

应用数值模拟进行水稻品种的丰产性鉴定*

李 军 吴元中

(上海市气象科学研究所, 上海 200030)

提 要

应用单叶光合作用非线性双曲线光响应模型, 在生产上进行水稻品种丰产性鉴定. 结果表明在上海地区测定的水稻品种中, “寒优湘晴”的丰产性最好.

关键词: 数值模拟 水稻品种 丰产性鉴定

引 言

根据《全国农作物品种审定方法》规定, 凡申报审定的品种, 必须经过区域试验和生产试验, 并附有品种丰产性鉴定报告. 在实际生产中, 水稻品种的丰产性主要包括产量(籽粒产量, 下同)的高低、籽粒品质好坏、抗逆性和抗病虫害能力的强弱、栽培特性、熟相(穗型、剑叶形状等)的好坏等. 本文的丰产性仅指产量的高低. 常规的鉴定方法周期长, 若以数值模拟方法代替, 通过测定有关光合特征参数, 进行各品种水稻的生长数值模拟, 并进行丰产性鉴定, 则可缩短品种鉴定的周期, 使育种成果尽快转化为实际效益. 从数值模拟角度看, 丰产性表现为: 光合能力和物质分配能力要强, 最终的模拟产量要高.

作物生长数值模拟在国外始于60年代, 侧重于基础性和应用基础研究, 我国从80年代起步, 侧重于将前人的研究应用于生产^[1~3].

由于所鉴定品种的栽培条件和天气条件基本相同, 所以可用数值模拟方法对品种间的丰产性进行鉴定.

1 数值模拟模型

研究表明, 非线性双曲线光响应模型比直角双曲线光响应模型的剩余方差显著地小, 且拟合效果好^[4]. 所以我们用单叶光合的非线性双曲线光响应模型作为基础, 进行上海地区水稻品种丰产性的鉴定.

Rabinowitch 导出的单位叶面积上的非线性直角光合模型^[5]为:

$$\theta P_n^2 - P_n[aI + P_m - \theta R_d] + \{[aI(P_m - (1 - \theta)R_d)] - P_m R_d\} = 0 \quad (1)$$

* 上海市农委1990年“水稻新品种(组合)的引种、鉴定、筛选”课题的一级子课题.
1996-04-01收到, 1996-06-10收到修改稿.

式(1)的显函数形式为：

$$\frac{dP}{dF} = \frac{1}{2\theta} \{ (A + \alpha I) - [(A + \alpha I)^2 - 4\theta(\alpha IB - C_1)]^{1/2} \} \quad (2)$$

其中，

$$A = (P_m - \theta R_d) \quad B = P_m - (1 - \theta)R_d \quad C_1 = R_d P_m$$

式中 P_n 为单位叶面积上的光合量 ($\frac{dP}{dF} = P_n$)， F 为叶面积， P 为在 F 叶面积上的光合量； θ 为气孔扩散阻力占总阻力的比值， θ 值大，扩散阻力占比例大，反之则小； α 为弱光下的初始光合效率； P_m 为单位叶面积上的最大光合量，反映了潜在的光合能力； R_d 为单位叶面积上的呼吸消耗； I 为单位叶面积接受到的光合有效辐射； P_m 、 α 、 θ 为由水稻品种遗传决定的待估参数，它们是环境因子(温度、叶片含氮量)的函数。

式(2)在单位面积上整层叶面积的积分形式为：

$$P = P_1 + P_2 \quad (3)$$

$$P_1 = \frac{1}{2\theta} [AF + \frac{\alpha I_0}{k} (1 - e^{-kF})] \quad (4)$$

$$P_2 = \frac{1}{2\theta k} \{ [f_2(t) - f_1(t)] \left[\frac{(b^2/2) - 2c}{(b + 2f_1(t))(b + 2f_2(t))} + \frac{1}{2} \right] + c^{1/2} \cdot \ln \left[\frac{(f_2(t) - c^{1/2})(f_1(t) + c^{1/2})}{(f_2(t) + c^{1/2})(f_1(t) - c^{1/2})} \right] + \frac{b}{2} \left[\ln \frac{(b + 2f_2(t))}{(b + 2f_1(t))} \right] \} \quad (5)$$

