

# 甘蔗遥感估产的光谱辐射计方法\*

陈健 舒守荣

(广州地理研究所) (岩溶地质研究所)

1985年10月30日收到

甘蔗是一种重要的世界经济作物。在拉美、南美、东南亚各国及我国均有广泛种植。在我国南方,特别是粤、闽、桂、台等省区,不仅种植面积广,经济效益高,而且以甘蔗为基本原料的糖纸、化工和纤维材料工业,在地方工农业产值中占有重要的地位。因此,甘蔗估产对糖业资源调查及甘蔗综合工业体系的管理和决策具有重要的经济意义。

近年来,遥感在主要粮食和经济作物的估产方面取得了巨大的成绩,但甘蔗的遥感估产,迄今尚未见到有国内外文献报道。本研究的目的,是试图建立一种利用光谱辐射进行蔗田估产的新方法,为实现大规模的航空和卫星遥感估产提供基本理论依据。

## 一、甘蔗的植物生理和遥感估产原理

甘蔗的生长过程分生长期,分蘖期,抽长期和成熟期。甘蔗进入生物学成熟期后,就不再将光合作用形成的碳水化合物作为增大躯体的营养,而是以蔗糖形式贮藏在蔗茎内部,并出现生长停滞,植株衰老,叶色转黄,梢部蔗径逐渐收敛等征兆。

甘蔗光合作用的主要器官是叶片,光合作用的主要产物是蔗糖。影响光合作用最重要的环境因素是水份。正常蔗叶的含水量为68—71%。若含水量减少到56—57%,则光合作用效率将下降一倍以上,因此,有“水份决定产量”的成论。影响光合作用效率的内在因素是株龄和叶龄。从梢部新叶算起,即0至第4叶片接受的太阳辐射(卡/厘米<sup>2</sup>/分)最多,约占入射辐射的60%。降至第6叶片,约占30%,再降至第9叶片,则仅占10%。甘蔗光合作用的这种“顶端优势”为遥感估产提供了特有的有利条件。

甘蔗的产量取决于叶片光合作用的效率,因此蔗叶的光谱特征是反映产量的最重要的遥感信息。图1为本研究所测得的蔗叶的反射光谱特征曲线。在可见光、近红外(NIR)和中红外波段内的光谱特征,特征近似波长位置以及特征的成因可用表1概括说明。

在波谱反射率、波谱反射率比值及其线性组合与作物的农业参量(如干、湿生物量,干绿、干褐生物量,叶片含水量,叶绿素含量和作物产量等)之间存在着密切的相关性<sup>[1-3]</sup>。为方便起见,我们把波谱反射率、反射率比值及其线性组合统称为农作物遥感的光谱特征

(\*)1986年参加野外光谱测试工作的还有叶宗怀、邓仕达、何在城、徐金生、刘颖和石东走。本研究曾得到珠海市科委、斗门县农委和蔗糖生产办公室、平沙华侨农场、斗门乾雾糖厂的大力支持和协助,特此致谢。

量。Tucker 等人的研究指出, 光谱特征量: 近红外波段反射率  $IR$  与红波段的反射率  $R$  之间的关系  $IR/R$ 、 $\sqrt{IR/R}$ 、 $IR - R$ 、植物指数  $VI = (IR - R)/(IR + R)$  和变换植物指数  $TVI = \sqrt{VI + 0.5}$ , 对作物中具有光合作用活性的生物量的探测比较灵敏。对作物产量较敏感的是  $IR/R$ 、 $\sqrt{IR/R}$ 、 $VI$  和  $TVI$ 。

本研究发现, 对甘蔗来说,  $R/IR$  与产量之间的相关性比  $IR/R$  更高。因此, 本研究采用  $TM$  波段的反射率比值  $TM_3$  (红)/ $TM_4$  (近红外) 作为估产的光谱特征量  $R/IR$ , 通过回归分析来建立甘蔗估产的数学模式并进行估产。

