4 个部分: 几何校正, 图像配准, 消除斑点噪声以及图像的分类和后分类处理。

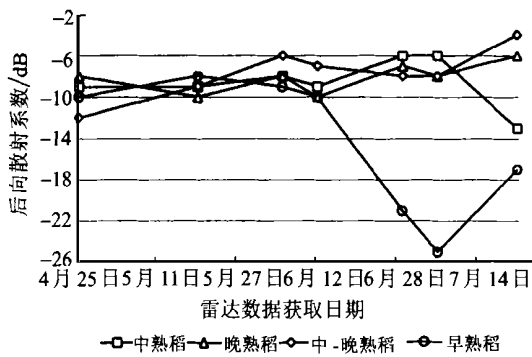


图2 水稻后向散射系数随时间的变化关系图(1997)

Fig. 2 Backscatter coefficients of rice as a function of time (1997)

(1) 利用地面控制点和 DEM, 把获得的图像与已有的图像进行配准, 这主要通过商用遥感图像处理软件 PCI 来实现。为了简化分类及提高分类的效率, 森林覆盖区域在分类前被标识出来并指定为森林类。方法是利用该区的 DEM, 对该冲积平原的某一高度(例如 50 m) 以上, 自动指定为森林类, 把图像上其他的区域留待后面的分类。

(2) 分类前把获得的多时相雷达遥感图像进行滤波以消除斑点噪声。

(3) 区分土地覆盖类型, 区分不同生长周期类型的水稻。把这些目标作为训练样区, 然后通过神经网络分类器来对这些多时相雷达图像进行分类。训练样区的确定应该尽可能的精确, 以获得一个高精度的分类结果。

(4) 对分类结果进行赋色。把分类好的结果再度滤波, 以消除过小的斑块, 然后制成土地覆盖类型图, 农作物分布图和水稻分布图。

(5) 利用 PCI 软件提供的软件工具评价分类精度, 并通过地面实地验证来验证目标识别的精度。

(6) 计算每一类的分布面积。从而能够得到水稻的种植面积以及其他植被或目标的分布情况。

分类结果的平均分类精度为 90.10%, 总值分类精度为 91.49%。Kappa 系数等于 0.89699 时, 标准差为 0.00135, 置信率为 99% 的置信水平为 0.89699 ± 0.00347 , 置信率为 95% 的置信水平为 0.89699 ± 0.00264 , 置信率为 90% 的置信水平为 0.89699 ± 0.00221 。

4 数据分析

本研究主要目的是了解水稻在整个生长周期期间的后向散射特性变化规律, 以及水稻后向散射特

性与水稻结构参数的关系。在了解了水稻的后向散射特性之后, 我们可以给出应用雷达卫星进行水稻长势监测和估产的最佳日期。图 1 和图 2 分别显示了从 1996 年夏季至秋季和 1997 年春季至夏季获取的经定标后的雷达图像上提取的后向散射系数值。

图 1 显示, 5 种类型的水稻: 即中熟稻, 晚熟稻, 晚插稻, 春季稻和秋季稻。8 月 4 日时晚熟稻的后向散射系数比中熟稻后向散射系数高 9 dB。因为此时中熟稻还处在插秧期, 刚刚从苗床移植到水稻田不满一周, 秧苗较小, 仅 20 cm 高, 处于恢复期, 不如已经恢复了正常的秧苗那么新鲜, 因此造成后向散射系数比平静的水面只高 3 dB。在 11 月 8 日获取的图像上, 中熟稻已处于成熟期, 待收割阶段, 而晚熟稻此时正刚刚进入成熟期, 因此, 晚熟稻相对中熟稻而言, 含水量较高, 反映在后向散射系数上, 晚熟稻比中熟稻高 3 dB。晚插稻比正常的春季稻晚插约 25 天, 主要受了 1996 年春低温的影响。对 1996 年获取的所有 13 景 RADARSAT 卫星图像都进行了分析, 但只有 5 景精细模式的图像用来产生图 1。1996 年 4 月 25 日的雷达图像显示它的后向散射系数非常低, 与静止水面差别很小。此后获取的图像上显示的后向散射系数开始稳步上升, 直到 9 月份水稻收割时为止。水稻生长周期相对较短, 后向散射系数偏低。由春季稻和秋季稻的轮作栽种, 可以看出一年之内农事活动的变化, 即渔业和种水稻之间的轮换进行。

