

横流干燥种子发芽率的预测模型

朱文学^①

曹崇文^②

(洛阳工学院) (中国农业大学机械工程学院)

摘要 构造并验证了种子发芽率 1 阶动力预测模型,预测了横流干燥过程中种子的发芽率,分析了横流干燥时谷物种子温度、含水率和发芽率的变化规律,并给出了保证种子发芽率损失在 10% 以内的极限风温。

关键词 发芽率; 种子; 横流干燥; 预测模型

分类号 S 226.600.1

Forecasting Model of Germination of Grain Seeds in Cross-current Drying

Zhu Wenxue

Cao Chongwen

(Luoyang Institute of Technology) (College of Machinery Engineering, CAU)

Abstract First order kinetic model of germination of seeds dried in heated air was developed and verified. The germination of grain seeds in cross-current drying was calculated and analyzed. The maximum available temperature of heated air to ensure the loss of germination lower than 10% in cross-current drying were given.

Key words germination; seeds; cross-current drying; forecasting model

干燥过程中,升温造成的种子内部活性物质的变性和湿热应力对种子组织结构的破坏使种子的劣变速度加快,促使种子死亡。不同种子对干燥条件的要求不一致,所以寻找最佳种子干燥方法和工艺参数,需花费大量的资金和时间。利用计算机进行种子干燥过程的模拟,计算任一时间的发芽率,能够在较短时间内较全面地了解干燥过程中种子发芽率的变化规律及其与操作参数的关系。

对干燥过程中种子发芽率的预测起源于对种子储存寿命的预测。试验表明在恒定的储藏条件(定温、定湿)下,种子残存曲线为 S 形。Roberts 认为种子在恒定环境条件下残存曲线为负累积正态分布,并由此得出种子活力预测基本方程^[1]。目前干燥过程中种子发芽率的预测大多采用 Roberts 方程,但正态分布模型是根据种子在储存条件下发芽率的变化提出的。由于储存时种子处在低温和低湿状态,劣变速度比较缓慢,是一自然过程,而干燥时,种子处在高温和高湿状态,劣变速度很快,种子残存曲线不再是正态分布曲线;因此,从干燥过程中种子劣变机理着手,建立描述种子发芽率变化的模型有很大实用价值。横流干燥是常用的种子干燥方法,但由于横流干燥存在干燥不均匀性,可能产生局部过热现象,导致种子活力丧失。种子活力的丧失是一个累积过程,不能根据一时的温度或干燥时间确定,需进行模拟计算。

收稿日期:1998-10-14

①朱文学,河南省洛阳市西苑路 48 号 洛阳工学院 105 信箱,471039

②曹崇文,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)50 信箱,100083

1 种子发芽率模型的建立

种子胚的活性是种子发芽的基础,干燥过程中胚蛋白的热变性将导致种子胚丧失活力,使种子发芽率降低。已有试验结果证明小麦、玉米胚蛋白的热变性服从1阶反应动力方程^[2],由此可把发芽率和干燥时间的关系表示为1阶动力方程,即

$$-d\xi/dt = K\xi \quad (1)$$

式中: ξ 为发芽率,%; t 为干燥时间,min; K 为动力常量, min^{-1} 。

将式(1)在 $t=0\sim t$ 之间积分,得到发芽率模型

$$\xi = \xi_0 \exp(-Kt) \quad (2)$$

式中: ξ_0 为初始发芽率,%。

干燥温度对发芽率的影响可由阿雷尼厄斯方程给出,即

$$K = \exp\left(-\frac{E}{RT_s} + \ln Z\right) \quad (3)$$

式中: E 为蛋白质变性的活化能, $\text{kJ}(\text{mol})^{-1}$; T_s 为种子温度,K; R 为通用气体常数, $8.314 \text{ kJ}(\text{mol}\cdot\text{K})^{-1}$; Z 为碰撞因子。

干燥过程中种子含水率对发芽率的影响可表示为

$$\ln Z = Z_1 + Z_2 \eta_w \quad (4)$$

式中: Z_1, Z_2 为待估常数; η_w 为种子含水率(小数,干基)。

活化能 E 可表示为 $E = E_1 + E_2 \eta_w$ 。为简化计算假设活化能与种子含水率无关,即 $E_2 = 0$ 。试验证明种子含水率在8%~35%(湿基)范围内时,由假设引起的误差在允许范围之内,因此 $E = E_1$,1阶动力方程中的待定参数为 Z_1, Z_2, E_1 。将式(3)和(4)代入(2)即可得到干燥过程中种子发芽率预测模型

$$\frac{\xi}{\xi_0} = \exp\left\{-\exp\left[\left(-\frac{E_1}{RT_s} + Z_1 + Z_2 \eta_w\right)t\right]\right\} \quad (5)$$

几种谷物的 Z_1, Z_2 和 E_1 值见表1。试验数据验证结果表明,水稻、小麦和大豆的模拟值与试验值拟合良好,水稻、玉米、小麦和大豆的模拟值与试验值之间的标准差分别为5.2%,6.3%,4.2%和3.7%,故用1阶动力模型预测干燥过程中谷物发芽率的变化有足够的精度^[3,4]。

表1 几种谷物的 Z_1, Z_2, E_1 值

谷物种类	Z_1	Z_2	E_1
水稻 ^①	119.5	14.1	84 791.3
小麦	104.6	58.1	81 100.0
玉米	42.6	6.48	32 534.5
大豆	25.8	18.8	22 889.4