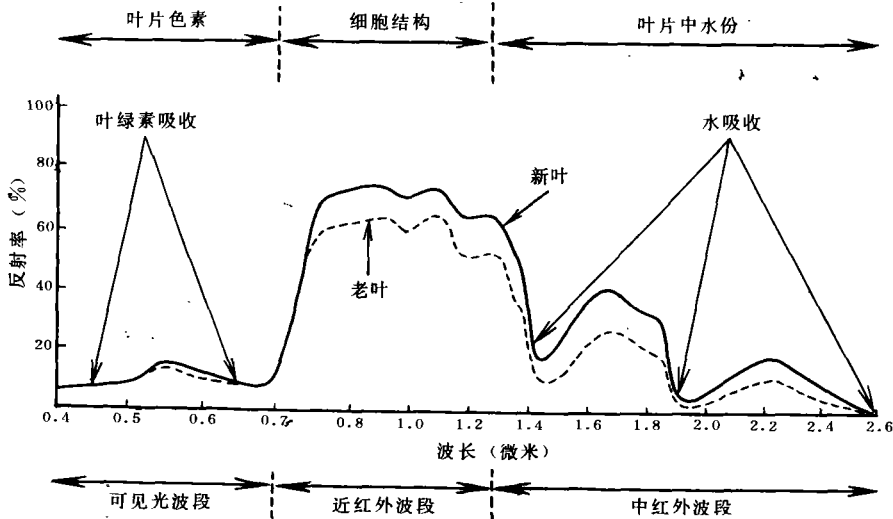


图 1 甘蔗叶片的标准反射光谱

Fig. 1 Standard Reflected Spectrum of Sugarcane Leaf

表 1 蔗叶的光谱特征、位置和成因

Table 1 Spectral Characteristic, Location and Forming of Sugarcane Leaf

波 段	特 征 位 置 (微米)	特 征 性 质	特 征 成 因
可见光波段 (0.38—0.70 微米)	0.45 0.55 0.65	吸 收 峰 反 射 峰 吸 收 峰	叶片内的叶绿素和其 它色素
近红外波段 (0.70—1.30 微米)	光谱反射率从 0.7 微米开始陡升, 至 0.8 微米趋平缓, 直至 1.3 微米再明显下降	绿色植物特有的光谱特征	叶片的细胞结构
中红外波段 (1.30—2.60 微米)	1.40 1.90 2.60	吸 收 峰 吸 收 峰 吸 收 峰	叶片内的水份

## 二、估产测区和测试方法

### (一) 测区概况

本研究的测区选择在广东省珠海市平沙华侨农场。该农场在斗门县西南十余公里

处,位于珠江的人海口,五十年代开始逐渐围垦而成。土壤类型有三种:水稻土,海滨盐渍沼泽土和赤红壤。气候属典型的亚热带季风气候,温高雨沛,特别适于甘蔗生长。1984年,该场种植甘蔗 66161 亩,主要分布在海滨盐渍沼泽土地带。蔗田皆成大片,交通方便,十分有利于遥感测量。

在测区共选择了十块蔗田作为测量样田,总面积约 500 余亩。为了对农场全部蔗田的平均亩产和总产量进行遥感估测,十块蔗田取样时既考虑了高、中、低三种产量的代表性,又兼顾了蔗田地理分布的随机性。测试时间选择在最宜于遥感估产的甘蔗成熟期季节,即 12 月上旬。

## (二) 估产的测试仪器和测量方法

主要仪器为手提式比值辐射计 (HHRR)<sup>[4]</sup>,双光束,滤光片分光,可测波长范围 0.4—2.5 微米。每一通道内均可装入五个滤光片。HHRR 既可测定目标的波谱反射率,又可测定波谱反射率的比值。输出方式有液晶数显和模拟输出两种。仪器备有 MSS 四个波段和 TM 七个波段的标准滤光片及大量窄波段滤光片,适合作各种环境遥感的实地实况调查。

为进行甘蔗估产测量,特地设计了一种测量杆,测量杆由三节铝合金管组成,高度可调,最大高度为 6 米。HHRR 用万向云台固定在测杆的顶端,仪器的倾角可任意调节。仪器和测杆的总重不到 7 千克,移动和操作十分便利。HHRR 测得的反射率比值  $TM_3/TM_1$ ,用模拟方式输出,在袖珍数字万用表上进行显示。

利用光谱辐射计法进行估产的关键是,光谱测量方法正确和测点布置合理。本研究的光谱测量全部按照文献[5]中所述的方法进行。每块被测蔗田选择 10 个测点,每个测点测 20 次,最后,取每块蔗田 10 个测点的 200 次测量结果的平均值进行回归分析。对于长势不匀的蔗田,应根据不同长势的甘蔗所占的面积比例合理分配测点。

为了与人工估产方法作比较,在遥感估产测量的同时,邀请甘蔗农艺师和糖厂农务员作行距、株距、蔗径、蔗高和田间锤度的量测,进行人工估产<sup>[6]</sup>。人工估产所选的测点与光谱测量相同。每块蔗田的实际产量,则在榨季结束前后作精确的记录。

