

洋葱薄层脱水动力学研究

诸爱士

(浙江科技学院 生物与化学工程学院,杭州 310023)

摘 要: 研究了一定条件下风速与风温对经烫漂预处理的洋葱薄层热风干燥过程的影响,拟合了干燥曲线方程,并计算了临界含水量、传热膜系数 α 与传质系数 k_H 等动力学参数。结果表明:干燥方程符合 Page 模型;随风速增大 α 与 k_H 均增大,但风温对两者影响不大。

关键词: 洋葱;预处理;薄层干燥;动力学模型;参数

中图分类号: TQ028.672

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2006)01-0031-04

Study on the Dynamics of Thin Layer Drying of Onion

ZHU Ai-shi

(School of Biological and Chemical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: It have been studied that the influence of the wind speed and temperature on the dry course of thin layer of the onion by pretreatment with hot air under certain condition. The dry curve equations were fitted , the dynamics parameter, such as the critical water content, heat transmission membrane coefficient α , and quality transmission coefficient k_H , were calculated. The result shows that the dry equation accords with the Page model. As the wind speed rises, α and k_H were increased, but the wind temperature has a little effect on the two coefficient.

Key words: onion; pretreatment; thin layer drying; dynamics model; coefficient

已见报道的洋葱薄层干燥研究主要在热风条件下,针对未经预处理的洋葱,探讨了风量、风温和相对湿度等条件改变时,物料水分随时间的变化规律,并进一步导出薄层干燥方程,以及对干燥过程的温系数、质系数的计算^[1-5]。实际工业化生产脱水蔬菜大多为了钝化酶的活性,防褐变,保持色泽等而对蔬菜采用烫漂的预处理^[6]。本文研究了洋葱经烫漂后的薄层干燥过程,通过工艺条件的比较研究,发现经预处理的洋葱干燥后的色泽比未经预处理的要好

(不发黄),干制品的复水性比未处理的提高 5%左右,脱水干燥速度提高约 10%。当然,烫漂预处理需要增加能耗,成本有所增加,但增加幅度不大,且产品的品质优点以及由干燥速度的加快来降低能耗等,足以弥补该缺点。在确定较佳的工艺条件后,主要探讨了风温、风量对干燥的影响,着重研究了干燥动力学,拟合了干燥方程,推算了临界含水量,研究了风温、风量对传热膜系数 α 及传质系数 k_H 的影响,以便为工业生产提供基础数据。

收稿日期: 2005-07-07

作者简介: 诸爱士(1966—),男,浙江湖州人,副教授,主要从事化工单元操作教学与研究。

1 实验与数据处理

干燥实验采用隧道式干燥器,实验时干燥条件恒定。采用减重法测定物料量随时间的变化,物料的初始状态为预处理后的洋葱。通过计算得出物料的湿含量 X_i 与干燥速度 U_i ,画出湿含量与时间及干燥速度与湿含量的关系图,并且计算出干燥过程的传热膜系数与传质系数,进一步加以关联。

2 实验结果与讨论

2.1 干燥条件的比较

2.1.1 风量对干燥过程的影响 形状为丁状的洋葱经 90°C 的热水漂烫 5 min 后,在温度为 60°C 、装载为 2.0 kg/m^2 的条件下考察了风量分别为 $0.0221\text{ m}^3/\text{s}$ (1.00 m/s)、 $0.0269\text{ m}^3/\text{s}$ (1.67 m/s)、 $0.0294\text{ m}^3/\text{s}$ (1.83 m/s) 和 $0.0319\text{ m}^3/\text{s}$ (1.98 m/s) 对干燥过程的影响,得到干燥曲线(图 1)和速度曲线(图 2)。

