

# 菠萝叶纤维干燥特性试验研究

王金丽, 邓怡国, 黄 晖

(中国热带农业科学院农业机械研究所, 湛江 524091)

**摘 要:** 用热风干燥试验装置对菠萝叶湿纤维进行干燥试验, 选择不同温度、风速对其干燥规律进行研究。试验结果表明, 干燥降水过程主要为降速过程; 根据干燥曲线, 采用多元回归方法, 建立了菠萝叶纤维干燥的数学模型; 通过正交试验得出在多因素条件下, 投料量对纤维干燥生产率的影响最为显著, 其它依次为温度、纤维初始含水率和风速。

**关键词:** 菠萝叶纤维; 干燥; 数学模型

中图分类号: S563.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)10-0151-04

王金丽, 邓怡国, 黄 晖 菠萝叶纤维干燥特性试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 151- 154

Wang Jinli, Deng Yiguo, Huang Hui Experimental research on drying characteristics of pineapple leaf fiber [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 151- 154 (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

菠萝叶纤维(又称菠萝麻)是从菠萝叶片中提取的纤维, 属叶脉纤维<sup>[1]</sup>, 是一种新型的天然植物纤维。有研究表明菠萝叶纤维具有良好的纺织性能, 是各种中高档服装、床上用品和高级纸张的最佳原料之一<sup>[2-4]</sup>。

目前菠萝叶纤维已在日本、菲律宾、印度和台湾等地得到有效开发利用<sup>[2,4]</sup>。中国从 20 世纪 60 年代开始对菠萝叶纤维进行研究, 90 年代后有了较大发展。中国热带农业科学院农业机械研究所与中国纺织大学等有关单位合作研究的菠萝叶纤维纺织产品已问世。前者研制出的菠萝叶纤维提取工艺技术和设备<sup>[5-7]</sup>也已在广东、广西、海南等菠萝主产区得到推广应用, 大大提高了热带地区菠萝的农业综合利用程度。

从鲜菠萝叶中提取的纤维, 经水洗除杂去胶和压水后, 经测试仍含有相当于干纤维本身 1.5 倍以上的水分, 因此必须及时干燥为干纤维才便于贮存、运输和使用。目前菠萝叶纤维的干燥主要采取室外自然干燥法, 利用太阳能和自然风的作用达到干燥纤维的目的, 一般需晒 1~2 d, 若遇天气不好则需更长时间。一方面工效低, 另一方面纤维得不到及时干燥易发霉变黑而影响纤维品质。因此采用加热烘干法是今后必选方法之一。

由于菠萝叶纤维是一种新开发的纤维, 干燥方面的研究还基本没有。本项目的研究目的在于摸清和掌握菠萝叶纤维的干燥规律, 探讨热风温度、风速等参数对菠萝叶纤维干燥的影响, 建立干燥的数学模型, 为设计菠萝叶纤维干燥设备提供技术参考和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设备

收稿日期: 2005-03-17 修订日期: 2005-07-20

基金项目: 中国热带农业科学院科技基金项目

作者简介: 王金丽(1958-), 女, 副研究员。主要从事热带作物机械研究与检测。湛江市 中国热带农业科学院农业机械研究所, 524091

试验设备为 RF-25 型干燥器, 如图 1 所示。干燥器主要由风机、加热器、干燥斗、风量调节器及控制装置等组成。风速用 435 型数字式风速计测试, 质量用 BL 310 型电子天平测试。干燥斗内径为 35 cm。干燥时热风由干燥斗下面进入, 穿过纤维层进行干燥作业。