基于 1996 年获得的多时相精细模式 RADARSAT 卫星图像的分类结果, 建立了鼎湖试验区的雷达影像图及土地覆盖类型解译图。

图 2 显示了 4 种类型的具有不同生长期的水稻分布。基于 1996 年对水稻后向散射特性的了解, 我们可以据此区分不同的水稻类型, 即早熟稻、中熟稻、中晚熟稻和晚熟稻, 它们各自对应的生长期分别为 80 天, 100—115 天, 110—120 天和 120—125 天。如果某种类型的水稻在 4 月份的移苗期或生长早期具有比其他类型的水稻更高的后向散射系数值, 可以断定这种类型的水稻栽种时间要早于其他类型的水稻, 图像上晚熟稻的后向散射系数值即具有这样的特点。如果某种类型的水稻在 7 月份处于成熟期或移苗后期时具有较高的后向散射系数值, 可以断定该种类型的水稻收割期要晚于其他类型的水稻, 图像上中晚熟稻和晚熟稻的后向散射系数值可以发现具有这样的特点。从图 2 可以得知晚熟稻具有最长的生长周期, 中晚熟稻比中熟稻, 晚熟稻晚栽几

天,但仅仅晚于中熟稻收割。中熟稻一般在7月22日之前收割。从图2还可以看出,早熟稻在6月28日之前收割,之后由于水稻田又灌满了水,图像上反映的后向散射系数值很低。从水稻的生长早期(移植后25天左右)和生长后期(移植后80天左右)的后向散射系数值,我们可以区分具有不同生长期的水稻类型。这些都是水稻估产所需的重要信息之一,且水稻的生长期和水稻的产量和质量密切相关。

1996年和1997年的研究结果表明^[21]:进行水稻长势监测的最重要的雷达图像数据的获取时间是在插秧期后的移苗期和抽穗期,也即4月份的中下旬(对春季稻)和8月中下旬(对秋季稻)。为了计算水稻的种植面积,需要两个时期的雷达获取数据:即一个为4月中下旬水稻移苗期的图像数据,另一个为5月中旬水稻抽穗期的图像数据。第一幅图像数据上的水稻与其他目标的后向散射系数有非常明显的区别。在获得第二幅图像数据后,我们便可以进行水稻种植面积的估算。若要进行水稻估产,则需要三幅雷达图像:一幅成像于4月中下旬,一幅成像于5月中旬,另一幅成像于6月下旬。对于秋季稻或晚季稻,相应的图像数据获取日期可以通过核对水稻的生长物候历来确定。最后一次获得的雷达图像数据可以说明水稻的生长状态,如水稻是否健康正常,水稻是否由于早熟而提前收割,或者是否有其他的不利因素如土壤贫瘠化或水稻灾害,使收割提前等。

5 水稻时域后向散射经验模型

基于我们从1993年起开始积累的肇庆地区的研究资料,特别是1997年多时相RADARSAT卫星数据,我们尝试提出了一种水稻后向散射经验模型^[21]。根据中晚熟稻的后向散射特性变化规律,我们建立了水稻的经验数学模型。模型用三次多项式来模拟水稻后向散射特性随时间的变化规律,如图3所示。

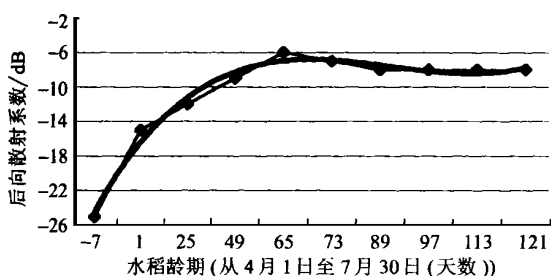


图3 水稻的后向散射经验模型

Fig. 3 Experimental backscatter model of rice

水稻的后向散射经验模型用下式表达:

