

香蕉在低温吸附干燥过程的收缩特性

徐妮¹, 丁静², 赵义², 杨晓西³

(1. 茂名学院, 广东 茂名 525000) (2. 华南理工大学传热强化与过程节能教育部重点实验室, 广东 广州 510640)

(3. 东莞理工学院, 广东 东莞 523106)

摘要: 本文对香蕉低温吸附干燥过程中体积收缩的特性进行了实验研究, 分析了脱水量与收缩率之间的关系, 过程引入体积收缩系数和各向同性度的概念, 考虑收缩效应对香蕉低温吸附干燥过程传热和传质的影响, 将其归纳在扩散系数中, 修正为有效扩散系数 D_e' , 并推导出 D_e' 的计算公式。

关键词: 低温吸附干燥; 收缩; 有效扩散系数

中图分类号: TQ028.6⁺72; 文献标识码: A; 文章编号: 1673-9078(2007)06-0017-04

Shrinkage Characteristics of Banana in Adsorption Drying under Low Temperature

XU Wei¹, DING Jing², ZHAO Yi², YANG Xiao-xi³

(1. Maoming College, Maoming 525000, China) (2. The Key Laboratory of Enhanced Heat Transfer and Energy Conservation, ministry of education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China) (3. Dongguan University of Technology, Dongguan 523106, China)

Abstract: The shrinkage characteristics of banana during its drying by adsorption under low temperature were investigated here. The relationship between reduced volume and removed moisture was discussed and some definitions, including Volume Shrinkage Coefficient and Shrinkage Isotropy Ratio, were also introduced. Shrinkage was considered to be a factor of diffusion coefficient due to its influences on heat and mass transfer and the corresponding corrective diffusion coefficient D_e' was deduced.

Key Words: low-temperature adsorption drying; shrinkage; effective diffusion coefficient

蔬菜、水果等生物性材料通常都具有多孔的内部结构和较高的初始含水率, 在干燥过程中随着含水率的降低常常伴有明显的体积收缩和变形现象。目前, 对这类物料干燥过程的研究, 大多忽略了它们的收缩特性, 这势必会带来实验和理论分析上的误差。本文对香蕉低温吸附干燥过程中的体积收缩特性进行了实验研究, 并用修正扩散系数的方法在理论模型中加以考虑, 得到了考虑收缩效应时香蕉低温吸附干燥过程有效扩散系数的计算公式。

1 材料、设备与方法

1.1 实验材料

本实验中, 新鲜的香蕉由本地市场购得。去皮、洗净后, 根据实验需要, 切成边长约20 mm, 厚度约

收稿日期: 2007-02-01

作者简介: 徐妮, 女, 博士研究生, 讲师, 从事低温吸附干燥研究

8 mm的立方体, 平铺在干燥箱中的干燥架上进行干燥。

1.2 实验设备

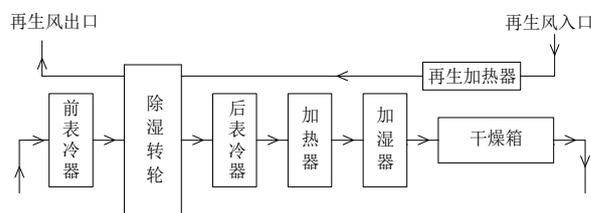


图1 低温吸附干燥系统工艺流程

实验在自制的低温吸附干燥多功能试验台上进行, 其工艺流程如图1所示。实验台可对干燥空气的温度、相对湿度和风速进行调节。干燥过程中物料的重量变化由Sartorius电子天平进行实时连续的测量和记录, 长度和厚度方向的尺寸变化用游标卡尺进行测量。本实验中, 为了更直观地分析干燥过程的收缩特性,

定义体积收缩系数 β 和各向同性度 ψ ^[1]如下:

$$\beta = \frac{V_0 - V}{V_0} \dots\dots(1)$$

$$\psi = \frac{\frac{l_0 - l}{l_0}}{\frac{h_0 - h}{h_0}} \dots\dots(2)$$

其中, V 、 l 和 h 分别为物料的体积、边长和厚度, 下标 0 表示为初始值。

2 香蕉收缩特性的实验研究

2.1 体积收缩特性

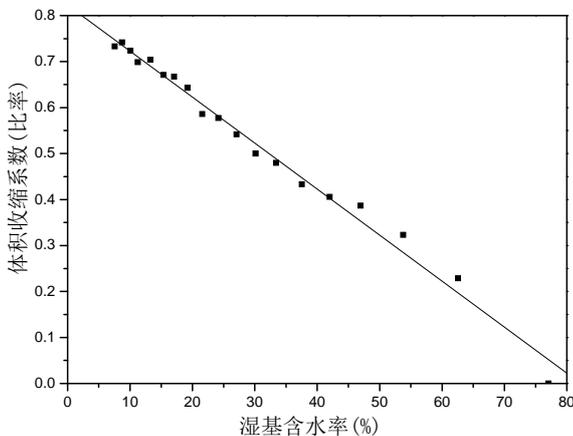


图 2 香蕉体积收缩系数与含水率关系

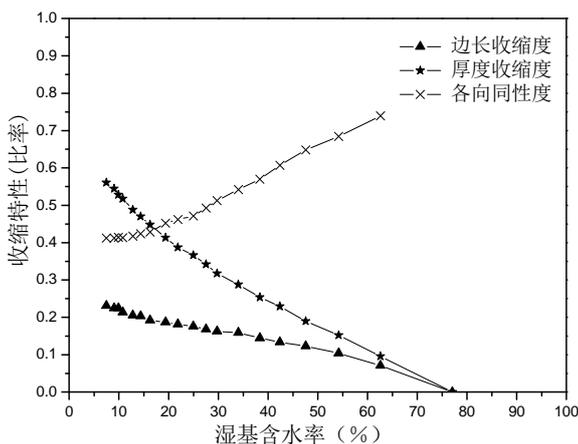


图 3 香蕉的各向同性度

香蕉体积收缩系数随含水率变化的情况如图 2 所示。由图可以看出, 体积收缩系数随含水率近似呈线性变化, 在干燥初期高含水率时, 香蕉的体积收缩系数较小, 随着含水率的降低体积收缩系数逐渐增大。这主要是因为干燥初期香蕉内部有大量水分存在, 作用于毛细管壁上的压差较小, 而这种压差是收缩产生

的主要原因。

香蕉边长、厚度方向的收缩度及各向同性度与香蕉含水率之间的关系如图 3 所示。由图可以看出, 其收缩呈现出较明显的各向异性, 厚度方向的收缩度要大于边长方向的, 并且这种差别在低含水率时表现的尤为明显。这说明香蕉干燥到较低的含水率后, 由于收缩不均匀, 内部将会产生较大的应力, 容易发生变形。

2.2 脱水量与收缩率的关系

图 4 反映了香蕉干燥过程中的体积收缩系数与单位体积脱水量之间的关系, 图中的等分线表示了物料减少的体积正好等于脱去水分体积的情况。由图可以看出, 在干燥初期, 即物料含水率较高、体积收缩系数较小时, 曲线与等分线基本重合, 随着干燥过程的进行, 曲线逐渐偏离等分线, 在干燥后期体积减少量远小于物料脱水量。Mayor^[2]认为这与物料固体骨架的流动性有关。根据其理论, 可以将实验的结果解释如下: 在干燥过程初期、高含水率的情况下, 物料的固体骨架处于粘弹性状态, 较软, 容易变形, 此时体积的收缩几乎全部用于补偿水分的损失; 而干燥后期曲线的变化则取决于固体骨架由粘弹性状态向玻璃态转化的条件。对香蕉来讲, 在低含水率情况下, 骨架比较容易由软变硬, 转变为玻璃态, 从而使体积的收缩率降低, 此时脱去的水分变成内部气态孔隙率的增加, 故其体积减少量小于从物料中脱去的水量。

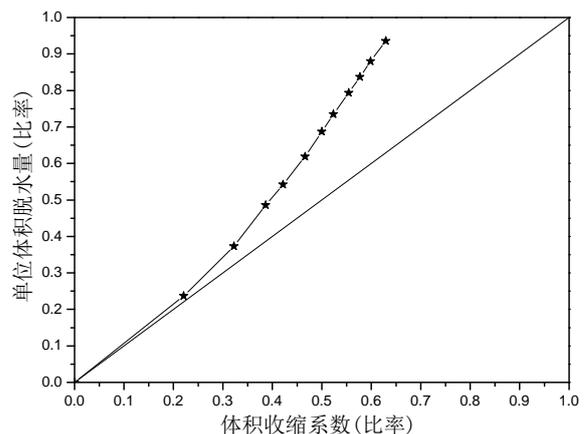


图 4 香蕉脱水量与收缩率之间的关系

3 有效扩散系数

低温吸附干燥时干燥介质的温度较低, 气流速度也不太大, 故物料内部的温度梯度很小, 由它引起的水分迁移量也很小, 可以忽略不计, 因此可认为水分浓度梯度为内部水分扩散的唯一动力。根据文献^[3]可以得到在刚性骨架假设下的水分扩散方程:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = D_e \nabla^2 u \dots \dots (3)$$