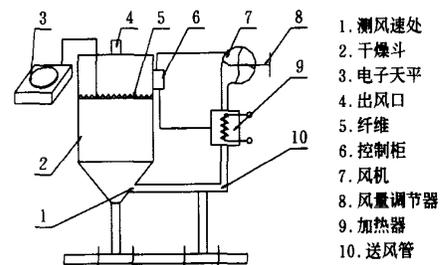


图 1 干燥器示意图

Fig 1 Sketch of desiccator

### 1.2 试验原料

菠萝叶纤维取自湛江地区种植的巴厘种菠萝叶, 通过 GZ-266 型菠萝叶刮麻机提取。纤维提取后经水洗去除杂质和压去水分, 湿基含水率 70%。

### 1.3 试验方法

分别选取不同温度  $T$ 、热风速度  $v$ , 对菠萝叶进行干燥试验。每次取样质量均为 70 g, 每组试验重复 2 次, 取平均值。

将干燥器的风速和温度调整到规定值时, 将湿纤维均匀地放在筛板上进行干燥试验。每隔 5 min 测一次质量, 直至纤维恒重。物料含水率用下式计算

$$W_t = \frac{m_t - m_g}{m_t} \times 100\%$$

式中  $W_t$ ——干燥至  $t$  时的含水率, %;  $m_t$ ——试样烘至  $t$  时的质量, g;  $m_g$ ——试样的烘干质量, g。

## 2 结果与分析

### 2.1 风温和风速对干燥速率的影响

不同温度和风速条件下的干燥曲线如图 2 和图 3,

相应的干燥速率曲线如图 4 和图 5 所示。

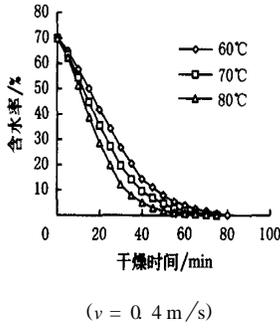


图 2 不同风温的干燥曲线

Fig 2 Drying curves at different temperatures

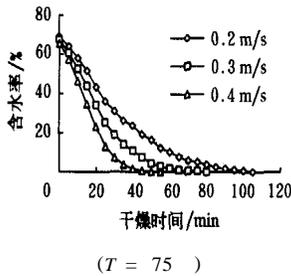


图 3 不同风速的干燥曲线

Fig 3 Drying curves at different air speeds

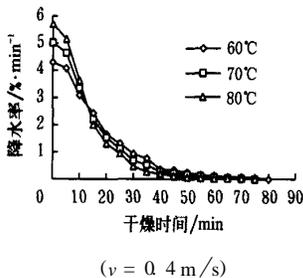


图 4 不同风温的干燥速率曲线

Fig 4 Drying speed curves at different temperatures

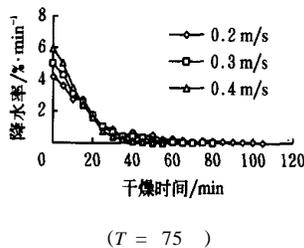


图 5 不同风速的干燥速率曲线

Fig 5 Drying speed curves at different air speeds

从图 2 和图 3 可知温度越高、风速越大, 则干燥速度越快, 且风速对干燥速度的影响比温度大; 从图 4 和图 5 可知菠萝叶纤维干燥的降水率在全过程呈递减趋势, 前期降水速度较快, 后期降水速度较慢, 无升速和明显的恒速阶段。这主要是因为菠萝叶纤维结构细, 大量水分主要附在纤维表面, 而内部所含水分相对较少。受热汽化后水分被迅速带走, 物料内部形成温度梯度的时间很短, 降速干燥后期纤维的含水量已降到一个较低水平, 蒸发量变得很小, 降水速率减慢。

### 2 2 干燥数学模型的确定

菠萝叶纤维干燥过程中的水分比  $MR$  与干燥时间  $t$  的关系如图 6 和图 7 所示。从图中看到菠萝叶纤维在干燥过程中的水分比  $MR$  与时间  $t$  成指数关系。因此选用以下三种通用的指数模型<sup>[8]</sup>进行拟合:

$$MR = \exp(-Kt) \quad (1)$$

$$MR = A \cdot \exp(-Kt) \quad (2)$$

$$MR = \exp(-Kt^N) \quad (3)$$

式中  $MR = (m_t - m_g)/(m_0 - m_g)$ <sup>[9]</sup>,  $m_0$ ——试样的初始质量, g;  $K, A, N$ ——与干燥条件有关的待定参数。为了方便分析, 将以上三式两边取对数后变为:

$$\ln(MR) = -Kt \quad (4)$$

$$\ln(MR) = \ln A - Kt \quad (5)$$

$$\ln[-\ln(MR)] = +N \cdot \ln t \quad (6)$$

用试验数据把  $\ln(MR)$  与  $t$  和  $\ln[-\ln(MR)]$  与  $\ln t$  的关系描述在图 8 ~ 11 中。比较图 8 ~ 11 知  $\ln[-\ln(MR)]$  与  $\ln t$  的关系比  $\ln(MR)$  与  $t$  的关系更接近直线, 因此选择方程(3)为菠萝叶纤维干燥过程降水规律的数学模型。

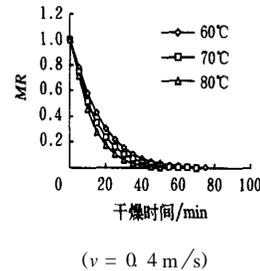


图 6 不同风温  $MR$  与干燥时间的关系

Fig 6 Relationship between  $MR$  and  $t$  at different temperatures

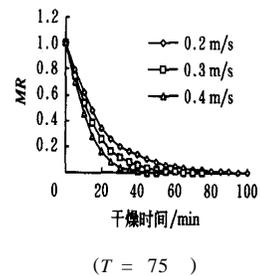


图 7 不同风速  $MR$  与干燥时间的关系

Fig 7 Relationship between  $MR$  and  $t$  at different air speeds

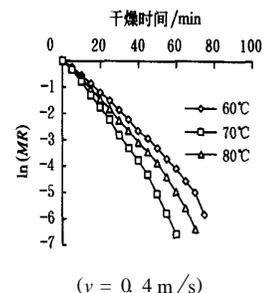
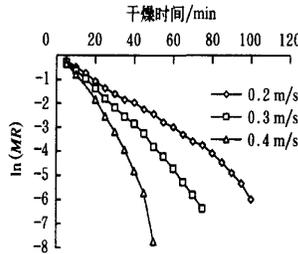


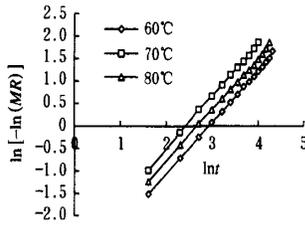
图 8 不同风温  $\ln(MR)$  与干燥时间的关系

Fig 8 Relationship between  $\ln(MR)$  and  $t$  at different temperatures



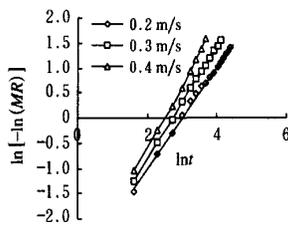
( $T = 75$ )

图 9 不同风速  $\ln(MR)$  与干燥时间的关系  
Fig 9 Relationship between  $\ln(MR)$  and  $t$  at different air speeds



( $v = 0.4 \text{ m/s}$ )

图 10 不同风温  $\ln[-\ln(MR)]$  与  $\ln t$  的关系  
Fig 10 Relationship between  $\ln[-\ln(MR)]$  and  $\ln t$  at different temperatures



( $T = 75$ )

图 11 不同风速  $\ln[-\ln(MR)]$  与  $\ln t$  的关系  
Fig 11 Relationship between  $\ln[-\ln(MR)]$  and  $\ln t$  at different air speeds