$$y = 0.0888x^3 - 1.9231x^2 + 13.155x - 35.767$$

式中 y 为水稻后向散射系数(dB), x 为水稻龄期(天数),此模型刻画了水稻后向散射系数随时间变化的规律,可以适用RADARSAT卫星进行水稻长势监测,可用于预测水稻在不同生长阶段的后向散射特性。雷达卫星获取的该区冲积平原的水稻田插秧期前的后向散射系数值为-25 dB。换句话说,即水田的背景平静水面的后向散射系数值。插秧期后的20天期间,水稻田的后向散射系数值低于-15 dB。接着的20天至45天内,水稻进入了移苗期,水稻田的后向散射系数值上升到-12 dB。之后的45天至75天,水稻处于抽穗期,后向散射系数值上升到-9 dB。在抽穗中期,即约插秧后大约65天,后向散射系数值上升到-6 dB,然后又下降到-8 dB,并在后面的成熟期保持这个数值。图3表示经验后向散射模型,主要表达了中晚熟稻的后向散射系数的变化。中晚熟稻在4月1日栽种,7月30日收割。晚熟稻和中熟稻的栽种要早于中晚熟稻,中熟稻的收割早于中晚熟稻。这个模型可应用于其他类型的水稻,只是要随水稻的生长周期,栽种期和收割期的不同,作相应调整即可。我们还可以用此模型来计算水稻在某一特定生长期的后向散射系数值。在春季稻的成熟期,此时也是肇庆地区或我国华南的洪水期,因此,受雨水及湿气的影响,水稻的后向散射系数值会比正常值要高出许多,当我们计算目标尤其是植被的后向散射系数值时必须考虑到这些特点。

6 结论与讨论

上述研究表明,利用多时相雷达卫星进行水稻监测及估产是完全可行的,但结果还不令人十分满意。决定水稻后向散射系数的两个最关键的影响因素:水稻的含水量和几何结构特性。在实际情况中,随着水稻的生长,水稻的含水量在下降而株高度和叶子长度在增长。C波段,HH极化的雷达卫星(RADARSAT)只能提供一种参数测量值,即按C波段,HH极化,固定入射角来计算水稻的后向散射系数。按一种量测很难得到一个目标的两个未知参数,很明显,我们需要用多波段、多极化的雷达图像数据来分辨目标物的特性。

多波段、多极化的雷达图像能够提供更多的识别目标的信息,且能够有效地减少监测所需时相数。我们认为,利用多时相、单波段、单极化雷达图像进

行水稻估产需要水稻生长周期内的三个时相的图像,即移苗期后,抽穗期,收割前期。若能获得多波段、多极化雷达图像,进行水稻监测所采用的图像数据可以减少为两幅即:移苗期后和收割前期的图像数据。

致谢:感谢徐冠华院士,加拿大遥感中心D'Iorio博士,Campbell博士对本项目研究工作的帮助和支持。

参 考 文 献 (References)

