

# 几个水稻品种生育期的模糊识别模型\*

冯国灿 古德祥 周之铭  
(昆虫学研究所) (数学系)

## 摘 要

本文提出了生育期模糊集的概念,并根据假设、三分法原理和经验,建立了各生育期的隶属度函数,从而进行水稻生育期的模糊识别.同时还根据实验数据,确定参数与光、温等气象因素的统计关系.

**关键词** 水稻生育期,模糊识别,隶属度

作物生育期预报是农业气象预报的重要任务之一,它对农业生产管理有重要的指导作用.有关水稻生育期预报的一般原理和方法有许多文献作过报道<sup>[1~5]</sup>.本文在此基础上提出了水稻群体生育期模糊识别模型.

## 1 模型的建立

水稻生育期采用模糊划分(图1).

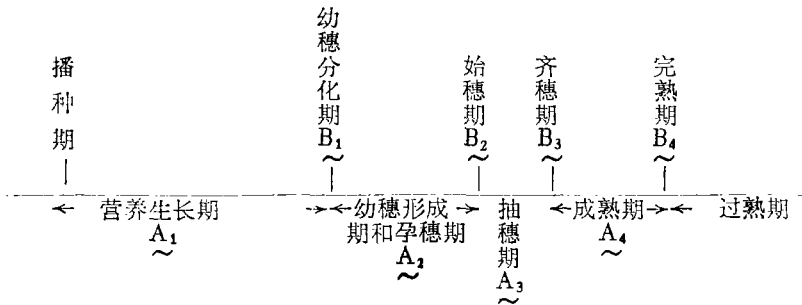


图1 水稻生育期的划分

Fig.1 The division of rice growth stages

从图1可知,生育期的识别首先是进行幼穗分化、始穗期、齐穗期、完熟期等这些日期(模糊点)的预测(识别),其次是这些日期之间的时段的预测(识别).对于同一品种,我们假定到达某一生育期(模糊点)所需的天数满足参数为 $a$ 、 $\sigma$ 的正态分布,其密度函数 $\varphi(x)$ 为

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp - \left[ \frac{(x-a)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (1)$$

另一方面,同一块稻田的水稻不是同一天达到或完成某一生育期.设在某气象条件下,某类品种从播种到幼穗分化①、始穗期②、齐穗期③、完熟期④所需的平均天数分别为 $a_1, a_2, a_3, a_4$ ,方差分别为 $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2, \sigma_4^2$ ,则播种 $x$ 天后,水稻进入第 $i$ 期

本文1988年12月10日收到

的概率 ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) 是

$$\varphi_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left[-\frac{(x-a_i)^2}{2\sigma_i^2}\right] \quad (2)$$

又设从播种到幼穗分化、始穗期、齐穗期、完熟期的天数(时点)的模糊集分别为  $\tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \tilde{B}_3, \tilde{B}_4$ , 播种到营养生长期、幼穗形成期和孕穗期、抽穗期、成熟期、过熟期的天数(时段)模糊集分别为  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \tilde{A}_4, \tilde{A}_5$  (见图1), 根据三分法原理<sup>[6]</sup>可以定义模糊集  $\tilde{A}_i$  的隶属度函数  $\mu_{A_i}(x)$  为:

$$\begin{cases} \mu_{A_1}(x) = 1 - \Phi[(x-a_1)/\sigma_1] \\ \mu_{A_i}(x) = \Phi[(x-a_{i-1})/\sigma_{i-1}] - \Phi[(x-a_i)/\sigma_i] & i = 2, 3, 4 \\ \mu_{A_5}(x) = \Phi[(x-a_4)/\sigma_4] \end{cases} \quad (3)$$

其中  $\Phi(x)$  是标准正态分布的分布函数。另外, 根据假设与经验, 定义模糊集  $\tilde{B}_i$  的隶属度函数  $\mu_{B_i}(x)$  如下:

$$\mu_{B_i}(x) = \begin{cases} 0 & |x-a_i| \geq \sigma_i \\ 1 - |(x-a_i)/\sigma_i| & |x-a_i| < \sigma_i \end{cases} \quad (4)$$

