

文章编号: 0375-5444 (2000) 01-0025-11

全国农情监测与估产的运行化遥感方法

吴炳方

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 农作物遥感估产包括农作物的长势与产量趋势监测及产量的早期预报。在总结 15 年来国内遥感估产成果的基础上, 提出了以充分利用已有成果为基础的全国范围农作物估产运行化遥感方法。建成了 NOAA AVHRR 数据实时预处理系统, 并利用每旬的 AVHRR 最大 NDVI 图像与上年同期数据对比实现全国范围的农作物遥感长势监测。在高精度耕地数据库的支持下, 通过提取不同作物种植成数估算作物种植面积。种植成数可以用 TM 和多时相雷达数据分类以及线样区地面调查得到。通过对几千个已得到广泛应用的农业气象估产模型的评价、筛选、检验或重新标定, 形成农业气象估产模型集。

关键词: 遥感; 农作物估产; 长势监测

中图分类号: X87 **文献标识码:** A

长期以来, 我国一直通过两种渠道监测和预报农业生产状况, 一是按行政单元逐级统计汇总上报, 二是通过遍布全国 800 多个县的农业调查队进行抽样统计。两种方式的时间周期长, 前者受人为因素干扰严重、数据的准确性差, 后者精度高, 但地面工作量大, 费用高。两种方式均难以动态地监测大范围的农作物长势与发展趋势。农作物估产的运行化遥感方法提供了标准的、快速的、费用低廉的农情监测方法。

1 农作物遥感估产的发展

利用遥感进行农作物估产从美国开展冬小麦估产以来已经有 25 年的历史。美国每年投资 8 000 多万美元估计全球农作物产量, 为美国在世界粮食贸易中获益高达 18 亿美元^[1~4]。欧盟通过 MARS 计划, 也成功地建成了欧盟区的农作物估产系统, 并将结果应用于实施欧盟的共同农业政策, 如农业补贴与农民申报核查^[5]。由于欧盟区的大米主要从东南亚地区进口, 为此建成了东南亚地区水稻雷达遥感估产系统, 大量使用 ERS-1/2 雷达遥感数据估算东南亚地区水稻种植面积和产量。

早在 1979 年, 我国就有人关注农作物遥感估产的意义^[1]。从“六五”计划开始, 开展了农作物遥感估产研究^[6~8], 并在区域尺度上开展产量估算试验。1983 年起农业部先后组织北京近郊小麦^[9], 浙江杭嘉湖地区水稻及北方 6 省市小麦遥感估产。1984 年开始, 国家

收稿日期: 1999-11-09; 修订日期: 1999-12-15

基金项目: 中国科学院 95 重大项目 (KZ951-A 1-302-02) 和特别支持项目 (KZ95T-03-02) [Foundation Item: key ninth-five plan project of China Academy of Sciences, No. KZ951-A 1-302-02 and KZ95T-03-02]

作者简介: 吴炳方 (1962-), 男, 工学博士, 研究员, 江西省玉山人, 现主要从事农业与生态环境遥感研究。发表论文 40 多篇。E-mail: Wubf@irsa.irs.ac.cn

气象局组织北方 11 省市开展冬小麦气象卫星遥感综合测产技术研究, 组建了全国冬小麦遥感综合测产地面监测系统, 开展了气象卫星监测冬小麦长势的研究, 建立了不同类型的气象卫星遥感面积测算与估产方法^[10~13]; “八五”期间, 遥感估产成为国家科技攻关内容, 开展小麦、玉米和水稻大面积遥感估产试验研究, 在 1993~1996 年的 4 年间分别对 4 省 2 市(河北、山东、河南、安徽北部和北京市、天津市)的冬小麦, 湖北、江苏和上海市的水稻, 吉林省的玉米种植面积、长势和产量开展监测预报^[3, 14~17]。

从 1983 年到 1998 年的 15 年间, 我国在农作物遥感估产方面从冬小麦单一作物估产^[6, 13]发展到小麦、水稻和玉米等多种农作物遥感估产^[3, 14~17], 从小区到横跨 11 省市的遥感估产^[13]。15 年的遥感估产的重点是方法和机理研究, 包括利用遥感数据估计单一作物的种植面积, 主要采用陆地卫星遥感数据(TM)和气象卫星遥感数据(NOAA AVHRR)^[11, 18~19], 也有采用 TM 快视图像的^[14]。合适时相的 TM 遥感数据可以得到高精度的冬小麦种植面积, 研究表明采用 TM 的差值植被指数分割法得到的冬小麦种植面积的精度可达 96% 以上, 方法简单, 效果也好^[2, 14, 20, 21, 1], 部分原因归功于北方冬小麦种植面积范围大, 生长期内有很长时间没有其它绿色植被, 但阈值的选取直接制约着面积提取精度, 且不同地区、不同时相的阈值不同, 不同年份间的阈值也不同。在我国南方地区冬小麦的种植面积提取就很难利用该方法。在地理信息系统支持下, 利用 TM 提取玉米和水稻种植面积的精度可达 90% 左右^[22~24]。由于 TM 数据费用高, 大面积遥感估产很难承受, 大量的研究试图从几乎免费的 NOAA AVHRR 数据中提取作物种植面积, 如像元分解法等^[25, 26], 但受 AVHRR 数据空间分辨率的影响, 效果并不理想且难以检验; 成数抽样法可同时提取多种作物种植面积^[4, 27], 美国^[28]和欧盟也主要采用面积采样框架方法获得采样单元内的作物种植成数, 前提是掌握采样单元内作物种植面积占土地总面积的成数。

