

# 早稻的农业气象条件评判模型

杨星卫\* 李湘阁 简慰民

## 提 要

本文利用模糊聚类方法对早稻各生育时段农业气象条件进行分类;并用一组农业气象模式,在计算机上作各种组合条件下的早稻生长状况和产量模拟试验;构造影响指数 $C_0$ 和 $C$ 作为农业气象条件定量评估的依据;通过计算机终端输出早稻生长状况和产量动态监测结果,提供农业气象信息服务和早稻生产决策方案。此外,还用决策分析方法讨论了上海早稻适宜的栽插密度。

现代化农业气象服务系统即农业气象信息系统,实质是由电话线连接的一个计算机网络。它自动为终端用户提供各种实时、高效的农业气象咨询服务。无疑,建立这样的系统是农业气象服务的一个发展方向。国外在这方面已做了不少工作,我国由于农业气象观测资料的增多,微计算机的普及和应用,人们开始研制适用于现代化农业气象服务系统的数据库和各类专用计算机程序<sup>[1,2]</sup>,开始考虑组建我国现代化农业气象服务系统的问题\*\*。

本文试图通过组建早稻农业气象条件评判模型,使其成为早稻生长发育和产量形成的动态监测系统,直接为农业部门和生产者提供决策信息,从而改变事后进行农业气象条件评价的状况,探索建造现代化农业气象服务系统的路子。

早稻的农业气象条件评判模型主要由三部分组成:早稻各生育时段生长状况和产量的农业气象模式;农业气象条件评判标准;一套便于资料加工处理、人机对话和向用户提供农业气象信息服务的计算机程序。其功能是:模拟各种农业气象条件下早稻各生育时段生长状况和产量;评估早稻各生育时段农业气象条件的优劣;提供不同农业气象条件下的早稻生产决策方案;分时段预测早稻生长状况和产量,逐渐逼近实际情况。显而易见,核心问题是评判标准的确立,因评判标准是描写农业气象条件对早稻生产影响过程和影响结果的依据,它能否真实反映作物生长和产量形成对农业气象条件的响应,直接关系到评判结果的质量。而刻画早稻各生育时段生长状况和产量形成的农业气象模式

1987年8月17日收到,10月28日收到修改稿

\*我院农业气象大专班1987年毕业,现在上海台风研究所工作

\*\*李湘阁,关于组建我国现代化农业气象服务系统的构想,待发表

则是评判模型的基础,有了这些模式才能模拟早稻生长状况和产量、确定评判标准、输入近实时气象资料和有关数据作出生长状况和产量预测。

## 一、模 式

吴元中根据上海市1973—1982年早稻大田观测的平均单产、穗粒结构、分蘖动态资料和有关的气象资料,利用统计和差分外推的方法,建立了早稻产量预报模式<sup>\*</sup>。其基本思想是把早稻看作一个开放性的、有机的动态群体,它对外界给予的信息,不断地通过自身的生长发育和群体调节作出响应;各产量构成要素的形成基本符合种群密度增长的logistic阻滞方程。本文涉及的农业气象模式是该模式的分解。为使输出的结果更接近目前早稻的生产水平,避免由于模拟试验输入的各种数据超出建立各子模式时所用资料范围而引起某些生物学意义的矛盾(如在千粒重增大、空瘪率降低情况下出现产量下降),我们对吴氏模式作了一些修改。分述如下:

### 1. 分蘖高峰前总茎蘖数子模式

$$F = 21.19 + 0.5620f_1 + 0.0575x_1 + 0.0735x_2$$

$$(R = 0.55^{**}, S_r = 4.6)$$

其中 $F$ 为总茎蘖数(万株/亩); $f_1$ 为6月6日第一次考苗的苗数(万株/亩); $x_1$ 和 $x_2$ 为返青—分蘖高峰期间 $[10^{\circ}\text{C}, 29^{\circ}\text{C}]$ 的有效积温(度·日)和逐日日照时数距平累积值(小时)。此式表明基本苗数多,光温条件优越,有利于早稻的早发。