各生育期的隶属度函数图形如图2所示。

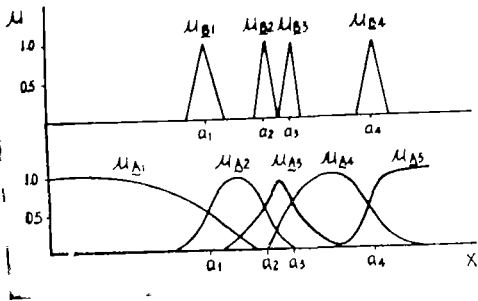


图2 各生育期的隶属函数  
Fig.2 The membership functions of various rice growth stages

在隶属度函数式(3)、(4)中,  $a_i$  和  $\sigma_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) 是与有效积温、日长等相关的参数, 可通过实验确定。参数确定之后, 对于状态  $x$ , 可求出各生育期模糊集的隶属度  $\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(x)$ 。根据最大隶属度原则<sup>[6]</sup>, 若

$$R \in \{\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \tilde{A}_4, \tilde{A}_5, \tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \tilde{B}_3, \tilde{B}_4\}$$

且  $\mu_{\tilde{R}}(x) = \max\{\mu_{A_j}(x), \mu_{B_j}(x) \mid j = 1, 2, \dots, 5; j = 1, 2, \dots, 4\}$

则认为  $x$  状态相对属于生育期  $\tilde{R}$ 。

## 2 确定参数

参数  $a_i$  是在一定气候条件下, 水稻进入第  $i$  生育期的平均日数, 它与品种的生物学特性、气候条件密切相关。对于某一地区的某类品种, 可主要考察日长和温度两因素。参数  $\sigma_i$  是第  $i$  生育点稳定程度指标, 它决定和影响识别的精度和模糊度。

### 2.1 感温性强而感光性弱品种

这类品种多为早稻和翻秋品种, 它对日长变化反应不敏感, 只要有效积温达到一定

的量,就可以进行幼穗发育.设从播种到幼穗分化、始穗期、齐穗期、完熟期所需的有效积温的均值分别为 $y_1, y_2, y_3, y_4$ ,达到各有效积温的变异系数分别为 $C_{v1}, C_{v2}, C_{v3}, C_{v4}$ ,变异系数 $C_v$ 与平均数 $a$ ,方差 $\sigma$ 满足关系式 $C_v = \sigma/a$ ,记播种后 $x$ 天的总有效积温为 $E_x$ ,则

$$\sigma_i = [y_i / (E_x/x)] \cdot C_{vi}, \quad a_i = y_i / (E_x/x) \quad i = 1, 2, 3, 4$$

代入(3)、(4),有隶属函数

$$\begin{cases} \mu_{A1}(x) = 1 - \Phi[(E_x - y_1) / y_1 C_{v1}] \\ \mu_{Ai}(x) = \Phi[(E_x - y_{i-1}) / y_{i-1} C_{vi-1}] - \Phi[(E_x - y_i) / y_i C_{vi}] \quad i = 2, 3, 4 \\ \mu_{A5}(x) = \Phi[(E_x - y_4) / y_4 C_{v4}] \\ \mu_{Bi}(x) = \max\{0, 1 - |(E_x - y_i) / y_i C_{vi}|\} \end{cases} \quad (5)$$

## 2.2 感温强、感光性也强的品种

这类品种多为晚稻品种,除了积温外,日长也是影响水稻幼穗发育的重要因素,以后几个生育阶段所需的天数相对稳定<sup>[1,2]</sup>.这就是说,积温达到一定指标后,只有在某一短日照条件下才能进行幼穗发育.这样幼穗分化所需的平均时间 $a_1$ 与温度和日长相关.对于同一地区,日照长度具有年周期规律,因此,日长对幼穗分化的影响等价于播期影响.根据丁颖的水稻周年播种实验<sup>[7]</sup>,在8月底以前播种的水稻,始穗日数与播期有良好的线性关系.四会县农科所6年水稻分期播种实验也得出相同的结论.设某品种按最早播期播种时,水稻幼穗分化所需的天数和有效积温分别为 $a_1, y_1$ ,则延迟 $\tau$ 天后再播种的水稻所需的天数 $\bar{a}_1$ 和有效积温 $\bar{y}_1$ 满足关系式:

$$\bar{a}_1 = K_1' \tau + a_1 \quad (6)$$

$$\bar{y}_1 = K_1 \tau + y_1 \quad (6)'$$

$K_1', K_1$ 是光温系数,具体数值可通过实验数据回归得出.由于其它几个生育阶段间隔较稳定,因此,延迟 $\tau$ 天后播种的水稻始穗期、齐穗期、完熟期所需的平均天数 $\bar{a}_2, \bar{a}_3$ 和 $\bar{a}_4$ 和平均有效积温 $\bar{y}_2, \bar{y}_3, \bar{y}_4$ 也满足类似的关系式