2 全国农作物长势遥感监测

农作物长势监测指对作物的苗情、生长状况及其变化的宏观监测^[13], 主要利用红波段和近红外波段遥感信息, 得到的植被指数(NDVI)与作物的叶面积指数和生物量正相关^[29~33]。作物的叶面积指数是决定作物光合作用速率的重要因子, 叶面积指数越高, 单位面积的作物穗数就越多或作物截获的光合有效辐射就越大^[34, 35]。NDVI 可用于准实时的作物长势监测和产量估计^[5, 31, 33, 36~38]。利用 NDVI 过程曲线, 特别是后期的变化速率预测冬小麦产量的效果很好, 精度较高^[14, 30]。

在作物生长期采用前后两年同期的 NDVI 对比方法监测作物长势(图 1, 2)^[31, 39]。这一简单方法表明作物生长形势及生长阶段可以用作物的叶面积指数和生物量来表示^[34, 40], 监测效果受不同年间的作物种植结构与轮作规律变化的影响, 监测质量取决于数据处理质量^[39, 41]。

用 NOAA AVHRR 三个轨道的数据每天可以覆盖全国 2 次, 白天和晚上各一次, 监测作物长势主要利用白天图像。受云的影响, 一天的 AVHRR 数据得不到全国范围的无云图像, 而是利用连续 10 天的 AVHRR 图像合成每旬一次无云图像, 合成方法采用最大植被指数法^[42]。对每天接收的 AVHRR 数据进行实时处理, 其中的红波段和近红外波段通过辐射标定地面反射率, 3 个热红外波段标定成地面亮温, 几何纠正采用 TLE 卫星轨道数据进行

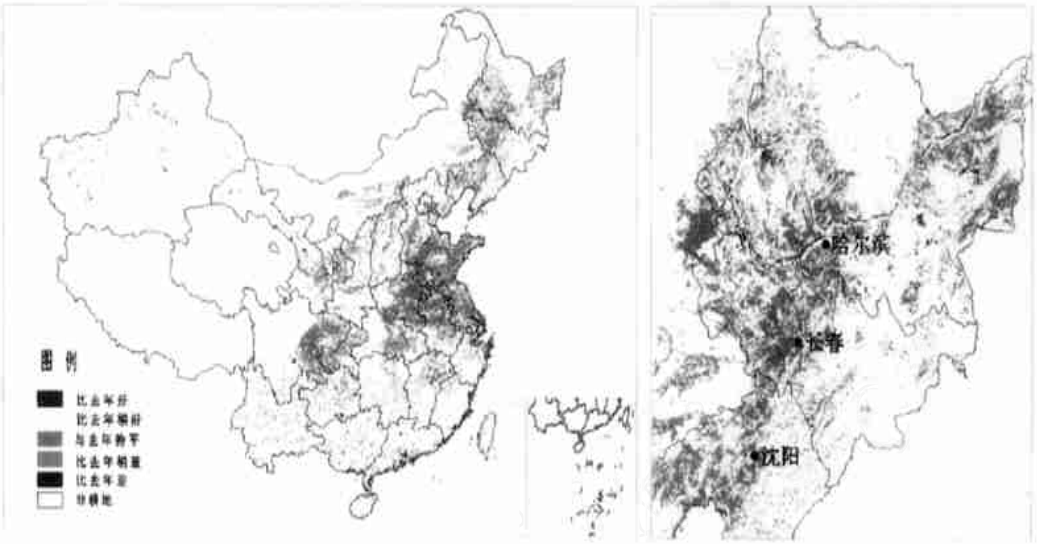


图 1 (a) 1998 年 9 月上旬全国农作物长势监测图, (b) 东北地区放大图
Fig. 1 (a) Crop growth Monitoring of China, Sep. 1st dekad of 1998,
(b) Enlargement of Northeast of China

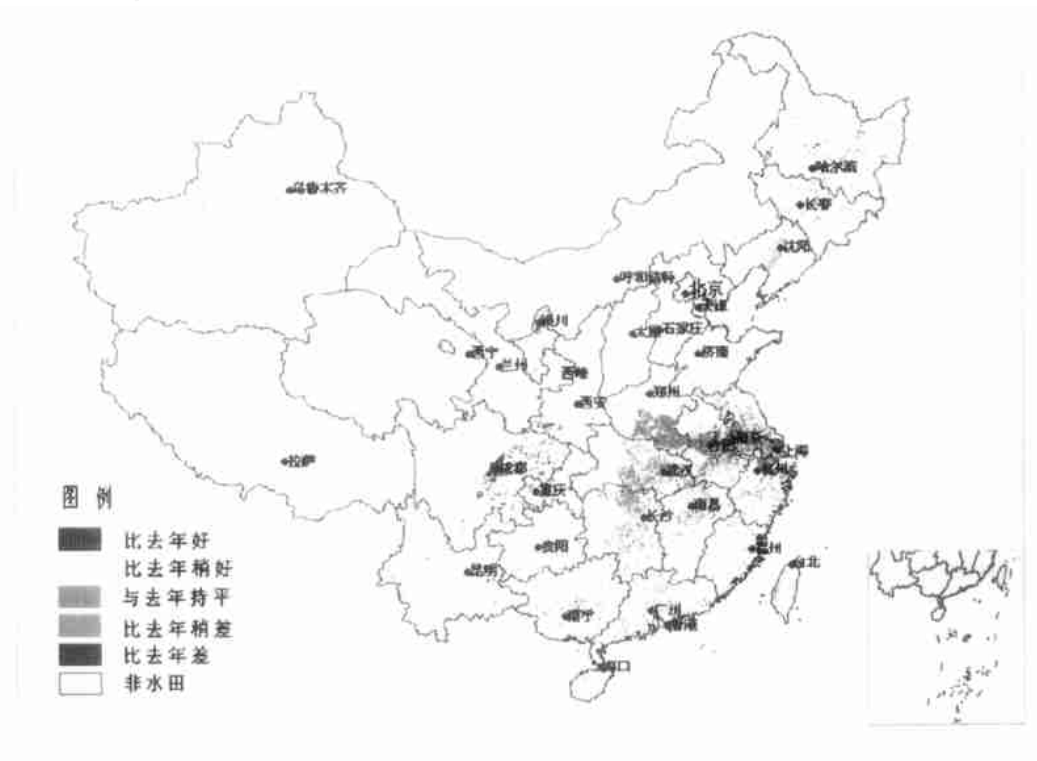


图 2 1999 年 7 月上旬全国水田作物长势监测图
Fig. 2 Paddy rice crop growth monitoring of China 1st dekad of July 1999

