

水稻种植面积估计的运行化遥感方法*

吴炳方 刘海燕

(中国科学院地理研究所 北京 100101)

摘 要 该文提出了用高分辨率遥感数据提取水稻种植面积本底数据和用可靠低廉的 NOAA AVHRR 数据估计水稻种植面积变化趋势的方法。该方法具有运行化的特点,成功地应用于 1994 年度湖北省早稻种植面积估算。

关键词 水稻, 面积估计, 遥感, 运行化

1 前 言

“及时预测农作物的(总)产量”,一开始就是遥感技术应用的主要目标之一^[1]。配合 1972 年发射陆地卫星 I 号计划,美国农业部国家农业统计局开展了卫星遥感数据在农业统计中的应用^[2]。70 年代中的 LACIE 计划和 80 年代初的 Agristars 计划大大推动了农作物估产技术的发展,并从单一作物估产(冬小麦)拓展到多种大面积种植作物(水稻、棉花等)。农作物种植面积估计方法是用面积采样框架的采样数据与 MSS 数据的回归方法估算^[2]。该方法存在着两个问题^[2],一是偏差与样方大小有关;二是采样数据同时用于估计判别函数和回归函数的参数。此外,该方法需用时间长,费用高。

随着卫星遥感技术的发展,尤其新的遥感器的出现(TM、SPOT),使得可用于农作物面积提取的遥感数据无论是数量还是分辨率都大大增加。加上计算机技术的迅猛发展,使得自 80 年中以来农作物面积提取方法发展很快。归纳起来主要有 3 种类型:

第 1 种是计算机辅助面积框架布设。采用面积框架抽样的方法估计农作物面积有很高的精度,但人工框架布设费时费钱^[3]。第 2 种是作物面积自动提取方法。如密度分割或单波段分类^[4,5]、多时相半自动、自动分类方法等^[6-8]。第 3 种是基于地理信息系统的自动半自动分类方法,地理信息系统中的数据层既可以作为辅助数据波段参与分类^[9],也可以用于剔除非农作物区,达到提高精度的目

的^[10]。前者精度可以提高 20%—35%,后者可以提高 3%—26%。

与其它农作物相比,用遥感数据估计水稻种植面积经济效益最好^[2],但精度不高。多时相遥感数据分类和基于实况数据的回归方法达到的最高精度是 83%^[8],但如时相较好,则可以达到 90% 的精度^[7]。然而,水稻种植区多阴雨天气,生长期间的遥感数据接收率很低,甚至整个年度都接收不到合适的遥感数据。没有数据,上述 3 类方法就没有基础。另一方面,作物估产时效性很强,可靠性要求很高。该文提出了既具有较高精度,又可靠低廉的水稻面积实时估计方法。

我国自 1983 年开始开展了农作物遥感估产研究,且以应用气象卫星遥感数据(NOAA AVHRR)为主,面积精度的提高受到很大的限制。使用 TM 等高分辨卫星遥感数据估算水稻面积时,也仅采用了成数抽样方法^[12],结果缺乏空间特性。国家“八五”攻关“遥感技术应用研究”项目(85—724)中的“重点产粮区主要农作物遥感估产运行系统。其中水稻选择江汉和太湖平原开展实验运行研究。基于项目组的支持和要求,江汉平原水稻遥感估产专题把估产范围从江汉平原的 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 扩展到整个湖北省。

2 研究区和数据

湖北省地处我国中部,面积约 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 属亚热带湿润气候,是我国的主要商品粮生产基地和

* 作者感谢中国科学院遥感应用研究所的王长跃教授、连石柱研究员的技术指导和提供上机方便,作者得到了陈述彭教授、徐冠华教授、张琦娟高级工程师、王乃斌教授、田国良教授、徐希儒教授的启发指导和支持,在此深表谢意。

水稻生产大省。1992年水稻种植面积 $740.9 \times 10^3 \text{ha}$, 总产量 $452.72 \times 10^4 \text{t}$ 。湖北省的水稻种植区主要位于江汉平原, 长江和汉江两岸水资源丰富地区。山区和地势高处一般是种植旱作物如棉花等。从南往北, 水稻种植区成带状分布, 湖北省南部, 主要是双季稻, 但在低洼地带和鄂西南山区为单季稻。双季稻主要出现在 39 和 40TM 帧上。往北在 37 和 38 帧, 水稻品种主要是单季稻。双季稻的种植时间从南往北开始于 4 月底, 止于 5 月初, 先后最多相差 10 天左右。单季稻的种植时间一般在 6 月上中旬。