### 2. 有效穗数子模式

$$N_i = [N_{i-1} + 10(aN_{i-1} + bN_{i-1}^2 + cN_{i-1}Z_k)] \\ - [9.21 - 0.7729 \times 10^{-1}x_3 + 1.9568 \times 10^{-1}f_2]$$

$$(R = 0.787^{*}, S_r = 3.0)$$

其中 $i=1, \dots, n$ 为时段序号; $n = \sum t / 10$ ,  $\sum t$ 为整个穗发育期 $[10^{\circ}\text{C}, 29^{\circ}\text{C}]$ 的有效积温(度·日),10为差分外推的积温步长; $N_i$ 和 $N_{i-1}$ 为第 $i$ 和第 $i-1$ 时段的有效穗数(万穗/亩); $Z_k$ 为总粒数增长趋势,可通过计算求得; $x_3$ 为幼穗开始分化至二次枝梗分化期或颖花分化期至抽穗期 $[10^{\circ}\text{C}, 29^{\circ}\text{C}]$ 的有效积温(度·日);当幼穗开始分化至二次枝梗分化期, $a = -16.159.3347 \times 10^{-6}$ ,  $b = 214.2422 \times 10^{-6}$ ,  $c = 13.4473 \times 10^{-6}$ ,当颖花分化期至抽穗期, $a = 1.150.4835 \times 10^{-6}$ ,  $b = -15.0703 \times 10^{-6}$ ,  $c = -1.7421 \times 10^{-6}$ ;  $f_2$ 为分蘖高峰期苗数(万株/亩),它由该模式中第一大项, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 系数取幼穗开始分化至二次枝梗分化期数值外推得出; $R$ 是该式线性化后的复相关系数。显然,该式第一大项反映了群体自身的制约,第二大项说明热量条件好则有效穗数多。

### 3. 总粒数子模式

<sup>\*</sup>吴元中,上海市早稻产量气象预测预报研究,中国粮食产量气象预报研究,待发表

$$Z = a \{ e^{-[a x_4 - 6.0285 \times 10^{-4} (20 - N_0)^2]} + 118.0677915 \times 10^{-4} - b \}^{-1} \\ - \{ 34.8301 \times 10^{-1} x_5 + 159.61 e^{-9.0403 \times 10^{-1} x_6} - 173.84 + \Delta_1 \} \\ (R=0.745^{**}, S_r=71)$$

其中Z为总粒数(粒/亩);  $x_4$ 和 $x_5$ 为幼穗分化至抽穗期间[10℃, 29℃]的有效积温和距平值(度·日);  $x_6$ 为幼穗分化始期至减数分裂期日照时数、降雨量和蒸发量各距百分率之和乘以100, 而降雨量距平值取其相反数参加计算;  $\Delta_1$ 为异常天气订正系数, 其值取决于幼穗分化始期至减数分裂期的气象要素异常情况

$$\Delta_1 = \begin{cases} 100 & (\text{日最低气温} \leq 16.5^\circ\text{C} \text{ 或雨量少于平均值, 雨日} \geq 16 \text{ 天}) \\ 80 & (\text{日平均气温} > 28^\circ\text{C} \text{ 的天数} \geq 3 \text{ 天}) \\ 0 & (\text{不出现上述情况}) \end{cases}$$

系数 $a=5.0203862 \times 10^{-6}$ ,  $b=-1.0447 \times 10^{-6}$ ; R的含义同有效穗数子模式;  $N_0$ 为栽插时基本苗数(万株/亩)。此式第一大项为 $Z_k$ , 反映了总粒数随积温和基本苗数变化的趋势。第二大项是对第一大项的气象修正; 当气温偏低时, 穗分化时间延长有利于总粒数增加; 而日照和蒸发量为正距平, 雨量为负距平, 则使光合产物积累多, 无效分蘖得到控制也有利于总粒数增加。

