

# 我国双季早稻产量的变化规律和预报方法

张 宇      赵四强  
(国家气象局气象科学研究所)

## 提 要

本文根据我国双季稻主产区南方10省(市)双季早稻的产量和面积资料,分析了我国双季早稻生产的地区分布和产量变化规律。应用模糊聚类方法,将我国10个双季早稻生产省(市)分为四个区;根据谐波分析,认为我国双季早稻产量的变化有明显的准两年及其倍数周期;应用积分回归方法,分析了影响我国双季早稻生产的关键气象因子。我们在产量预报业务化试验期间,应用周期分析、环流模式、温度降水模式及专家系统等多种方法预报双季早稻产量,得到了较好的预报效果。

## 一、我国双季早稻的生产概况和特征

### 1. 生产概况和产量变化趋势

长江流域及其以南地区,水热资源丰富,是我国双季早稻(以下简称早稻)种植区。根据1987年统计资料,全国早稻总产占粮食总产的11.8%,占全国稻谷总产的27.4%,是

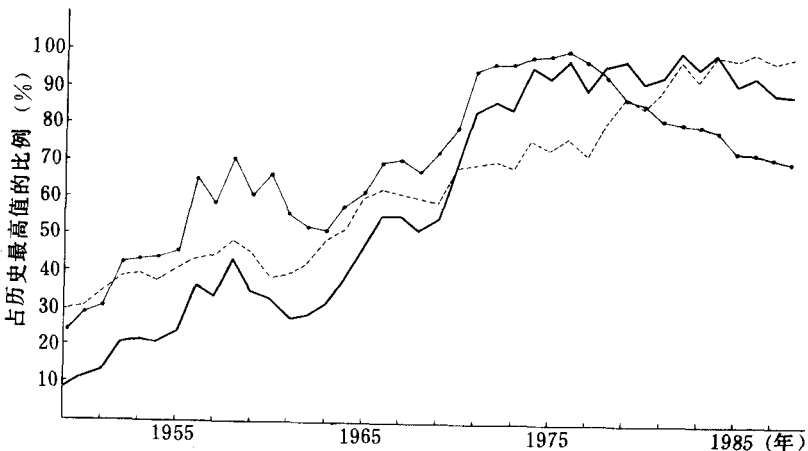


图1 我国早稻单产、总产和面积的变化 (点线单产,实线总产,点折线面积)

我国主要粮食作物之一。早稻生产主要集中分布于湖南、广东、江西、广西、浙江和福建，湖北、安徽、江苏和上海次之。

全国早稻单产、总产和面积的变化趋势如图 1 所示。建国以后单产呈持续上升趋势，种植面积波动较大，1949—1958 年种植面积增长迅速，1958—1963 年则连续下降，之后又逐年上升，1976 年种植面积最大，80 年代开始又逐年减少。种植面积的变化主要与农业政策、种植制度和品种更换有关。总产的变化取决于单产和面积的变化。

## 2. 早稻生产水平的地区分布

用调和权重法<sup>[1]</sup>(调和步长为 5 年)，将各省(市)的早稻单产(社会产量)分解为趋势产量和气象产量。气象产量的计算公式为：

$$Y_w(t) = \frac{Y(t) - Y_T(t)}{Y_T(t)} \times 100\% \quad (1)$$

其中， $Y(t)$ 和 $Y_T(t)$ 分别为 $t$ 年的社会产量和趋势产量，单位为 $\text{kg}/10^4\text{m}^2$ ， $Y_w(t)$ 为气象产量，是一百分数。在产量分解的基础上，分别计算各省(市)1970—1988 年趋势产量和气象产量的平均值( $\bar{Y}_T$ 和 $\bar{Y}_w$ )，表示各省(市)的平均生产水平。

$$\bar{Y}_T = \frac{1}{19} \sum_{t=70}^{88} Y_T(t) \quad (2)$$

$$\bar{Y}_w = \frac{1}{19} \sum_{t=70}^{88} Y_w(t) \quad (3)$$

根据各省(市)的平均趋势产量，可将全国早稻种植区的生产水平分为高产、中产和低产三类；平均气象产量 $\bar{Y}_w$ 表示波动的大小，根据其值的大小，又可将全国早稻种植区分为稳产区、比较稳产区和不稳产区三类(表 1)。