TM 数据的时相见表 1。主要水稻种植区的 TM 影像均为 1992 年, 包括 124 轨、123 轨和 122—39。因此, 由以下 16 帧数据提取到的水稻种植面积可以代表 1992 年的情况。

表 1 TM 数据的时相

Table 1 A list of dates and scenes of TM data

TM 轨道号	时 相	地区特征
122-38	1990 年 9 月 2 日	山区
122-39	1992 年 5 月 10 日	平原
122-40	1992 年 5 月 10 日	山区
123-38	1992 年 5 月 2 日	平原
123-39	1992 年 6 月 17 日	平原
123-40	1988 年 6 月 24 日	平原
124-38	1992 年 6 月 10 日	平原
124-39	1992 年 6 月 10 日	平原
124-40	1992 年 6 月 10 日	平原
125-37	1987 年 5 月	山区
125-38	1987 年 5 月	山区
125-39	1987 年 5 月	山区
125-40	1987 年 5 月	山区
126-37	1992 年 6 月 8 日	山区
126-38	1992 年 6 月 8 日	山区
126-39	1992 年 6 月 8 日	山区

3 运行化的面积估计方法

利用 TM 提取水稻种植面积存在 3 方面的问题: (1) 水稻种植面积计算机提取的精度不高; (2) 数据费用昂贵; (3) 数据源得不到保证。在我国南方地区, 多阴雨天气, 农作物生长期内的遥感

数据接收率很低, 即使数据能够保证, 大面积作物估产的费用也太高。提高面积提取精度在时间上取决于合适的时相。水稻的最佳时相是移栽后的 2—5 周。在空间上取决于作物品种布局和田块分布特征。南方地区的水田田块小, 且不规则, 早、中、晚稻交错种植, 其它类型的作物、经济作物混交。因此, 实用的、运行化的水稻种植面积的提取是一完整的技术体系。

每年采用资源卫星遥感数据提取种植面积既不经济也不现实, 而种植面积年度之间的变化也小于 10%^[9]。合适的种植面积提取方案是建立精确的面积本底数据层并逐年更新。利用已有的合适时相的 TM / SPOT 数据, 采用目视判读或自动分类方法提取高精度的水稻种植分布信息作为本底数据层, 每年尽可能地采用新的数据, 对本底数据进行更新。对数据源分析表明, 5 年内可以将数据全面更新一次。在此基础上, 利用高时间分辨率的遥感数据源(如 NOAA AVHRR)估计当年水稻种植面积相对于本底数据的百分比, 从而得到当年度的水稻种植面积。

3.1 本底数据提取方法

根据获得的 TM 数据, 湖北省水稻种植面积的本底数据为 1992 年的种植面积, 但是如果直接对 TM 数据进行自动分类, 其精度只有 60% 左右, 难以满足要求。

目视判读方法 该方法用于提取局部地区的高精度水稻种植面积本底数据, 并依此作为实况数据检验其它方法的精度。对 TM 数据的 4、3、2 波段拉伸后, 回放成 1:10 万的假彩色合成图象, 然后请有经验的专家进行目视判读。判读结果用扫描的方法输入计算机, 在 ARC/INFO 的 ARCEDIT 模块中, 与 TM 数据配准, 扫描后的数据矢量化以后形成多边形数据层。将 TM 数据作为背景, 显示多边形数据, 并对多边形数据进行屏幕人工调整, 使用 LINK 和 ADJUST 指令调整多边形边界, 使与 TM 数据的特征一致。将调整后的数据输出到硬拷贝上, 再请专家检查判读类别, 依修改后的类别人工地修改多边形属性, 最终得到高精度的本底数据(图版 I 图 1)。

半自动分类方法 该方法完全采用 ERDAS 命令。由于各种自然以及社会经济因素的影响, 每帧图象中的水稻反射特征的空间差异很大, 不能对整帧图象进行一次性处理, 需要分割成许多小区单独