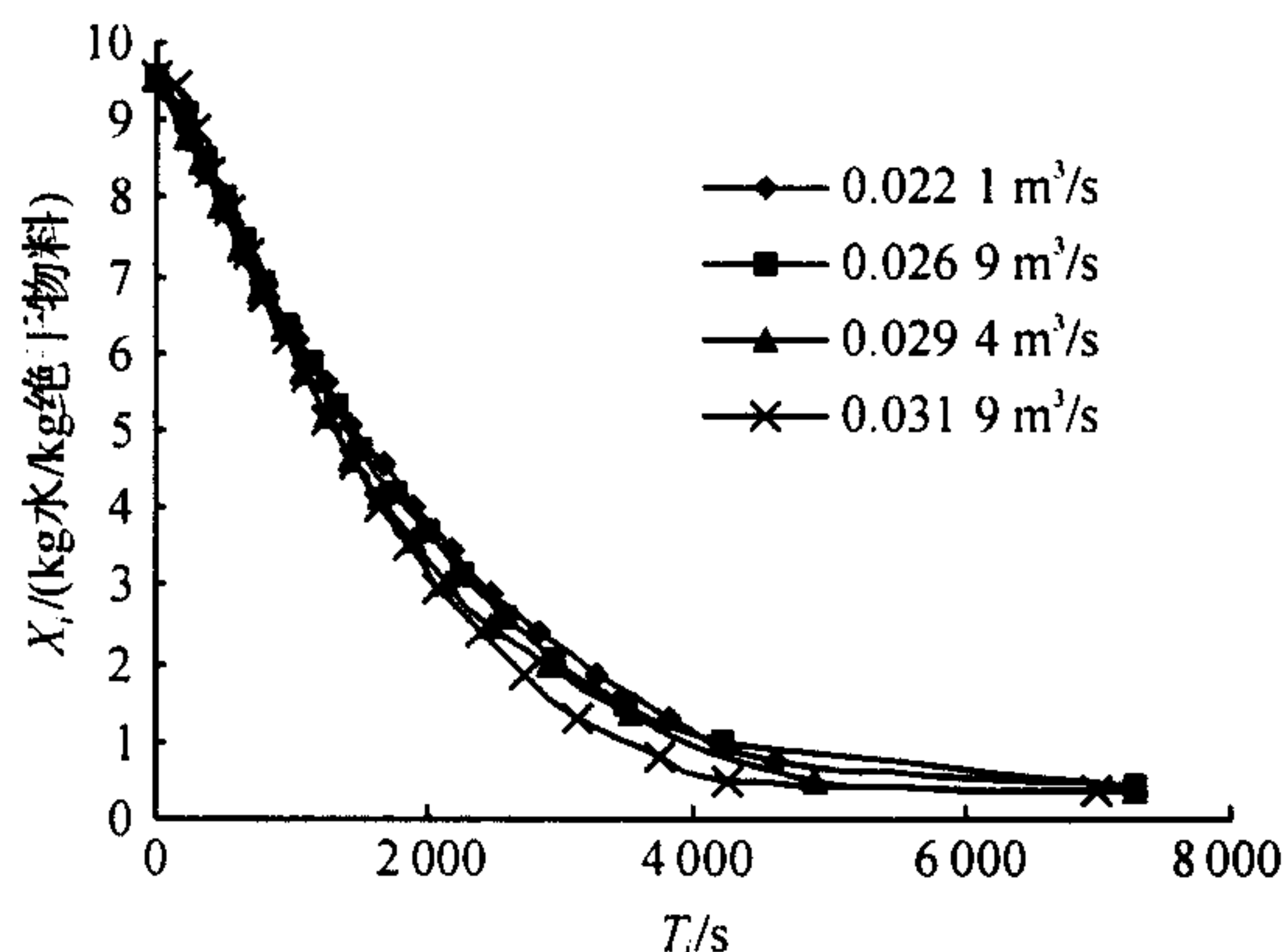


图 1 不同风量的干燥曲线

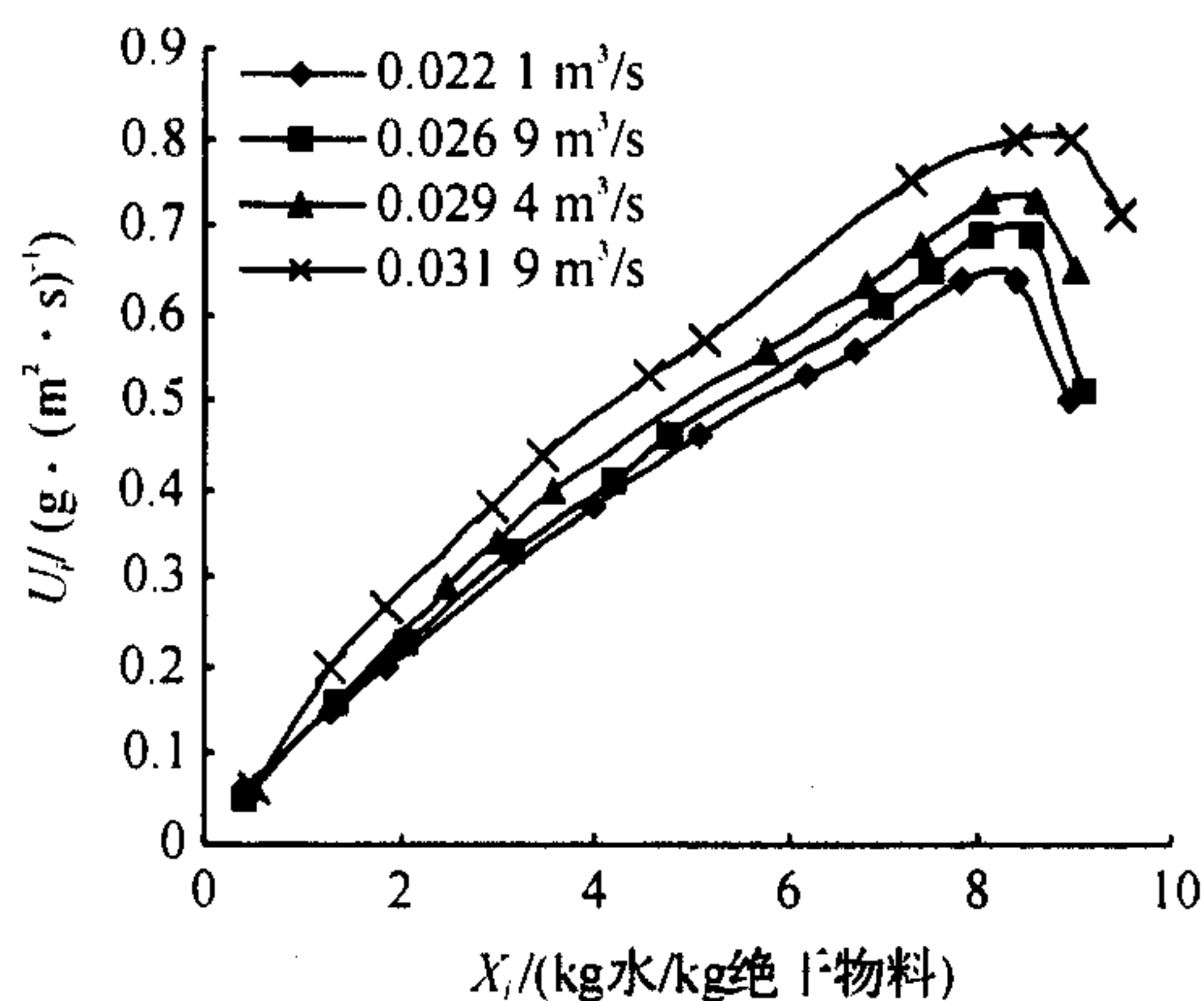


图 2 不同风量的速度曲线

在其他条件相同的情况下,风量越大,经相同时间处理后干燥物料的含水量越低;或要达到相同的含水量,风量就应越大,而所需干燥的时间则越短。其原因是风量越大,空气中含水量越小,空气与洋葱

