

稻谷动平衡含水率试验研究

杨 洲, 罗锡文, 李长友

(华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要: 针对华南地区高湿稻谷, 试验研究了稻谷的薄层干燥特性, 根据薄层干燥特性曲线, 得到稻谷的动平衡含水率, 并用 Bala 模型较好地拟合了试验数据.

关键词: 稻谷; 干燥; 平衡含水率

中图分类号: S226.6

文献标识码: A

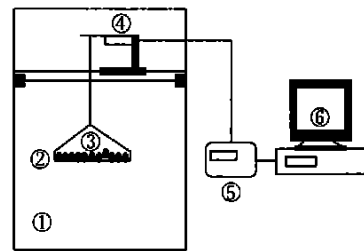
文章编号: 1001-411X(2003)01-0074-03

平衡含水率是研究稻谷干燥和贮藏的重要参数, 也是决定干燥速度的一个主要因素. 平衡含水率包括静平衡含水率和动平衡含水率. 长期以来人们研究的重点都是静平衡含水率, 并且提出了很多数学模型^[1]. 动平衡含水率的概念是 1954 年由 Mcewen, Simmonds 和 Ward 提出来的, 动平衡含水率是由薄层干燥试验得出的, 测定比较方便, 而对于动平衡含水率模型的研究则相对较少. Allen, Bala 等^[2,3]对静平衡含水率和动平衡含水率进行比较研究发现, 动平衡含水率比静平衡含水率更能较好地描述干燥过程, 并且建立了玉米、大麦等谷物的动平衡含水率模型. 一般不同谷物的平衡含水率模型参数大不相同. 目前, 在国内还很少有人对稻谷的动平衡含水率模型进行研究. 本文旨在建立南方籼稻的动平衡含水率模型, 为干燥理论的研究和设备开发提供基础数据.

1 稻谷薄层干燥特性曲线的测定

1.1 测定装置与方法

测定装置如图 1 所示. 以 PL-3KRH 型恒温恒湿装置(日本 Tabai Espec Corp. 制造)的空气室作为干燥室, 该装置库内容量 408 L, 温度调节范围 $-40 \sim 150^{\circ}\text{C}$, 精度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$; 相对湿度调节范围 $20\% \sim 98\%$, 精度 $\pm 2.5\%$. 物料盘为 $d=20\text{ cm}$, $h=0.6\text{ cm}$ 的圆盘, 圆盘底部有网目为 2 mm 的尼龙网. 最初试验料层厚度约为 2 个谷粒厚, 并置于干燥室内, 试验中由恒温恒湿装置的空调机驱动气流在库内回转, 实现均匀地向干燥层中送风. 试验条件的设定如图 2 所示.



① 恒温恒湿装置 constant temperature & humidity apparatus
② 料盘 disk ③ 稻谷 rice grain ④ 质量传感器 mass sensor
⑤ 变送器 transfer unit ⑥ 计算机 computer

图 1 薄层干燥试验装置

Fig. 1 Schematic diagram of apparatus for thin layer drying

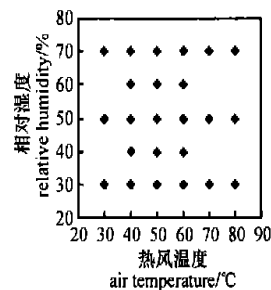


图 2 稻谷干燥试验条件设定图

Fig. 2 Enactment map of experimental conditions for dried rice grain

试验材料选用华南地区优质籼稻华航一号, 从华南农业大学试验田收获后立即进行试验. 稻谷的初始含水率按 5 g 样品, 105°C , 24 h 烘箱法测定, 取 5 个重复样品的平均值. 干燥过程中稻谷的质量变化, 由精度为 $\pm 0.01\text{ g}$ 的质量传感器(LPS)和精度为 $\pm 0.05\text{ g}$ 的 PT650F 型数字式显示器通过 RS232 接口传送至计算机进行数据采集. 为了确保采集精度, 采样时间间隔设定为: 干燥初期每隔 3 s 读取一组数据; 干燥进行 1 min 后, 每隔 15 s 读取一组数据. 根据稻谷的初始含水率和干燥过程质量的变化可以计算

出稻谷在干燥过程中的含水率和干燥速率, 从而绘制干燥特性曲线进行分析研究.

