

长豇豆隧道式热风干燥特性及品质变化

师建芳¹, 吴辉煌², 刘清¹, 吴中华²

(1. 农业部规划设计研究院农产品加工工程研究所, 北京 100125; 2. 天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要:应用自制隧道式干燥实验台对 95℃漂烫 2 min 后的长豇豆进行热风干燥实验, 分析了在不同热风温度、热风速度、料层厚度条件下豇豆的干燥特性及干产品品质。结果表明:长豇豆干燥过程中干燥第 1 阶段表现明显, 热风温度对干燥速率及品质的影响最大;经漂烫后的长豇豆在热风温度 60℃、热风速度 0.3 m/s、料层厚度 6 mm 条件下干燥时所得产品 Vc 含量最高。研究结果可为长豇豆隧道式热风干燥生产实践提供参考依据。

关键词:豇豆; 隧道干燥器; 热风干燥; 产品品质

中图分类号: S643.4 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2013)05-0023-05

Drying Characteristics and Product Quality of Cowpeas in the Convective Tunnel Drying Process

SHI Jianfang¹, WU Huihuang², LIU Qing¹, WU Zhonghua²

(1. Department of Agricultural Processing, Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100125, China;

2. College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Convective air drying of fresh cowpeas was done in a lab-scale tunnel dryer, and parametric studies were conducted to understand the effect of drying air temperature, velocity and material layer thickness on the drying characteristics of cowpeas and the quality of the dried product. Experimental results show that the first stage drying dominates the cowpea drying process and the drying air temperature has an important effect on the drying rate and product quality. The optimized drying conditions with the highest content of Vc were obtained for the fresh cowpeas: the drying temperature was 60℃, air velocity was 0.3 m/s and the material layer thickness was 6 mm. The study can provide some useful technical data for the tunnel drying of cowpeas.

Key words: cowpea; tunnel dryer; convective drying; product quality

长豇豆是重要的豆类蔬菜,盛产于夏季,是中国、东南亚等地重要的栽培作物。豇豆生长季节较短,难以四季供应。同时,新鲜豇豆具有含水量高(新鲜豇豆的湿基含水量常在 90%以上)、产后呼吸强度高、易腐烂的特质,因而不耐贮存^[1]。脱水蔬菜具有便于贮运、调节蔬菜淡旺季供应等特点^[2]。将豇豆及时干燥制成干菜,既能调节供求、有效减少产后损失,又能增加蔬菜附加值和菜农收益。

蔬菜干燥方法主要分为热风对流干燥和真空冷冻干燥。真空冷冻干燥技术生产成本高、设备投资大,在大规模蔬菜干制生产中的应用程度低^[3]。热风

对流干燥的设备投资少,操作控制简单,适用于大部分果蔬品种的干燥,已得到广泛应用。

隧道式干燥机是用于蔬菜热风对流干燥的一种常见干燥器,在我国农村地区应用较广。研究人员对隧道式干燥机已进行较多研究,如闫泽华等^[4]研究了银杏叶隧道式干燥工艺及设备节能改进。张晓和等^[5]改进了现有脱水菜专用混流式隧道干燥机结构设计,将干燥机顶端进风改为前端进风,热风能量得到充分利用。对豇豆的热风干燥工艺,尤其是利用隧道式干燥机的干燥工艺,国内外研究文献较少。谢秀英等^[6]对豇豆薄层热风干燥工艺进行了优化实验,研究了介

收稿日期: 2013-03-08; 修回日期: 2013-06-18

基金项目: 农业部规划设计研究院自选课题

作者简介: 师建芳(1980—),女,陕西韩城人,工程师;通信作者: 吴中华,教授, wddhua@gmail.com.

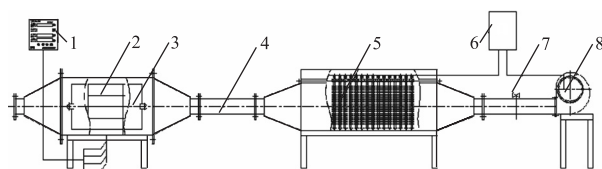
质温度、速度以及预处理方法对豇豆干燥特性和干制品品质的影响,但未对料层厚度对干燥过程的影响进行分析。

本文应用自制隧道式干燥实验台对漂烫后长豇豆进行了干燥实验,探讨豇豆隧道式干燥工艺参数及干制品质量变化,以期生产实践提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验装置