进行训练、分类和后处理。对于平原地区,由于田块小,品种布局复杂,小区为 1024×1024 个象元;而在山区,小区可以是 $1/4$ 帧。

对于每一小区,先分别对早稻和中稻进行单独训练,训练结果分别用来计算统计特征值,然后用最大似然分类器进行分类。分类时按有经验的专家的意见反复调整方差系数,直到分类结果基本满意为止。将分类结果和原始数据同时显示在屏幕上,并请有经验的专家一起判别分析分类是否合理,若不合理则减少或增加方差系数,甚至重新训练。分类满意后,剔除误分象元,然后进行合成得到水稻分类结果(早稻、中稻)。

训练时,如果 TM 的时相是水稻移栽后的两个星期以内,则用 5R、3G、2B 波段组合训练的效果较好,其它则用 4R、3G、2B 波段组合。

剔除误分象元的工作量很大,但做完一次以后,用于剔除的多边形边界可以存贮起来重复使用。把不同小块的剔除多边形合并可得用于剔除非水稻象元的矢量数据。该数据可以在训练前重复使用。

在训练以前,可以利用地理信息系统中的数据层或直接凭经验判断剔除非水稻象元(如林地、水体等),既可以节省时间又可以提高精度^[10]。

每帧 TM 数据经自动分类,在拼接成整个湖北

省的水稻分类图以前,应先对 TM 轨道的重叠带进行预处理,避免出现重叠带中的象元在不同帧内有不同的分类结果。预处理的方法是以某一帧 TM 为准,切去相邻帧重叠带的分类结果。这种预处理有利于减少几何纠正误差的影响,也可以减少时相不好的 TM 数据对最终分类结果的影响。

半自动分类结果与目视判读结果比较,早稻的分类精度为 85.059%,中稻为 80.35%,与典型地块 GPS 定位数据比较,早稻的分类精度为 93%。图版 I 图 2 是利用半自动方法获取的早、中稻分类结果。

分类结果的统计值见表 2,水稻种植面积的行政单元统计采用 ARC/INFO 中的 GRID 指令。分类结果转换成 GRID 格式,行政边界也转成相对坐标的 GRID 格式,从两个 GRID 数据相加得到的 GRID 数据中的 VAT 表中得到每个行政单元的水稻种植面积(表 2)。

与统计值比较,全省早稻种植面积的估计误差为 12.04%,中稻为 5.36%。除固有的分类误差外,引起误差的另一原因通常是统计单位。用遥感方法估计面积严格按 666m^2 为一亩,而地方在实际统计中,有按 800m^2 为一亩统计的,也有按 1000m^2 为一亩的,致使与统计数据间存在偏差。相应估计单产时,遥感估计的单产如果精确则应少于统计

表 2 湖北省 1992 年度早稻、中稻面积遥感估算结果

Table 2 Results of early rice and middle season rice estimation for Hubei Province in 1992 单位: 10^3ha

	早 稻			中 稻		
	统计值	估计值	误差 %	统计值	估计值	误差 %
全省合计	740.75	830.12 64	12.04	963.60	1015.2861	5.36
武汉市	102.39	143.0224	39.68	27.16	44.4480	63.65
黄石市	25.41	30.7605	21.06	1.61	10.0263	522.75
宜昌市	16.39	14.0453	-14.31	76.46	80.9014	5.81
襄樊市				243.39	254.6584	4.63
鄂州市	19.71	26.4219	34.05	3.31	6.6660	104.41
荆门市	12.75	13.2433	3.87	62.27	62.8787	0.98
黄冈地区	152.24	162.2217	6.56	56.63	63.7146	12.51
孝感地区	95.86	98.5900	2.85	99.95	93.7365	-6.22
咸宁地区	86.56	90.0371	4.02	38.45	43.2937	12.60
荆州地区	229.46	251.7842	9.73	245.37	245.7272	0.15
郟阳地区				35.31	35.6759	1.04
鄂西地区				71.67	73.3878	2.40
神农架林区				0.07	0.0716	2.29

产量。

全自动更新方法 在半自动分类方法基础上, 对于新的 TM 遥感数据采用该方法, 其结果用于更新已有的本底数据。

利用 GIS 的数据层和半自动分类方法得到的剔除误分象元矢量数据将 TM 数据各波段的所有明显非水稻象元赋零; 然后进行预处理, 计算植被指数 SAVI 作为分类的补充波段; 并用 GIS 中地形作为辅助波段参与分类^[13]; 利用半自动分类方法中的训练样方从新的 TM 数据分割出新的样方, 再进行聚类分析, 得到新的统计特征值, 采用相同的方差系数, 进行最大似然分类。