表 1 我国早稻生产水平和产量稳定性分区

生产水平	高产区 $\bar{Y}_T \geq 5100$	中产区 $5100 > \bar{Y}_T \geq 4200$	低产区 $\bar{Y}_T < 4200$
	上海、浙江	江苏、安徽 湖北、湖南	江西、福建 广东、广西
稳定性	稳产区 $\bar{Y}_w \leq 3\%$	比较稳产区 $3\% < \bar{Y}_w \leq 5\%$	不稳产区 $\bar{Y}_w > 5\%$
	湖南、广东、 广西	江苏、浙江、福建 江西、湖北	上海、安徽

注： $\bar{Y}_T$ 单位为 $\text{kg}/10^4\text{m}^2$

## 3. 早稻产量变化的地区分布

我国早稻种植的地域分布较广，早稻生育期内气象条件有明显的差异，有必要进行分区预报。为此，根据早稻气象产量变化的一致性进行分区，在分区建模预报的基础上，就可以预报全国早稻产量。为了充分利用现有资料和保证相关计算的稳定性，分别用 10 省(市)1961—1986 年早稻气象产量和 9 省(市)1952—1986 年早稻气象产量(江苏除外)进

行模糊聚类分析<sup>[2]</sup>,综合考虑两次计算结果及地域分布的完整性,将全国早稻种植区划分为 4 个区(表 2),并以 1987 年的资料为例,给出了各区早稻种植面积占全国早稻面积的比例。

表 2 早稻气象产量变化一致性分区

分区	江南区	华南区	长江下游	福建区
省(市)	湖北、湖南、江西	广东、广西	上海、江苏、浙江、安徽	福建
占全国早稻面积(%)	43.6	30.4	18.7	6.4

## 二、早稻气象产量的周期性变化规律

由于气候变化的周期性,在其影响下,作物产量,特别是经过分解后的早稻气象产量,也具有周期性变化特征。这对于了解产量的变化规律和进行早期产量预测有重要意义。为此对各省(市)早稻气象产量进行了谐波分析:

$$a_{\tau} = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N Y_w(t) \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{\tau}(t-1)\right] \quad (4)$$

$$b_{\tau} = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N Y_w(t) \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{\tau}(t-1)\right] \quad (5)$$

$$A_{\tau} = a_{\tau}^2 + b_{\tau}^2 \quad (6)$$

式中, $N$  为早稻气象产量序列的样本数; $\tau$  为周期长度,单位为年; $A_{\tau}$  表示周期为  $\tau$  的波对应振幅的平方,其大小表示周期为  $\tau$  的波在产量序列中的明显程度。 $\tau$  从 1 开始,以 0.1 为步长,逐个普查各波长对应的  $A_{\tau}$  值,分析各省(市)产量序列的周期。 $A_{\tau}$  值的大小取决于产量序列周期变化的明显程度,也与序列本身的波动大小有关。为了比较各省(市)早稻气象产量的周期分布特征,对  $A_{\tau}$  值进行标准化处理:

$$A'_{\tau} = A_{\tau} \cdot \frac{100}{A_{\tau\max}} \quad (7)$$

式中, $A_{\tau\max}$  为序列中的最大  $A_{\tau}$  值。表 3 为各省(市)早稻气象产量序列的  $A_{\tau\max}$  和  $A'_{\tau}$ ,可见,

表 3 早稻气象产量的  $A_{\tau\max}$  和  $A'_{\tau}$

省(市)	$A_{\tau\max}$	准两年及其倍数周期					
		$\tau$	$A'_{\tau}$	$\tau$	$A'_{\tau}$	$\tau$	$A'_{\tau}$
上海	13.3	1.6	80.5	3.2	100.0	4.4	46.6
江苏	9.8	1.6	78.6	3.3	95.1	3.9	100.0
安徽	3.8	2.2	93.4	3.5	100.0	4.0	82.4
浙江	13.6	1.7	50.0	3.4	100.0	3.9	100.0
福建	10.5	1.7	30.5	2.7	31.4	4.2	100.0
江西	3.3	2.2	78.8	3.3	69.7	4.6	100.0
湖北	26.9	1.7	73.2	3.4	100.0	3.8	79.2
湖南	8.5	2.2	97.6	3.4	100.0	3.9	89.2
广东	3.5	1.4	94.3	3.1	68.6	4.3	100.0
广西	4.8	1.4	100.0	3.1	41.7	4.4	100.0

