

水稻单产遥感估测建模研究*

王人潮 王珂 沈掌泉 蒋亨显

(浙江农业大学遥感与信息技术应用研究所 杭州 310029)

朱德峰 蔡体常

(中国水稻研究所 杭州 310006)

摘要 本文系统扼要地总结了统计、气象、农学和光谱等估产模型,以及水稻遥感估产农学机理等主要研究成果,并在建立的多种估产模型中,重点介绍了具有应用前景的光谱估产与水稻生长模拟估产的复合模型。

关键词 水稻遥感估产,遥感估产机理,估产模型

作物估产(含长势监测)历来就是人们十分关注的重要农业信息。中国是水稻生产大国,播种面积和总产量均占世界第一位,而且是南方的主栽高产作物。因此,水稻遥感估产就成为我国和浙江省“六五”、“七五”和“八五”的重大科研项目。“九五”又列为国家卫星应用技术重点项目之一。

水稻单产遥感估测模型是遥感估产的核心内容之一,多年来,都把它列为攻关技术研究。研究结果大致可以归纳为光谱模型和遥感植被指数模型两大类,并向动态模型发展。这些模型虽都在试验过程中获得较好的估测结果,但都存在年间与地区间外推结果的不稳定性,难以全面推广应用。作者考虑到非遥感估产技术有许多成功之处,而卫星遥感估产模型也存在难以克服的困难。因此,作者在统计、气象和农学等估产模型研究的基础上,抓住遥感监测水稻氮素营养水平和群体数量为突破口的水稻遥感估产的农学机理研究,揭示出遥感信息(光谱变量)与水稻产量有密切关系的农学参数之间的相关性,试图在遥感与非遥感复合模型方面获得进展。经过15年的系统研究,建立了多种估产模型和复合模型,取得了一些有意义的结果,其中光谱估产和水稻生长模拟估产的复合模型在水稻遥感估产方面有很大的潜力。

1 水稻非遥感估产模型研究结果

本试验同时开展统计估产、气象估产和农学估

产等3类5种模型研究,其目的是吸取非遥感的优势,探索建立与遥感估产的复合模型。

1.1 统计估产模型¹⁾

以田间调查为基础的抽样统计估产

整个试验根据国家统计局的技术规程和要求进行。估产结果作为其它非遥感估产的检验标准。根据1992—1995年的估产误差计算结果:最大误差早稻为3.0%,晚稻为-2.8%,估产精度是很高的,而且还能实施长势监测预报。但这种估产方法,要求在水稻成熟期前20天左右进行,季节性很强,并受选择田块的代表性影响很大。特别是需要大量的人力、物力和财力,因此大范围全面推广的难度很大,即使推广也难以持久,急需改进。

逐步回归法建立数学统计模型

经过对水稻产量影响因子的分析比较,挑选出6个气候因子和3—4个技术经济因子。经过逐步回归方法建立早、晚稻统计估产模型。根据1975—1986年的估产误差计算结果,除1983年和1985年早稻估产误差分别为6.3%和5.4%以外,其余10年均均在5%以内,估产精度也是比较高的。但这种方法实质是一个气象和技术经济复合的统计估产,它对气象因子依赖性很强,及时提供常有困难,特别是技术经济指标的准确统计难度很大,故1986年以后停止试验。

*国家基金项目、国家和浙江省“八五”科技攻关项目内容之一

1) 建立水稻长势监测及单产预报模型研究(子专题总结)。

收稿日期:1997-06-10;收到修改稿日期:1997-10-23

1.2 气象估产模型¹⁾

气象估产把作物产量(Y)分为趋势产量(Y_t)、气象产量(Y_w)和随机产量(ΔY)3个部分,其中 ΔY 除特大灾害年需要修正外,一般忽略不计。

Y_t 的预测

经过8年和10年调和权重、3年和5年滑动平均、Logistic曲线、一元线性回归、分段模拟、曲线模拟等多种统计方法,对试验区的早、晚稻产量进行了趋势处理,并结合历史上的农业生产情况进行分析比较结果:早稻的 Y_t 采用十年调和权重处理;晚稻的 Y_t 采用五年滑动平均法处理,最后进行随机项(ΔY)订正的效果比较好。

