

# 水稻爆腰增率与干燥条件关系的试验研究

郑先哲 王成芝

(东北农业大学)

**摘 要** 在各种干燥条件下(包括热空气的温度、湿度、干燥时间)进行了水稻的爆腰率试验。以干燥常数  $K$  为媒介,建立了干燥条件与水稻干燥爆腰增率  $C$  之间的数学模型:  $C = 6\ 649 + 0\ 453t + (6\ 749 + 0\ 150t)[1\ 746 - 0\ 039(RH) - 57\ 974/T]$ 。结果表明模型预测值与实验测定值相吻合。

**关键词** 水稻 爆腰增率 干燥条件

水稻是一种热敏性的谷物,在干燥过程中容易出现爆腰(即裂纹)。有爆腰的水稻在碾米加工时容易破碎,使整米率下降,破坏稻米的食用品质和降低其市场价值。爆腰是制约水稻干燥生产的主要因素。为了减少水稻在干燥过程中爆腰的出现,人们一般只是凭经验采用低温慢速干燥工艺来保证水稻干燥后品质。但这样的工艺不能完全发挥出干燥机的干燥能力,生产率低,能耗大,不适合水稻的应急干燥处理。因此有必要分析干燥条件对水稻干燥爆腰的影响规律,建立水稻干燥爆腰增率与干燥条件的数学模型,为确定合理水稻干燥工艺和控制水稻干燥爆腰产生提供依据。

## 1 试验方法

李业波等人的研究表明<sup>[1~3]</sup>,水稻在干燥时产生爆腰的主要影响因素有:品种、初始水分、介质(热空气)的温度和相对湿度、干燥时间。以黑龙江省有代表性的水稻品种东农420为例,一般收获时其水分为21%~23%左右。本文中把品种和初始水分两个影响因素作为定量。

本试验使用的水稻(东农420)由东北农业大学水稻研究室提供(于1998年10月收获)。把刚收获的水稻用双层牢固的塑料袋密封,放在冰箱中冷藏保存,以保证水分均匀不变,且不会发霉、发芽。试验前24 h取出装水稻的塑料袋,放入室内与室温平衡。试验前将谷粒粉碎,用烘箱法(国标:5 g样品,135℃,加热1 h)测水分;取谷粒100粒剥壳在爆腰灯下检查其爆腰率。为了消除随机取样造成的误差,对水分和爆腰率的测定都重复两次,发现重复样与原样的结果接近,然后分别取三份试样的平均值作为水稻的原始水分和原始爆腰率:21.36%、2%。干燥的热空气条件为:30℃(50%)、40℃(40%)、50℃(30%)、60℃(20%)(括号内的数字为热空气的相对湿度)。干燥时间分别为:30 min、45 min、60 min、75 min、90 min 5种情况。

试验装置如图1所示。在每项试验时每隔5 min迅速取下被干燥的水稻样品,用电子天平测其质量,根据质量可以计算出当时水稻的水分。根据水稻在干燥过程中的水分变化规律可以求出干燥常数  $K$  值。在每次测量样品质量时,把另一装有相同质量水稻的干燥筛放到干燥位置上,防止干燥条件变化。把每次试验后的样品自然冷却后放到塑料袋中密封保存。用烘箱法测其水分(方法同上)。在试验结束48 h后(爆腰产生停止)测其爆腰率(方法同上)。把水稻干

收稿日期:1999-03-03

郑先哲, 博士生, 哈尔滨市香坊区 东北农业大学工程学院, 150030



© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

燥后爆腰率与原始爆腰率的差值定义为爆腰增率(Crack additional percentage 简称 CAP)。每项试验重复两次, 其各项结果相近, 取三次试验结果的平均值作为最终试验结果, 列入表 1 中。

2 数据处理

水稻干燥时产生爆腰的直接原因与降水速率的快慢有关。反映谷物干燥时降水速率的参数是干燥常数  $K$ 。有较高  $K$  值的干燥工艺会引起水分以更快的速度从水稻内部排出, 使水稻内部产生由表及里较高的水分梯度。水稻表层因干燥去水收缩而产生拉应力; 在中心部因持水膨胀而产生压应力。如果内部的应力差过大超过水稻应力极限, 就会在水稻表面出现应力裂纹, 即产生了爆腰。因此干燥常数  $K$  值较高时, 爆腰率就会增大。干燥常数  $K$  与干燥条件(热空气的温、湿度) 及品种有关, 与水稻的初始水分关系不大, 可以不考虑<sup>[5]</sup>。因此, 以  $K$  值作为一个中间参数, 建立干燥条件与水稻干燥爆腰增率之间的关系式。

根据水稻干燥时  $e$  指数降水规律, 对式(1) 采用最小二乘估计方法, 可以拟合每项试验的干燥常数  $K$  值。

$$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = e^{-Kt}$$

(1)

式中  $M$  —— 谷物水分(指干基, 下同), % ;  $M_i$  —— 初始水分, % ;  $M_e$  —— 平衡水分, % ;  
 $t$  —— 干燥时间, h ;  $K$  —— 干燥常数,  $h^{-1}$ 。

水稻的平衡水分可由文献[5] 给出如下:

$$M_e = \left[ \frac{(1 - RH)}{A(T + B)} \right]^{\frac{1}{n}}$$

(2)

式中  $RH$  —— 干燥介质相对湿度;  $T$  —— 干燥介质温度, ;  $A、B、n$  —— 与谷物种类有关的常数。对于水稻:  $A = 0.000019187、B = 51.161、n = 2.4451$ 。