其中, u 为物料的含水率; D_e 为不考虑收缩时的有效扩散系数, 它考虑了物料内部结构及各种水分扩散效应的综合影响。

体积收缩现象的存在影响着物料内部水分和热量的传递过程, 若把这种影响也并入有效扩散系数中

加以考虑, 假设 D_e' 为考虑收缩时的有效扩散系数, 根据经验可以得到^[4,5]:

$$\frac{D_e'}{D_e} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{2/d} \dots \dots (4)$$

其中指数 d 的取值通常在 1~3 之间, 若不考虑收缩的各向异性, 可由体积变化与厚度变化间的关系估算得到^[6]。表 1 中列出了香蕉在 45 °C 的干燥条件下, 不同时刻含水率、厚度和体积的变化情况, 以及据此计算得到的相应的 d 值。从计算结果可以看出 d 值在整个干燥过程中的变化不太大, 因此可将 d 的平均值作为整个干燥过程的 d 值, 即:

$$d = \bar{d} = 1.839 \dots \dots (5)$$

图 5 是根据实验数据得到的香蕉体积变化率 V/V_0 与湿基含水率 u 的关系, 由图可以看出二者之间基本呈线性关系, 因此可以将体积的变化表示为含水率的线性函数:

$$\frac{V}{V_0} = A + Bu \dots \dots (6)$$

其中, A 、 B 为待定系数。

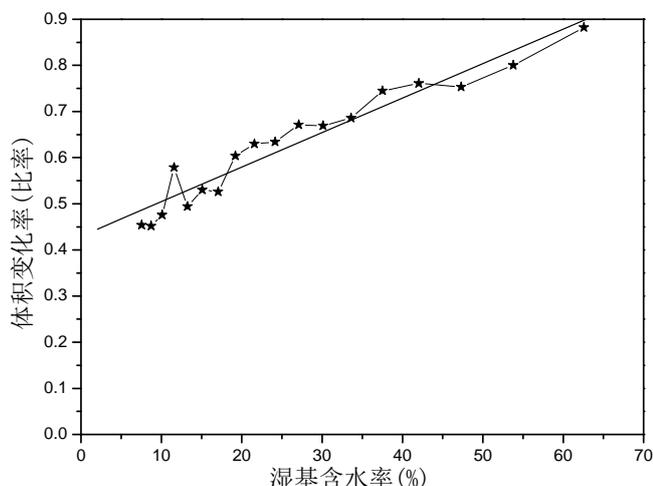


图 5 香蕉体积变化率与含水率之间的关系

经线性拟和后得到: $A=0.42981$, $B=0.00748$, 相

关系数为 $R=0.97$ 。

因此考虑收缩时香蕉低温吸附干燥过程的有效扩散系数计算公式为:

$$D_e' = D_e (0.42981 + 0.00748u)^{1.088} \dots \dots (7)$$

4 结论

香蕉在低温吸附干燥过程中会发生体积收缩的现象, 其体积的收缩与含水率呈线性关系。见表 1。

香蕉干燥过程中的体积收缩是各向异性的, 会在内部产生干燥应力而导致变形。

干燥初期, 香蕉的体积减少量近似等于脱水的水分量; 干燥后期, 体积减少量则小于脱水量, 表明此时去除的水分量变成了内部孔隙的增加。

表 1 香蕉干燥过程中含水率、厚度和体积的变化

干燥时间 /min	湿基含水率/%	厚度变化 /比率	体积变化 /比率	d
30	62.579	0.771	0.882	2.060
60	53.788	0.677	0.800	1.742
90	47.299	0.586	0.753	1.887
120	42.025	0.594	0.761	1.907
150	37.528	0.567	0.745	1.929
180	33.617	0.500	0.686	1.837
210	30.123	0.500	0.669	1.722
240	27.086	0.458	0.671	1.956
270	24.166	0.423	0.634	1.885
300	21.566	0.414	0.630	1.910
330	19.222	0.357	0.604	2.040
360	17.070	0.333	0.526	1.708
390	15.077	0.333	0.530	1.732
420	13.255	0.296	0.494	1.723
450	11.561	0.346	0.579	1.940
480	10.080	0.276	0.476	1.736
510	8.716	0.258	0.452	1.708
540	7.555	0.267	0.454	1.672

考虑到香蕉低温吸附干燥过程的体积收缩, 其有效扩散系数计算公式可修正为:

$$D_e' = D_e (0.42981 + 0.00748u)^{1.088}$$

但必须指出: 为了简化问题, 便于求解, 公式中尚没有考虑收缩的各向异性, 要使模拟结果更准确, 将来应在此方面作进一步的研究。

(下转第 29 页)