Y_w 预报模型

经过早、晚稻产量丰欠的气候关键期和主导气候因子的相关普查和相关系数的稳定性检验等,明确4月上旬的日较差,4月中旬至6月中旬的降雨量和4月下旬和6月下旬的日照对早稻产量影响最大;对晚稻产量影响最大的是6月下旬雨日,8月上旬至10月上旬的降雨量,9月下旬至10月中旬的光积温。早、晚稻均经相关回归分析建立预报模型。

早、晚稻预报模型于1989—1995年对试验区的估测结果,早晚稻的估产误差均在5%以内,估产精度也是高的。但这种估产模型受区域和农业技术经济条件影响比较大,特别是缺乏水稻长势监测。

1.3 农学估产模型

穗粒结构估产模型的修正²⁾

穗粒结构模型受抽样误差影响很大,估产精度极不稳定。作者在Cobb-Douglas修正模型的基础上,采用线性模型方式加以修正,其结果较好。经过1992、1993和1994三年的应用,单产估测的相对误差均在10%以下。如果能建立规范化的采样技术,并随着资料的积累和样本建模数的增加,其估产精度和稳定性也会提高,估计可能控制在 $\pm 5\%$ 范围以内,但需大面积采样推广难度很大。

水稻生长模拟模型

回归模型预报农作物单产的共性是外推效果不好,影响其实用性。近年来,有通过作物生长模拟来建立估产模型,这是国内外农学界作物估产研究的热点和发展趋势,并已取得了很好的效果。当前最有代表性的是Kropff. M. F于1992年提出的ORYZAI

水稻生长模拟模型。作者试图在该模型基础上,研究与遥感信息相结合的复合模型(见本文4)。

2 水稻遥感估产农学机理研究

2.1 光谱差异的显著性测定与敏感波段选择¹⁾

以人为方式造成水稻严重缺氮(N0)、缺氮(N1)、氮适中(N2)、氮过多(N3)和氮严重过多(N4)5个等级。经过盆栽与田间试验,多次获得重复性很好的不同氮素水平之间具有规律的明显差异的光谱

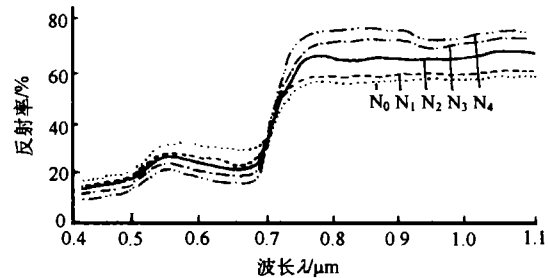


图1 不同氮素水平冠层的光谱反射特性
(1989,晚稻盆栽,分蘖盛期,平均值)

Fig. 1 Canopy reflectance spectra of different nitrogen levels (Tilling stage of the second rice from pot experiment in 1989)

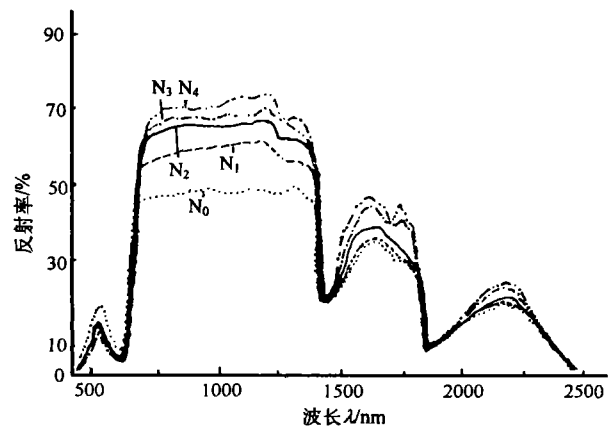


图2 不同氮素水平稻株的光谱反射特性
(1989,早稻盆栽,孕穗期)