纠正, 纠正精度可达亚像元级^[43], 图像噪声采用人机交互方式去除。到旬末, 将旬内处理好的 AVHRR 数据合成全国每旬最大 NDVI 图像。整个处理过程很少需要人工干预^[39, 44]。

得到的每旬最大 NDVI 图像与去年同期的最大 NDVI 图像相比较, 差值图像依差值大小分成 5 类: 差、稍差、持平、稍好和好^[39]。为了突出耕地上的作物长势, 将差值图像与耕地数据相叠加, 从中去除非耕地像元。去除非耕地像元后有二个优点: 一是方便用户在宏观上把握全国范围的作物长势; 二是有利于突出作物信息, 方便与农时历一起解释作物长势。进而还可以将水田作物与旱地作物分开 (图 2)。

图 1 是 1998 年 9 月上旬全国农作物长势图。南方晚稻在 9 月上旬处于分蘖期, 东北地区的大豆处于成熟期, 北方地区的夏玉米处于抽雄期。从图 1 可见, 南方的晚稻和东北地区的大豆长势比 1997 年好, 而黄淮海地区的玉米长势则与 1997 年的同期持平。

1998 年 9 月上旬是长江、松花江和嫩江流域发生大洪水以后的一个月, 从图 1 中的放大部分可见, 沿江有一条兰条带, 表明受洪水淹没的地区作物长势明显比 1997 年差, 但同时也表明, 1998 年的大洪水的影响范围局限在沿江窄小的地带, 未受洪水影响的地区的农作物长势很好。

3 全国主要农作物遥感估产

3.1 遥感估产区划与采样框架

全国各地的自然环境条件、种植结构、轮作规律和产量水平存在着明显而复杂的地区差异。全国遥感估产中的样点布设, 遥感信息源时相的确定、种植面积的提取和产量的估算都必须分区进行, 如按行政区, 或自然环境一致区。因此遥感估产需要在空间上对全国范围进行区划, 得到同质的单元, 在每个区划单元内可以采用相同的遥感估产方法^[3]。根据遥感估产的特点, 区划单元内的种植结构、农时历和产量水平应当大体一致的。

在制定全国范围多种农作物遥感估产区划时, 考虑到水稻、小麦、玉米和大豆 4 种作物的种植结构和产量水平, 分别制定两种区划, 即种植结构区划和产量水平区划。区划采用二层结构, 第一级区划直接采用中国农业综合区划的第一级, 全国分 9 个区, 不包括海洋水产区。

种植结构区划的第二级以农作物种植结构作为主导因子, 得到种植结构相对一致的区划单元, 相对一致是指作物品种间的相对比例一致。对最近几年的作物平均种植面积数据进行标准化处理, 去掉量纲的影响, 然后进行多指标聚类分析, 将 9 个一级区划分成 44 个二级区。种植结构区划主要用于农作物种植面积提取的采样框架布设, 种植成数的应用。

产量水平区划的第二级采用农作物产量作为主导因子进行二级区划, 从而使得每个区划单元的农作物产量相对一致。利用最近几年的作物平均产量进行多指标聚类分析, 将 9 个一级区划分成 39 个二级区。产量水平区划主要用于农作物产量采样框架布设, 确定估产模型的适用区域。

采样框架同样分成两类, 面积采样框架和单产采样框架。单产采样框架采用抽样布点,

在对每个区划单元内进行布点时考虑多种作物的要求, 如监测玉米的样点同样需要监测大豆, 如果相临地块种的是大豆等。

面积采样框架有 3 种功能: 一是检验用遥感提取作物种植面积的精度; 二是获取区划单元内的作物种植成数; 三是提供遥感监督分类用的地面实况数据。面积采样框架由两种类型的采样方式, 点样区和线样区, 点样区与单产采样框架结合布设, 主要是监测样点区的作物种植面积和分布, 并用于检验 TM 等遥感数据的分类精度; 线样区主要是获取作物种植成数, 同时提供遥感监督分类的地面实况数据。在每个类型区内, 选择代表性较好的公路线作为样线, 代表性指公路两侧 200m 范围内的水田和旱地的成数与样线所在的区划单元内的水田和旱地结构通过一致性检验。

3.2 种植面积估计

在 1:10 万全国资源环境数据库中的耕地层数据的支持下^[45], 农作物种植面积的提取变成估算单元内耕地上的农作物的种植成数。根据我国主要作物的农时历以及用户对估产的时间要求, 进行估产的主要农作物有早稻、中稻(一季稻)、晚稻、冬小麦、春小麦、春玉米、夏玉米和大豆等 8 种。我们以 1999 年的早稻为例说明农作物种植面积的提取。

数据源包括 4 帧 TM 数据和 6 帧标准模式的 Radarsat 雷达数据, 覆盖面积 $4 \times 10^5 \text{ km}^2$, 覆盖了江汉平原、洞庭湖平原和鄱阳湖平原的大部分地区, 现场实况数据包括行程 5 000 多 km 拍摄的现场带坐标的图像和沿采样线得到的早稻种植成数。