各省(市)早稻气象产量具有明显的准两年及其倍数周期,准三年周期也比较明显。这一结果与近年来国内外的有关研究结论是一致的。例如,1980年 Walsh 等人在分析美国的地面气压、气温和降水要素中,发现存在着明显的准两年周期<sup>[3]</sup>;王绍武和黄嘉佑等人在研究了长江流域旱涝和降水时,也发现了同样的规律<sup>[4]</sup>;林学椿在北半球 500 hPa 3—5 年周期的初步研究一文中指出,月平均气象要素有 3—5 年周期变化<sup>[5]</sup>。

### 三、早稻气象产量与温度、降水的关系

用各区气象产量和本区平均温度( $T$ )、降水( $R$ )以及降水与温度之比( $R/T$ )进行积分回归,分析温度和降水与早稻各生育阶段的关系。各区平均温度和降水是本区内各省(市)气象台各旬温度和降水的平均,资料为 1953—1986 年 2 月中旬到 7 月中旬,共 16 个时段(以旬为单位),对各旬温度和降水分别进行标准化处理:

$$U_i = (u_i - \bar{u}) / \sqrt{\sum_{j=1}^N (u_j - \bar{u})^2 / N} \quad (8)$$

其中, $u_i, u_j$  为某旬第  $i, j$  年的  $T, R$  或  $R/T, \bar{u}$  为该要素对应旬的多年平均值, $U_i$  为标准化后的值。

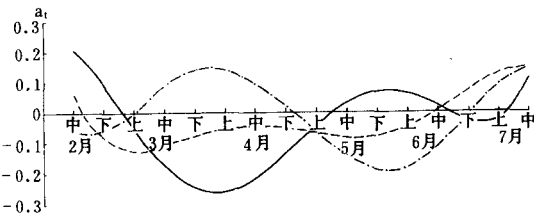


图2 全国早稻气象产量与  $T, R$  和  $R/T$  积分回归的  $a_i$  值变化曲线  
(实线  $T$ , 虚线  $R$ , 点虚线  $R/T$ )

积分回归计算的  $a_i$  值表示了某一时段、某一要素  $U$  变化一个单位对产量的影响。图 2 为全国早稻气象产量与  $T, R$  和  $R/T$  的  $a_i$  值变化曲线。可见,从全国来看,温度变化比降水对早稻的影响要大。6 月中旬以前,多雨不利于早稻高产,这主要是由于这段时间雨带维持,降水一般较多。之后雨带北移,降水减少,不能完全满足早稻生长的需要,其  $a_i$  值为正。不同时段,温度对产量的影响是不同的,3 至 4 月其  $a_i$  值为正,即低温阴雨不利于水稻的移栽、活棵和分蘖;5 至 6 月  $R/T$  的  $a_i$  值为负,即高温少雨,更有利于拔节、孕穗、开花期的旺盛生长;7 月通常为梅雨过后的伏旱天气, $R/T$  的  $a_i$  值为正,即温度较低、降水偏多有利于水稻的灌浆成熟。

根据对各区气象产量的积分回归分析(图略)得到,江南和长江下游区与降水关系密切,而华南、福建则与温度关系更密切。长江下游在抽穗之前,温度和降水的影响都不太明

表 4 有利于早稻高产的气象条件

地 区	条 件	播种—移栽		移栽—拔节		拔节—成熟	
		温度	降水	温度	降水	温度	降水
长江下游						偏低	偏多
江 南		偏低	偏少				偏多
华 南		偏低		偏高		偏高	
福 建		偏低		偏高		偏高	

显,灌浆成熟期正值伏旱,高温少雨不利于早稻的灌浆成熟。温度对华南和福建的影响较大,2至4月温度偏低有利,之后则偏高更有利,江南基本介于长江下游和华南区之间,表4为各区明显有利于早稻高产的温度、降水因子。