2.3 参数  $K$  和  $N$  的确定

由图 10 知  $\ln K$  与温度有关, 与风速无关; 由图 11 知  $N$  与风速有关, 与温度无关, 因此  $K$  与  $N$  可用下式表示:

$$\ln K = a + bT \tag{7}$$

$$N = c + dv \tag{8}$$

式中  $T$ ——风温, ;  $v$ ——风速,  $\text{m/s}$ ;  $a, b, c, d$ ——系数

所以方程 (6) 可变为:

$$\ln[-\ln(MR)] = a + bT + c \ln t + dv \ln t \tag{9}$$

根据试验数据, 用 SAS<sup>[10]</sup> 软件对 (9) 进行多元回归及分析, 求出各系数分别为:

$$a = -4.66533, b = 0.02269, c = 0.84254,$$

$$d = 0.78926$$

方差分析结果见表 1。由表 1 可知多元线性回归达极其显著, 由参数估计量可知所求数学模型为:

$$MR = \exp(-Kt^N)$$

$$K = \exp(0.02269T - 4.66533)$$

$$N = 0.84254 + 0.78926v$$

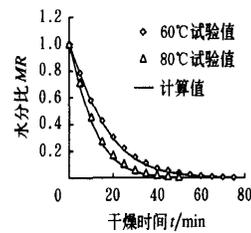
表 1 方差分析表

Table 1 Analysis of variance

来源	自由度	平方和	均方	F 值	$F_{0.01}(3, 60)$	$F_{0.01}(3, 80)$
回归	3	51.13037	17.04346	2601.35	4.13	4.04
剩余	71	0.46518	0.00655			
总计	74	51.59554				

2.4 模型的验证

选择另外两组试验值与方程的计算值对方程进行检验, 结果如图 12 所示。从图中看到两者的吻合较好, 说明由试验所确定的数学模型可以很好地用来描述菠萝叶纤维干燥过程的降水规律。



( $v = 0.4 \text{ m/s}$ )

图 12 不同风温试验值与计算值的比较

Fig 12 Comparison of test value and computation at different temperatures

2.5 干燥工艺参数正交试验

在以上试验中主要讨论的是针对菠萝叶纤维干燥过程中, 对其有重要影响的温度、风速等因素的单因子试验。此外为了了解其它因素对纤维干燥的影响, 本项目还进行了四因素三水平的正交试验。湿纤维经压水预处理后使其干燥前的湿基含水率分别为 60%、70% 和 80%。选择纤维的干燥生产率作为评定指标 (而纤维干后的色泽差异不明显)。正交试验的结果见表 2。

表 2 正交试验方案与结果

Table 2 Plan and results of orthogonal test

编号	温度 $T$ /	风速 $v$ / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	初始含水率 $W$ /%	投料量 $G$ / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	干燥生产率 $E/\text{g} \cdot \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$			合计
					1	2	3	
1	1(60)	1(0.2)	1(80)	1(1)	9.5	10.0	10.0	29.5
2	2(70)	2(0.3)	1	2(2)	21.1	20.0	22.2	63.3
3	3(80)	3(0.4)	1	3(3)	25.0	24.0	26.0	75.0
4	1	3	2(70)	2	20.0	21.1	22.2	63.3
5	2	1	2	3	20.7	21.4	20.0	62.1
6	3	2	2	1	15.4	14.3	15.4	45.1
7	1	2	3(60)	3	17.6	18.8	18.2	54.6
8	2	3	3	1	16.7	15.4	15.4	47.5
9	3	1	3	2	28.6	30.8	28.6	88.0
$K_1$	147.4	179.6	167.8	122.1				
$K_2$	172.9	163.0	170.5	214.6				
$K_3$	208.1	185.8	190.1	191.7				
$k_1$	16.4	20.0	18.6	13.6				
$k_2$	19.2	18.1	18.9	23.8				
$k_3$	23.1	20.6	21.1	21.3				
极差 $R$	6.7	2.5	2.5	7.7				

由极差可知所选因素对干燥生产率的影响顺序为  $G$ 、 $T$ 、 $W$  和  $V$ 。由表 3 的方差分析知投料量、温度、初始含水率和风速都有显著影响。