首先将 TM 或雷达数据与耕地数据库相叠加, 去除非水田像元, 使得进一步的图像处理及分类工作仅针对水田像元进行。然后利用各种成熟的方法从 TM 和雷达数据中提取早稻像元。结果表明利用多时相雷达数据可以很好地提取作物种植面积^[37, 46~48], 从而解决了我国南方地区在水稻生长期间没有遥感数据的问题。

下面的工作是统计分析问题。在 TM 和雷达数据全覆盖的县单元, 早稻种植面积采用分类结果; 在部分覆盖的县单元, 利用覆盖部分的早稻种植成数计算全县的早稻面积; 在没有覆盖的县, 则利用该县所在种植结构区划单元的种植成数计算早稻种植面积。在确定选用成数时, 需要利用线采样得到的种植成数校核, 在对 TM 和雷达数据进行精确分类时, 需要利用线采样结果拍摄的现场图像作为实况资料。表 1 是 1999 年度南方 10 省市分地区的早稻种植面积, 总面积 $656.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

表 1 全国 10 省区早稻播种面积和总产量估产统计表 (日期: 1999 年 7 月 14 日)

Tab. 1 Rice acreage and Production of 10 provinces in China, 1999 14 July

省区	种植面积/hm ²	产量/t	省区	种植面积/hm ²	产量/t
浙江省	718.526	4 154 191	湖南省	1 459.275	8 146 958
安徽省	446.340	2 489 363	广东省	758.948	4 563 313
福建省	320.231	1 923 951	海南省	154.915	914 620
江西省	993.302	5 557 142	广西省	859.220	5 118 619
湖北省	732.337	4 090 480	云南省	124.976	780 067

TM 的分类对于不同地区和不同类型的作物可采用不同的方法。北方冬小麦采用对绿

李强子, 吴炳方, 蔡越红 用于种植成数提取的采样线设计 内部报告, 1999
吴炳方, 张磊, 贾勇 农作物种植面积遥感估算方法 内部报告, 1999

度指数进行图像分割就可以获得理想的结果^[14, 21]；东北玉米采用自动分类方法可以获得好的结果^[16]；南方水稻比较困难，TM 数据最大的自动分类精度最高只能达到 60%，雷达数据的分类精度可达 90% 以上。面积精度检验分两类：一是分类精度检验，利用实验小区，对小区进行详细的野外调查，获得其真值；二是成数检验，利用线样区的采样结果。

3.3 产量估计

影响作物产量的因子有农学参数和环境因子两大类。建立单产估计模型是从这些影响因子中选择一个子集，采用统计方法，建立不同类型的模型，如农业气象模型、农学模型等。复杂一些的模型把作物生长动力模拟作为建模的基础，利用观察数据标定模型参数^[49]，但由于影响作物生长的因素复杂，模型在大范围作物产量估计中精度波动较大。

遥感数据实际上是农学参数和环境因子的综合反映。大量的研究分析了光谱数据与作物的干物质产量、叶面积指数等基本农学参数间的关系，或直接建立光谱数据与作物产量间的关系^[35, 49, 50]。光谱数据的使用又以各种植被指数为主，如绿度值、比值植被指数、NDVI 和 PV I 等^[32, 33, 36, 51, 55]。作物产量构成主要有 3 个要素，即单位面积的作物穗数、平均每穗的粒数和千粒重，穗数主要形成于作物开始生长到抽穗，这段时间的植被指数与叶面积指数数据相关性非常高；粒数主要取决于环境因子，特别是温度；千粒重主要取决于灌浆期的长短，可利用植被指数的衰减速率来表示。从产量 3 要素出发构建的估产模型的精度很高，冬小麦产量估计精度可达 95% 以上^[14]。

表 2 早稻农业气象估产模型
Tab. 2 Agro-meteorological Model for Early Rice

代表站	气象模型	R 值	气象产量 趋势产量 实际估产		
			Y ₁	Y ₂	Y ₁ + Y ₂
荆州	$Y = -161.8544 + 0.4809x_1 - 0.1191x_2$	0.92	- 0.568	378	377.40
颍县	$Y = 4.1280 - 0.0078x_1 - 0.0136x_2$	0.96	- 0.475	372	371.50
杭州	$Y = -254.1231 + 0.6938x_1 - 0.2284x_2$	0.91	- 52.220	423	370.80
修水	$Y = 140.2865 - 0.5219x_1 - 0.0509x_2$	0.85	- 0.009	372	372.00
浦城	$Y = 18.4311 - 0.3953x_1 + 0.0801x_2 - 1.2031x_3$	0.88	16.850	402	418.30
南平	$Y = 9.1561 + 0.4408x_1 - 0.0400x_2 - 0.5091x_3$	0.92	- 4.610	409	404.00
南宁	$Y = 260.3301 + 0.0048x_1 + 0.5960x_2 - 5.8718x_3 - 2.7588x_4 - 0.0693x_5$	0.93	2.935	393	396.00
湛江	$Y = 1919.87 - 13.04x_1 - 15.04x_2 - 36.78x_3 - 20.64x_4$	0.89	47.020	324	371.60
桂平	$Y = -1.5843 + 0.6291x_1 - 1.1370x_2 + 0.3786x_3 - 0.1960x_4$	0.83	- 0.811	394	393.20
汕头	$Y = -227.35 + 1.97x_1 + 0.96x_2 + 0.099x_3 + 6.112x_4$	0.88	- 21.260	418	396.70
桂平	$Y = -276.0704 - 1.8275x_1 - 4.1872x_2 + 0.0329x_3 + 9.3847x_4$	0.89	- 16.995	445	428.00
思南	$y = -31.79 - 0.1647x_1 + 7.7882x_2 + 0.2702x_3 + 5.6083x_4$	0.88	- 24.920	483	458.10
通道	$y = -0.7518 + 0.1303x_1 - 0.0602x_2$	0.94	20.750	318.7	339.50
楚雄	$y = 20.07 + 10.13x_1 - 0.377x_2 + 20.689x_3 + 0.0336x_4$	0.87	- 34.860	509	474.20
成都	$y = -32.67 + 0.0719x_1 + 0.1949x_2$	0.96	- 10.890	431	420.10