该方法是为实现运行化面积更新的一种设想, 需要进一步的开发和研究。其重点在于利用地理信息系统技术进行数据的复合、切割、存贮替换、管理以及统计和作图等。

3.2 水稻种植面积的实时化估计方法

本底数据的提取方法不能保证经济可靠地估计每年的水稻种植面积, 原因在于 TM 数据在水稻生长期间的接收率很低, 且费用昂贵。NOAA AVHRR 的时间分辨率很高, 作物生长期内最少能收到几个时相的数据。根据 1991 年到 1994 年接收数据情况, 早稻生长期内一般能接收到 10—15 帧 NOAA AVHRR 图象, 基本上能满足我们的要求。

NOAA AVHRR 遥感数据已成功地用于估算冬小麦面积^[14], 但由于数据分辨率低, 估计结果缺乏空间位置信息, 统计精度高, 但不能保证空间精度。

在已有 1992 年度水稻种植面积本底数据的基础上, 估计 1994 年度水稻种植面积只需知道其变化趋势。

1992 年 5 月至 8 月共接收到 15 帧云量较少的 NOAA AVHRR 数据, 1994 年 4 月底至 7 月 2 日也有 15 帧。订购的数据是 NOAA 1B 格式。

每帧 NOAA 1B 格式数据, 回放后有 5 个波段数据, 经纬坐标数据和太阳高度角数据。对第 1、2 波段进行辐射纠正, 消除仪器衰减影响。将 2、4、5 波段用直方图均衡化方法均缩减到 0—5 区间, 然后用公式 $36B_5 + 6B_4 + B_2$, 值大于等于 215 的象元为有云象元, 将有云象元的各波段都赋于同一值, 然后用 1、2 波段计算植被指数 $SAVI = \frac{B_2 - B_1}{B_2 + B_1 + 0.5}$,

有云象元的 SAVI 值为零。然后对 SAVI 进行太阳高度角纠正。对每帧 NOAA AVHRR 数据处理后, 获得 1992 年 15 帧 SAVI 数据序列和 1994 年 15 帧 SAVI 数据序列。

对每帧 SAVI 数据, 采用 NOAA 1B 格式中的经纬度坐标进行几何精纠正^[15]。几何精纠正方法包括 NOAA AVHRR 象元畸变校正和多项式纠正两步, 效果很好, 精度可以达到半个象元级 (540m)。

几何精纠正后的不同时相的 SAVI 数据在空间上已互相配准, 对时间上相近或连续几天的 SAVI 数据相互补充或取最大值, 这样就可以获得无云影响的某时期的 NOAA AVHRR SAVI 数据, 1992 年 5 月至 8 月共得 5 个时期的 SAVI 数据, 1994 年为 4 个时期, 假设每个时相的 SAVI 数据为一个波段, 得 1992 年和 1994 年的多波段 SAVI 图象。图版 I 图 3 是 1994 年 SAVI 图象, 红为 6 月底 SAVI 数据, 绿为 6 月初, 蓝为 4 月底 5 月初; 图版 I 图 4 是 1992 年 SAVI 图象, 红为 8 月中上旬, 绿为 6 月上旬, 蓝为 5 月上旬。从这两个图中就可以清晰判断出水稻象元植被指数随时间的变化趋势。

利用 TM 训练样本中的大样方或直接从 SAVI 图象中进行训练, 得 SAVI 图象的 1992 年和 1994 年的早稻和中稻特征值。利用这些特征值, 在相同方差系数前提下分别对 1992 年和 1994 年的 SAVI 图象进行最大似然分类, 分类结果是 1992 年早稻象元是 11570 个 ($600 \times 600m^2$), 1994 年为 110242 个, 即 1994 年湖北省早稻种植面积比 1992 年减少 4.957%。