表 3 正交试验方差分析表

Table 3 Analysis of variance on orthogonal test

方差来源	偏差平方和	自由度	平均偏差平方和	$F$ 比	$F$ 临界值
$T$	222	2	111.0	138.75	$F_{0.05}(2, 18) = 3.55$
$V$	47	2	23.5	29.38	$F_{0.01}(2, 18) = 6.014$
$W$	49	2	24.5	30.62	$F_{0.001}(2, 18) = 10.4$
$G$	532	2	266.0	332.50	
误差 $e$	14	18	0.8		

投料量(即纤维的厚度)对干燥生产率的影响最大。因为厚度影响纤维内部水分的扩散和蒸发,从而影响了干燥时间和生产率。

在多因素情况下,温度比风速对干燥生产率的影响大,说明改变初始条件对菠萝叶纤维的干燥会有影响。初始含水率对纤维干燥生产率的影响相对较小,说明菠萝叶纤维的水分主要依附在外表,在一定温度和风速下水分能很快被汽化后带走。

正交试验结果较好的工艺条件是  $T_3, V_3, W_3, G_2$ , 但这些点大都在试验范围的边界,因此还应扩大试验范围,寻求更好的工艺条件。按以上工艺条件又进行了两次试验,干燥生产率分别为  $37.0 \text{ g/m in}$  和  $35.1 \text{ g/m in}$ 。

### 3 结 论

1) 菠萝叶纤维干燥过程主要为降速过程。在研究范围的单因素条件下,风速对干燥速率的影响比温度大。

2) 干燥曲线为典型的指数曲线,干燥过程的数学模型为:  $MR = \exp(-Kt^N)$ , 其中  $K = \exp(0.02269T - 4.66533)$ ,  $N = 0.84254 + 0.78926V$ 。

3) 在多因素条件下进行的正交试验,其结果为投料量对干燥生产率的影响最大,其次为风温、初始含水率和风速。

#### [参 考 文 献]

- [1] 邢声远, 江锡夏, 文永奋, 等. 纺织新材料及其识别[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2003: 7- 8
- [2] 郁崇文. 凤梨麻纤维的开发利用[J]. 麻纺织技术, 1997, 20(3): 13- 15
- [3] Lmashankar Shama. Research on pineapple leaf fiber [J]. Carbohydrate research, 1981, 97(2): 8- 11.
- [4] 李明福, 张 劲, 姚欣茂, 等. 菠萝叶纤维的研究动态及发展对策[J]. 麻纺织技术, 1999, 22(1): 17- 22
- [5] 张 劲, 姚欣茂, 李明福, 等. 菠萝叶纤维提取与工艺设备的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 99- 103
- [6] 李明福, 张 劲, 欧忠庆, 等. 小型菠萝叶刮麻机刮麻特性的试验研究[J]. 热带农业工程, 2001, 2: 12- 14
- [7] 吴全珍, 李明福, 周国宏. 对小型菠萝鲜叶刮麻机的探讨[J]. 热带农业工程, 1995, 1: 7- 9
- [8] 牛智有, 谭鹤群, 宗 力. 红枣干燥特性的试验研究[J]. 食品与机械, 1998, 5: 18- 20
- [9] 唐学石, 许乃章, 陆平中. 蘑菇热风干燥的研究[J]. 农业机械学报, 1990, 21(2): 50- 54
- [10] 林德光. 计算机程序设计语言 SAS 教程[M]. 儋州: 华南热带农业大学, 2000: 45- 51.
- [11] 中国科学院数学研究所统计组. 常用数理统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 1973

## Experimental research on drying characteristics of pineapple leaf fiber

Wang Jinli, Deng Yiguo, Huang Hui

(Agricultural Machinery Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, China)

**Abstract:** This paper introduced the drying experiment of pineapple leaf wet fiber with a hot airflow drying device. To study the drying characteristics, different airflow temperatures and velocities were chosen. The experimental results showed that the changing rate of fiber moisture was declining in the whole process, and the drying mathematical model was developed with multiple element regression method according to the drying curves. Through the orthogonal experiment, it was concluded that the material thickness affected the drying productivity mostly, sequentially was the temperature, the original moisture content and the airflow velocity.

**Key words:** pineapple leaf fiber; drying; mathematical model