估计产量用的遥感数据主要是NOAA AVHRR 数据，其原因在于其时间分辨率高，可以形成作物生长期间的植被指数过程^[32, 40, 56]。由于AVHRR 空间分辨率较低，在田块小作物品种布局比较复杂的地区，植被指数不能完全代表作物的特征，需要纯化作物植被指数

或小心选取有代表性的像元^[41]。

利用光谱数据估算作物产量的精度取决于遥感数据的处理质量, 包括辐射标定、大气纠正和几何纠正^[32, 33]。以AVHRR 数据为主要信息源也制约着估产模型应用于田块小的区域或品种间作套作复杂的作物。因此, 大量的遥感估产模型研究主要是针对冬小麦的。

气象因子与气象产量间的关系非常复杂。针对产量水平区划中每一区划单元内的不同作物选择什么样的模型结构、采用哪些气象因子、如何标定模型参数是个工作量大、知识密集的工作。为此我们收集了全国各地农气专家最近 20 年来开发的几千个气象估产模型, 对每个模型依作物种类和适应区域进行归类, 建成产量水平区划单元内的不同作物气象估产模型集。对模型集内的每个模型根据变量要求进行筛选, 然后对选中的模型进行检验或重新标定模型参数。为了建立全国范围内 8 种作物的气象估产模型, 收集并建成了全国 300 多个气象站点的每日 6 个气象因子数据库。表 2 是不同区划单元的早稻气象估产模型。

根据气象估产模型, 利用区划单元内的气象因子估算每个站点的早稻产量, 然后通过空间插值求得每个县的平均单产, 最终得到每个省的早稻总产(表 1, 图 3), 1999 年 10 省市早稻总产量是 3 774 万 t。

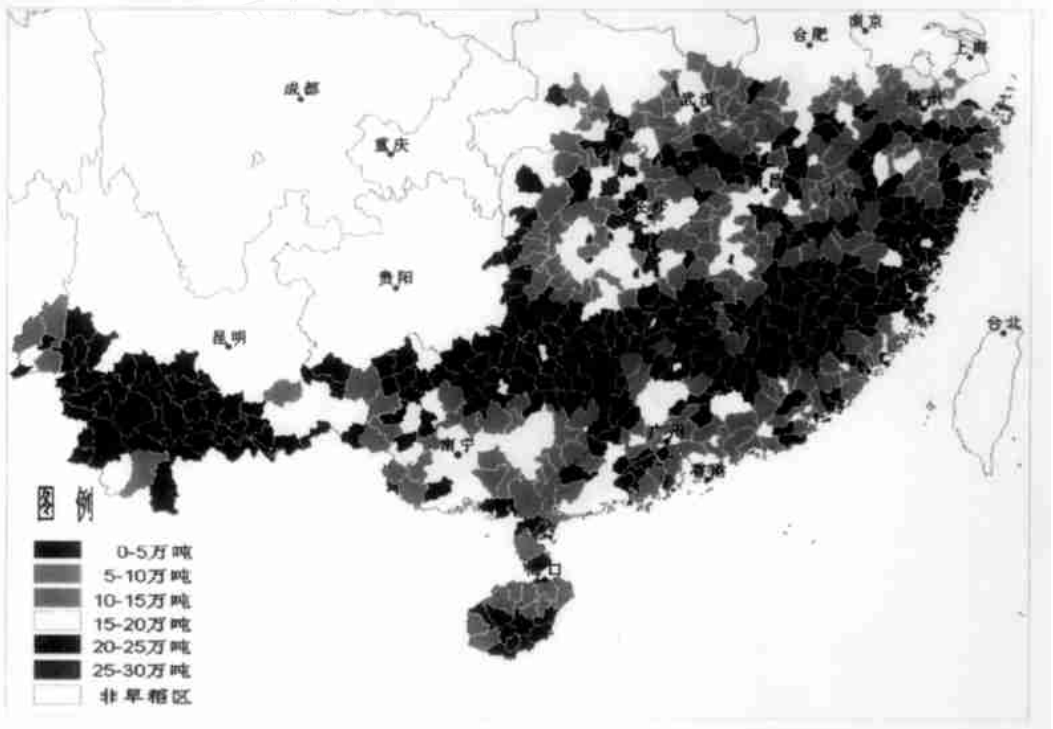


图 3 1999 年华南早稻总产分布图

Fig. 3 Paddy rice yield in South China, 1999

4 结束语

在总结 15 年来国内遥感估产成果的基础上, 提出了以充分利用已有成果为基础的全国

范围农作物遥感估产运行化遥感方法。认为开展实时动态的农作物长势监测与农作物总产量的早期预报同等重要,为此建立了实时的NOAA AVHRR 数据处理系统与农作物长势监测方法,实现了农作物生长期连续不断的按旬长势监测。使得决策者能从宏观角度清晰地把握全国范围的作物长势。

以中国综合农业区划为基础,以水稻、小麦、玉米和大豆的种植结构和产量水平作为区划指标,提出了满足全国范围农作物遥感估产的种植结构区划和产量水平区划,使得估产在种植结构和产量水平均质的单元内进行。