$$\bar{a}_i = K_i' \tau + a_i \quad (7)'$$

$$\bar{y}_i = K_i \tau + y_i \quad i = 2, 3, 4 \quad (7)$$

系数 $K_i', K_i$ 几乎不随 $i$ 变化.根据关系式(6)、(7),可得感光感温品种以有效积温为参变量的各生育期隶属函数:

$$\begin{cases} \mu_{A1}(x) = 1 - \Phi\left(\frac{E_x - (K_1 \tau + y_1)}{(K_1 \tau + y_1) C_{v1}}\right) \\ \mu_{Ai}(x) = \Phi\left(\frac{E_x - (K_{i-1} \tau + y_{i-1})}{(K_{i-1} \tau + y_{i-1}) C_{vi-1}}\right) - \Phi\left(\frac{E_x - (K_i \tau + y_i)}{(K_i \tau + y_i) C_{vi}}\right) \quad i = 2, 3, 4 \\ \mu_{A5}(x) = \Phi\left(\frac{E_x - (K_4 \tau + y_4)}{(K_4 \tau + y_4) C_{v4}}\right) \\ \mu_{Bi}(x) = \max\left\{0, 1 - \left|\frac{E_x - (K_i \tau + y_i)}{(K_i \tau + y_i) C_{vi}}\right|\right\} \quad i = 1, 2, 3, 4 \end{cases} \quad (8)$$

式中 $\tau$ 是与最早播期比较所延迟的天数。

### 3 三个品种的具体模糊识别模型

根据四会县农科所提供的6年(1979~1984)水稻分期播种实验数据确定参数 $a_i$ ,  $\sigma_i$ , 从而建立“广二104”、桂朝二号”、“包选二号”3品种的模糊识别模型。这些模型也可供同类品种的生育期预报参考。

#### 3.1 “广二104”

“广二104”是感光性弱、感温性强的早季中熟品种,其不同播期各生育阶段的平均天数、平均有效积温和变异系数见表1。根据表1,参数确定如下:

以天数为变量进行模糊识别、则

$$\begin{aligned} \bar{a}_1 &= -0.37\tau + 72.9, C_{v1} = 4.4\%; \bar{a}_2 = -0.42\tau + 102.2, C_{v2} = 2.3\%; \\ \bar{a}_3 &= -0.44\tau + 106.9, C_{v3} = 2.2\%; \bar{a}_4 = -0.44\tau + 131.4, C_{v4} = 1.6\% \end{aligned} \quad (9)$$

表1 广二104水稻不同播期各生育阶段的平均有效积温、天数及变异系数

Tab. 1 The mean effective accumulative temperature, mean days and variation coefficient of each growth stage in various seeding date of rice

生育期		第一期 (2月20日 播种)		第二期 (3月6日 播种)		第三期 (3月20日 播种)		各 期 值 平 均		天数,有效积温与期别的关系	
		$\bar{x}$	Cv (%)	$\bar{x}$	Cv (%)	$\bar{x}$	Cv (%)	$\bar{x}$	Cv(%)	相关系数	回归式(即参数)
播 种 至 幼穗分化	天	73.3	6.8	67.0	2.4	63.0	3.9	67.8	4.4	-0.9918	$a_1 = -0.37\tau + 72.9$
	日度	582.3	4.7	600.3	6.1	641.3	6.4	607.8	5.7	0.9756	$y_1 = 2.11\tau + 578.5^1$
幼穗分化 至 始穗期	天	28.8	11.4	29.8	7.7	27.3	1.6	28.6	/	/	/
	日度	365.5	8.8	392.3	6.7	392.5	2.8	383.4	/	/	/
播 期 至 始穗期	天	102.0	2.9	96.8	0.9	90.3	3.0	96.3	2.3	-0.9979	$a_2 = -0.42\tau + 102.2$
	日度	945.5	4.0	993.3	3.5	1034.0	3.8	990.3	3.8	0.9989	$y_2 = 3.16\tau + 946.7$
始穗期 至 齐穗期	天	4.8	9.1	4.3	10.2	4.3	10.2	4.4	/	/	/
	日度	60.3	4.2	66.3	13.0	68.8	10.2	65.1	/	/	/
播 期 至 齐穗期	天	106.8	2.4	101.0	0.7	94.5	2.9	100.8	2.0	-0.9995	$a_3 = -0.44\tau + 106.9$
	℃	1008.0	3.9	1059.3	2.5	1102.8	3.4	1056.7	3.3	0.9988	$y_3 = 3.36\tau + 1009.3$
齐穗期 至 完熟期	天	25.0	4.9	23.5	7.7	25.0	8.5	24.5	/	/	/
	日度	397.0	7.1	383.5	10.6	410.3	10.3	397.0	/	/	/
播 期 至 完熟期	天	131.8	2.2	124.5	1.3	119.5	1.4	125.3	1.6	-0.9942	$a_4 = -0.44\tau + 131.4$
	日度	1405.0	4.5	1443.3	3.4	1513.8	3.6	1454.3	3.8	0.9857	$y_4 = 3.89\tau + 1399.6$