之间的传质推动力——湿度差就越大,干燥速度也就越大。因此,提高风量对干燥过程有利,但应以不带出物料为宜;且风量越大能量损耗也越大。另外,速度图中恒速阶段很短,这表明物料经处理后自由水分很少。

2.1.2 干燥温度对干燥过程的影响 形状为丁状的洋葱经 90°C 的热水漂烫 5 min 后,在风量为 $0.0294\text{ m}^3/\text{s}$ (1.83 m/s)、装载为 2.0 kg/m^2 的条件下分别考察了温度为 45°C 、 50°C 、 60°C 、 70°C 对干燥过程的影响,得到的干燥曲线(图 3)和速度曲线(图 4)。

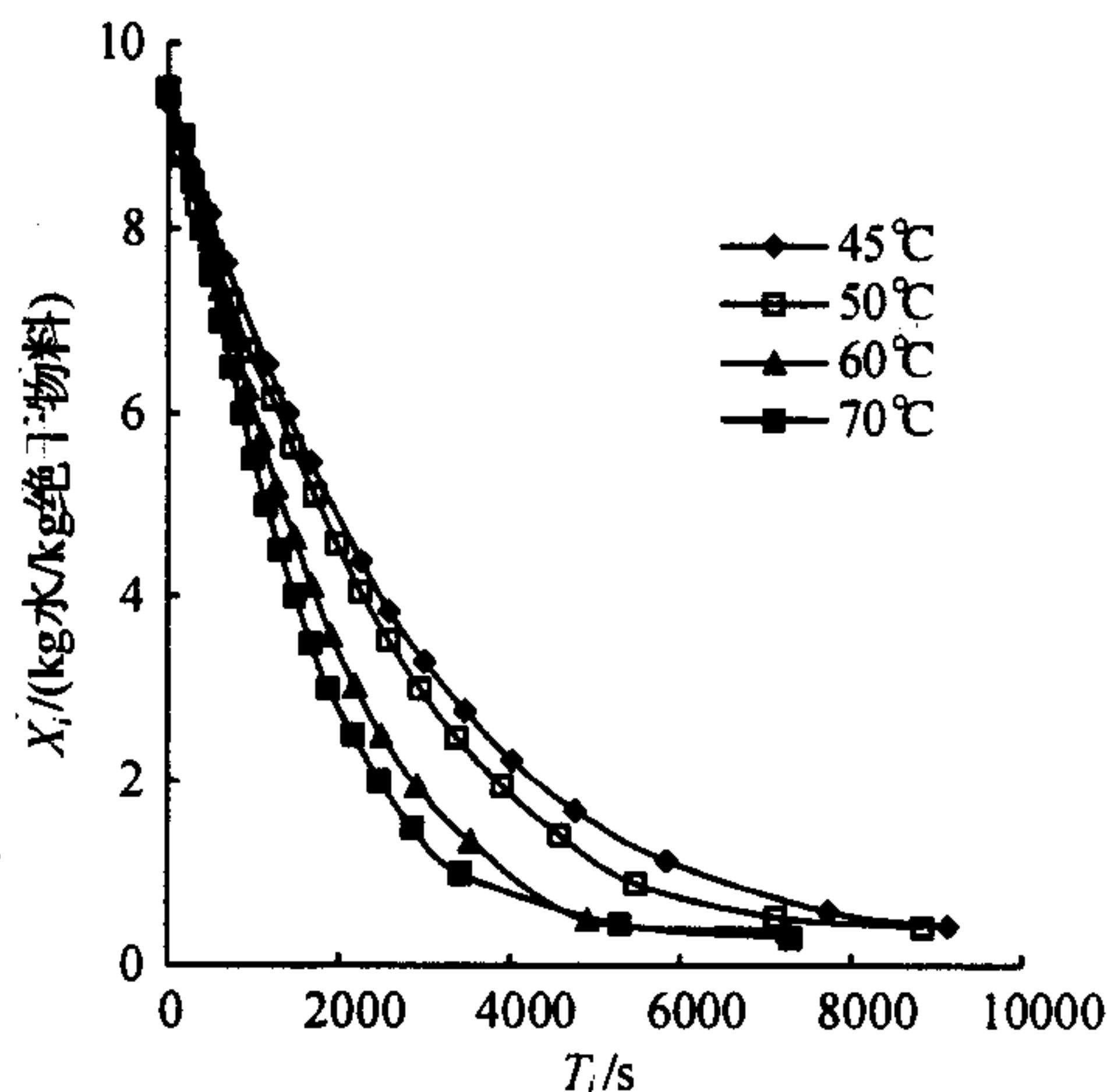


图 3 不同温度的干燥曲线

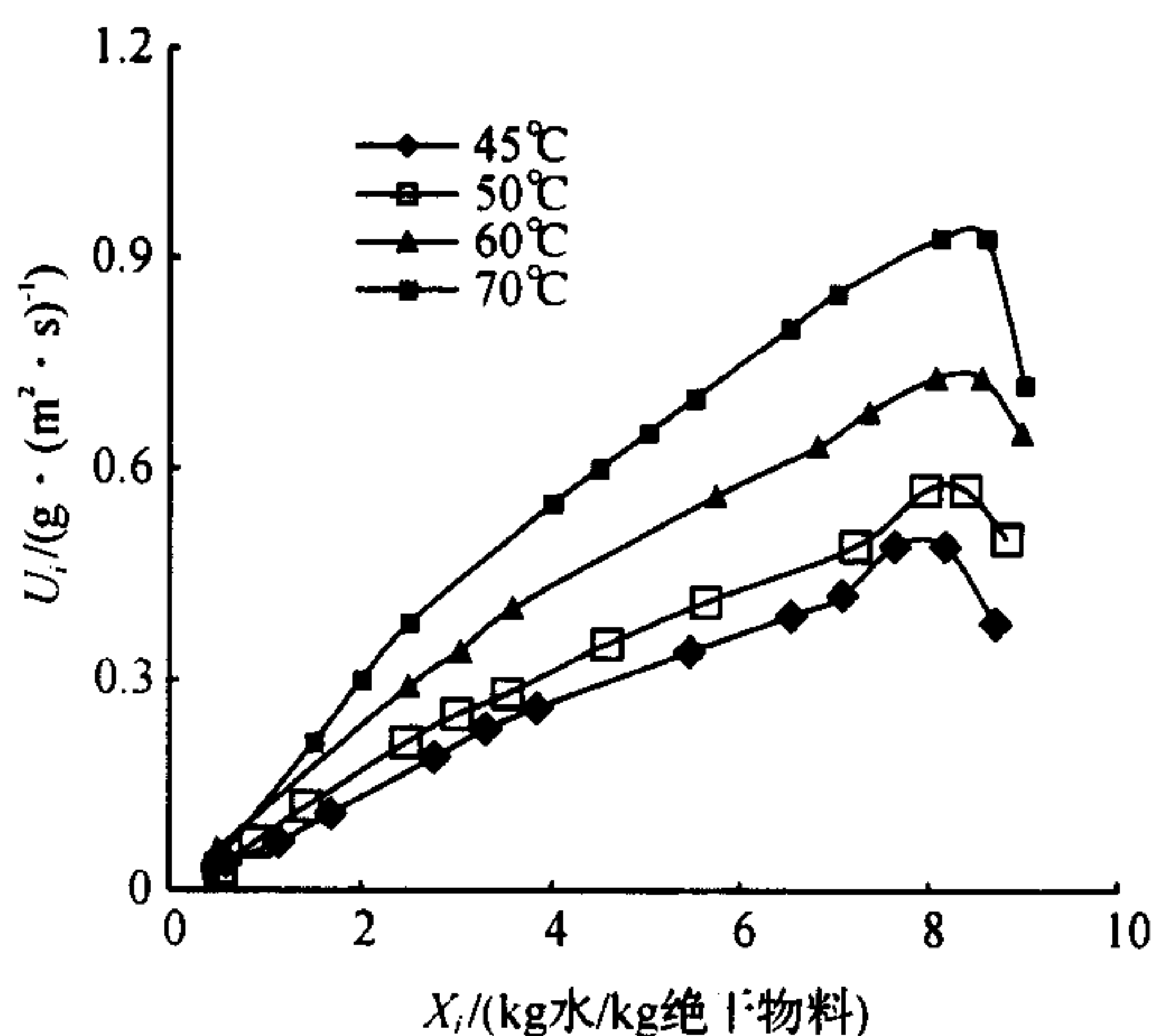


图 4 不同温度的速度曲线

图 3 中显示,在其他条件相同的情况下,温度越高,经相同时间干燥物料的含水量就越低。这是由于温度越高,空气相对湿度就越低,空气与葱叶之间的水含量差就越大,传热推动力——温度差、传质推动力——湿度差就越大,干燥速度也就越大,要达到一定的含水量所需时间就越短。因此,提高干燥温度对过程有利;但鉴于物料为热敏性,故温度不能过高,以防营养成分被破坏得越多,且热量损耗也就会越大。