#### 四、全国早稻单产的预报方法

根据全国农业气象产量预报业务化试验的要求以及早稻产量的变化规律,我们用高空环流因子、地面气象要素、产量序列的自身变化规律和专家系统等方法,综合预报全国范围早稻气象产量。

1. 环流模式 北半球 500 hPa 月平均高度场混合多项式展开参数  $A_{ij}$ 、 $B_{ij}$ 、 $AB_{ij}$  和  $\Phi_{ij}$  浓缩了展开范围内大气环流特征<sup>[6]</sup>,与早稻气象产量相关分析和稳定性检验结果表明,可以用于建模预报,模型为

$$\hat{Y} = \hat{Y}_T + C_0 + \sum_{k=1}^n C_k X_k \quad (9)$$

式中,  $C_0$ 、 $C_k$  为回归系数,  $X_k$  为  $A_{ij}$ 、 $B_{ij}$ 、 $AB_{ij}$  和  $\Phi_{ij}$ ,  $n$  为入选的因子个数,趋势产量  $\hat{Y}_T$  用调和权重法外推。建模资料为 1950 年开始的北半球 500 hPa 月平均高度场混合展开参数 ( $i=0, 1, 2, 3$ , 为车比雪夫多项式阶数;  $j=0, 1, 2, 3, 4$ , 表示一个纬圈内正弦波和余弦波的波数, 4 个参数共有 80 个候选因子)。

2. 温度降水模式 选择气象资料序列长(1951 年开始)且有代表性的站点 25 个,分区计算每个区历年逐旬平均气温( $T$ )和降水( $R$ ),对  $T$ 、 $R$ 、 $R/T$  进行不同时段连续组合,与全国早稻气象产量进行相关分析和稳定性检验后,用逐步回归建立全国早稻产量的温度降水模式。其模型与(9)式相同。亦可用各区气象站点温度降水资料,分区建立早稻产量模式,由分区预报值按面积加权平均得到全国早稻产量。

3. 根据早稻气象产量的周期变化规律进行预报 全国及各区早稻气象产量均有准两年及其倍数周期,因此可用三角函数拟合计算:

$$\hat{Y} = \hat{Y}_T + a_0 + \sum_{i=1}^n \{a_i \cos[\frac{2\pi}{\tau_i}(t-1)] + b_i \sin[\frac{2\pi}{\tau_i}(t-1)]\} \quad (10)$$

式中,  $\hat{Y}$  和  $\hat{Y}_T$  为预测的社会产量与趋势产量,  $a_i$ 、 $b_i$  分别为对应周期  $\tau_i$  的系数,由(4)、(5)式计算得到,  $a_0$  为一系数。同样,亦可在分区预报的基础上预报全国产量。

4. 全国早稻产量预报专家系统 利用专家系统建造工具 EXSYS 建立了我国早稻产量预报专家系统,将水稻的生育过程分为 5 个阶段,考虑到作物与环境条件的相互作用,进行分级推理,同时也考虑了灾害因子的影响。目前有 350 多条规则,分 5 个等级(丰、偏丰、平、偏欠、欠)预报产量年型。环境条件的输入主要取自全国农业气象旬(月)报。图 3 为全国早稻产量预报专家系统知识库的结构框图。

上述每种方法都是从一定的侧面对产量进行预测,在实际预报业务中,要根据上述多种预报方法的计算结果进行综合、集成。具体来说,以每种预报方法的历史拟合值与实际值的单相关系数作为权重系数,将各种方法的预报结果进行加权平均,得到最终预测值。在预报时效上,也注意到每种模式的特点,早期预测以周期分析方法和环流模式为主,后

期再增加温度降水模式和专家系统预报方法。1987、1988、1989年全国早稻单产实测值分别为5100、5115、5160 kg/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>，预报值分别为5085、5100、5130 kg/10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>，预报丰欠趋势正确，误差均小于0.6%。