$\tau$ 为延迟播种期与2月20日相隔的天数。

(据四会县农科所1979~1984年资料)

以有效积温为变量进行模糊识别，则

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= 2.11\tau + 578.5, C_{v1} = 5.7\%; \bar{y}_2 = 3.16\tau + 946.7, C_{v2} = 3.8\%; \\ \bar{y}_3 &= 3.36\tau + 1009.3, C_{v3} = 3.3\%; \bar{y}_4 = 3.39\tau + 1399.6, C_{v4} = 3.8\% \end{aligned} \quad (10)$$

这里 $\tau$ 是距第一播期 2 月 20 日的天数， $C_{vi}$ 是不同播期变异系数的平均值。将参数代入 (5)、(8) 式，即得“广二 104”各生育期的隶属函数。

以天数为变量

$$\left\{ \begin{aligned} \mu_{A1}(x) &= 1 - \Phi\left(\frac{x + 0.37\tau - 72.9}{(-0.37\tau + 72.9) \times 4.4\%}\right) \\ \mu_{B1}(x) &= \max\left\{0, 1 - \left|\frac{x + 0.37\tau - 72.9}{(-0.37\tau + 72.9) \times 4.4\%}\right|\right\} \\ \mu_{A2}(x) &= \Phi\left[\frac{x + 0.37\tau - 72.9}{(x + 0.37\tau - 72.9) \times 4.4\%}\right] - \Phi\left[\frac{x + 0.42\tau - 102.2}{(-0.42\tau + 102.2) \times 2.3\%}\right] \\ \mu_{B2}(x) &= \max\left\{0, 1 - \left|\frac{x + 0.42\tau - 102.2}{(-0.42\tau + 102.2) \times 2.3\%}\right|\right\} \\ \mu_{A3}(x) &= \Phi\left(\frac{x + 0.42\tau - 102.2}{(-0.42\tau + 102.2) \times 2.3\%}\right) - \Phi\left(\frac{x + 0.44\tau - 106.9}{(-0.44\tau + 106.9) \times 2.2\%}\right) \\ \mu_{B3}(x) &= \max\left\{0, 1 - \left|\frac{x + 0.44\tau - 106.9}{(-0.44\tau + 106.9) \times 2.2\%}\right|\right\} \\ \mu_{A4}(x) &= \Phi\left(\frac{x + 0.44\tau - 106.9}{(-0.44\tau + 106.9) \times 2.2\%}\right) - \Phi\left(\frac{x + 0.44\tau - 131.4}{(-0.44\tau + 131.4) \times 1.6\%}\right) \\ \mu_{B4}(x) &= \max\left\{0, 1 - \left|\frac{x + 0.44\tau - 131.4}{(-0.44\tau + 131.4) \times 1.6\%}\right|\right\} \\ \mu_{A5}(x) &= \Phi\left(\frac{x + 0.44\tau - 131.4}{(-0.44\tau + 131.4) \times 1.6\%}\right) \end{aligned} \right. \quad (11)$$

以有效积温为变量，各生育期隶属函数形式如上类同，仅参数不同。

### 3.2 “桂朝二号”

“桂朝二号”是感温性强的迟熟早稻品种，其不同播期各生育期的平均天数、平均有效积温和变异系数类似表 1 进行统计。具体参数如下：

以天数为变量进行模糊识别，则

$$\begin{aligned} \bar{a}_1 &= -0.56\tau + 74.9, C_{v1} = 5.9\%; \bar{a}_2 = -0.56\tau + 109.2, C_{v2} = 3.8\%; \\ \bar{a}_3 &= -0.57\tau + 113.5, C_{v3} = 3.2\%; \bar{a}_4 = -0.58\tau + 142.6, C_{v4} = 3.3\% \end{aligned} \quad (12)$$