图1为自制隧道式热风干燥实验台,其主要由风机、电热管、风量调节阀和流量计、干燥室、温控仪等组成。



1. 测温仪; 2. 料盘; 3. 隧道式热风干燥段; 4. 热风管道; 5. 电热管; 6. 电控箱; 7. 风量调节阀; 8. 风机

图1 隧道式热风干燥实验台示意图

Fig.1 Schema of the tunnel-type hot air drying test bench

1.2 原料来源与样品处理

实验用豇豆采购于天津当地市场,为6—7月份上市的新鲜青荚豇豆。挑选鲜嫩、无损伤、形状均称、大小颜色均匀一致的豇豆,并以整根状态加工;用保鲜袋扎紧,放入 $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的冰箱冷藏室保存备用。

取新鲜豇豆,采用SC-15恒温水槽(宁波天恒仪器厂),经 95°C 热水漂烫2 min,自然风干30 min,采用BL3200S型电子天平(天津市华仪盛达实验仪器有限公司)称量、记录。经漂烫后,蔬菜成分中酶的活性降低,避免了酶促褐变等不良反应;此外,漂烫还可以减少蔬菜中维生素的损失。

将豇豆均匀平铺在托盘上,使每次实验单盘单层码放的疏密程度基本一致。整个过程中豇豆不切分。

1.3 实验方法

1.3.1 单因素实验

将处理好的豇豆装入干燥实验台进行热风干燥,以热风温度、热风速度、料层厚度为实验参数进行单因素实验。

风温单因素实验中,风速为0.5 m/s,料层厚度为6 mm,风温分别为70、80、 90°C 。

风速单因素实验中,风温为 80°C ,料层厚度为

6 mm,风速分别为0.3、0.4、0.5 m/s。

料层厚度单因素实验中,风温为 80°C ,风速为0.5 m/s,料层厚度分别为6、18、30 mm。

实验开始后,每隔20 min将托盘取出,称量豇豆的质量并记录,直至豇豆的干基含水量降至安全含水量0.2 kg/kg,停止实验。

1.3.2 正交实验

在单因素实验的基础上,对风温、风速、料层厚度3个因素,选取对结果有显著影响的3个水平,进行 $L_9(3^4)$ 正交实验,以优化干燥工艺参数。

1.4 豇豆干制品的品质测定

干豇豆品质主要根据色泽、Vc含量和复水率3个指标评价。

1.4.1 复水率测定

称取一定试样于 40°C 恒温水浴浸渍30 min,用滤纸吸干表面水分,晾干30 min后称量^[7]。

$$\text{复水率} = \frac{m_2(1-w_0)}{m_1(1-w_1)} \times 100\%$$

式中: m_1 为干豇豆质量; m_2 为干豇豆浸渍晾干后的质量; w_0 为豇豆初始湿基含量; w_1 为干豇豆浸渍晾干后的湿基含水量。

1.4.2 干制品中Vc含量测定

由于豇豆为深色样品,故利用752E紫外可见分光光度计(天津拓普仪器有限公司),采用二甲苯—二氯萘酚比色法测定^[8]。

1.4.3 干制品色泽测定

利用HP-200精密色差仪(郑州南北仪器设备有限公司)测定豇豆干制品的色泽。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 热风温度对豇豆干燥特性及品质的影响

图2为不同风温条件下,豇豆的干燥和干燥速率曲线。由图2可知,豇豆干燥过程可分为预热段、临界水分之前的干燥第1阶段和随后的干燥第2阶段。在干燥第1阶段,随着豇豆表面温度提高,干燥速率缓慢增加;且第1阶段所占干燥时间比例较大(1/2以上),豇豆在该阶段失水幅度大。提高风温,可提高第1阶段干燥速率,从而减少干燥时间。当风温为 70°C 时,达到要求含水量需8.7 h,而风温为 90°C 时,仅需4.3 h,相差1倍多。