充分利用已有的 1:10 万资源环境数据库中的耕地层数据,将提取农作物种植面积转变成提取耕地内不同作物的种植成数。种植成数可以采用 TM 和多时相雷达影像分类以及线样区地面调查工作得到。作物单产估算则通过对几千个已得到广泛研究和应用的气象估产模型的评价、筛选、检验或重新标定,形成气象估产模型集。

谨以此文庆祝陈述彭先生 80 华诞,1979 年陈述彭先生最先向国内介绍并积极倡导开展农作物遥感估产。

参考文献 (References)

- [1] Chen Shupeng The application of remote sensing in agriculture[A] In: Chen Shupeng Probe of geography (Volume 3) [C] Application of Remote Sensing Beijing: Science Press, 1990 20~ 32 (In Chinese) [陈述彭 遥感在农业科学技术中的应用[A] 见: 陈述彭 著 地学的探索(第三卷)[C] 遥感应用 北京: 科学出版社, 1990 20~ 32]
- [2] Chen Shenbin (ed). Bulletin of wheat, corn and rice yields estimate technique with remote sensing[C] Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993 (In Chinese) [陈沈斌 主编 小麦、玉米和水稻遥感估产技术试验研究文集[C] 北京: 中国科学技术出版社, 1993]
- [3] Sun Jiulin (ed). Crop monitoring and the yield estimating by remote sensing in China[M] Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996 (In Chinese) [孙九林 主编 中国农作物遥感动态监测与估产[M] 北京: 中国科学技术出版社, 1996]
- [4] MacDonald R B, Hall F G Global Crop Forecasting[J] *Science*, 1980, **208**: 670~ 679
- [5] Csormai G et al Operational crop monitoring by remote sensing in Hungary[M] Operational Remote Sensing for Sustainable Development, Nieuwenhuis, Vaughan & Molenaar, 1999
- [6] Hou Xuezheng (ed). Bulletin of winter wheat productivity estimating by remote sensing in Beijing, Tianjin cities and Hebei province [C] Beijing: Beijing Science and Technology Press 1986 (In Chinese) [侯学增 主编 京津冀小麦遥感估产试验研究论文集[C] 北京: 北京科技出版社, 1986]
- [7] Xiang Yueqin et al Rice yield estimating by remote sensing[J] *Remote Sensing of Environment*, 1988, **3**(4): 308~ 316 (In Chinese) [项月琴 等 遥感估算水稻产量[J] 环境遥感, 1988, **3**(4): 308~ 316]
- [8] Tian Guoliang, Xiang Yueqin Rice yield estimating by remote sensing[J] *Remote Sensing of Environment*, 1989, **4**(1): 73~ 80 (In Chinese). [田国良, 项月琴 遥感估算水稻产量[J] 环境遥感, 1989, **4**(1): 73~ 80]
- [9] Xiao Qianguang, Zhou Sisong, Chen Guiying et al To estimate winter wheat yield using meteorological satellite data[J] *Remote Sensing of Environment* 1986, **1**(4): 260~ 269 (In Chinese) [肖乾广, 周嗣松, 陈维英 等 用气象卫星数据对冬小麦进行估产实验[J] 环境遥感, 1986, **1**(4): 260~ 269]
- [10] Xiao Shuzhao, Meng Xian Yue, Zhang Guizong et al The application of NOAA /AVHRR to estimate winter wheat yield in large scale area[J] *Remote Sensing of Environment*, 1988, **3**(3): 299~ 307. (In Chinese) [肖淑昭, 孟宪锐, 张桂宗 等 NOAA /AVHRR 资料在中小尺度地区进行冬小麦估产的应用研究[J] 环境遥感, 1988, **3**(3): 299~ 307]
- [11] Xiao Qianguang The two methods to winter wheat using NOAA AVHRR data[J] *Remote Sensing of Environment*, 1989, **4**(3): 191~ 196 (In Chinese) [肖乾广 用 NOAA 气象卫星的定量资料计算冬小麦种植面积的两方法[J] 环境遥感, 1989, **4**(3): 191~ 196]

