

# 高分辨率 SAR 在喀斯特山地烟草生长建模中的应用探讨

贾龙浩<sup>1,2</sup>, 周忠发<sup>1,2\*</sup>, 李波<sup>2,3</sup>

(1. 贵州师范大学中国南方喀斯特研究院, 贵阳 550001; 2. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵阳 550001; 3. 贵州省科技风险投资管理中心, 贵阳 550002)

**摘要:**为实现现代烟草农业快速监测, 针对喀斯特山地多云多雨、地形支离破碎、作物种植复杂多样, 导致常规遥感手段难以满足烟草生长监测需求的现状, 提出了一种将高分辨率合成孔径雷达(SAR)应用于建立喀斯特山地烟草生长监测模型的方法。运用回归分析模拟, 最终建立了基于高分辨率 SAR 影像亮度值的喀斯特山地烟草生长耦合监测模型。通过实例分析和实测数据验证发现, 除旺长期叶长的回归模型外, 在 SAR 亮度值与烟草各生长期的叶长、叶宽回归建模中, 所建立的回归模型基本上能够反映其线性回归的耦合关系, 能够满足研究区内云烟 87 品种的烟草生长状况监测。此方法为现代烟草农业大范围实时遥感监测提供新的研究思路。

**关键词:** 高分辨率; SAR; 喀斯特山地; 烟草; 建模

中图分类号: S572

文章编号: 1007-5119 (2013) 05-0104-05

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2013.05.021

## Application of High Resolution SAR to Tobacco Growth Modeling in Karst Mountainous Region

JIA Longhao<sup>1,2</sup>, ZHOU Zhongfa<sup>1,2\*</sup>, LI Bo<sup>2,3</sup>

(1. Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. The State Key Laboratory Incubation Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang 550001, China; 3. The Technology Venture Capital Investment Management Center of Guizhou Province, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** Due to the status of cloudy weather, fragmented terrain and diversified crop system in karst mountain region, the conventional remote sensing is difficult to meet the requirement for tobacco growth monitoring. To overcome these problems, we proposed a tobacco growth model monitoring method based on the brightness of the high resolution synthetic aperture radar (SAR) image in karst mountain region. Based on the high resolution SAR image brightness values in karst mountain region, the coupled model of tobacco growth monitoring used regression analysis simulation was established finally. The results from the example analysis and the measured data verification suggested that the established linear regression models between brightness values of SAR and the leaf length and width in the whole growth periods could reflect the linear regression basically, except the one of length in the vigorous growing period. In addition, the tobacco growth condition monitoring was promising for the Yunyan 87 in study area. This method provides a new research thought of large scale and real-time remote sensing monitoring for the modern tobacco agriculture.

**Keywords:** high resolution; SAR; Karst mountainous region; tobacco; model

在中国南方地表石灰岩大量出露, 形成了不同类型的地貌景观格局。其中贵州省是中国南方喀斯特分布的中心, 全省喀斯特地貌面积约 13 万 km<sup>2</sup>, 占全省总面积的 73.79%<sup>[1]</sup>, 喀斯特构成了整个自然景观中最醒目的主体<sup>[2]</sup>。贵州省是全国特色优质烟叶主产区之一。由于喀斯特山地地形支离破碎, 作

物种植复杂多样, 这都使得利用传统方法难以实现对烟草生长状况的有效监测。

农业作为遥感的重要用户之一, 对作物的遥感动态生长监测一直是一个热门的研究课题。目前更多的研究主要集中在利用多光谱及高光谱遥感数据进行作物生长监测<sup>[3-6]</sup>, 而大量的理论和实践研究

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(2012CB723202); 中国烟草总公司贵州省公司科技项目(201013); 贵州省国际科技合作计划项目(黔科合外 G 字[2012]7022)

作者简介: 贾龙浩, 男, 硕士研究生, 研究方向为 GIS 与遥感、喀斯特生态环境。E-mail: jlhpc2008@yahoo.com.cn。\*通信作者, E-mail: fa6897@163.com

收稿日期: 2012-05-03

修回日期: 2012-08-05

表明,利用合成孔径雷达(SAR)数据进行作物遥感监测,具有良好的效果<sup>[7-8]</sup>。贵州省常年阴雨天气较多,导致遥感卫星难以获得高时间、高空间分辨率的遥感影像。SAR采用主动遥感方式,利用微波成像不受云雨和时间限制的特性,更加适合贵州省多云雾山区的农业遥感应用。