在 80°C 和 90°C 的风温条件下,豇豆干燥曲线和干燥速率曲线相接近,其原因为风温在 80°C 时,豇

豆第 1 阶段干燥速率已接近其最大值, 继续增加风温对该阶段干燥速率提高不大。

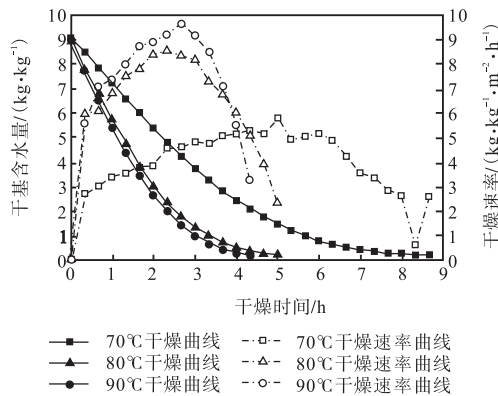


图 2 不同热风温度下豇豆的干燥曲线及干燥速率曲线
Fig. 2 Drying curves and drying rate curves of cowpeas under different drying temperatures

热风温度对干豇豆品质的影响见表 1。可以看出, 风温越高, 干燥后豇豆的 L 值越低, a 值越高, 说明风温高, 豇豆容易褐变, 干产品亮度下降。风温对于豇豆 Vc 含量和复水率的影响较大, 温度越低, 干产品 Vc 含量越高、复水率也越高, 其原因是高温易导致 Vc 分解损失, 且高温时, 豇豆表面硬化更严重, 因而复水率较低。

表 1 热风温度对干豇豆品质的影响

Tab. 1 Effects of drying air temperature on product quality

温度/ ℃	指标				
	色泽			Vc 含量/ (mg/100 g)	复水率/%
	L	a	b		
70	21.82	0.13	12.36	18.46	31.6
80	21.68	0.19	10.40	15.48	28.7
90	19.76	0.83	7.75	14.16	27.2

注: L 代表亮度, $L=0$ 表示黑色, $L=100$ 表示白色; a 代表红色与青绿色相比的程度, a 值为正表示偏红、为负则偏绿; b 值代表黄色与蓝色相比的程度, b 值为正则表示产品偏黄、为负则偏蓝; 以下同。

2.1.2 热风速度对豇豆干燥特性及品质的影响

由图 3 可知, 风速提高可增加豇豆干燥速率, 减少干燥时间。但相对于风温而言, 风速对豇豆干燥速率影响较小。

风速对干豇豆品质的影响见表 2。可以看出, 风速变化对干豇豆品质的色泽、Vc 含量和复水率的影响均不大, 从节能角度考虑, 应该采用相对小的风速。

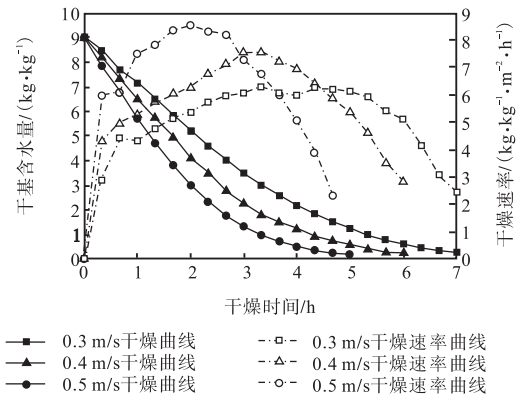


图 3 不同热风速度下豇豆干燥曲线和干燥速率曲线
Fig. 3 Drying curves and drying rate curves of cowpeas under different air velocities

表 2 热风速度对干豇豆品质的影响

Tab. 2 Effects of drying air velocity on product quality

风速/ (m·s ⁻¹)	指标				
	色泽			Vc 含量/ (mg/100 g)	复水率/%
	L	a	b		
0.3	21.87	0.13	10.21	15.02	28.1
0.4	21.90	0.21	10.34	15.52	28.1
0.5	21.68	0.13	10.40	15.48	28.7

2.1.3 料层厚度对豇豆干燥特性及品质的影响

图 4 显示了料层厚度对豇豆干燥和干燥速率的影响。由图 4 知, 料层厚度为 6 mm 时, 豇豆干燥至安全含水量所需时间为 5 h, 厚度为 18 mm 和 30 mm 时所需时间分别为 9.3、17.6 h。同时, 第 1 阶段干燥速率随料层厚度增加而减小。其原因是料层越厚, 热量传递和水分蒸发扩散路径越长, 豇豆内部热质传递阻力大, 干燥速率低, 因而干燥时间越长。