## 三、估产数据的分析

为方便起见,以下的表达中均用  $R/IR$  来表示反射率比值  $TM_3/TM_1$ ,  $X$  则表示各种光谱特征量。

10 块测试样田的  $R/IR$  和实际甘蔗亩产值  $Y$  见表 2。为了对各种光谱特征量的估产效果进行比较,并从中选出最佳的光谱特征量,因此,除  $R/IR$  外,还计算了 10 块样田的其余五种光谱特征量。表 3 列出了 10 块样田的六种光谱特征量  $X$  与实际亩产  $Y$  的回归分析结果。 $X$  的数值可由  $R/IR$  按表 3 所示的定义计算出来。在回归分析中,采用了以下三种不同形式的回归方程:

$$Y = a + bX \quad (1)$$

$$Y = a + b \log X \quad (2)$$

$$\log Y = a + bX \quad (3)$$

表 2 测试样田的 R/IR, 实际产量, 及遥感与人工估产法的结果比较

Table 2 R/IR and Actual Yield of Surveying Sample field and Results Comparison between Remote Sensing and Artificial Yield Estimation methods

样田编号	R/IR	实际产量 Y(吨/亩)	遥感估产量 Y <sub>R</sub> (吨/亩)	人工估产量 Y <sub>A</sub> (吨/亩)	遥感估产的相对误差 δ <sub>R</sub> (%)*	人工估产的相对误差 δ <sub>A</sub> (%)*
1	0.258	2.78	3.09	3.78	11.2	36.0
2	0.122	7.95	7.04	8.70	11.4	9.4
3	0.085	10.05	8.82	12.01	12.2	19.5
4	0.236	3.89	3.53	5.48	9.3	40.9
5	0.099	6.89	8.10	8.15	17.6	18.3
6	0.103	6.46	7.90	9.41	22.3	45.7
7	0.093	9.09	8.40	8.99	7.6	1.1
8	0.146	7.34	6.09	9.12	17.0	24.3
9	0.135	6.00	6.51	7.52	8.5	25.3
10	0.134	6.13	6.55	5.53	6.9	9.8
总平均		$\bar{Y} = 6.66$	$\bar{Y}_R = 6.60$	$\bar{Y}_A = 7.87$	$\bar{\delta}_R = 12.4\%$	$\bar{\delta}_A = 23.0\%$

$$* \delta_R = \frac{Y_R - Y}{Y} \times 100\%$$

$$\delta_A = \frac{Y_A - Y}{Y} \times 100\%$$

表 3 6种光谱特征量 X 与甘蔗农业亩产 Y 的回归分析结果

Table 3 Regression Analysis Result of X and Y (X' is six Spectral Signature Value, Y' is Sugarcane agriculture Yield per "mou")

光谱特征量 X	回归方程 $\log Y = a + bx$		
	相关系数 r	a	b
R/IR	-0.9341	1.1693	-2.6352
IR/R	0.8860	0.3433	0.0565
$\sqrt{R/IR}$	-0.9293	1.5782	-2.1155
$\sqrt{IR/R}$	0.9053	-0.0699	0.3102
$VI = \frac{IR - R}{IR + R}$	0.9316	-0.5637	1.7987
$TVI = \sqrt{VI + 0.5}$	0.9328	-3.6433	3.9636

通过相关系数的分析发现, 方程(1)和(2)的拟合优度均不及方程(3), 故应舍弃。表 3 就是利用最佳回归方程(3)分析的结果。比较表 3 中的相关系数 r 可知, 反射率比值 R/IR 与 Y 之间具有最高的相关系数 ( $r = 0.9341$ ), 因此, R/IR 应该是利用光谱辐射计进行甘蔗遥感估产的最佳光谱特征量。估产的最佳数学模式是:

$$\log Y = 1.1693 - 2.6352X \quad (4)$$

式中的 X 表示反射率比值  $TM_3/TM_4$ 。

将 10 块测试样田的光谱特征量  $TM_3/TM_4$  代入方程(4), 即可求得每亩的遥感估产值。10 块样田亩产的遥感估产值  $Y_R$ , 人工估产值  $Y_A$ , 遥感和人工估产法的相对估产误差  $\delta_R$  和  $\delta_A$ , 如表 2 所示。由表 2 可见, 遥感法的相对估产误差为 12.4%, 人工法为 23.0%。前者的精度几乎为后者的一倍。