Fig. 2 Rice plant reflectance spectra of different nitrogen levels (Boot stage from pot experiment in 1989)

特征曲线(图1和图2为二个典型材料)。经过分析找到了诊断(或区分)氮素营养水平的敏感波段。

研究采用相邻两样本的平均数差异的显著性检验法,即对N0:N1, N1:N2, N2:N3, N3:N4进行光谱的 t 检验。冠层光谱和叶片光谱分析均取得很好的

1) 水稻遥感估产试验区早、晚稻气象估产模式(待发表)。

2) 水稻单产估计的穗粒结构模型及其应用(待发表)

结果。其中各有 3 个波段达到极显著或显著差异水平。经过处理,冠层光谱敏感波段选为 760—900nm(*IR*)、630—690nm(*R*)和 520—550nm(*G*);叶片选为 760—900nm(*IR*)、630—660nm(*R*)和 530—560nm(*G*)。这 3 个波段大致与 TM4、TM3 和 TM2 相当,可以匹配应用。

2.2 农学参数与光谱变量的相关分析及其最佳参数的选择^[2,3]

找到与农学参数之间相关性最佳的光谱变量是实施水稻长势遥感监测与估产的关键。作者通过试验区的土壤有效氮含量(*N_s*)、稻株含氮量(*N_p*)、叶绿素含量(*Chl*)、叶面积指数(*LAI*)、氮肥用量(*NA*)、叶片含氮量(*N1*)等与水稻产量有关的农学参数之间的相关分析。选出具有代表性的 *LAI*、*N1* 和 *Chl3* 个主要农学参数,与选用的绿色波段(*G*)、近红外波段(*IR*)、绿度(*IR/G*)、差值植被指数(*DI*)、比值植被指数(*RVI*)和归一化植被指数(*NDVI*)等光谱变量之间进行相关性分析。明确 *LAI*、*Chl*、*N1*、*N_p* 与 *RVI*、*NDVI*、绿度等均存在着高度相关性。最后选出 *RVI*、*NDVI* 和绿度作为监测农学参数的最佳光谱变量,其中特别是 *RVI*、*NDVI* 与 *LAI* 的相关性,无论是早稻或晚稻、盆栽或大田栽培、不同品种的各个生育期均达到极显著水平(表 1)。因此,用 *RVI* 和 *NDVI* 可以较准确地算出 *LAI*,故可认为由此建立的农学

光谱模式,是遥感监测水稻长势的最佳模式。另外作者还进行了 *N1*、*Chl*、*LAI* 与光谱变量的综合分析,明确了 *N1*、*Chl* 和 *LAI* 影响水稻各个生育期产生光谱变异的作用。其结果完全符合农学原理,为水稻长势遥感监测与估产提供了理论依据。

3 光谱估产模型

3.1 供建模用的试验数据的可靠性测定^[3]

根据农学估产原理对试验所获得的实收产量和构成产量因子(穗粒重)进行差异显著性检验和多重比较分析,其结果完全符合一般农学原理。证明试验获得的数据是可靠的,用这些产量及其结构数据建立单产光谱试验模式是可行的。

3.2 光谱估产试验模式^[4,5]

单个生育期的光谱估产模式

根据多年的盆栽和田间试验所提供的资料,经过农学参数、光谱变量与籽实产量之间相关分析和不同类型曲线的拟合处理,以一元二次曲线拟合的相关系数最高。光谱估产试验模式为:

$$Y_{(\text{产量})} = A + B(RVI) + C(RVI)^2 \quad (1)$$

方程(1)中的系数请参见表 2,表 3,其中表 2 是晚稻盆栽结果;表 3 是早稻田间实验结果。

表 1 *LAI* 与光谱变量的相关系数
Table 1 Correlation coefficients between *LAI* and spectral variables