各项试验的  $K$  值列入表 1。

表 1 试验结果表

Tab 1 Experiment results

干燥条件	60、20 %			50、30 %			40、40 %			30、50 %		
	$K/h^{-1}$	$C/\%$	$M/\%$	$K/h^{-1}$	$C/\%$	$M/\%$	$K/h^{-1}$	$C/\%$	$M/\%$	$K/h^{-1}$	$C/\%$	$M/\%$
干燥时间	30	1.03	22.3	15.0	0.59	14.1	16.5	0.35	4.1	17.9	0.12	1.1
	45	1.03	31.2	13.4	0.59	16.9	15.5	0.35	5.8	17.2	0.12	2.1
	60	1.03	37.8	12.1	0.59	20.8	14.5	0.35	10.1	16.5	0.12	3.9
	75	1.03	45.0	11.8	0.59	27.2	13.3	0.35	14.9	16.0	0.12	5.2
	90	1.03	50.5	10.3	0.59	32.1	12.8	0.35	21.2	15.4	0.12	6.8

注: 表中  $K$  —— 干燥常数;  $C$  —— 爆腰增率;  $M$  —— 最终水分。

对于某一谷物品种, 干燥常数  $K$  与干燥条件(介质温度、湿度) 是 Arrhenius 关系<sup>[4]</sup>:

$$K = c_1 \left[ - \frac{c_2}{R} \right] \quad (3)$$

式中  $c_1, c_2$  —— 与干燥条件有关的回归常数。

运用统计软件 SAS 中的 REG 程序, 拟合出如下方程:

$$\ln K = 1.746 - 0.039(RH) - 57.974/T \quad (4)$$

式中  $K$  —— 干燥常数,  $\text{h}^{-1}$ ;  $RH$  —— 热空气的相对湿度, %;  $T$  —— 热空气的温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

图 2 是 5 种干燥时间内干燥常数  $K$  与水稻干燥爆腰增率  $C$  之间的关系。

根据图 2 中的  $C - K$  关系的曲线形式, 可用对数形式表示这种关系。

$$C = a + b \ln K \quad (5)$$

式中  $a, b$  为与干燥时间有关的函数。

使用与以上同样的方法, 得到了  $a, b$  与干燥时间  $t$  的回归式:

$$a = 6649 + 0.453t \quad (6)$$

$$b = 6749 + 0.150t \quad (7)$$

把方程 (4)、(6)、(7) 带入到方程 (5) 中, 得到:

$$C = 6649 + 0.453t + (6749 + 0.150t) [1.746 - 0.039(RH) - 57.974/T] \quad (8)$$

图 2 水稻干燥爆腰增率与干燥常数的关系

Fig 2 The relations between crack additional percentage and drying constant

图 3 水稻在 5 种干燥条件下干燥时间与爆腰增率的关系

Fig 3 The relations between drying time and crack additional percentage

利用式 (8) 可以预测水稻在各种干燥条件的爆腰增率。用实验验证式 (8) 在温、湿度分别为 40 (10 %)、40 (20 %)、50 (20 %)、50 (30 %)、50 (50 %) 干燥条件情况下模拟值 (实线) 与实验值 (虚线) 爆腰增率随时间的变化规律, 如图 3 所示。

### 3 结 论

1) 在设计水稻干燥工艺时, 根据式 (8) 所反映的干燥条件与爆腰增率的关系, 可用以确定每级干燥段的干燥条件和干燥时间, 以保证爆腰增率在要求的范围内。验证结果表明, 该模型预测值与实验测定值吻合较好。

2) 从干燥条件与爆腰增率的关系可以看出, 在热空气温度相同的情况下, 随着其相对湿度的增加, 水稻的爆腰增率下降。因此, 从保证水稻干燥后品质的角度看, 可以考虑采用空气增湿加热的水稻干燥工艺。

3) 在保证干燥时水稻爆腰增率小于 3 % 时, 宜采用干燥工艺的热空气的温度和湿度为: 40 、20 % 和 50 、50 %, 加热时间应小于 10 min。

## 参 考 文 献

- 1 李业波 谷物间歇干燥工艺的模拟和实验研究: [学位论文] 北京: 北京农业工程大学, 1993
- 2 朱文学 干燥过程中谷物应力裂纹和发芽率的模拟与试验研究: [学位论文] 北京: 中国农业大学(东校区), 1997
- 3 孙正和 稻米爆腰机理与碎米率 农业工程学报, 1995, 11(3): 173~ 178
- 4 P W Westman Relative humidity effect on the high-temperature drying of shelled corn. A S A E Paper No 72~ 818
- 5 H Chen etc Relating drying rate constant to head rice yield reduction of long-grain rice Trans of the A S A E, 1997, 40(4): 1133~ 1139
- 6 王成芝主编 谷物干燥原理与谷物干燥机设计. 哈尔滨: 哈尔滨出版社, 1997. 19

## Experimental Study on the Relationship Between Paddy Crack Additional Percentage and Drying Conditions

Zheng Xianzhe Wang Chengzhi

(Northeast Agricultural University, Harbin, 150030)

**Abstract** The experiment of paddy crack additional percentage (CAP) subject to various drying condition (drying conditions) including hot air temperature, relative humidity and drying time was done. Taking drying constant  $K$  as the media, the mathematical model between drying conditions and crack additional percentage was developed as follows:  $C = 6.649 + 0.453 t + (6.749 + 0.150 t) [1.746 - 0.039(RH) - 57.974/T]$ . Its validity was checked by comparing simulated and experimental values.

**Key words** paddy, crack additional percentage, drying condition