#### 4. 空瘪率子模式

$$Q = 17.4045 + 2.2149 \times 10^{-1} x_7 + 0.8675 \times 10^{-2} x_8 \\ (R=0.9838^{**}, S_r=1.01)$$

其中Q为空瘪率(%);  $x_7$ 为穗发育期低温危害和开花灌浆期高温危害的累积量;  $x_8$ 为弱光累积量, 间接地反映了梅雨天气、纹枯病等对空瘪率的影响。它们的值由下面两式决定

$$x_7 = \begin{cases} \sum_{g=1}^{n_1} (22 - \overline{T_g}) + \sum_{g=k}^{n_2} (\overline{T_g} - 29) & \text{当}(22 - \overline{T_g}) \text{ 和 } (\overline{T_g} - 29) \geq 0 \text{ 时} \\ 0 & \text{当}(22 - \overline{T_g}) \text{ 或 } (\overline{T_g} - 29) < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

$$x_8 = \begin{cases} \sum_{g=u}^{n_2} (10.66 - R_g) & \text{当}(10.66 - R_g) \geq 0 \text{ 时} \\ 0 & \text{当}(10.66 - R_g) < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

$\overline{T_g}$ 和 $R_g$ 分别为第g日的平均气温(℃)和总辐射量(焦耳/米<sup>2</sup>); j、k、 $n_1$ 、 $n_2$ 、u分别为穗分化始期、减数分裂盛期、减数分裂期、灌浆结束期、抽穗期。

#### 5. 千粒重子模式

$$W = 35.28 - 0.8384 \times 10^{-2} Z + 0.6056 \times 10^{-2} x_9 \\ (R=0.822^*, S_r=0.746)$$

其中 $W$ 为千粒重(克/千粒);  $Z$ 为总粒数; 而

$$x_g = \sum_{g=1}^{m_1} [Q_{pg}/(T_H - 22)_g] - \sum_{g=1}^{m_2} [Q_{pg}/(T_H - 22)_g]$$

$Q_{pg}$ 和 $T_H$ 为第 $g$ 日有效光合辐射和最高气温;  $m_1$ 和 $m_2$ 为灌浆一成熟期日最高气温小于和大于等于 $36.0^\circ\text{C}$ 的天数。此式反映, 总粒数越多, 越不利千粒重增加。有效光合辐射越大且高温危害越小, 越有利千粒重增加。

#### 6. 产量子模式

$$y = N \cdot Z' \cdot Q' \cdot W / 100$$

其中 $y$ 为早稻单产(公斤/亩);  $N$ 为有效穗数(万穗/亩);  $Z' = Z/N$ 为每穗粒数(粒/穗);  $Q' = 1 - Q$ 为结实率(%);  $W$ 为千粒重(克/千粒);  $1/100$ 是单位换算系数。

## 二、模拟试验

分析上述农业气象模式可知, 影响早稻产量的变量仅归结为栽插密度和农业气象条件两类。这是由于这些模式是针对上海早稻大田生产的平均状况而组建的, 在假定满足上海当前早稻大田生产力水平的条件下, 培栽技术、品种等因素的影响可以忽略不计的缘故。若依上海早稻栽培的实际情况, 把密度分为20、24、28(万株/亩)三个档次, 再把早稻生育期划分为形成总茎蘖数、有效穗数、总粒数、结实率和千粒重五个时段, 且令每个时段的农业气象条件为I、II、III三个类型, 则共有 $3^6 = 729$ 种组合, 如图1所示。利用早稻生长状况和产量子模式, 输入不同的组合数据, 通过计算机模拟即可得到不同的生长状况和729种产量。