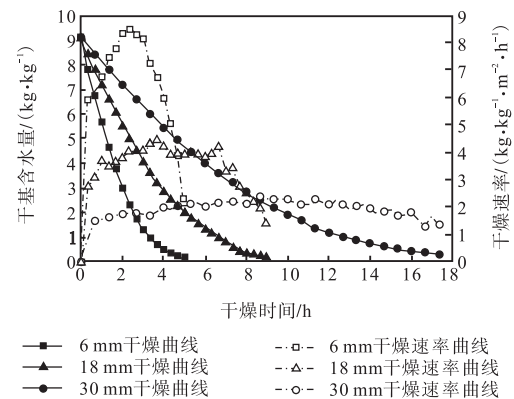


图 4 不同料层厚度下豇豆干燥和干燥速率曲线
Fig. 4 Drying curves and drying rate curves of cowpeas with different loading thicknesses

料层厚度对干豇豆品质的影响见表 3。可以看出,料层厚度越高时,Vc 含量则越低,其原因主要是由于厚度增高后,豇豆干燥至安全含水量时间更长。

表 3 料层厚度对干豇豆品质的影响

Tab. 3 Effects of material layer thickness on product quality

料层厚度/mm	指标				
	色泽			Vc 含量/(mg/100 g)	复水率/%
	L	a	b		
6	21.68	0.13	10.40	15.48	28.7
18	22.31	0.33	10.52	15.16	30.2
30	21.26	0.12	10.45	14.89	30.6

2.2 正交实验

根据单因素实验结果,90 ℃干燥的效果较差,因而正交实验中温度采用 60、70、80 ℃ 3 个水平。实验因素及水平见表 4。

表 4 正交实验因素水平表

Tab. 4 Factors and levels of the orthogonal tests

水平	因素		
	A 热风温度/℃	B 风速/(m·s ⁻¹)	C 料层厚度/mm
1	60	0.3	6
2	70	0.4	18
3	80	0.5	30

正交实验结果见表 5、表 6 和表 7。由表 6 可知,各因素对豇豆干燥时间影响的主次顺序为料层厚度、热风温度、热风速度;对 Vc 含量和复水率影响的主次顺序为热风温度、料层厚度、热风速度。由表 7 可知,热风温度和料层厚度对产品中 Vc 含量在 $\alpha = 0.10$ 水平上有显著影响;热风速度对干燥效果无显著性影响;要使得干产品中有较高的 Vc 含量,最佳干燥工艺组合为 A₁B₁C₁,即热风温度 60 ℃,热风速度 0.3 m/s,料层厚度 6 mm。

表 5 正交实验实验结果

Tab. 5 Experimental results of the orthogonal tests

实验号	因素			实验结果		
	A	B	C	干燥时间/h	Vc 含量/(mg/100 g)	复水率/%
1	1	1	1	10	18.7	32.2
2	1	2	2	14	18.2	31.3
3	1	3	3	22	15.0	30.0
4	2	1	2	12	16.6	31.0
5	2	2	3	20	14.8	30.4
6	2	3	1	8	17.8	31.4
7	3	1	3	18	14.6	29.6
8	3	2	1	7	14.7	28.5
9	3	3	2	9	15.2	30.6

表 6 正交实验极差分析

Tab. 6 Calculation results of the orthogonal tests

实验指标	时间/h			Vc 含量/(mg/100 g)			复水率/%		
	1 列	2 列	3 列	1 列	2 列	3 列	1 列	2 列	3 列
水平 1 的数值和	46.0	40.0	25.0	51.9	49.9	51.2	93.5	92.8	92.1
水平 2 的数值和	40.0	41.0	35.0	49.2	47.7	50.0	92.8	90.2	92.9
水平 3 的数值和	34.0	39.0	60.0	44.5	48.0	44.4	88.7	92.0	90.0
水平 1 的平均值	15.3	13.3	8.3	17.3	16.6	17.1	31.2	30.9	30.7
水平 2 的平均值	13.3	13.7	11.7	16.4	15.9	16.7	30.9	30.1	31.0
水平 3 的平均值	11.3	13.0	20.0	14.8	16.0	14.8	29.6	30.7	30.0
极差	4.0	0.7	11.7	2.5	0.7	2.3	1.6	0.8	1.0

表 7 基于 Vc 含量的方差分析

Tab. 7 Variance analysis based on the content of Vc

方差来源	偏差平方和	自由度	均方差	F 值	F _{0.01}	F _{0.05}	F _{0.10}
A	9.621 6	2	4.810 8	11.167 1			
B	0.816 0	2	0.430 8	1.000 0	99.01	19.00	9.00
C	9.063 6	2	4.531 8	10.519 5			