以有效积温为变量进行模糊识别，则参数为

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= -0.57\tau + 648.3, C_{v1} = 8.0\%; \bar{y}_2 = \tau + 1038.6, C_{v2} = 5.2\%; \\ \bar{y}_3 &= 1.01\tau + 1101.3, C_{v3} = 4.9\%; \bar{y}_4 = 1.05\tau + 1576.3, C_{v4} = 4.3\% \end{aligned} \quad (13)$$

这里 $\tau$ 是距第一播期 2 月 21 日的天数，其它符号意义同前。

### 3.3 “包选二号”

“包选二号”是感光性和感温性都强的晚季品种。类似表 1 进行统计，其具体参数

如下:

以天数为变量进行模糊识别, 则

$$\begin{aligned} \bar{a}_1 &= -0.63\tau + 94.7, C_{V1} = 2.1\%; \bar{a}_2 = -0.63\tau + 126.7, C_{V2} = 1.5\%; \\ \bar{a}_3 &= -0.63\tau + 131.6, C_{V3} = 2.0\%; \bar{a}_4 = -0.52\tau + 163.1, C_{V4} = 3.5\% \end{aligned} \quad (14)$$

以有效积温为变量进行模糊识别, 则

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= -9.27\tau + 1517.9, C_{V1} = 2.6\%; \bar{y}_2 = -10.42\tau + 1969.6, C_{V2} = 1.6\%; \\ \bar{y}_3 &= -10.40\tau + 2024.3, C_{V3} = 1.6\%; \bar{y}_4 = -11.47\tau + 2324.0, C_{V4} = 1.5\% \end{aligned} \quad (15)$$

式中 $\tau$ 是距第一播期5月30日的天数, 其它符号意义同前。

## 4 预 报

将上述模糊识别过程编成程序, 输入计算。再将所需的信息: 品种类型、播期、有效积温、预报日期输入计算机。通过运算可做出水稻生育期预报, 如表2。

表2 广二104生育期模糊识别

Tab. 2 Fuzzy recognition of the growth stages of "GuangEr 104".

品种: 广二104, 播种期: 3月6日, 预报日期: 5月12日, $x=67, \tau=14$ , 有效积温: $600^\circ$ 日度										
生育期	$\tilde{A}_1$	$\tilde{B}_1$	$\tilde{A}_2$	$\tilde{B}_2$	$\tilde{A}_3$	$\tilde{B}_3$	$\tilde{A}_4$	$\tilde{B}_4$	$\tilde{A}_5$	结 论
隶属度 (天数变量)	0.60	0.76	0.40	0	0	0	0	0	0	属于 $B_1$ , 即幼穗 分化期
隶属度 (积温变量)	0.60	0.77	0.40	0	0	0	0	0	0	同 上

(广东, 四会)

经验证, 4个回报实例与实验完全吻合。一般来讲, 在气温资料缺乏的条件下, 可按生育天数预报。天气正常的条件下, 生育天数预报方法与有效积温为参变量进行模糊识别的结论是一致的。在气温异常(持续低温和持续高温)的条件下, 用有效积温为变量进行模糊识别, 精度就更高一些。

## 参 考 文 献

- [1] 蒋德隆, 水稻生产与气象, 气象出版社, 1983
- [2] 蓝鸿第, 水稻光温问题研究, 气象出版社, 1982
- [3] 水稻光温生态协作组, 中国水稻品种的光温生态, 科学出版社, 1979
- [4] 杨继武, 农作物发育期预报, 气象, 6(1980), 8, 48~49
- [5] Yoshida S, *Fundamental of Rice Crop Science*, IRRI, 1981
- [6] 汪培庄, 模糊集合论及其应用, 上海科技出版社, 1983
- [7] 丁颖, 丁颖稻作论文集, 农业出版社, 1983, 115~120

## The Forecast Model of the Rice Growth Duration VIA Fuzzy Recognition

*Feng Guocan\* Gu Dexiang Zhou Zhiming*

### Abstract

The rice growth speeds is indicated by rice growth duration. For the bounds between adjacent growth stages are indistinct, the fuzzy set concept of rice growth stages was described in the paper. And further, according to some accumpions, mathematical principle and experience, the membership function of every growth stage is constructed. Moreover, on the basis of experimental data, the statistical relations between parameters and temperature, seeding date etc. are developed.

**Keywords** rice growth duration, fuzzy recognition, membership