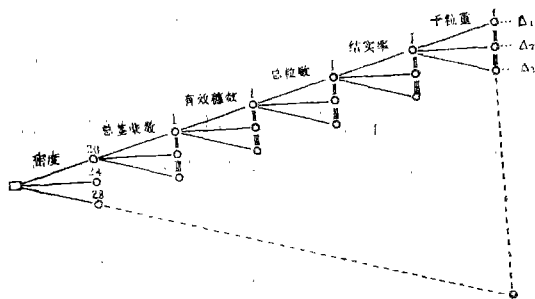


图1 模拟试验组合示意图

□——组合结点; ○——状态结点; Δ——产量

关于早稻各生育时段农业气象条件类型的划分, 采用模糊聚类分析方法<sup>[3]</sup>。首先, 将各子模式含有的气象因子进行标准化处理, 消除量纲的影响; 然后确定各生育时段气象因子的隶属度, 如分蘖高峰前总茎蘖数形成期有

$$\mu(x_1) = \begin{cases} 0 & (x_1 < 100) \\ \frac{x_1 - 100}{30} & (100 \leq x_1 < 130) \\ 1 & (x_1 \geq 130) \end{cases}$$

$$\mu(x_2) = \begin{cases} 0 & (x_2 < -40) \\ \frac{x_2 + 40}{74} & (-40 \leq x_2 < 34) \\ 1 & (x_2 \geq 34) \end{cases}$$

其它时段的隶属度略; 再建立模糊关系矩阵, 在计算机上进行矩阵变换和合成运算; 选取0.75—0.95一系列截取水平值组成 $\lambda$ 水平截集, 确立分类系统, 得到早稻各生育时段历年气象因子聚类 and 农业气象条件类型, 如表1所示(其它时段的表略)。

表1 分蘖高峰前总茎蘖数形成期聚类

| 农业气象条件类型 | 年 份  | 因 子   |       | 概率 p  |
|----------|------|-------|-------|-------|
|          |      | $x_1$ | $x_2$ |       |
| I        | 1973 | 116.2 | 22.9  | 0.308 |
|          | 1975 | 110.2 | 34.4  |       |
|          | 1978 | 133.0 | 6.9   |       |
|          | 1979 | 121.1 | 24.8  |       |
|          | 平 均  | 120.1 | 22.3  |       |
| II       | 1974 | 101.4 | -12.8 | 0.538 |
|          | 1976 | 117.2 | 3.8   |       |
|          | 1977 | 123.2 | -5.5  |       |
|          | 1982 | 117.8 | -15.7 |       |
|          | 1983 | 110.1 | -11.9 |       |
|          | 1984 | 108.1 | -39.5 |       |
|          | 1985 | 102.0 | 6.2   |       |
|          | 平 均  | 111.4 | -10.8 |       |
| III      | 1980 | 117.7 | -20.2 | 0.154 |
|          | 1981 | 106.8 | -19.3 |       |
|          | 平 均  | 112.3 | -19.8 |       |

### 三、评 判 标 准

为建立客观、合理的早稻农业气象条件评判标准, 构造影响指数  $C_\alpha = (E_\alpha - R_\alpha) / R_\alpha$ , 其中  $\alpha = 1, 5$  表示早稻总茎蘖数、有效穗数、总粒数、结实率和千粒重形成期五个生育时

段;  $E_{\alpha}$  和  $R_{\alpha}$  分别为第  $\alpha$  生育时段早稻实际生长状况和理想生长状况;  $C_{\alpha}$  是第  $\alpha$  生育时段农业气象条件对产量的影响指数, 它反映了该时段农业气象条件造成的对理想生长状况的偏离程度。对早稻全生育期而言, 影响指数可近似表示为  $C = \sum_{\alpha=1}^5 C_{\alpha}$ 。理想的生长状况即最佳的苗株穗粒结构, 是通过分析产量模拟结果选出最高产量得到的。显然, 最高产量对应的一组农业气象条件和各生育时段的生长状况应是最佳的农业气象条件和理想的生长状况。分析模拟结果发现, 最高产量对应的理想生长状况并不是唯一的, 如表 2 所示。这是因为在同样的产量水平下, 前期的生长状况对后期有制约作用, 后期的生长状况对前期有一定的补偿作用。为方便用户, 将理想的生长状况归纳成表 3。