| 试验类型 | 生育期 | 相关分析类型 | <i>RVI</i> | <i>DI</i> | <i>NDVI</i> | <i>IR</i> |
|--------|------|---------------|------------|-----------|-------------|-----------|
| 早稻盆栽 | 分蘖盛期 | <i>LAI</i> | 0.8942** | 0.9843** | 0.9857** | 0.9554** |
| | | ln <i>LAI</i> | 0.9794** | 0.9887** | 0.9701** | 0.9867** |
| | 孕穗期 | <i>LAI</i> | 0.9912** | 0.9611** | 0.9944** | 0.7874 |
| | | ln <i>LAI</i> | 0.9521** | 0.9643** | 0.9775** | 0.9548** |
| 晚稻盆栽 | 分蘖盛期 | <i>LAI</i> | 0.9235** | 0.8230** | 0.9084** | 0.8095* |
| | | ln <i>LAI</i> | 0.9553** | 0.8766** | 0.9509** | 0.7711 |
| | 孕穗期 | <i>LAI</i> | 0.9331** | 0.8598* | 0.8989** | 0.8224* |
| | | ln <i>LAI</i> | 0.9443** | 0.9000** | 0.9501** | 0.8612* |
| | 抽穗期 | <i>LAI</i> | 0.9601** | 0.8864** | 0.9244** | 0.9233** |
| | | ln <i>LAI</i> | 0.9740** | 0.7865** | 0.9570** | 0.6433** |
| 晚稻大田试验 | 分蘖盛期 | <i>LAI</i> | 0.9079** | 0.9474** | 0.9079** | 0.9529** |
| | | ln <i>LAI</i> | 0.9374** | 0.9641** | 0.9103** | 0.9659** |
| | 孕穗期 | <i>LAI</i> | 0.8531** | 0.8607** | 0.9054** | 0.8645** |
| | | ln <i>LAI</i> | 0.9191** | 0.8523** | 0.9551** | 0.8393* |
| | 抽穗期 | <i>LAI</i> | 0.9922** | 0.7339* | 0.9847** | 0.7081 |
| | | ln <i>LAI</i> | 0.9732** | 0.8246* | 0.9904** | 0.8028* |
| | 灌浆期 | <i>LAI</i> | 0.8857** | 0.4231 | 0.8869** | 0.6460 |
| | | ln <i>LAI</i> | 0.9118** | 0.6412 | 0.9141** | 0.6544 |

表 2 RVI 与晚稻产量 3 个生育期拟合方程的 A 、 B 、 C 和 r 值(盆栽试验)

Table 2 Equation 1 coefficients of the regression analysis between RVI and rice yield (pot experiment during the period from 1 Aug. to 31 Oct.)

| 生育期 | A | B | C | r |
|------|---------|--------|--------|----------|
| 分蘖盛期 | -187.39 | 199.69 | -26.32 | 0.9233** |
| 孕穗期 | -547.11 | 356.16 | -43.35 | 0.9807** |
| 抽穗期 | -453.25 | 307.86 | -37.43 | 0.9859** |

表 3 RVI 与早稻产量 3 个生育时期拟合方程的 A 、 B 、 C 和 r 值(大田栽培)

Table 3 Equation 1 coefficients of the regression analysis between RVI and early rice yield (Field experiment during the period from 1 May to 31 July)

| 生育期 | A | B | C | r |
|------|--------|-------|--------|--------|
| 分蘖盛期 | 287.2 | 39.0 | -2.11 | 0.5991 |
| 孕穗期 | 32.52 | 57.87 | -1.922 | 0.6785 |
| 抽穗期 | -12.01 | 33.94 | -17.33 | 0.7514 |

从表 2 和表 3 中可以看出:盆栽与大田试验有很大不同。前者的相关系数(r),3 个生育期均达到极显著水平,而后者均未达到显著水平。但相关系数均有随生育期的推后有所提高。用 1989 年的模式,估测 1990 年的产量,孕穗期和灌浆期 23 个点的平均误差分别为 11.18% 和 17.89%,最高误差分别为 30% 和 28.16%,说明单个生育期的光谱估产的精度和稳定性均不高。