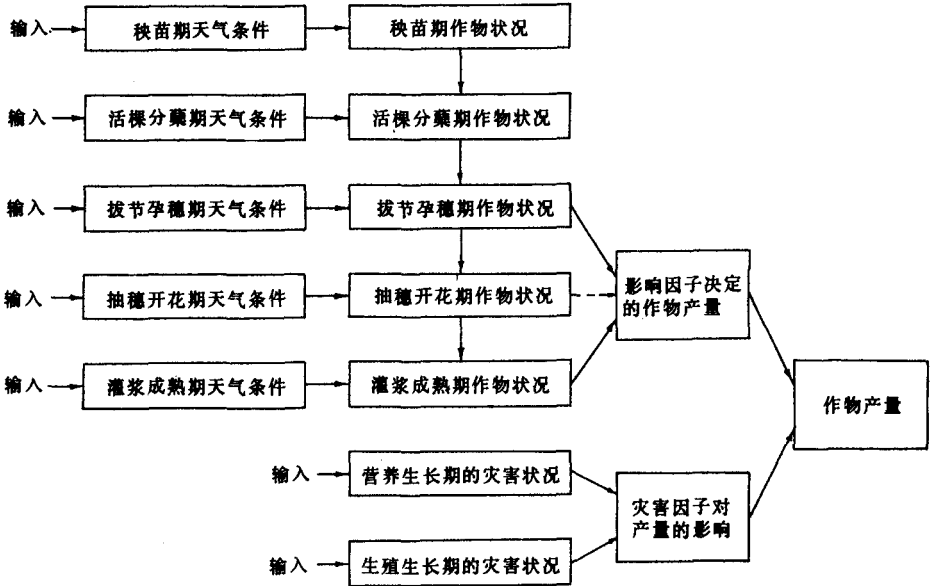


图3 早稻产量预报专家系统知识库结构

## 五、结束语

几年的全国粮食产量预报业务化试验实践证明，作物产量预报是一项综合技术，它要求我们对作物的地区分布、生产特点、历史变化趋势以及与环境条件的关系等有一全面的认识。预报时不能仅依赖于某一统计模式，应采用多种方法，综合考虑各种有关信息，才能得到较好的预报效果。本文给出的全国早稻产量预报方法，仍需在今后的业务预报实践中进一步改进和完善；我们对早稻产量变化规律的认识，也应进一步深入，以提高产量预报准确率，使产量预报产生更好的社会效益和经济效益。

## 参 考 文 献

- [1] 王书裕，作物产量的预报方法，气象学报，41，3，1984。
- [2] 王復棠，产量预报方法研究，农业气象预报文集，气象出版社，1983年。
- [3] Walsh, J. E. and A. Mostek, A quantitative analysis of meteorological anomaly patterns over the United States, 1900—1977, *Mon. Wea. Rev.*, 108, 615—630, 1980.
- [4] 黄嘉佑，准两年周期在我国月降水量中的表现，气象学报，46，3，1988。
- [5] 林学椿，北半球500hPa 3—5年周期的初步研究，应用气象学报，1，1，1990。
- [6] 赵四强等，500hPa月平均纬带谱参数在产量预报中的应用，气象，14，7，1988。

## EVOLUTION OF THE EARLY RICE YIELD IN CHINA AND ITS PREDICTION METHODS

Zhang Yu      Zhao Siqiang

(*Academy of Meteorological Science, SMA*)

### Abstract

Based on the data of yield and planting area of early rice from ten provinces of China, the spatial distribution and historical variation of early rice production were analyzed. By using fuzzy classification method, the planting areas of ten provinces (city) can be divided into four parts. According to the harmonic analysis, the quasi-biennial fluctuation and its multiple periods were found; and the influences of temperature and precipitation on early rice yield were analyzed by use of regression integral method. During the period of experimental yield prediction operations from 1987 to 1990, the better results were obtained by synthesizing the methods of the harmonic analysis, atmospheric model, temperature-precipitation model and experts system.

---

### 下 期 要 目

- 由卫星测值反演大气参数的一种新方法
- 若干声雷达回波图象的分析
- 夜间城市大气边界层和气溶胶的相互作用
- 梅雨锋上暴雨云团活动个例分析
- 气候与上海蔬菜均衡供应的优化规划
- 冬季北太平洋爆发性气旋的天气气候特征
- 海洋气象导航数据库