计算机建模的目的是通过构造一个简单但能反映物理世界中真实对象的数学抽象描述模型,模拟被研究对象的发生、发展过程,为解释现象,揭示机理发现规律,预测未来提供有用的工具<sup>[9]</sup>。本研究以高分辨率SAR影像为研究数据,以贵州省喀斯特山区烟草生长为研究对象,探讨其之间的关系,并利用计算机辅助建立烟草生长模型,为大规模烟草遥感监测提供依据。

## 1 研究区概况

研究选取贵州清镇流长现代烟草农业基地单元为研究区。基地单元位于东经 $106^{\circ}7'6''\sim 106^{\circ}29'37''$ ,北纬 $26^{\circ}24'5''\sim 26^{\circ}45'45''$ ,总面积 $489\text{ km}^2$ ,辖流长、犁倭、红枫湖等3个乡(镇);

其主产烟区流长苗族乡和犁倭乡为喀斯特高原地貌,地层主要以三叠系下统茅草铺组为主,灰岩与白云岩大量出露,区内受乌江支流三岔河切割的影响,导致地貌组合形态以峰丛洼地、谷地为主,落水洞与地下暗河发育;土壤以黄砂壤、黄壤为主,pH为 $5.5\sim 6.5$ ,有机质含量丰富;属亚热带季风湿润气候,年平均气温 $14^{\circ}\text{C}$ ,年平均降雨量 $1150.4\text{ mm}$ 。土壤条件和气候条件均有利于烤烟生产。基地单元种烟历史悠久,于1937年开始种植烤烟,目前主要种植云烟87、云烟85、K326及南江三号等品种。2010年落实种植计划 $1127.13\text{ hm}^2$ ,收购烟叶约 $2285\text{ t}$ 。研究区烟草种植习惯为烟草-小麦(油菜)-玉米-小麦(油菜)两年三熟轮作制。

## 2 烟草生长规律与模型建立

### 2.1 SAR数据

研究选取德国发射的TerraSAR-X卫星,获取了烟草不同生长期的研究区影像,其获取的详细系统参数见表1。

研究通过比较平滑滤波处理的各种算法,选取

表1 TerraSAR-X卫星影像的详细系统参数

Table 1 The detailed system parameters of TerraSAR-X satellites images

项目	获取时间	烟草生长期	空间分辨率/m	极化方式
第一期	2011年5月27日06:55:18	团棵期	3	VV
第二期	2011年7月10日06:55:18	旺长期	3	VV
第三期	2011年9月24日06:55:18	成熟期	3	VV

$7\times 7$ 窗口FROST最佳滤波方法对原始影像进行滤波处理,并得到研究区滤波后的SAR影像。

将滤波后的影像通过公式(1)计算雷达亮度,并通过公式(2)转化成dB格式。从而得到了研究区的雷达亮度图像。

$$\beta^0 = K_s \cdot |DN|^2 \quad (1)$$

式(1)中, $\beta^0$ 为雷达亮度, $K_s$ 为雷达的校准系数, $DN$ 为SAR滤波后的灰度值。

$$\beta_{dB}^0 = 10 \cdot \log_{10}(\beta^0) \quad (2)$$

式(2)中, $\beta_{dB}^0$ 为雷达亮度分贝类型, $\beta^0$ 为由式(1)所得的雷达亮度。

通过以上计算,得到了研究区烟草不同生长期的亮度图像(图1)。

### 2.2 烟草生长参数采集

在烟草监测时机的选择上,主要考虑以下几个要素:一是在烟草生长发育的几个关键期进行监测控制,这使得获取的数据和构建的生长模型更具有普适性;二是地面农学数据与卫星遥感数据同步获取,主要是指地面农学数据采集在卫星过境时、与飞行同步或准同步<sup>[8]</sup>。

2.2.1 烟草生长特征 烟草生育期为 $160\sim 180\text{ d}$ ,因品种和生产条件不同而有所变化<sup>[10-13]</sup>。根据烟