①谷温为薄层试验风温

2 横流干燥种子发芽率模拟过程与方法

谷物靠自重从料斗下落,进入干燥室。干燥室由孔板或网板制成,谷物下落速度由装在底部的螺旋输送器的转速控制。热空气由干燥机内部透过谷层向外吹送。干燥室2孔板之间的

距离即为谷物层厚度。

横流干燥模拟过程分以下3个步骤:

1)将谷物层沿纵向分成若干个薄层,在第1干燥时间段 Δt 内,以初始风温、热风相对湿度、风量、谷物原始湿度和温度作为输入参数,计算第1层谷物中的水分蒸发量、热空气湿含量、谷物和热空气温度。

2)以通过第1层谷物后的热空气状态作为第2层谷物的热空气状态,以谷物初始含水率和原始温度作为谷物状态,用同样方法计算第2层谷物中的水分蒸发量、热空气湿含量、谷物和热空气温度。重复这种计算过程,直到计算完所有谷层为止。

3)以第1干燥时间段后各层谷物温度和含水率作为第2干燥时间段的输入值,重复步骤1)和2),计算出经过第2干燥时间段后各层谷物的含水率和温度。重复这种计算过程,直到计算完所有干燥时间段为止。

将横流干燥模拟过程同发芽率预测模型结合起来即可进行深床干燥过程中发芽率的模拟。具体步骤如下:

1)输入种子初始发芽率 ξ_0 及横流干燥过程模拟所需所有数据,将第1时间段内各层谷物初始发芽率设置为 ξ_0 。

2)调横流干燥过程模拟程序,计算经第1干燥时间段后各层谷物的含水率和温度,并计算第1干燥时间段内各层谷物的平均含水率和平均温度。

3)将各层谷物的平均含水率和温度值分别代入发芽率计算程序,计算各层谷物经 Δt 时间后的发芽率。

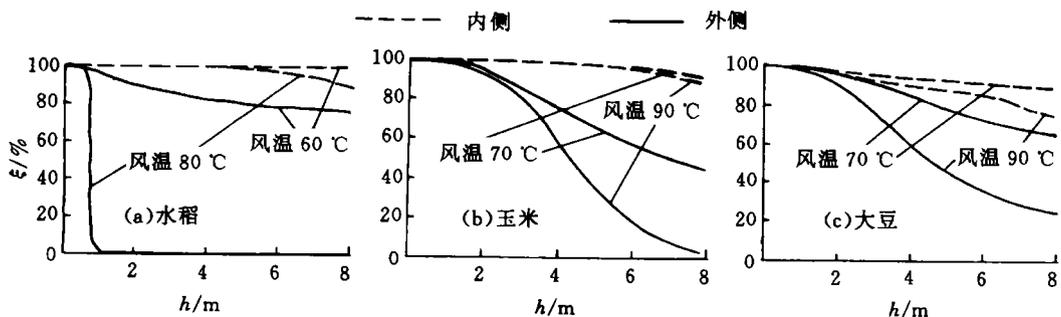
4)将经第1干燥时间段后各层谷物的发芽率作为第2干燥时间段内各层谷物相应的发芽率初始值,重复步骤2)和3),计算经第2个干燥时间段后各层谷物的发芽率。

5)依次类推,计算各时间段内各层谷物的发芽率。

6)输出结果为各时间段内各层谷物的发芽率。

3 模拟结果分析

横流干燥不均匀程度高,干燥机内侧与外侧谷物含水率和温度差别较大,致使粮层内不同位置谷物的发芽率差别很大(图1)。内侧谷温较高(接近风温),含水率和发芽率急剧下降,当



初始含水率 25% (湿基), 最终含水率 13.5% (湿基), 谷层高度 8 m, 谷层厚度 0.3 m,
谷物流速 $4 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, 风速 $0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 初始发芽率 $\xi_0 = 100\%$

图1 横流干燥发芽率模拟结果

平均含水率达到安全含水率标准时,谷物已过干;外侧谷温较低,谷物含水率和发芽率下降缓慢,当干燥过程结束时,谷物含水率往往高于安全含水率。模拟结果显示,采用换向通风可适当提高谷物含水率和发芽率的均匀性,但对提高发芽率水平收效甚微。

如要将内侧谷物发芽率损失控制在10%以内,玉米和大豆的干燥风温应低于40℃,小麦低于50℃,水稻低于55℃。如要将内侧和外侧谷物平均发芽率损失控制在10%以内,干燥玉米和大豆时的风温应低于50℃,水稻和小麦则应低于60℃。

4 结束语

构造了种子发芽率1阶动力预测模型,并对模型进行了验证和特性分析。

采用1阶动力发芽率预测模型对横流干燥过程中水稻、玉米、小麦和大豆的发芽率进行了模拟预测,分析了谷物含水率、温度及发芽率的变化规律,给出了可将发芽率损失控制在10%以内的极限风温。

参 考 文 献

- 1 Roberts E H. Viability of seeds. Chapman and Hall Ltd,1972
- 2 Gier S A, Lupano C E, Anon E C. A model for estimating loss of wheat seed viability during hot-air drying. *Annals Botany*,1981,46:37~44
- 3 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,1997
- 4 朱文学,曹崇文,戴天红.干燥过程对大豆发芽质量及发芽率的影响. *华中理工大学学报*,1997,25(1):72~74