- [12] Li Yuzhu The operational system for winter wheat monitoring and production estimating the using satellite remote sensing in North China [J] *Meteorology*, 1992, 18(11): 14~ 16 (In Chinese) [李郁竹 北方冬小麦卫星遥感监测及估产业务系统[J] 气象, 1992, 18(11): 14~ 16]
- [13] Li Yuzhu Winter wheat monitoring and production estimation using meteorological satellite data[M] Beijing: Meteorology Press, 1993 (In Chinese) [李郁竹 冬小麦气象卫星遥感动态监测与估产[M] 北京: 气象出版社, 1993]
- [14] Wang Naibin (ed). Winter wheat monitoring and the yield estimation with by remote sensing in China[M] Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996 (In Chinese) [王乃斌 主编 中国小麦遥感动态监测与估产[M] 北京: 中国科学技术出版社, 1996]
- [15] Zhao Rui (ed). Rice monitoring and the yield estimating with remote sensing in China[M] Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996 (In Chinese) [赵锐 主编 中国水稻遥感动态监测与估产[M] 北京: 中国科学技术出版社, 1996]
- [16] Wan Enpu (ed). Corn monitoring and the yield estimating with remote sensing in China[M] Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996 (In Chinese) [万恩璞 主编 中国玉米遥感动态监测与估产[M] 北京: 中国科学技术出版社, 1996]
- [17] Xu Liya (ed). The integrated system of crop monitoring and the yield estimation with remote sensing in China[M] Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996 (In Chinese) [熊利亚 主编 中国农作物遥感动态监测与估产集成系统[M] 北京: 中国科学技术出版社, 1996]
- [18] Wang Yanyi, Malingreau J P. Feasibility study of using NOAA/AVHRR to monitor the crop's condition in Jiangsu Province[J] *Remote Sensing of Environment*, 1990, 5(3): 221~ 227. (In Chinese) [王延颐, Malingreau J P. 应用NOAA/AVHRR 对江苏省作物监测的可行性研究[J] 环境遥感, 1990, 5(3): 221~ 227.]
- [19] Quamby N A et al Linear mixture modeling applied to AVHRR data for crop area estimation[J] *Int. J. Remote Sensing*, 1992, 13(3): 415~ 425
- [20] Wang Naibin, Qin Ping, Zhou Yingchun et al Machine processing winter wheat area by the pattern recognition technique on TM [J] *Remote Sensing Technique and Application*, 1993, 8(4). (In Chinese) [王乃斌, 覃平, 周迎春 等 应用TM 图像采用模式识别技术自动提取冬小麦播种面积的研究[J] 遥感技术与应用, 1993, 8(4).]
- [21] Wang Naibin, Qin Ping, Zhou Yingchun Study on auto-picking of winter wheat planting area by the model recognition technique using TM images[A] In: Chen Shenbin Study thesis on wheat, corn and rice yields estimate technique[C] Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993 1~ 7. (In Chinese). [王乃斌, 覃平, 周迎春 应用TM 图像采用模式识别技术自动提取冬小麦播种面积的研究[A] 见: 陈沈斌 编 小麦、玉米和水稻遥感估产技术试验研究文集[C] 北京: 中国科学技术出版社, 1993 1~ 7.]
- [22] Wu Binfang A framework to estimate rice area[A] In: Chen Shenbin (ed). Study thesis on wheat, corn and rice yields estimate technique[C] Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993 34~ 38 (In Chinese) [吴炳方 水稻种植面积提取技术设计[A] 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[C] 北京: 中国科学技术出版社, 1993 34~ 38]
- [23] Bo L iqun, Zhang Shuwen, Liu Dianwei et al Images processing and accuracy assesment for corn area extraction with remote sesing [A] In: Chen Shenbin (ed). Study thesis on wheat, corn and rice yields estimate technique[C] Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993 8~ 15 (In Chinese) [薄立群, 张树文, 刘殿伟 玉米遥感中的图像处理和实验效果研究[A] 见: 陈沈斌 主编 小麦和水稻遥感估产技术试验研究文集[C] 北京: 中国科学技术出版社, 1993 8~ 15]
- [24] Wu Binfang The practical methods for rice area extimation using remote sensing[J] *Journal of Remote Sensing*, 1997, 1(1): 58~ 63 (In Chinese) [吴炳方 水稻种植面积估计的运行化遥感方法[J] 遥感学报, 1997, 1(1): 58~ 63]
- [25] Xu Xiru et al The sub-pixel analysis method and its application on large scale winter wheat area estimation[J] *Science Bulletin*, 1990, 35(4): 317~ 320 (In Chinese) [徐希孺 等 混合像元的因子分析方法及其在大面积冬小麦种植面积估算中的应用[J] 科学通报, 1990, 35(4): 317~ 320]
- [26] Xu Xiru (ed). Bulletin on environment monitoring and crop yield estimation with remote sensing[C] Beijing: Beijing University Press, 1991. (In Chinese) [徐希孺 主编 环境监测与作物估产的遥感研究论文集[C] 北京: 北京大学出版社, 1991]
- [27] Qu Baolin, Li Caishun, Cha Zongxiang et al Rice area proportional estimation on TM images[A] In: Xu Xiru (ed). Study thesis on environment monitoring and crop yield estimate by remote sensing[C] Beijing: Beijing University Press, 1991 52~ 55 (In Chinese) [曲宝林, 李彩顺, 查宗祥 等 在TM 图像上进行成数抽样清查水稻种植面积方法的研究[A] 见: 徐希孺 主编 环境监测与作物估产的遥感研究论文集[C] 北京: 北京大学出版社, 1991 52~ 55]