多个生育期复合光谱估产模式

用大田栽培的 2 个和 3 个生育期复合建模结果(表 4),从表 4 中可以看出,多个生育期复合建模回归的相关系数明显提高,均达到显著或极显著水平。其中又以 3 个生育期复合的相关系数最高。用 1989 年的复合光谱估产模式估测 1990 年的产量,16 个点的平均误差在 4.63%—8.57% 之间,最高误差达到 -22.12%。虽与单个生育期光谱估产的

表 4 多生育期的 RVI 与实产的复合回归分析
Table 4 Multiple regression analysis between RVI and yield

| 生育期组合 | 复合回归方程 | 相关系数 |
|--------------|--|----------|
| 分蘖盛期 孕穗期 | $Y=274.4-47.74RVI_{分}+42.16RVI_{孕}$ | 0.9718** |
| 分蘖盛期 灌浆期 | $Y=264.5-4.291RVI_{分}+24.91RVI_{灌}$ | 0.7855** |
| 孕穗期 灌浆期 | $Y=305.4-1.163RVI_{孕}+18.18RVI_{灌}$ | 0.7546* |
| 分蘖盛期 孕穗期 灌浆期 | $Y=246.1-45.04RVI_{分}+38.01RVI_{孕}+6.980RVI_{灌}$ | 0.9793** |

1) 水稻作物气候产量预报模型(YLDMOD)研究(待发表)

精度有所提高,但仍不稳定。说明光谱估产模型,如果没有经过年间或地区间的修正,是难以推广应用的。

4 光谱估产和作物生长模拟估产的复合模型

上述光谱估产模式属统计回归模型,其回归系数随着作物生长状况、环境条件和农艺技术的不同而变化。因此,根据试验资料建模的相关系数有时可以相当高,但外推应用的稳定性不高。为此,作者引进作物生长模拟模型与光谱估产复合建成水稻作物气候产量预报模型,取得了较为理想的初步结果。

4.1 水稻作物气候产量预报模型¹⁾

近年来国外已研制建立了多种水稻生长过程模型,如 ORYZAI, CERES—RICE 和 SIMRIW 等。但这类模型需要大量的田间试验观测和取样分析来确定模型参数,这给应用带来了很大困难。为此,作者试图研究一个能与光谱信息相结合的,而模型参数又比较简单易得的水稻模拟估产模型。经研究提出了一个水稻作物气候产量预报模型(YLDMOD)。

建立 YLDMOD 基础试验⁶⁾

作者首先选用由 Kropff 等提出的 ORYZAI 水稻生长模拟模型,通过田间试验、水稻生长模拟技术,评价与光谱变量相关性最好的叶面积指数(LAI)及稻叶含氮量(N1)对水稻产量形成的影响(表 5)。从表 5

表 5 模拟产量与实际产量比较
Table 5 The comparison of simulated and actual rice yield (kg/hm^2)

| 项目 | 实验处理 | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | N0 | N1 | N2 | N3 | N4 |
| 实际产量 | 6319.5 | 6651.0 | 6928.5 | 7216.5 | 6679.5 |
| 模拟产量 | 6576.0 | 6588.0 | 6760.5 | 7173.0 | 7222.5 |
| 误差/% | +4.1 | -0.9 | -2.4 | -0.6 | +8.1 |

中可以看出, N1 ($93.75\text{kg}/\text{hm}^2$)、N2 ($187.50\text{kg}/\text{hm}^2$) 和 N3 ($281.2\text{kg}/\text{hm}^2$) 的模拟产量精度很高,而 N0(不施氮肥),因严重缺氮,生长失态,误差为 4.1%,比较大; N4 ($357.00\text{kg}/\text{hm}^2$) 因氮严重过多,水稻生长后期病害较严重,误差高达 8.1%^[7],证明在水稻正常生长情况下采用生长模拟模型估产是可行的。