- [1] Matzler C. Microwave (1-100GHz) dielectric model of leaves [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 1994, **32**: 947-949.
- [2] Ulaby F T, Sarabandi K, McDonald K C, Whitt M, and Dobson M C. Michigan microwave canopy scattering model (MIMICS) [J]. *Int. J. Remote Sens.*, 1990, **11**: 1223-1253.
- [3] Shao Yun, Guo Huadong, Liu Hao, Brian Brisco. Multi frequency, Multi polarization GlobeSAR Data for Land Use Mapping [C]. Proc. First Regional GlobeSAR Workshop, 1994, Thailand, 32-45.
- [4] Guo Huadong *et al.* Radar Remote Sensing Image Analysis in China [M]. Beijing: Science Press, 1999. [郭华东. 中国雷达遥感图像分析[M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [5] Shao Yun, Guo Huadong, Liu Hao, Lu Xinqiao. GlobeSAR Data for Agriculture Applications-Potentials and Limitations [C]. Proc. Second Asia Regional GlobeSAR Workshop, 1996, Science Press, 79-83.
- [6] Le Toan T, Laur H, Mougin E, and Lopes A. Multi temporal and dual polarization observations of agricultural vegetation covers by X-band SAR images [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 1989, **27**: 709-717.
- [7] Soares J V, Bernard R D and Vidal-Madjar D. Spatial and Temporal behavior of a large agricultural area as observed from airborne C band scatterometer and thermal infrared radiometer [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1987, **8**(7): 981-996.
- [8] Schotten C G J, Van Rooy W W L, and Janssen L L F. Assessment of the capabilities of multi-temporal ERS-1 SAR data to discriminate between agricultural crops [J]. *Int. J. Remote Sens.* 1995, **16**: 2619-2637.
- [9] Anyas H. and He, D. C. Evaluation of textural and multi polarization radar features for crop classification [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1995, **33**(5): 1170-1181.
- [10] Shao Yun, Verjee F, Staples S. Cutting through cloud[C]. GIS Asia Pacific, 1997a, October/November, Singapore.
- [11] Shao Yun, Fan Xiangtao, Wang Cuizhen, Liu Hao. Estimation rice growth stage using RADARSAT data [C]. Proc. of Geos. Remote Sensing, IEEE, 1997b, Vol. 4, Singapore.
- [12] Shao Yun, Wang Cuizhen, Fan Xiangtao, Liu Hao. Evaluation of SAR Image for Rice Monitoring and Land Cover Mapping [C]. Presented at Geomatics in Era of RADARSAT, 1997c, Ottawa, Canada.
- [13] Liu Hao, Shao Yun, Wang Cuizhen. The Application of Multi-temporal RADARSAT Data to Paddy Field Classification in Zhaoqing Area, Guangdong Province, China [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 1997, **34**(4): 1-6. [刘浩, 邵芸, 王翠珍. 多时相 Radarsat 数据在广东肇庆地区稻田分类中的应用 [J]. 国土资源遥感, 1997, **34**(4): 1-6.]
- [14] Kurosu T, Fujita M, and Chiba K. Monitoring of rice crop growth from space using the ERS-1 C-band SAR [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1995, **33**(4): 1092-1096.
- [15] Kurosu T, Fujita M and Chiba K. The identification of rice fields using multi-temporal ERS-1 C band SAR data [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1997, **18**(14): 2953-2965.
- [16] Le Toan T, Ribbes F, Wang L F, *et al.* Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1997, **35**(1): 41-56.
- [17] Aschbacher J, Pongsitadulchai A, Kamchanasutham S, *et al.* Assessment of ERS-1 data for rice crop mapping and monitoring [C]. in Proc. IGARSS, Florence, Italy, 1995, 2183-2185.
- [18] Shao Yun, Guo Huadong, Liu Hao, Li Junfei, Lu Xinqiao. Effect of Polarization of GlobeSAR Data on Vegetation Discrimination [J], *GEOCARTO International*, 1995a, **10**(3): 71-76.
- [19] Shao Yun, *et al.* The GlobeSAR Data for Vegetation Discrimination [C]. Microwave Remote Sensing for Earth Observation, Science Press, 1995b, 195-201.
- [20] Guo Huadong, Shao Yun. Airborne Dual-band Fully polarization SAR Information Analysis [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1997, **1**(2): 14-20. [郭华东, 邵芸, 航空双波段全极化 SAR 信息分析 [J], 遥感学报, 1997, **1**(2): 14-20.]
- [21] Shao Yun, Fan X. T, Liu H. *et al.* Rice monitoring and production estimation using multi-temporal Radarsat data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, **76**(3): 310-325.

Studies on Rice Backscatter Signatures in Time Domain and Its Applications

SHAO Yun, GUO Hua dong, FAN Xiang tao, LIU Hao

(*Laboratory of Remote Sensing Information Sciences, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China*)

Abstract: Rice monitoring and production estimation has special significance to China, as rice is the staple grain and accounts for 42% of the crop production for this country. Radar remote sensing is appropriate for monitoring rice as cultivated areas are most often cloudy and rainy. SAR is anticipated to be the dominant remote sensing data source with high resolution in tropic and sub tropical regions. It also provides re visit schedules suitable for agricultural monitoring. This paper presents the results of a study examining the backscatter behavior of rice as a function of time using multi temporal RADARSAT data set acquired in 1996 and 1997. A rice type distribution map was produced, showing 4 types of rice with different life spans ranging from 80 days, to 120—125 days. The life span of a rice crop has significant impact on yield, as well as the taste and quality of the rice. The rice production of three counties and two administrative regions, totaling 5000 square kilometers, are estimated in this study. The accuracy was found to be 91%, providing confidence that multi temporal RADARSAT data is capable of rice monitoring and production estimation. Based on the studies carried out in the Zhaoqing test site since 1993, it is suggested that rice production estimations require three radar data acquisitions taken at 3 stages of crop growth season. That is at the end of the seedling development period, in the ear differentiation period, and at the beginning of the harvest period. Alternatively, if multi parameter radar data is available, data acquisitions may reduce to only two. That is at the end of the seedling period, and at the beginning of the harvest period. This paper also proposes a pilot scenario for operational rice monitoring and production estimation.

Key words: radar; backscatter coefficient; rice; time domain analysis; production estimation