

顺流干燥种子发芽率的预测

连政国
(莱阳农学院)

朱文学
(洛阳工学院)

曹崇文
(中国农业大学)

摘 要 构造并验证了种子发芽率一阶动力预测模型。预测了顺流干燥过程中种子发芽率,分析了干燥过程中谷物发芽率的变化规律,给出了保证种子发芽率损失在 10% 以内的极限热风温度。

关键词 发芽率 种子 干燥

干燥过程中,由升温造成的种子内部活性物质的变性和由湿热应力对种子组织结构的破坏加速种子的劣变,促使种子死亡。不同的种子对干燥条件的要求不一致,为寻找最佳的种子干燥方法和工艺参数,需要大量的投资和时间。通过建立劣变模型,在计算机上进行干燥过程的模拟,计算任一时间的发芽率,使我们能在较短的时间内比较全面地了解发芽率在干燥过程中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,种子活力残存曲线形式为 S 形。Roberts(1972)^[1]根据自己和前人的研究成果,认为种子在恒定环境条件下种子活力残存曲线为负累积正态分布,由此他得出了种子活力预测基本方程^[1]。

目前进行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变化提出的,由于储存时种子处在低温和低湿状态,种子劣变比较缓慢,是一个自然过程,而干燥时,种子处在高温和高湿状态,种子劣变很快,因此种子残存曲线不再是正态分布曲线。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。顺流干燥是一种种子干燥方法,谷物在干燥过程中水分不断降低,温度不断升高,种子劣变的速度时刻在变化,需根据种子瞬时温度和水分来计算,因此进行干燥过程中种子发芽率的模拟计算就很必要。

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,将导致种子胚活力的丧失,种子发芽率降低。试验已证明了小麦胚玉米胚蛋白的热变性服从一阶动力方程^[2],由此我们也可以把发芽率和干燥时间的关系表示为一阶动力方程

$$-\frac{dG}{dt} = KG \quad (1)$$

式中 G ——发芽率,%; t ——干燥时间, min; K ——动力常数, min^{-1} 。

将方程(1)在 $t=0$ 到 $t=t$ 之间积分,就得到发芽率模型为

$$G = G_0 e^{-Kt} \quad (2)$$

收稿日期: 1998-10-18

连政国,副教授,博士,莱阳市文化路 65 号 莱阳农学院农业工程系, 265000

式中 G_0 ——初始发芽率, %。

种子温度对发芽率的影响可由 Arrhenius 方程 (3) 给出

$$K = \exp\left(-\frac{E_a}{RT_a} + \ln Z\right) \tag{3}$$

式中 E_a ——蛋白质变性的活化能, kJ/mol; T_a ——种子绝对温度, K; R ——通用气体常数, 8 314 kJ/(mol · K); Z ——碰撞因子, 表示谷物内部成分分子因碰撞而发生化学反应的综合系数, 与种子水分有关。

干燥过程中种子水分对发芽率的影响可表示为

$$\ln Z = Z_1 + Z_2 M \tag{4}$$

式中 Z_1, Z_2 ——待估常数; M ——种子含水率, 干基。

活化能 E_a 可表示为 $E_a = E_1 + E_2 M$ 。为简化计算, 假设活化能与种子含水率无关, 即 $E_2 = 0$ 。试验证明在种子水分 8% ~ 35% (湿基) 范围内, 由假设引起的误差在允许的范围之内, 因此 $E_a = E_1$, 一阶动力方程中的待定参数为 Z_1, Z_2, E_1 。将方程 (3) 和 (4) 代入方程 (2) 就得到了干燥过程中发芽率预测模型

$$\frac{G}{G_0} = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{E_1}{RT_a} + Z_1 + Z_2 M\right] t\right\} \tag{5}$$

几种谷物的 Z_1, Z_2, E_1 如表 1 所示^[3]。

表 1 几种谷物的 Z_1, Z_2, E_1 值

Tab 1 Values of Z_1, Z_2, E_1 of grains

谷物种类	Z_1	Z_2	$E_1/\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
水稻	119.5	14.1	354.4
小麦	104.6	58.1	338.9
玉米	42.6	6.48	135.9
大豆	25.8	18.8	95.7