1.2 薄层干燥特性曲线

稻谷的含水率随干燥时间的变化曲线如图 3 所示.

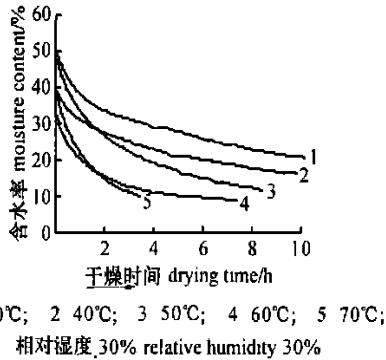


图 3 稻谷含水率随干燥时间的变化曲线

Fig. 3 Curves of rice grain moisture content versus drying time

在干燥初期, 随着干燥时间的增加, 稻谷含水率急剧下降, 而后随着干燥时间的延长, 含水率缓慢下降. 几乎所有的含水率变化曲线都没有明显的直线段, 也就是说没有清晰的恒速干燥段, 只经过一个可以忽略的短暂升速段后便开始降速干燥. 热风温度越高, 相对湿度越低, 干燥速度越快, 含水率下降的幅度也越大.

干燥速率与含水率的关系曲线如图 4 所示.

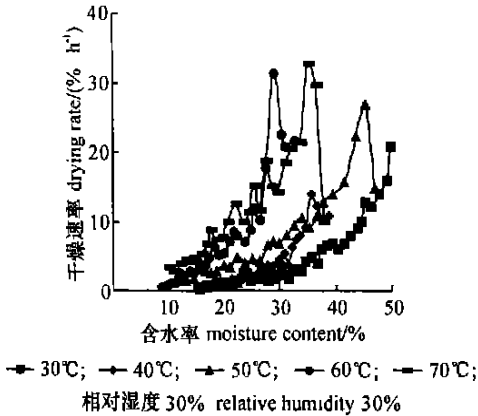


图 4 干燥速率与稻谷含水率的关系曲线

Fig. 4 Curves of drying rate versus rice grain moisture content

可以看到含水率越高, 高低温干燥的干燥速率差越大. 随着含水率的降低, 干燥速率及各曲线间的纵座标差同时都在缩小. 就同一干燥曲线而言, 存在着初期干燥速率较快的区间, 其降速干燥过程具有二段性. 在降速干燥的第一段, 颗粒表面存在着自由水分, 干燥速度受稻谷表面自由水分迁出速度的影响. 由于表面自由水分的迁出接近于自由液面的蒸发, 其蒸发速度主要取决于颗粒的有效蒸发面积. 按此特性可把颗粒农产品单粒体的降水过程区分为二段降速干燥过程. 在第一降速段, 干燥受粒体表面

自由水蒸发的影响, 干燥与风温、相对湿度及风速等因素有关. 第一降速段结束, 稻谷表面的含水率, 可看作达到了与送风条件相对应的平衡状态, 干燥便由外部条件控制过程转入内部扩散速率控制过程. 在内部扩散期间, 干燥速度取决于粒内水分的迁移速度. 稻谷的初始含水率越高, 热风温度越低, 相对湿度越小, 降速干燥的二段性区分就越明显.

2 稻谷动平衡含水率模型

根据不同试验条件下获得的稻谷干燥速率与含水率的关系曲线, 将接近干燥终了的一段曲线进行直线回归, 该直线与稻谷含水率轴相交, 交点所对应的稻谷含水率即为该试验条件下的动平衡含水率. 不同试验条件下稻谷的动平衡含水率如图 5 所示.