3 结 论

(1)长豇豆热风干燥过程可分为预热段、干燥第 1 阶段和第 2 阶段,且第 1 阶段所占时间比例为 1/2 ~ 2/3。

(2)各因素对豇豆干燥时间影响的主次顺序为料层厚度,热风温度,热风速度;对 Vc 含量和复水率影响的主次顺序为热风温度,料层厚度,热风速度。

(3)根据方差分析结果,要使得干燥后产品保持较高的 Vc 含量,推荐干燥工艺为热风温度 60 ℃,热风速度 0.3 m/s,料层厚度 6 mm。

参考文献:

- [1] 张福平. 豇豆贮藏期间的生理变化[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(10): 2109-2110.
- [2] 黄劲松, 周裔彬, 杜先锋, 等. 脱水蔬菜的研究进展[J]. 食品工业科技, 2006, 27(4): 203-206.
- [3] 赵怡红, 左银虎. 真空冷冻干燥技术在食品加工中的研究和应用综述[J]. 常州工程职业技术学院学报, 2007(3): 47-49.
- [4] 闫泽华, 张仲欣, 甘晓露. 隧道式干燥机干燥银杏叶的工艺参数研究[J]. 食品与机械, 2009, 4(25): 149-152.
- [5] 张晓和, 戴斌. 脱水菜专用混流式隧道干燥机改进设计[J]. 农业机械学报, 2003, 34(3): 69-71.
- [6] 谢秀英, 白崇仁, 李敬欣. 豇豆薄层热风干燥的实验研究[J]. 洛阳工学院学报, 1994, 15(1): 58-64.
- [7] 李敏, 蒋小强, 果胜兰, 等. 过程温度调节对罗非鱼冻干能耗及复水率的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 324-326.
- [8] 中华人民共和国农牧渔业部. GB 6195—1986 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法: 二甲苯-二氯酚砷比色法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.

责任编辑: 常涛

(上接第 22 页)

参考文献:

- [1] 赵继鼎, 徐连旺, 张小青. 中国灵芝亚科的分类研究[J]. 微生物学报, 1979, 19(3): 265-279.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 174.
- [3] Zeng Rongyao, Luo Xia, Wei Wei, et al. Antioxidant properties and antioxidant components of extracts from mushroom *Ganoderma sinensis*[J]. Food, Agriculture and Environment, 2009, 7(1): 75-82.
- [4] Zhang Jingping, Zheng Limin, Wang Jianghai, et al. Lipid extract from completely sporoderm-broken germinating *Ganoderma sinensis* spores elicits potent antitumor immune responses in human macrophages[J]. Phytotherapy Research, 2008, 23(6): 844-850.
- [5] 王晓玲, 刘高强, 周国英. 紫芝发酵菌体中三萜类化合物的抑菌活性研究[J]. 时珍国医国药, 2008, 19(11): 2636-2637.
- [6] Li Qizhang, Wang Xuefei, Chen Yiyuan, et al. Cytokines expression induced by *Ganoderma sinensis* fungal immunomodulatory proteins(FIP-gsi) in mouse spleen cells[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2010, 162(5): 1403-1413.
- [7] 郭成金. 蕈菌生物学[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 2005: 180-181.
- [8] Song Shiliang, Yang Ruichang, Tuo Yong. Studies on submerged fermentation process of *Flammulina velutipes* FV088[J]. Food and Fermentation Industries, 1998, 24(3): 8-12.
- [9] 杨新美. 食用菌研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 141-145.
- [10] 邢增涛, 孙芳芳, 刘景圣. 尖顶羊肚菌液体培养条件的研究[J]. 食用菌学报, 2004, 11(4): 38-43.
- [11] 王晓玲, 刘高强. 紫芝液体发酵培养基的初步筛选和优化[J]. 食品科技, 2009, 34(3): 14-16.
- [12] 王晓玲, 刘高强. 响应面法优化紫芝深层发酵培养基的研究[C]//中国菌物学会第四届会员代表大会暨全国第七届菌物学学术讨论会论文集. 北京: 中国菌物学会, 2008: 351-354.
- [13] 王晓玲. 九香虫对紫芝发酵生产紫芝多糖和紫芝三萜的影响研究[D]. 长沙: 中南林学院, 2005.
- [14] 任丹, 辜运富, 张小平, 等. 二次回归正交旋转组合设计在紫芝液体发酵培养条件优化中的应用[J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 681-686.

责任编辑: 郎婧