- [28] Chhikara R S, Houston A G, Lundgren J C. Crop acreage estimation using a Landsat based estimator as an auxiliary variable[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1986, GE-24, 155~168
- [29] Wang Yanyi. Rice growth monitoring and the yield estimation with remote sensing in South China[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1991, 6(3): 1~6 (In Chinese) [王延颐. 南方稻区遥感水稻长势监测与估产研究[J]. 遥感技术与应用, 1991, 6(3): 1~6]
- [30] Benedetti Roberto, Paolo Rossini. On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: The case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna[J]. *Remote Sensing. Environment*, 1993, 45: 311~326
- [31] Brown R J, Komporal K D, Pokrant H T et al. Operational Use of AVHRR Data for Vegetation Monitoring in Canada[A]. Proceedings of International Symposium [C]. Operationalization of Remote Sensing. The Netherlands, 1993
- [32] Rasmussen M S. Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from the AVHRR[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1992, 13: 3431~42
- [33] Rasmussen M S. Operational Yield Forecast Using AVHRR NDVI Data: Reduction of Environmental and Inter-annual variability[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(5): 1059~1077.
- [34] Carlson Toby N, David A Rpley. On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index[J]. *Remote Sensing. Environment*, 1997, 62: 241~252
- [35] Patel N K, Singh T P, Sahal B. Spectral response of rice crop and its relation to yield and yield attributes[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1985, 6: 657~664
- [36] Bullock P R. Operational Estimates of Western Canadian Grain Production Using NOAA AVHRR LAC Data[J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1992, 18(4): 23~28
- [37] Le Toan T, F Ribbes, L Wang et al. Fujita, Rice Crop Mapping and Monitoring Using ERS-1 Data Based on Experiment and Modeling Results[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, 35(1): 41~56
- [38] Rasmussen M S. Developing simple, operational, consistent NDVI-vegetation models by applying environmental and climatic information (Part II): Crop yields assessments[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(1): 119~139
- [39] Wu Bingfang. Crop Monitoring of China with AVHRR[A]. Presented at Science Symposium on Space technology for Improving Quality of Life in Developing Countries: A Perspective for the Next Millennium [C]. Delhi, India, Nov., 1999. 15~17.
- [40] Doraiswamy P C, Cook P W. Spring Wheat Yield Assessment Using NOAA AVHRR Data[J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1995, 11(1): 43~51
- [41] Duchem B et al. Potential and limits of NOAA-1 AVHRR temporal composite data for phenology and water stress monitoring of temperate forest ecosystems[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1999, 20(5): 895~917.
- [42] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 11: 1417~34
- [43] Wu Bingfang. The fine correction geometrically to the data of NOAA AVHRR IB[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 9(4): 287~198 (In Chinese) [吴炳方. NOAA AVHRR IB 数据的几何精纠正[J]. 环境遥感, 1994, 9(4): 287~198]
- [44] Philipson W R, Teng W L. Operational Interpretation of AVHRR Vegetation Indices for World Crop Information[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, 54(1): 55~59
- [45] Liu Jiuyan. Study on the Chinese resource and study on macroscopically investigation of resource and environment by remote sensing in China[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996 (In Chinese) [刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996]
- [46] Kurosu T, Fujita M, Chiba K. Monitoring of Rice Crop Growth From Space Using the ERS-1 C-band SAR[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1995, 33(4): 1092~1096
- [47] Liew S C, Kam S, Tuong T et al. Application of Multitemporal ERS-2 Synthetic Aperture Radar in Delineating Rice Cropping Systems in the Mekong River Delta[J]. *Vietnam, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1998, 36(5): 1412~1420
- [48] Shao Y, Liu Hao, Fan Xiangtao et al. Towards Digital Earth[A]. In: Guanhua Xu, Yunfan Chen (ed.). Proceedings of the International Symposium on Digital Earth[C]. Beijing: Science Press, 1999
- [49] Bouman B A M. Linking physical remote sensing models with crop growth simulation models, applied for sugar beet[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1992, 13(14): 2565~2581

- [50] Bernardo Friedrich, Theodor Rudorff, Getulio T. Batista, Yield Estimation of Sugarcane Based on A grometeorological- spectral Models[J]. *Remote Sens Environ*, 1990, **33**: 183~ 192
- [51] Zhang Xiaoyang, Li Rendong, Chen Shijian et al The practical model of estimating rice yield by remote sensing[A]. In: Chen Shenbin (ed). Study thesis on wheat, corn and rice yields estimate technique[C]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993 142~ 150 (In Chinese) [张晓阳, 李仁东, 陈世俭等 水稻遥感单产估算实用化模型[A]. 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[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993 142~ 150]
- [52] Deng Meikun, Li Shishun, Chen Yisong et al Study on forecasting wheat yield estimation dynamically——taking Yucheng county in Shandong province as an example[J]. *Journal of Natural Resource*, 1994, **9**(3): 271~ 279 (In Chinese) [邓坤枚, 李世顺, 陈屹松等 小麦产量的遥感动态预估研究——以山东禹城县为例子[J]. 自然资源学报, 1994, **9**(3): 271~ 279]
- [53] Barnett T L, Thompson D R. The use of large-area spectral data in wheat yield estimation[J]. *Remote Sens Environ*, 1982, **12**: 509~ 518
- [54] Singh R et al Use of satellite spectral data in crop yield estimation surveys[J]. *Int J. Remote Sensing*, 1992, **13**(4): 2583~ 2592
- [55] Tucher C J, Holben B N, Elgin T H et al Relationship of spectral data to grain yield variation[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1980, **46**: 657~ 666
- [56] Quamby N A et al The use of multi-temporal NDV I measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction[J]. *Int J. Remote Sensing*, 1993, **14**(2): 199~ 210
- [57] Anderson G L et al Evaluating Landsat Thematic Mapper Derived Vegetation Indices for Estimating Above-ground Biomass on Semiarid Rangelands[J]. *Remote Sens Environ*, 1993, **45**: 165~ 175
- [58] Gommers Rene. Crop-yield Weather Modeling: Lecture Notes and Exercises[M]. FAO Publications, 1999
- [59] Leprieux C, Kerr Y H, Pichon J M. Critical Assessment of Vegetation Indices From AVHRR in a Semiarid Environment[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, **17**(13): 2549~ 2563
- [60] Merza A et al Crop yield estimation in the Hungarian meteorological service[M]. Operational Remote Sensing for Sustainable Development, Nieuwenhuis, Vaughan & Molenaar (eds). 1999
- [61] Moreira M A, Chen S C, Batista G T. Wheat-area estimation using digital Landsat MSS data and aerial photographs[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, **7**: 1109~ 1120

Operational Remote Sensing Methods for Agricultural Statistics

WU Bing-fang

(Institute of Remote Sensing Application, Beijing 100101)

Abstract: Crop production statistics are of vital importance to a country such as China where the agricultural production is highly susceptible to the vagaries of monsoon and the 75% population is farming activities related. The NOAA AVHRR data are used to monitor the crop growth over the entire country at decade period during growing season from March to October. The acreage under crops are estimated through estimating crop proportions to farming land from remotely sensed data, including TM and Radarsat data, with support from intensive ground surveys. The ground surveys are served both as a ground truth for classification of remotely sensed data and as reference data of accuracy testing. The agrometeorological models are used for yield estimation on every homogenous yield-level zone.

Key words: Crop; Estimation; Acreage; Yield