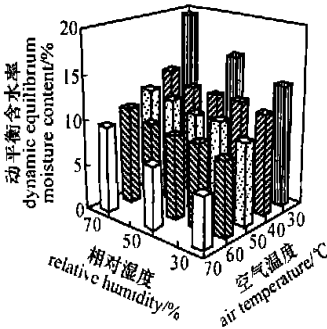


图 5 不同条件下稻谷的动平衡含水率

Fig. 5 Dynamic equilibrium moisture content of rice grain under various conditions

1997 年 Bala 针对谷物提出一个拟合程度较高的动平衡含水率模型^[3]:

$$M_d = a - b \cdot t_a - c \cdot \ln[-R_0 \cdot t_a \cdot \ln(\varphi)],$$

式中 M_d 为动平衡含水率, % (w. b.); R_0 为通用气体常数, 8 314 J / (kmol · K); t_a 为空气温度, °C; φ 为空气相对湿度; a 、 b 、 c 为待定系数.

试采用 Bala 模型与试验数据进行拟合, 用标准差 SE 为指标来评价模型与测定值的拟合程度^[4]:

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{df}}.$$

式中 y 为测定值; y' 为预测值; df 为回归模型自由度.

回归结果及评价指标为:

模型中的系数 $a = 42.908$,

$b = 0.1125,$

$c = 2.185;$

相关系数 $R = 0.966;$

标准差 $SE = 0.012595.$

从较小的标准差 SE 和较大的相关系数 R 可以

认为该模型还是比较准确地描述了稻谷干燥过程所决定的动平衡含水率曲线,如图6所示。

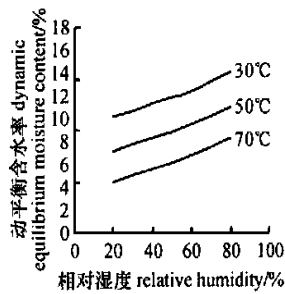


图6 不同热风温度下稻谷的动平衡含水率曲线

Fig. 6 Curves of dynamic equilibrium moisture content of rice grain under different air temperature

由图6可以看出:干燥空气的相对湿度增大,稻谷的动平衡含水率增大;随着空气温度的升高,稻谷的动平衡含水率降低.与稻谷的静平衡含水率相比,空气温度对动平衡含水率的影响有所加强,而相对湿度的影响有所减弱.因为动平衡含水率实际上是在干燥速率已经很小的情况下的一个含水率值,所以空气的温度和相对湿度对它的影响和在干燥过程中的影响有相似的地方.另外,稻谷在干燥终了接近动平衡含水率时,只是稻粒表层的含水率与外界环境条件达到动态平衡,稻粒内部的含水率比表层略高一些,然而稻谷在获得静平衡含水率时,稻粒内外

层的含水率已经基本一致,看起来稻谷的动平衡含水率应该比静平衡含水率略高一些,但是把试验测得的动平衡含水率值与前人给出的许多静平衡含水率模型计算值^[1]进行比较,发现多数情况下稻谷的动平衡含水率比静平衡含水率低,而且空气的温度越高、相对湿度越大,动平衡含水率越低,其原因可能是空气流动会造成局部压力降低而使得干燥条件发生了较大的变化所致,具体机理还需要进一步地研究。

3 结论

- (1)薄层稻谷的降速干燥过程具有二段性,初始含水率越大,干燥过程的二段性越明显.
- (2)由薄层干燥特性曲线可以得到稻谷的动平衡含水率.
- (3)Bala模型可以较好地拟合稻谷的动平衡含水率数据.

参考文献:

[1] 曹崇文,朱文学.农产品干燥工艺过程的计算机模拟[M].北京:中国农业出版社,2001.14—32.
[2] ALLEN J R. Application of grain drying theory to the drying of maize and rice[J]. J Agric Eng Res, 1960, 5(4): 363—385.
[3] BALA B K. Drying and storage of cereal grains[M]. USA: Science Publishers, 1997. 100—120.
[4] 陈羽白.荔枝和龙眼干燥特性的试验研究[D].广州:华南农业大学,1995.

Studies on Dynamic Equilibrium Moisture Content of Rice Grain

YANG Zhou, LUO Xi-wen, LI Chang-you

(College of Engineering, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642 China)

Abstract: Thin-layer drying characteristics of high-moisture-content rice grain in South China were studied. The dynamic equilibrium moisture content of rice grain was determined on the basis of the curves of thin-layer drying characteristics. The parameters of Bala model were integrated from the experimental data.

Key words: rice grain; drying; equilibrium moisture content

【责任编辑 李晓卉】