2.2 动力学分析

2.2.1 干燥方程 薄层干燥方程的模型一般符合 Page 方程^[7],现对实验数据进行拟合。方程为:

$$(X - X^*) / (X_0 - X^*) = \exp(-KT^N)$$

对上式线性化后得出:

$$\ln[-\ln(X - X^*) / (X_0 - X^*)] = N \ln T + \ln K$$

式中: T 为时间, s; K 、 N 为干燥方程常数; X 为干基含水量, kg 水 / kg 绝干料; X_0 为初始含水量, kg 水 / kg 绝干料; X^* 为平衡含水量, kg 水 / kg 绝干料。

分别对 60℃ 时风量为 0.022 1、0.026 9、0.029 4、0.031 9、0.029 4 m³/s 时干燥温度为 45、50、60、70℃ 的 7 组实验数据,用最小二乘法线性回归得出结果见表 1、2,线性回归图略。从表中数据可看出各条件下的实验点线性关系均很好,在实验范围内干燥温度与风量的变化均对方程参数 K 与 N 有影响,风量对 N 影响较明显。但经进一步二元线性回归,无法将 K 、 N 用 t 、 Q 的二元线性关系来关联。

表 1 不同风量干燥参数

风量 / (m ³ · s ⁻¹)	N	$K \times 10^{-5}$	R^2	X_0 / (kg 水 / kg 绝干料)	X^* / (kg 水 / kg 绝干料)	X_c / (kg 水 / kg 绝干料)
0.022 1	1.263 8	6.734 4	0.994 1	9.51	0.43	7.78
0.026 9	1.285 1	6.023 2	0.998 5	9.55	0.43	8.00
0.029 4	1.249 8	8.887 3	0.996 5	9.51	0.38	8.05
0.031 9	1.394 0	3.104 7	0.996 9	9.58	0.35	8.36

注: R 为线性相关系数; X_c 为临界含水量, kg 水 / kg 绝干料。

表 2 不同温度的干燥参数

温度 / ℃	N	$K \times 10^{-4}$	R^2	X_0 / (kg 水 / kg 绝干料)	X^* / (kg 水 / kg 绝干料)	X_c / (kg 水 / kg 绝干料)
45	1.138 6	1.302 1	0.997 4	9.35	0.43	7.63
50	1.139 6	2.281 1	0.991 1	9.42	0.42	7.95
60	1.249 8	0.888 7	0.996 5	9.51	0.38	8.05
70	1.227 6	1.113 8	0.991 8	9.50	0.30	8.10

各条件下的干燥方程如下:

风量: 0.0221 m³/s

$$(X - X^*) / (X_0 - X^*) = \exp(-0.000\ 067\ 344 T^{1.263\ 8})$$

0.026 9 m³/s

$$(X - X^*) / (X_0 - X^*) = \exp(-0.000\ 060\ 232\ 7 T^{1.285\ 1})$$

0.029 4 m³/s

$$(X - X^*) / (X_0 - X^*) = \exp(-0.000\ 088\ 873 T^{1.249\ 8})$$

0.031 9 m³/s

$$(X - X^*) / (X_0 - X^*) = \exp(-0.000\ 031\ 047 T^{1.394\ 0})$$

温度: 45℃

$$(X - X^*) / (X_0 - X^*) = \exp(-0.000\ 130\ 21 T^{1.138\ 6})$$

50℃

$$(X - X^*) / (X_0 - X^*) = \exp(-0.000\ 228\ 11 T^{1.139\ 6})$$

60℃

$$(X - X^*) / (X_0 - X^*) = \exp(-0.000\ 088\ 873 T^{1.249\ 8})$$

70℃

$$(X - X^*) / (X_0 - X^*) = \exp(-0.000\ 111\ 38 T^{1.227\ 6})$$

另外,从表中数据可知风量越大、温度越高 X_c 越大, X^* 越小,这符合干燥原理。

2.2.2 临界含水量推算 根据文献[8],恒速干燥速

$$\text{率: } U_1 = G_c(X_0 - X_c) / ST_1$$

降速干燥速率:

$$U_2 = G_c(X_0 - X^*) / ST_2 \ln[(X_c - X^*) / (X_2 - X^*)]$$

式中: G_c 为绝干物料质量, kg; S 为干燥面积, m²;

在两干燥阶段的分界点,即临界点处,应有

$$U_1 = U_2, \text{即}$$

$$G_c(X_0 - X_c) / ST_1 =$$

$$G_c(X_0 - X^*) / ST_2 \ln[(X_c - X^*) / (X_2 - X^*)]$$

$$\text{则 } (X_0 - X_c) / T_1 = (X_0 - X^*) / T_2 \ln[(X_c - X^*) / (X_2 - X^*)]$$

干燥时间 T_1 、 T_2 由干燥方程求得。现对干燥温度为 60℃、风量 0.029 4 m³/s、装载量为 2.0 kg/m² 的实验数据进行临界含水量的推算,从图 4 中可读出此条件下 $X^* = 0.38$ kg 水 / kg 绝干料, $X_0 = 9.51$ kg 水 / kg 绝干料,经推算,该条件下的理论临界含水量 $X_c = 8.01$ kg 水 / kg 绝干料,由图 4 可见实验的临界含水量 $X_c = 8.05$ kg 水 / kg 绝干料,实验结果与理论结果吻合较好。

2.2.3 恒速阶段传热膜系数 α 计算与关联 根据

文献[8]中 $\alpha(t-t_w) = N_w r_w$ 得到:

$$\alpha = N_w r_w / (t - t_w)。$$

式中: α 为传热系数, $\text{kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; t 为干球温度, $^{\circ}\text{C}$; t_w 为干球温度, $^{\circ}\text{C}$; N_w 为水分汽化速率, $\text{kg 水}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; r_w 为 t_w 下水的汽化潜热, kJ/kg 。 k_H 为传热系数, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \Delta H)$ 。

计算不同风量 Q 、不同温度 t 下的 α 值分别见表 3、4。 N_w 为速度曲线中恒速阶段的 U_i 。

表 3 不同风量的 α

风量 $Q/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$N_w/(\text{kg 水}$ $\cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1})$	$\alpha/(\text{kW}$ $\cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1})$
0.022 1	0.000 64	0.055 3
0.026 9	0.000 69	0.059 6
0.029 4	0.000 73	0.063 1
0.031 9	0.000 80	0.069 1

注: t 为 60°C ; t_w 为 32°C ; r_w 为 $2\,419.18\text{ kJ}/\text{kg}$

表 4 不同温度的 α

温度 $t/$ $^{\circ}\text{C}$	$t_w/$ $^{\circ}\text{C}$	$N_w/(\text{kg 水}$ $\cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1})$	$t_w/(\text{kJ}$ $\cdot \text{kg}^{-1})$	$\alpha/(\text{kW}$ $\cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1})$
45	27	0.000 49	2 430.48	0.066 2
50	29.5	0.000 57	2 424.83	0.067 4
60	32	0.000 73	2 419.18	0.063 1
70	37.5	0.000 93	2 406.75	0.068 9