1992 年湖北省全省早稻种植面积的遥感估算值为 830.1264ha, 1994 年的早稻种植面积为 790.9195 10^3ha , 而 1994 年湖北省早稻种植面积统计值为 634.2 10^3ha , 与估算值相比, 小 19.81%。估计面积偏大的原因主要在于用 SAVI 图象估计变化趋势时出入较大。1994 年湖北省早稻种植面积的统计值比 1992 年少 15%。其变化趋势与 SAVI 图象分类所反映的趋势相一致, 但存在较大的误差。趋势大小误差的原因很多, 其中一个原因是 NOAA 数据的处理没有标准化, 且大部分 NOAA 数据不是星下点数据。

4 结 论

该文讨论的是水稻种植面积估计的运行化遥感

方法。该方法的本质在于利用已有的高空间分辨率遥感数据提取某一年度某一水稻品种(早、中、晚稻)的本底数据,并用新的数据不断进行更新,然后用可靠而低廉的 NOAA AVHRR 数据估计当前年度的水稻种植面积与本底数据种植面积的变化趋势。由于水稻面积年度变化幅度不大,因此该方法不仅具有统计精度,而且具有很高的空间精度。

文中提出了 3 种本底数据提取方法,这 3 种方法各有侧重,可以互相补充和相互验证,其中两个方法成功地用于湖北省 1992 年度早稻和中稻的面积提取,精度在 80% 以上,效果较好。进一步提高精度需要充分发挥地理信息系统的作用。

利用与本底数据同一时期的 SAVI 多波段图象和当前年度的 SAVI 多波段图象,进行训练和最大似然分类,得水稻象元数据变化趋势,基本上能够反映出水稻面积随时间的变化趋势。提高估计精度要求对 NOAA AVHRR 数据进行更加有效的规范化和标准化处理。

该方法的前提是本底数据处于同一年度,随着本底数据的不断更新,估计变化趋势时应按本底数据所代表的时相分别估计。

参 考 文 献

- [1] 陈述彭. 小麦、玉米和水稻遥感估产技术试验研究文集. 序,北京:中国科学技术出版社,1993.
- [2] Allen, J. Donald, George A. Hanuschak. The Remote Sensing Applications Program of the National Agricultural Statistics Service: 1980—1987. SRB Staff Report No. SRB-88-08. National Agricultural Statistics Service, 1988.
- [3] Cotter, James J., Cathy Mazur. Automating the Development of Area Sampling Frames Using Digital Data Displayed on a Graphics Workstation. *National Agricultural Statistics Service*, 1990.
- [4] 王乃斌、覃平、周迎春. 应用 TM 图象采用模式识别技术自动提取冬小麦播种面积的研究. 小麦. 见: 陈沈斌主编, 玉米和水稻遥感估产技术试验研究论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1993, 1—7.
- [5] Kolm, Kemeth E., H Lee Case III. The Identification of Irrigated Crop Types & Estimation of Acreages from Landsat Imagery. *PERS*, 1984, 50(10): 1479—1490.
- [6] Ehvlich, Daniele, John E. Estes, Joseph Scepan. Extracting Agricultural Information from Satellite Imagery for Mapping Purposes. International Symposium on Thematic Mapping from Satellite Imagery, Paris, France, 1990, 2—4.
- [7] Tennakoon, S. B. et al. Estimation of Cropped Area and Grain Yield of Rice Using Remote Sensing Data. *Int. J. of remote sensing*, 1992, 13(3), 427—439.
- [8] Allen, J. Donald. Remote Sensor Comparison for Crop Area Estimation Using Multitemporal Data. *National Agricultural Statistics Service, SRB Staff Report, No. SRB-90-03*, 1990.
- [9] 吴炳方. 水稻种植面积提取技术设计. 见: 陈沈斌主编, 小麦、玉米和水稻遥感估产技术试验研究文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1993, 34—38.
- [10] Ehrlich, Daniele, John Estes, Joseph Scepan. Improving Crop Type Determination Using Satellite Imagery: A Study for the Regione del Veneto, Italy, *Geocarto International* (2) 1990, 35—44.
- [11] 孙九林, 小麦、玉米和水稻遥感估产技术试验研究文集. 前言. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [12] 曲宝林、王延颀等. 在 TM 图象上进行成数抽样清查水稻种植面积方法的研究. 见: 徐希孺主编, 环境监测与作物估产的遥感研究论文集. 北京: 北京大学出版社, 1991, 52—55.
- [13] 吴炳方, 黄绚, 田志刚. 利用遥感和地理信息系统进行植被制图. *环境遥感*, 1995, 5(1), 30—37.
- [14] 朱晓红, 徐希孺等[1991]. 农作物遥感估产信息系统的建立及其在河南省大面积冬小麦估产中的应用. 见: 徐希孺主编, 环境监测与作物估产的遥感研究论文集. 北京: 北京大学出版社, 1991, 12—13.
- [15] 吴炳方. NOAA 1B 格式数据的几何精纠正. *环境遥感*, 1994, 4(4), 287—295.