表 2 理想生长状况和最佳农业气象条件

| 栽<br>插<br>密<br>度<br>(万株/亩) | 农业气象条件类型                        |                                 |                            |                            |                            | 生 长 状 况                    |                           |                    |                       | 产<br>量<br>(公斤/亩) |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------|------------------|
|                            | 总<br>茎<br>蘖<br>数<br>形<br>成<br>期 | 有<br>效<br>穗<br>数<br>形<br>成<br>期 | 总<br>粒<br>数<br>形<br>成<br>期 | 结<br>实<br>率<br>形<br>成<br>期 | 千<br>粒<br>重<br>形<br>成<br>期 | 有<br>效<br>穗<br>数<br>(万穗/亩) | 每<br>穗<br>粒<br>数<br>(粒/穗) | 结<br>实<br>率<br>(%) | 千<br>粒<br>重<br>(克/千粒) |                  |
| 20                         | I                               | I                               | III                        | I                          | I                          | 31.86                      | 86.83                     | 81.71              | 20.33                 | 459.5            |
|                            | II                              | I                               | III                        | I                          | I                          | 30.24                      | 91.48                     | 81.71              | 20.33                 | 459.5            |
|                            | III                             | I                               | III                        | I                          | I                          | 29.45                      | 93.94                     | 81.71              | 20.33                 | 459.5            |
| 24                         | I                               | I                               | III                        | I                          | I                          | 33.30                      | 82.73                     | 81.71              | 20.41                 | 459.5            |
|                            | II                              | I                               | III                        | I                          | I                          | 31.66                      | 87.02                     | 81.71              | 20.41                 | 459.5            |
|                            | III                             | I                               | III                        | I                          | I                          | 30.84                      | 89.33                     | 81.71              | 20.41                 | 459.5            |

表 3 理想生长状况

| 密度(万株/亩)   | 20    |       |       | 24    |       |       | 28    |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 类 型*       | I     | II    | III   | I     | II    | III   | I     | II    | III   |
| 有效穗数(万穗/亩) | 31.86 | 30.24 | 29.45 | 33.30 | 31.66 | 30.84 | 34.84 | 32.18 | 32.32 |
| 穗粒数(粒/穗)   | 86.83 | 91.48 | 93.94 | 82.73 | 87.02 | 89.33 | 78.09 | 81.99 | 84.18 |
| 结实率(%)     | 81.71 | 81.71 | 81.71 | 81.71 | 81.71 | 81.71 | 81.71 | 81.71 | 81.71 |
| 千粒重(克/千粒)  | 20.33 | 20.33 | 20.33 | 20.41 | 20.41 | 20.41 | 20.64 | 20.64 | 20.64 |

\*注: 分蘖高峰前总茎蘖数形成期农业气象条件类型

显然, 根据 $C_0$ 和 $C$ 的绝对值大小可以评判各生育时段和全生育期农业气象条件的优劣。当绝对值趋近于零时, 反映实际生长状况接近理想生长状况, 说明农业气象条件好。

#### 四、评判及其产品

早稻农业气象条件评判模型是整个农业气象服务系统中的一个子系统, 可以命名为RAS1。我们将它设计成当该子系统开始运行时, 首先在计算机屏幕上显示的是RAS1系统提供服务的主菜单。它包括: 1. 合适的栽插密度; 2. 不同密度和农业气象条件下的理想生长状况; 3. 各生育时段农业气象条件对产量影响的定量评估; 4. 早稻产量的动态监测; 5. 早稻全生育期农业气象条件评估; 6. 结束。用户根据需要选服务项目的编号, 按键盘输入此编号就可得到更详细的子菜单。例如, 当用户按1时, 计算机屏幕显示出RAS1系统子菜单一。包括(1)根据农业气象条件类型的概率确定的栽插密度; (2)根据当年农业气象条件类型的长期预报确定的栽插密度; (3)结束。这样层层深入, 输出各种产品满足用户的需要。