建立 YLDMOD 模型的基本原理

水稻作物气候产量预报模型是根据水稻物候学

发育、叶面积动态、干物质生产和籽实产量形成等模拟而成的。

物候学发育 在水稻一生中,最重要的物候学变化为营养生长期转到生殖生长期,这一转变决定器官之间物质重新分配,许多生理和形态过程都随植株发育而变化。因此,准确模拟物候学发育在作物生长的模拟模型中是重要的。业已证明温度是影响发育速率的主要因子之一,并已观测到作物发育存在“三基温”,即基温、适温和最高温。据现有研究结果表明,典型水稻“三基温”分别为 8℃、30℃ 和 42℃,当然这一值也因品种不同而有些变化。最后,根据水稻光周期反应和物候学发育,把水稻整个生长期划分为基本营养生长期、光周期敏感期、穗形成期和籽粒灌浆期等 4 个时期,并分别确定其发育速率常数和建立相应的推算模式。

叶面积动态 叶面积是作物光合作用制造干物质的主要场所。因此,准确获得叶面积指数(LAI)在作物生长模拟模型中也是十分重要的。目前对模型中的叶面积增长过程,一般采用 3 种计算方法:①定期实测叶面积,这种方法受取样的影响极大;②通过线性内插得到叶面积动态;③利用实测叶面积值校正模拟获得叶面积动态。叶面积动态变化是 YLDMOD 的重要模型参数。

干物质生产 干物质生产决定群体辐射吸收量和光能利用率,前者主要受叶面积指数的影响,而后者主要受冠层吸收太阳辐射,经光合作用转化率的影响。干物质生产总量(DWT)可根据下式计算:

$$DWT = \int_{\text{播种期}}^{\text{成熟期}} C_s \cdot s \cdot dt$$

式中 C_s 为吸收的辐射转换为生物量的转换率, s 为每天冠层吸收的总光合辐射量。

产量形成 作物产量根据成熟期作物干物质质量和收获指数计算:

$$Yield = DWT \cdot HI / 0.86$$

式中 $Yield$ 为籽粒产量, DWT 为成熟期作物干物质质量, HI 为收获指数, 0.86 为籽粒水分换算系数。

YLDMOD 的结构

YLDMOD 是在 ORYZAI 模型的基础上,综合其它模型并简化研制而成的。它是一个以生理为基础的动态模型,可以模拟水稻发育、生长和产量形成(图 3)。这个模型可用光谱变量与 LAI 的相关模式求得的 LAI,作为模型参数,估计水稻单产。

4.2 YLDMOD 模型的应用结果与讨论

应用结果

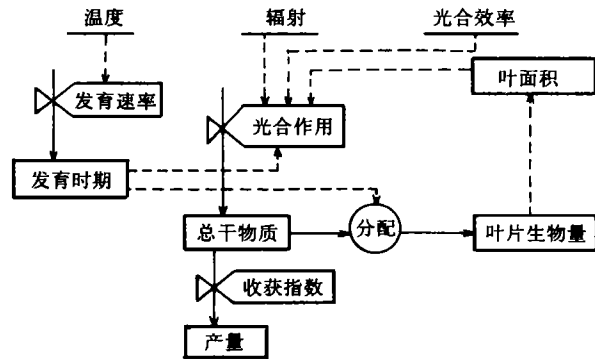


图 3 模型(YLDMOD)结构图

Fig. 3 The structure of YLDMOD

长方形表示状态变量,阀门表示速率,圆表示中间变量,下划线表示驱动变量或其它外界变量,实线表示物质流,虚线表示信息流。

YLDMOD 模型是一个以水稻生长模拟为基础的估产模型。因此,不仅可以预报单产,而且可以监测水稻长势;既可测报小面积的单产,也可估测大面积的单产。

试验采用 YLDMOD 模拟水稻生育期、叶面积生物量和产量。其中 LAI 模拟参数采用实测的 LAI,即通过建立的 $LAI = A + B(RVI)$ 模型求得。对不同品种和不同氮素水平的水稻田间试验,进行模拟估产。其结果是估产误差变幅在 7.2%—8.7% 之间,平均估产误差为 1.1%(表 6),说明效果是好的。