作 者 简 介

吴炳方,男,1962年生,1989年毕业于清华大学环境工程系并获得工学博士学位,1989年进中国科学院地理研究所资源与环境系统国家重点实验室做博士后研究工作,1992年出站后留在该室工作。现从事遥感和地理信息系统应用研究,已发表论文 20 多篇。

The Operational Methods for Rice Area Estimation Using Remote Sensing

Wu Bingfang Liu Haiyan

(*Institute of Geography, CAS, Beijing 100101*)

Abstract Crop area estimation is one of main application fields of remote sensing. The paper focuses on the operational methods for rice area estimation, in which TM data are used to extract the basic rice planting area in a given year 1992, and NOAA AVHRR data are used to predict the change tendency of the rice planting area. The basic area data need to be updated for every rice growth period upon the availability of TM data.

Three methods are presented to extract the base rice area. They are: (1) visual interpretation with interactive adjusting on the screen; (2) interactive automatic classification with manual eliminating of the non-rice pixels on the screen; (3) automatic classification with GIS overlay and spatial analysis. They can be combined to increase the reliability and the accuracy of rice planting area extraction. The SAVI data profile from NOAA AVHRR are merged into a multi-bands image which is classified for predicting the tendency of the change.

The methods are used to estimate the early rice area in Hubei province of China in 1994. The results are acceptable.