由于篇幅所限, 各种子菜单设计的细节不赘述。

#### 五、讨 论

1. 早稻农业气象条件评判模型不仅可为早稻生产提供农业气象信息服务, 还可为其它作物农业气象条件评判模型的建立提供思路。作为一个子系统, 可能有助于上海现代化农业气象服务系统的组建。

2. 分析模拟试验结果, 发现各栽插密度和生育时段农业气象条件变化引起产量波动的平均振幅不同(表4)。这间接说明各产量构成要素在产量形成过程中作用不同。由此给我们一个启示: 能否从给于各产量构成要素以一定的权重系数入手, 进一步修改吴元中早稻产量预报模式, 有待研究。

表4 密度和各时段农业气象条件变化引起的产量波动平均振幅(单位: 公斤/亩)

| 密 度  | 总茎蘖数形成期 | 有效穗数形成期 | 总粒数形成期 | 结实率形成期 | 千粒重形成期 |
|------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 2.95 | 0.0     | 40.2    | 18.0   | 15.75  | 29.75  |

3. 由表4可知, 密度20—28万的差异引起的产量变化甚小。从节省种子和劳力出发, 在基本上不影响产量的情况下, 推行栽插密度20万值得考虑。为证实其可行性, 利用各生育时段不同农业气象条件出现的概率和模拟产量进行决策分析。分五个生育时段逐次计算产量的数学期望值, 如图2所示。其中

$$\begin{cases} yI_1 = p_1y_1 + p_2y_2 + p_3y_3 \\ yI_2 = p_1y_4 + p_2y_5 + p_2y_6 \end{cases}$$

$$y_{I_{243}} = p_1 y_{727} + p_2 y_{728} + p_3 y_{729}$$

依此类推, 最终求出20、24和28万三个栽插密度的产量数学期望值均在375公斤/亩左右, 以20万的密度为最佳。因此, 可以认为从宏观控制的角度, 在上海目前生产水平下, 推行栽插密度20万的方案是可行的。当然, 还要实践来检验。

4. 本模型目前尚无自我建设和改造功能, 当观测资料增多、早稻生长状况和产量的农业气象模式和评判标准重新组建和确立时, 会出现麻烦。因此, 需要设计出可以自我完善, 通用性强的软件系统。

吴元中同志对本文提出了宝贵的意见, 段项锁、李军同志协助计算, 在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 汤兴根等, 农业气象区域情报服务系统, 气象, 13卷, 3期, 45—47, 1987。
- [2] 宛公展, 农作物产量气象预测系统设计, 气象, 13卷, 6期, 29—32, 1987。
- [3] 陈国良等, 微机应用与农业系统模型, 327页, 陕西科学技术出版社, 1986。

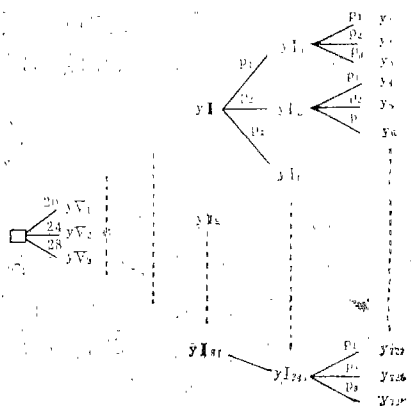


图2 密度决策分析示意图

## ASSESSMENT MODELS FOR AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF EARLY RICE

Yang Xingwei Li Xiangge Jian Weimin

### ABSTRACT

Agrometeorological conditions for early rice growth at different stages are classified by Fuzzy cluster analysis. A set of agrometeorological models are used in simulation experiments on a computer for the growth and yield under possible combinations of the conditions. Influencing indices  $C_a$  and  $C$  are constructed as the criterion for the quantitative assessment of agrometeorological conditions. The early rice growth and dynamic monitoring of yield from the terminal output provide information service and schemes for decision of early rice planting. Besides, the planting density in the area of Shanghai is discussed in terms of decision analysis.