按照统计理论,随机子样的均值可作为样本总体均值的近似估计。据此,我们可以用遥感估产方法所得到的亩产均值  $\bar{Y}_R$ (表 2),按下列公式来预测农场的甘蔗总产量:

$$\begin{aligned} \text{总产量} &= \text{平均亩产 } \bar{Y}_R \times \text{收获面积 } S \\ &= 6.60 \text{ (吨/亩)} \times 66161 \text{ 亩} \\ &= 436663 \text{ 吨} \end{aligned}$$

这个值与 6 个月后,即 1984—1985 年榨糖季节结束后,斗门县蔗糖生产办公室所公布的正式统计资料基本吻合。实际统计资料是,平沙华侨农场甘蔗收获面积为 66161 亩,平均亩产为 5.96 吨/亩,总产量为 394320 吨。据此可算出遥感估产的相对误差为 10.7%。这一精度不仅说明了甘蔗光谱辐射计估产是可行的,而且预示了航空和卫星遥感在甘蔗大规模估产中的希望和前景。

## 四、结 论

从上述分析可得出如下简要结论:

(1) 利用光谱辐射计进行甘蔗估产是一种切实可行的方法,与传统的人工估产法相比,不仅估产精度可提高一倍,而且效率高、成本低。若用小型直升机作平台,则估产的效率和规模可进一步提高。

(2) 与一般作物不同,甘蔗遥感估产的最佳光谱特征量为  $R/IR$ ,最佳估产数学模式为  $\log Y = a + bX$ 。

(3) 正确的光谱测量方法和合理的光谱测点布置是利用光谱辐射计进行估产的关键。天气是影响光谱测量可靠性的重要环境因素。实践证明,除很薄的云不致影响比值  $R/IR$  的测量外,其它的云都会导致明显的误差。

(4) 回归分析表明,甘蔗的田间锤度,即含糖量与反射率比值  $R/IR$  之间没有相关性。

(5) 本研究从基础研究方面为甘蔗遥感估产提供了有价值的理论依据,对最终实现国家级或国际级的卫星估产作出了有益的贡献。

甘蔗遥感估产虽有其特殊性,但作为一种农作物,它又具有与其它作物相同的共同规律。因此,从甘蔗遥感估产研究得出的基本结论,如最佳波段和最佳光谱特征量的选择,估产的数学模式等,对其它作物的遥感估产,亦应具有一定的参考价值。

## 参 考 文 献

- [1] Kimes, D. S., Markham, B. L. and Tucker, C. J., Temporal Relationship between Spectral Response and Agronomic Variables of a Corn Canopy, Remote Sensing of Environment, Vol. 11, pp. 401—411, (1981).
- [2] Tucker, C. J., Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation, Remote Sensing of Environment, Vol. 8, No. 2, pp. 127—150, (1979).
- [3] Tucker, C. J. and etc., Relationship of Spectral Data to Grain Yield Variation, Photogram. Engr. and Remote Sensing, Vol. 46, No. 4, pp. 657—666, 1980.
- [4] Daubner, L., Davies, J. and Goetz, A., A Hand Held Ratioing Radiometer for Remote Radiance Measurement, Canadian Symposium, 7th, Winnipeg 1981, Proc., pp. 423—428.
- [5] 舒守荣、陈健,水体泥沙含量的模拟研究,泥沙研究, (3), 43—51, 1982年。
- [6] 吴伯焯等编,甘蔗糖厂农务手册,广东糖纸工业公司,1982年。

## Remote Sensing Estimation of Sugarcane Yield Using Spectroradiometer

Chen Jian

(*Guangzhou Institute of Geography*)

Shu Shourong

(*Institute of Karst Geology*)

### Abstract

A new remote sensing technique for sugarcane yield estimation is described. The main instrument used in the study is Hand Held Ratioing Radiometer and spectral quantity is the reflectance ratio  $TM3/TM4$ . Spectral measurements for sugarcane yield estimation were conducted in matured stage of the crop. In test area 10 plots of sugarcane field which amount to 500 *mu* (about 34 ha.) were selected as test samples. The results of regression analysis showed that there is a high correlation between  $X$  (reflectance ratio  $TM3/TM4$ ) and  $Y$  (per mu havrest yield). The correlation coefficient is as high as 0.9431. The optimum mathematic model for sugarcane yield estimation was proved to be  $\text{Log } Y = a + bX$ . The calculation of relative error indicates that the yield estimation accuracy of remote sensing technique is twice as high as that of the traditional artificial method.