其中，

$$b = 2[(1 - 2\theta) \cdot (P_m + \theta R_d)], \quad c = (P_m + \theta R_d)^2$$

$$f_1(t) = x_0 + (x_0^2 + bx_0 + c)^{1/2}, \quad f_2(t) = x + (x^2 + bx + c)^{1/2}$$

$$x = \alpha I, \quad x_0 = \alpha I_0$$

式中 k 是消光系数， I_0 为冠层顶部的光强，其余符号的含义同式(1)和式(2)。

呼吸消耗引用文献[3]对呼吸消耗的计算公式：

$$R_d = EQ_{10}^{(T-T_0)/10} \quad (6)$$

式中 T_0 为呼吸的最适温度； Q_{10} 为呼吸的温度系数； T 为某一时刻的温度； E 为转换系数。

净光合产物的分配及器官生长模式，引用文献[3]的结果，水稻器官的生长模式为：

$$\frac{dW_i}{dt} = \alpha_i (P_n - R_d) - \beta_i W_i \quad i = 1, 2$$

$$\frac{dW_3}{dt} = \alpha_3 (P_n - R_d) C + \beta_3 \sum_{i=1}^2 \beta_i W_i \quad (7)$$

式中 α_i ($i=1, 2, 3$ ，分别表示根茎、叶、穗)为光合产物分配系数，且

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (8)$$

β_i 为同化物转移系数， $\beta_i > 0$ 表示光合产物向器官外转移，反之为同化物向该器官转移。 C 为控制开关，当 $(P_n - R_d) < 0$ 时， $C=0$ ，从而限制了籽粒中贮存的同化物向外输送。

2 水稻品种的鉴定

我们运用叶室仪在人工气候箱中测定“秀水 04”、“寒优湘晴”和“七优”等水稻品种在不同温度、光照组合下的光合量,并辅以大田试验,考查干重增长量,然后根据试验资料回归确定各品种的 P_m 、 α 、 θ 等光合特征参数(表 1)。

表 1 3 个品种单叶光合特征参数

品 种	特 征 参 数				
	$t(^{\circ}\text{C})$				
秀水 04	$t(^{\circ}\text{C})$	16.0~22.0	22.1~25.0	25.1~34.0	34.1~40.0
	P_m	8.9293	11.4711	13.4765	9.0583
	α	0.0227	0.0315	0.0429	0.0581
	θ	0.6273	0.5950	0.5838	0.8540
寒优湘晴	$t(^{\circ}\text{C})$	15.9~22.5	22.6~26.0	26.1~34.0	34.1~40.0
	P_m	10.9329	11.9967	14.9440	13.0213
	α	0.0322	0.0325	0.0511	0.0488
	θ	0.8357	0.8225	0.8393	0.9218
七 优	$t(^{\circ}\text{C})$	<26	26.1~30.0	30.1~34.0	>34.0
	P_m	8.7259	9.2577	11.5000	8.0455
	α	0.0135	0.0158	0.0170	0.0105
	θ	0.9580	0.9713	0.9500	1.0000

单位: P_m : $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, α : $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{quantum}$, θ : 无量纲。

根据试验资料得到“秀水 04”、“寒优湘晴”品种的 P_m 随温度、叶片含氮量及 α 、 θ 随温度的非直角回归统计函数^[4]，“七优”品种的 3 个光合特征参数采用经验统计确定,然后运用式(3)调取逐日的叶片含氮量、叶面积指数,逐小时的温度、水汽压、辐射等资料(用于计算逐时 F 叶面积上的光合量,并累计至每日单位面积上的光合量)。对 1990~1993 年的“秀水 04”、“寒优湘晴”和 1990~1991 年的“七优”等 3 个品种,模拟了从移栽到成熟期(“秀水 04”的模拟时间段为:6 月 23 日至 10 月 22 日;“寒优湘晴”和“七优”的模拟时间段为:6 月 18 日至 10 月 31 日)逐日的总干重、根茎重、叶重、籽粒产量。产量的模拟结果见表 2。从表 2 可见,除了 1990、1991 两年“寒优湘晴”模拟产量比实测产量

表 2 3 个品种产量模拟结果

品 种	1990			1991		
	准确率(%)	实际产量	模拟产量	准确率(%)	实际产量	模拟产量
寒优湘晴	75.56	6870.0	8479.5	89.02	7920.0	8790.0
七 优	98.06	6603.0	6732.0	99.33	7625.9	7670.9
秀水 04	98.40	7080.0	7194.0	99.81	7440.0	7425.0
品 种	1992			1993		
	准确率(%)	实际产量	模拟产量	准确率(%)	实际产量	模拟产量
寒优湘晴	96.50	7920.0	7642.5	96.77	8235.0	7968.6
七 优	—	—	—	—	—	—
秀水 04	97.72	6570.0	6718.5	95.56	7027.5	6708.0