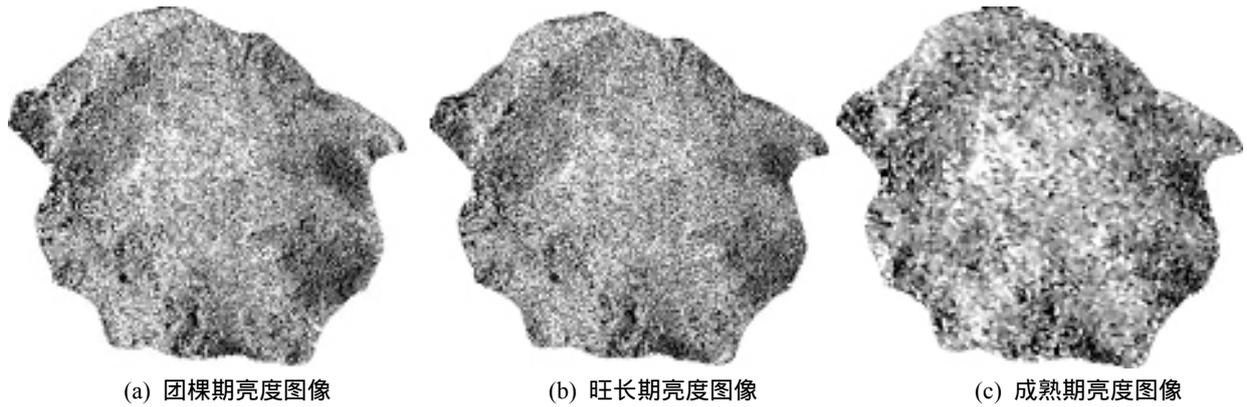


图1 研究区烟草不同生长期的亮度图像

Fig. 1 The image brightness of different tobacco growth periods

草在整个生育期内不同的器官形态变化和生长特点，划分为苗床期和大田期两大时期。大田期又可分为还苗期、团棵期、旺长期和成熟期等<sup>[10]</sup>。而本研究仅对大田期的烟草生长建模进行探讨。

2.2.2 烟草农学参数的同步获取 烟草还苗期内，烟株较小，SAR 影像的亮度特征更多反映的是烟田土壤信息，所以此烟草生长期的建模问题不在这里讨论。因此，在对烟草生长监测的过程中，获取了烟草大田生长阶段后 3 个生育期的观测数据。

基于影像空间分辨率大小的考虑，在研究区内建立了 5 个 15 m × 15 m 的试验样方（表 2），即每个样方对应影像相应区域的 5 × 5 个像元。其中 2 个样方（样方 1 和样方 5）建立在标准烟田内，其他 3 个建立在非标准烟田（烟草种植的垄间距或株间距因烟田局部区域裸岩出露或地形起伏而被迫改变）内。土壤为黄壤，品种为云烟 87。

为保证与卫星遥感数据实现同步获取，在获取 SAR 数据的相同日期，进行了不同生长期烟草生长参数的采集。在各试验样方内，沿对角线使用刻度尺测量每棵烟株、每个叶片的叶长和叶宽，并计算其平均值。

表 2 试验样方基本情况

Table 2 The basic information of test squares

样方编号	样方中心坐标点	样方株数	海拔/m
1	26° 42.456 N; 106° 13.879 E	15 × 20	1293
2	26° 42.476 N; 106° 13.811 E	15 × 21	1301
3	26° 42.470 N; 106° 13.726 E	16 × 17	1314
4	26° 42.599 N; 106° 13.945 E	15 × 19	1266
5	26° 42.477 N; 106° 13.775 E	15 × 20	1311

### 2.3 模型的建立与验证

2.3.1 SAR 监测模型建立 将研究区内烟草团棵期、旺长期和成熟期获取的卫星雷达影像处理而得到的 SAR 图像亮度值，与研究区内建立的 4 个样方建立耦合关系，其中第 5 组样方数据用于耦合关系的验证。通过数据整理得到 SAR 图像亮度与试验样方内烟草生长参数关系表（表 3）。

表 3 SAR 图像亮度与试验样方内烟草生长参数关系  
Table 3 Relationship between SAR image brightness and tobacco growth parameters