* 谷温为薄层试验风温

2 一阶动力发芽率预测模型验证

为了考察预测模型的准确性, 对模型进行了验证。水稻发芽率数据摘自高知大学农学部纪要 (松岗孝尚, 1986)^[4], 小麦发芽试验数据来自文献 [2], 玉米发芽试验数据来自文献 [5], 大豆发芽试验数据来自文献 [3, 6]。图 1 中 a, b, c, d) 所示为水稻、小麦和大豆发芽试验值和模拟值, 在小麦发芽率曲线图上还附带了谷温和谷物含水率曲线。

图中显示出水稻、小麦和大豆的模拟值和试验值拟合的良好。水稻、玉米、小麦和大豆的模拟值和试验值之间的标准差分别为 5.2%, 6.3%, 4.2% 和 3.7%, 用一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。

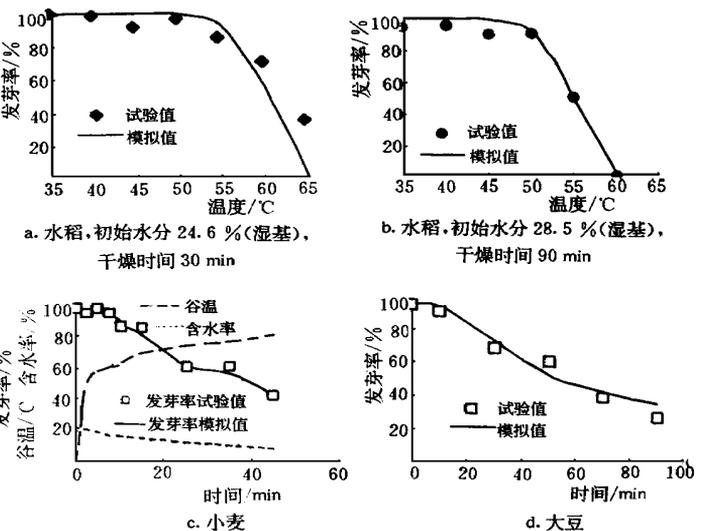


图 1 谷物发芽率试验值和模拟值的比较

Fig 1 Simulation and experimental value of grain seeds germination

3 顺流干燥过程中发芽率的模拟过程和方法

顺流干燥过程模拟时, 把粮

柱沿气流和粮流方向分为若干个薄层, 谷物在每层的停留时间 Δt 为总干燥时间 t 除以薄层数。在 Δt 时间间隔内逐层求解粮温和含水率, 上层输出参数作为下层的输入参数。这样在一个 Δt 时间间隔内, 各层的谷物温度和含水率即为任一薄层谷物流经各层时的温度和含水率, 出口粮温和水分分为干后粮温和水分。

每一薄层干燥过程中, 谷物的含水率和温度在不断变化, 应取时间 Δt 内, 每段的谷温和含水率平均值进行发芽率的计算, 由此方程(5)可变为

$$\frac{G_{(t+\Delta t)}}{G_t} = \exp\{-\exp\left[-\frac{E_1}{RT_{am}} + Z_1 + ZM_m\right]\Delta t\} \tag{6}$$

式中 T_{am} —— 平均谷温, $T_{am} = (T_{at} + T_{a(t+\Delta t)})/2$, K; M_m —— 平均含水率, $M_m = (M_t + M_{(t+\Delta t)})/2$, 干基; T_{at} —— 干燥进行到 t 时间时的谷温, K; $T_{a(t+\Delta t)}$ —— 经过 Δt 时间后的平均谷温, K; M_t —— 干燥进行到 t 时间时的谷物含水率, 干基; $M_{(t+\Delta t)}$ —— 经过 Δt 时间后的谷物含水率, 干基。

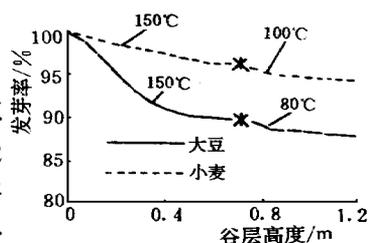
将顺流干燥模拟过程同发芽率预测模型结合起来就可以进行顺流干燥过程中发芽率的模拟。具体步骤如下:

- 1) 输入种子初始发芽率 G_0 及顺流干燥过程模拟所需所有数据。将开始干燥时各层谷物初始发芽率设置为 G_0 。
- 2) 调顺流干燥过程模拟程序, 计算经第一干燥时间段后各层谷物的水分和温度, 并计算第一干燥时间段内各层谷物的平均水分和平均温度。
- 3) 将各层谷物的平均水分和温度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) 将经第一干燥时间段后的各层谷物的温度、水分和发芽率作为第二干燥时间段内各层谷物相应的初始值, 重复步骤 2) 和 3), 计算经第二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: 各时间段内各层谷物的发芽率。

4 顺流干燥过程中发芽率的模拟结果分析

一般情况下, 一段式顺流干燥不能将谷物干燥到安全水分, 干燥过程模拟显示, 应采用二段式或三段式顺流干燥。图 2 显示顺流干燥过程中发芽率的变化。为了更完整表示整个干燥过程, 将不同干燥段发芽率曲线放在一张图上, 图中*为分界点。粮柱总高度为几段粮柱高之和, 设定各段中间粮温降到室温, 但水分不变, 发芽率不变。

各干燥段风温的组合影响干后谷物的发芽率。对于玉米, 150 + 120 + 80 三段组合干燥, 干后玉米发芽率损失可控制在 5% 以内, 小于 10% (依据 GB 4404-84 中谷物一级良种发芽率不小于 9% 而确定)。干燥过程中, 谷物发芽率在第一段下降缓慢, 在第二和第三干燥段下降较快。因此控制顺流干燥谷物的发芽率主要应控制第二和第三干燥段的介质和物料



谷层高度 0.6 m, 初始水分(湿基) 25%
终水分(湿基) 13.5%, 风速 0.5 m/s

图 2 小麦和大豆顺流干燥发芽率模拟结果
Fig 2 Simulation results of wheat and soybean seed germination in concurrent flow drying

参数, 比较适宜的干燥工艺是第一段高温, 第二和第三干燥段低温。大豆和小麦比玉米干燥快, 初始含水率在 20% ~ 25% (湿基) 之间, 两段干燥可基本将谷物干燥到安全水分。大豆种子较

好的干燥工艺是两段干燥, 风温 150 + 80 组合; 小麦较适宜的干燥工艺是两段干燥, 风温 150 + 100 组合。这主要是因为虽然热风温度较高, 但测定显示种子的温度不高于 45 , 低于 45 的种温对种子发芽率影响较小。

根据单位粮柱高度降水幅度和谷物干燥特性, 各干燥段粮柱高度应取不同值, 第一干燥段粮柱高度取 0.5 m 比较合适, 过高达不到干燥效果, 反而降低发芽率; 第二干燥段粮柱高度取 0.7 m 比较合适; 由于谷物含水率低, 处于降速干燥阶段, 第三干燥段粮柱高度可适当提高到 1 m, 以达到低含水率水平, 但要严格控制风温。

5 结 论

构造了种子发芽率一阶动力预测模型, 并对模型进行了验证。采用一阶动力发芽率预测模型, 模拟了顺流干燥过程中水稻、玉米、小麦和大豆发芽率, 分析了谷物发芽率的变化规律, 给出了保证发芽率损失在 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 松岗孝尚. 高知大学农学部纪要, 1986, 45: 73~ 80
- 5 Lescano C L, Tyrrel D E, Bakker-Arkema F W. Change in the viability of maize during high temperature drying. *Drying Technology*, 1987, 5(4): 497~ 510
- 6 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

Simulation of Germination of Grain Seeds During Concurrent Flow Drying

Lian Zhenguo

(Laiyang Agricultural College, Laiyang, 265000)

Zhu Wenxue

Cao Chongwen

(Luoyang Institute of Technology)

(China Agricultural University)

Abstract First order kinetic model of germination of seeds dried in heated air was developed and verified. The germination of grain seeds in concurrent flow drying was calculated and analyzed. The maximum allowable temperatures of heated air during concurrent flow drying, which ensure the loss of germination below 10 % were given.

Key words germination, seeds, concurrent flow drying