*: 七优 1990 年田间管理不当,病害重,减产。

偏高较多外,其余各年的准确率平均在95%以上。模拟产量的趋势与实际产量的趋势基本一致,说明本模式可应用于生产。

从表2的实际产量和模拟产量可见,在3个品种中,“寒优湘晴”品种的丰产性最好,“七优”和“秀水04”两个品种次之,表明运用非直角光合响应模型的数值模拟方法确实能反映出大田中水稻各品种间的丰产性差异。

从产量的模拟值看,“寒优湘晴”产量高于“七优”和“秀水04”。这在光合特征参数(P_m 、 α 、 θ)上也有着显著的差异。文献[5]的研究已证明,3个光合特征参数值愈大,光合量愈强。在各组温度内, P_m 项“寒优湘晴”都高于“秀水04”和“七优”,在高温下更明显。说明在高温下($>34^{\circ}\text{C}$)“寒优湘晴”仍具有很强的光合能力,制造较多的光合产物,有利于高产。 α 项除高温组外,“寒优湘晴”也都大于“秀水04”,且二者均高于“七优”,说明“寒优湘晴”在弱光下的初始光合效率最高(除了在 $>34^{\circ}\text{C}$ 的高温下比“秀水04”略低外)。 θ 项“寒优湘晴”明显高于“秀水04”,但比“七优”低。由此可见,“寒优湘晴”的单叶光合量明显强于“秀水04”和“七优”。因此模拟的产量也是“寒优湘晴”最高。“七优”的 θ 值比“秀水04”高许多,而 P_m 、 α 值较低,它们的产量决定于式(3)的计算值。1990年“七优”和“秀水04”的模拟值分别为6732.0 kg/hm²和7194.0 kg/hm²,1991年的模拟值分别为7670.9 kg/hm²、7425.0 kg/hm²,说明由于年际间气候条件的差异,这两个品种的光合能力各不相同,这还需从其它方面,如栽培特性、熟相、抗病(虫)和抗逆性能力等方面予以区分和筛选。

3 结 语

(1)在国内首次运用非直角双曲线光合响应模型,进行水稻大田生长数值模拟,并进行水稻品种丰产性的鉴定,结果与实况相符(“七优”品种因在熟相和抗病虫方面差,已在1992年被淘汰)。说明运用数值模拟方法进行水稻品种丰产性的鉴定是可行的。

(2)从应用情况看,具有3个光合特征参数值均高的水稻品种实际产量也高。因而在水稻品种丰产性鉴定中,首先应选择 P_m 、 α 、 θ 3个光合特征参数值高的品种。

(3)仅需一年时间测定水稻品种的光合特征参数,就可应用数值模拟方法进行水稻品种丰产性差异的鉴定,从而缩短了品种鉴定的周期。在大田试验过程中,由于田间管理不当,造成样本少,而在确定3个光合特征参数时仍需利用经验统计关系,这在今后的工作中应加以注意和改进。

参 考 文 献

- 1 王天铎,黄 策. 水稻群体物质生长过程的计算机模拟. 作物学报, 1986, 12(1): 1~8.
- 2 高亮之,黄 耀. 水稻群体物质生长的农业气候计算模拟及最适季节. 北京国际农业气象学术讨论会文集, 1988. 37~39.
- 3 冯定原,夏海峰. 我国粮食产量气象预测预报研究. 北京:气象出版社, 1989, 128~135.
- 4 吴元中,李临颖,段项锁. 数学模型在水稻品种单叶光合特性鉴定中的应用. 上海农业学报, 1992, 8(3): 84~86.
- 5 吴元中,李临颖,段项锁. 非直角双曲线光合模型的积分及参数灵敏度分析. 应用气象学报, 1993, 4(4): 504~508.

AN APPRAISAL OF THE HIGH YIELD PROPERTY FOR RICE VARIETIES BY NUMERICAL SIMULATION

Li Jun Wu Yuanzhong

(Shanghai Meteorological Institute, Shanghai 200030)

Abstract

A nonlinear hyperbolic photoresponse model of single leaf photosynthesis is introduced and applied in the appraisal of the high yield property for three rice varieties in the paddy field. The result shows that the kind of breed called "Hanyou Xiangqing" is the best one in the selected three rice varieties for its high yield property in Shanghai suburbs.

Key words: Numerical simulation Rice varieties Appraisal of the high Yield property