表 6 LAI 在 YLDMOD 中模拟估产结果

Table 6 The result of yield estimation with YLDMOD

| 品 种 | N用量 / kg/ hm ² | 模拟产量 / kg/ hm ² | 实际产量 / kg/ hm ² | 误 差 % |
|------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|
| IR72 | 0 | 5754 | 6308 | -8.7 |
| | 75 | 6789 | 6332 | 7.2 |
| | 180 | 6938 | 6943 | -0.1 |
| 特三矮 | 0 | 6661 | 6315 | 5.5 |
| | 75 | 7650 | 7576 | 1.0 |
| | 180 | 7768 | 7634 | 1.8 |
| 平 均 | | 6927 | 6851 | 1.1 |

讨论

YLDMOD 是一个由气象估产、农学估产和遥感光谱估产 3 种技术集成的水稻长势监测与估产模型。因此,具有气象与农学结合的水稻物候学发育优点,即具有物质生产与分配,及其产量形成的生物规律的农学基础;同时又可利用遥感技术,即通过光谱变量分析获得 LAI、NI 和 Chi 等与产量十分密切的农学参数,可以大大减少田间观察记载的工作量,有利于 YLDMOD 对水稻估产的实现。但是,YLDMOD 研究还是初步的,需要进一步研究充实与提高,例如用

遥感技术估测的 *LAI*、*NI* 和 *Chl* 等在模型中的全面应用, 特别是从 Landsat 的 TM 资料和 NOAA 的 AVHRR 资料中提供的光谱信息, 如能在 YLDMOD 模型中直接应用, 其使用意义与价值就更大, 有待开发应用。

参 考 文 献

- 1 王人潮, 陈铭臻, 蒋亨显. 水稻遥感估产农学机理研究-I. 不同氮素水平的光谱特征及其敏感波段选择. 浙江农业大学学报, 1993, 19(增刊): 7—14.
- 2 王人潮, 陈铭臻, 蒋亨显. 水稻遥感估产农学机理研究-II. 农学参数与光谱变量的相关分析. 浙江农业大学学报, 1993, 19(增刊): 15—22.
- 3 王人潮, 陈铭臻, 蒋亨显. 水稻遥感估产农学机理研究-III. 从产量结构分析建立单产农学光谱试验模式. 浙江农业大学学报, 1993, 19(增刊): 23—29.
- 4 王珂, 蒋亨显, 王人潮. 建立大田早稻农学光谱估产模式研究初报. 浙江农业大学学报, 1993, 19(增刊): 66—72.
- 5 蒋亨显, 王珂, 王人潮. 建立大田晚稻农学光谱估产模式研究初报. 浙江农业大学学报, 1993, 19(增刊): 73—77.
- 6 Kropff M. J., Van Laar H. H., Ten Berge H. F. M. ORYZAI a basic model for irrigated rice production. IRRI, Philippines, 1993, 89.
- 7 朱德峰, 谢美贤, 蔡体常. 用水稻叶片含氮量及叶面积指数建立估产模式的探讨. 浙江农业大学学报, 1993, 19(增刊): 78—82.

作 者 简 介

王人潮, 男, 1931年5月出生, 教授。1957年毕业于南京农学院土壤农化系, 现从事农业遥感与信息技术应用研究。已发表论文和专著 120 余篇(本)。

A Study on Modeling of Rice Yield Estimation by Remote Sensing

Wang Renchao Wang Ke Shen Zhangquan Jiang Hengxian

(Institute of Agricultural Remote Sensing and Information System Application Zhejiang Agricultural University, Hangzhou 310029)

Zhu Defeng Cai Tichang

(China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006)

Abstract Various models of rice yield estimation using statistics, meteorology, agronomy and remote sensing are briefly summerised. The comprehensive models in combination of spectro-agronomy and rice growth simulation are introduced and discussed in detail.

Key words Rice yield estimation, Agronomical mechanism, Model