Key words Rice, Area estimation, Remote sensing, Operationalization

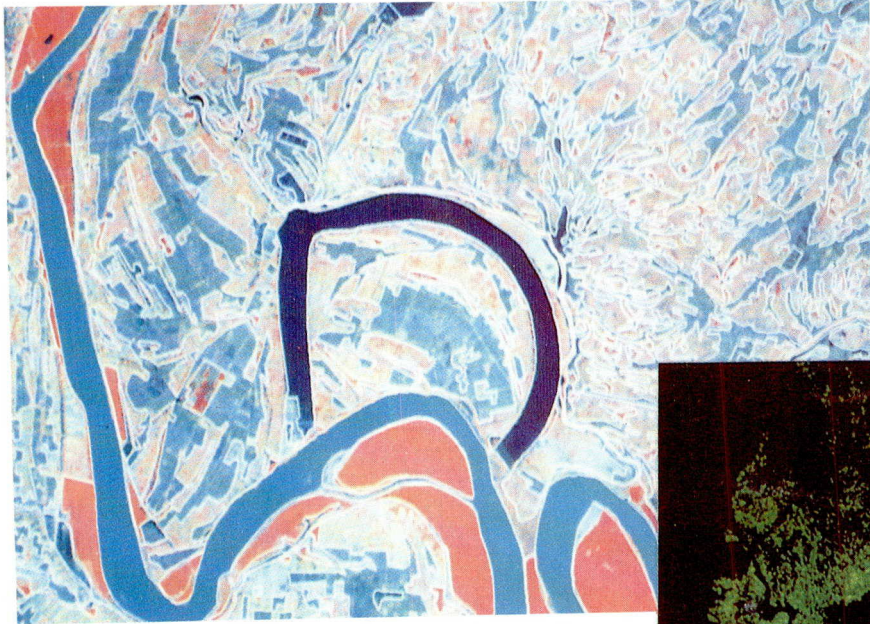


图1 用目视判读法获得的高精度本底数据

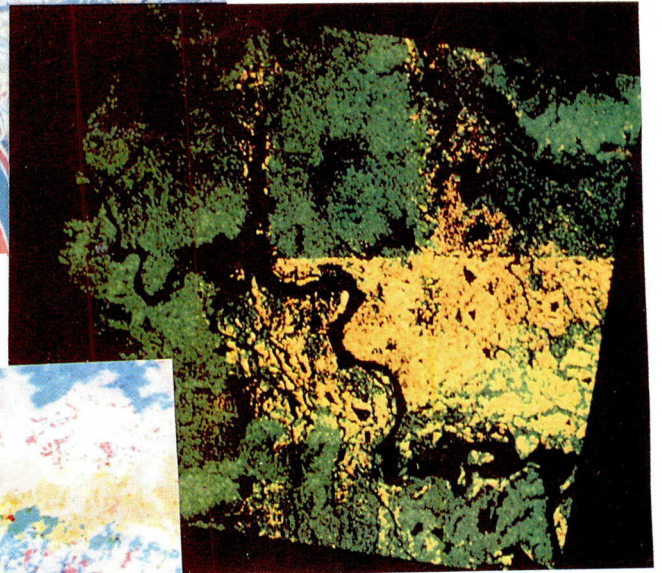


图2 用半自动方法获得的早、中稻
面积分布(黄色为早稻)

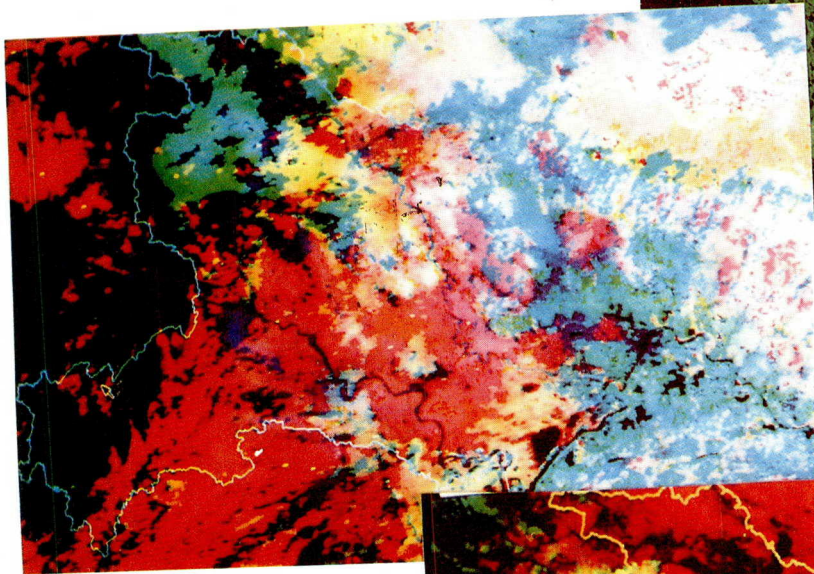


图3 1994年多波段SAVI图象

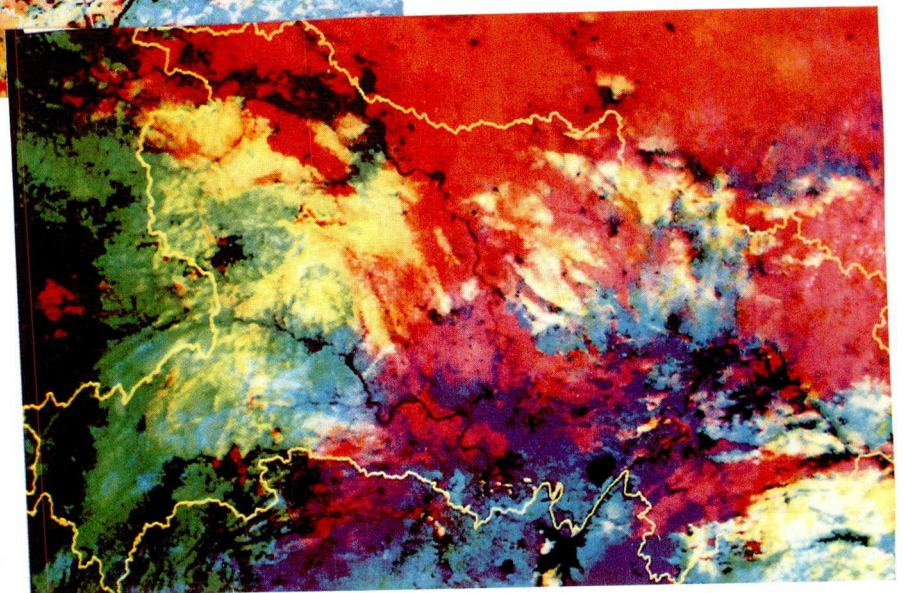


图4 1992年多波段SAVI图象