表 3 数据表明随风量 Q 增大, 传热膜系数 α 也增大, 由相对应的数据得出 α 与 Q 的关联式: $\alpha = 0.021\,2Q^{0.527}$, $R = 0.923\,4$; 而温度对传热膜系数的影响很小, 这与原理相符。

2.2.4 恒速阶段传质系数 k_H 计算与关联 根据文献[8]中 $N_w = k_H(Hw_w - H)$ 得到:

$$k_H = N_w / (Hw_w - H)，$$

式中: H_w 为 t_w 下空气的饱和湿度, $\text{kg 水汽}/\text{kg 干空气}$; H 为湿度, $\text{kg 水汽}/\text{kg 干空气}$ 。

计算不同风量、不同温度下的 k_H 值分别见表 5、6。

表 5 不同风量的 k_H

风量 $Q/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	$N_w/(\text{kg 水}$ $\cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1})$	$k_H/(\text{kg}/$ $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \Delta H)^{-1})$
0.022 1	0.000 64	0.035 6
0.026 9	0.000 69	0.038 3
0.029 4	0.000 73	0.040 6
0.031 9	0.000 80	0.044 4

注: H_w 为 $0.03\text{ kg 汽}/\text{kg 干气}$; H 为 $0.012\text{ kg 汽}/\text{kg 干气}$ 。

表 6 不同温度的 k_H

温度 $t/$ $^{\circ}\text{C}$	$H_w/(\text{kg 汽}$ $/\text{kg 干气})$	$H/(\text{kg 汽}$ $/\text{kg 干气})$	$N_w(\text{kg 水}$ $\cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1})$	$k_H/(\text{kg}/$ $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \Delta H)^{-1})$
45	0.022	0.008	0.000 49	0.035 0
50	0.024 5	0.009	0.000 57	0.036 8
60	0.03	0.012	0.000 73	0.040 6
70	0.041	0.014	0.000 93	0.034 4

表 5 数据表明随风量 Q 增大, 传质系数 k_H 也增大, 由相对应的数据得出 k_H 与 Q 的关联式: $k_H = 0.012\,9Q^{0.555}$, $R = 0.936\,3$; 而温度对传热膜系数的影响不大。

3 结 论

实验与数据分析表明:

- (1) 不同条件下的干燥曲线和速度曲线趋势相同, 风温愈高、风量愈大, 干燥曲线愈陡、速度曲线愈高、恒速阶段愈短。
- (2) 各条件下的干燥曲线均符合 Page 方程。
- (3) 理论与实验的临界含水量吻合较好。
- (4) 传热膜系数 α 与传质系数 k_H 受风量影响明显, 且随风量增大而增大, 但两者均基本不受干燥温度影响。

参考文献:

[1] 唐学石, 许乃章. 多层洋葱热风干燥的研究[J]. 农业工程学报, 1990, 6(1): 55-61.

[2] 王相友, 孙正和. 洋葱薄层脱水试验与分析[J]. 农牧与食品机械, 1992(5): 15-19.

[3] 王俊, 唐学石. 洋葱热风薄层干燥特性研究[J]. 食品科学, 1994(10): 3-6.

[4] 王俊, 张京平. 洋葱干燥过程中热量传递模型[J]. 浙江农业学报, 1998, 10(5): 268-270.

[5] 王俊, 喻擎仓. 洋葱脱水过程的质模型及扩散系数[J]. 食品科学, 1998, 19(2): 17-18.

[6] 张德权, 艾启俊. 蔬菜深加工新技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 150.

[7] 刘琨, 康红. 木薯酒精临界含水量与干燥曲线[J]. 化学工程, 1999, 27(3): 21-23.

[8] 何潮洪, 冯霄. 化工原理[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 544-569.