采集日期/(月-日)	烟草生长期	样方编号	叶长/cm	叶宽/cm	亮度值 ( $\beta_{ab}^0$ )
05-27	团棵期	1	17	8.5	-6.131
		2	15.5	6.3	-5.786
		3	9.5	5.3	-4.5
		4	11.5	4.5	-4.59
		平均	13.38	6.15	-5.252
		5 (验证)	14.5	6	-5.264
07-10	旺长期	1	59.5	24.49	-6.071
		2	50.33	22.69	-4.613
		3	49.07	17.74	-7.771
		4	49.95	16.03	-6.553
		平均	52.21	20.24	-6.252
		5 (验证)	50.63	20.11	-6.549
09-24	成熟期	1	79.4	24.2	-9.139
		2	64.4	17	-10.33
		3	50.6	17.4	-10.39
		4	69.44	21.96	-11.56
		平均	65.96	20.14	-10.36
		5 (验证)	50.17	15.28	-9.586

根据表 4 中的数据，将各生长期内的样方数据去掉最大值和最小值，并与 SAR 亮度值建立线性回归的耦合关系。通过运算，得到烟草不同生长期雷达遥感监测模型。

2.3.2 烟草生长模型验证 本研究将研究区内实

表4 烟草不同生长期雷达遥感监测模型  
Table 4 Tobacco growth monitoring model based on the SAR brightness

生长期	回归模型		回归模型	
	叶长	R <sup>2</sup>	叶宽	R <sup>2</sup>
团棵期	y=-3.326x-3.867	0.991	y=-0.801x+1.77	0.920
旺长期	y=-0.257x+49.340	0.049	y=1.567x+29.957	0.999
成熟期	y=-3.514x+28.825	0.919	y=-2.63x-8.499	0.618

注:上述公式中x表示SAR图像亮度值,y表示叶长或叶宽。

测的第5组样方数据作为验证区域尺度反演和预测精度的验证数据。模型模拟值与实测值的差异采用相对误差RE表示:

$$RE = \frac{s_i - o_i}{o_i} \times 100\% \quad (3)$$

式中,  $o_i$  为真实值,  $s_i$  为模型模拟值。

通过计算验证样方的真实值和模拟值的误差程度,得到下表(表5)

### 3 建模结果分析

通过分析表4、5可知,(1)在烟草的团棵期,SAR亮度值与实测叶长、叶宽的回归方程拟合度达0.991和0.920,验证数据相对误差较小。(2)在烟草的旺长期,SAR亮度值与实测叶长的相关系数为0.049,但验证数据相对误差为0.78%。SAR亮度值与叶宽的拟合度为0.999,验证数据相对误差较小。

(3)在烟草的成熟期,SAR亮度值与实测叶长的拟合度为0.919,与叶宽的拟合度为0.618。在数据验证部分,成熟期的叶长误差表现欠佳。

### 4 讨论

(1)从建模结果来看,在烟草不同生长期的线性耦合关系中,团棵期的回归方程拟合度要优于其他生长期。导致这个结果的原因可能是团棵期的烟株叶片较少,叶片之间的相互遮盖度较低,所以SAR影像亮度值能够更好地反映叶片的信息。

(2)旺长期烟草叶长的回归模型拟合度较低,同时验证各生长期叶长的相对误差大于叶宽。这可能是由于烟株进入旺长期后叶长快速增长,叶片在重力作用下下垂,以及不同部位叶片间的多重叠掩而致。

表5 模型验证

Table 5 Verification of the model

生长期	叶长			叶宽		
	真实值	模拟值	RE	真实值	模拟值	RE
团棵期	14.50	13.64	-5.90%	6.00	5.99	-0.2%
旺长期	50.63	51.02	0.78%	20.11	19.69	-2.1%
成熟期	53.17	62.51	17.56%	15.28	16.71	9.4%

(3)旺长期烟草叶长的回归模型拟合度较低,但验证相关误差较小。可能是由于验证数据特殊而导致的,有待进一步深入研究。

(4)总体上看,本研究建立的喀斯特山地烟草生长模型,还需在不断提高遥感监测精度的同时,在更多烟区进行丰富和完善。

### 5 结论

在已有的遥感数据参与植物生长建模的研究中,多数以多光谱和高光谱遥感为主。而本研究以

高分辨率SAR影像为研究数据,探讨了烟草在喀斯特山地生长建模的问题,可以得到以下结论:

(1)除旺长期叶长外,在SAR亮度值与烟草生长的叶长、叶宽回归建模中,所建立的回归模型基本上能够反映其线性回归的耦合关系。

(2)从整个烟草生长期来看,烟草生长回归模型对叶宽的拟合要优于对叶长的拟合。

(3)通过数据验证,生长模型基本满足了研究区内烟87品种的烟草生长状况监测,为国家

(下转第112页)

- 2008 ( 10 ) : 55-57.
- [3] 孔劲松. 烟草 GAP 管理探讨[J]. 现代农业科技, 2011 ( 21 ) : 109-112.
- [4] 赵元宽. 推行 GAP 管理是中国烟叶生产的必由之路[J]. 烟草科技, 2003 ( 11 ) : 3-7.
- [5] 张勇, 池宏, 王建军. 我国烟叶生产问题研究[C]//首届中国科技政策与管理学术研讨会论文集, 2005 : 306-313.
- [6] 邵晓丽, 杨明, 张如阳, 等. 良好农业规范在烟草种植中的应用[J]. 现代农业科技: 农艺学, 2011 ( 15 ) : 97-98.
- [7] 叶为全. 《烟草控制框架公约》对烟草业的影响[J]. 经济论坛, 2012 ( 7 ) : 108-120.
- [8] 李春桥, 皮红琼, 朱耀武, 等. 陆良县烟叶生产推行 GAP 管理的做法与成效[J]. 甘肃农业科技, 2004( 5 ) : 52-54.
- [9] 梁永江, 李明海, 吴洪田, 等. 构建遵义烟叶生产与发展的质量保证体系[J]. 中国烟草科学, 2005( 4 ) : 37-39.
- [10] 中华人民共和国国家标准 良好农业规范 GB/T20014.1-20014.11[S].
- [11] 赵元宽. 中国《烟叶质量管理体系》研究项目进展顺利 [EB/OL]. 烟草在线新闻频道, (2005-7-29)[2013-7-30]. [http://www.tobaccochina.com/news/China/agriculture/20057/200572917521\\_102282.shtml](http://www.tobaccochina.com/news/China/agriculture/20057/200572917521_102282.shtml).
- [12] 中国履行《烟草控制框架公约》正式启动[EB/OL]. 中国烟草在线, (2005-10-14)[2013-7-30]. [http://www.tobaccochina.com/news/data/200510/h\\_3458429\\_14160927.htm](http://www.tobaccochina.com/news/data/200510/h_3458429_14160927.htm).
- [13] 李保江. 2012 年世界烟草发展报告[N]. 东方烟草报, 2013-03-06.
- [14] 张红. GAP 带来烟叶生产新变化[EB/OL]. 东方烟草网, (2006-01-27)[2013-7-30]. <http://www.etmoc.com/leaf/looklist.asp?id=8376>.
- [15] 王惜纯. 首批 3 家 GAP 认证机构获认可[EB/OL]. 中国质量新闻网 (2007-11-14)[2013-7-30]. <http://www.cqn.com.cn/news/zgzb/diliu/179625.html>.



(上接第 107 页)

现代烟草农业大范围实时遥感监测提供新的研究思路。

#### 参考文献

- [1] 熊康宁, 袁家榆, 方伊. 贵州省喀斯特石漠化综合防治图集[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2007: 11.
- [2] 周忠发. 贵州农业资源生态环境典型 GIS 研究与应用 [M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2007.
- [3] 傅玮东, 刘绍民, 黄敬峰. 冬小麦生物量遥感监测模型的研究[J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11(1): 84-89.
- [4] 黄敬峰, 王人潮, 王秀珍, 等. 冬小麦遥感估产多种模型研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 1999, 25(5): 519-523.
- [5] 张霞, 张兵, 卫征, 等. MODIS 光谱指数监测小麦长势变化研究[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(4): 420-424.
- [6] 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [7] 张露, 李新武, 杜鹤娟, 等. 玉米作物极化 SAR 数据模拟[J]. 遥感学报, 2010, 14(4): 621-636.
- [8] 陈劲松, 林琿, 邵芸. 微波遥感农业应用研究——水稻生长监测[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 95-96.
- [9] 胡包钢, 赵星, 严红平, 等. 植物生长建模与可视化——回顾与展望[J]. 自动化学报, 2001, 27(6): 816-835.
- [10] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [11] 高琼, 顾勇. 不同移栽期和浇水量对烤烟生长发育的影响[J]. 湖南农业科学, 2012(1): 26-28.
- [12] 高林, 董建新, 武可峰, 等. 土壤类型对烟草生长发育的影响研究进展[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(1): 98-101.
- [13] 秦铁伟, 刘兰明, 张勇, 等. 移栽时期对烟草生长及产量质量的影响研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(2): 314-316.