

李 静,浦宏杰,宋飞虎,等. 排湿压力对微波干燥过程的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):257-259.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.05.085

排湿压力对微波干燥过程的影响

李 静,浦宏杰,宋飞虎,李臻锋

(江南大学机械工程学院/江苏省食品先进制造装备重点实验室,江苏无锡 214122)

摘要:研究了排湿压力对苹果微波干燥过程中干燥速率和干后制品品质的影响,通过分析微波干燥速率曲线,发现排湿压力决定干燥速率的峰值,对干燥时间与能耗的影响较小,而对干后制品品质的影响较大。其中,在 70 ℃、排湿压力 34.47 kPa 时,苹果干后制品品质最好,这将为提高苹果干制品品质提供重要参考。

关键词:苹果;微波干燥;排湿压力

中图分类号: TS201.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)05-0257-03

微波用于干燥果蔬显著优于其他干燥方法,因为它是一种高效、洁净、灵敏、无余热的能量^[1],同时微波干燥的制品在色泽、营养成分保持及总体感官等方面都较其他方式更有优势^[2]。近年来,国内外许多研究关注于不同干燥方式的比较,而有关微波干燥方式的研究主要集中在不同功率下取得的干燥效果^[3-9]。很多学者还对蔬果的干燥特性进行了研究,如宋洪波等研究了干燥方法对植物产品密度、孔隙率、颜色、复水性能等的影响^[10];赵思明等研究了高温高湿的热风干燥对藕片干燥特性的影响,确定了高温高湿可以协调藕片内外水分扩散速度,以保留风味,获得较好的干燥品质^[11];Thuwapanichayanan 等^[12]、Bain 等^[13]考察了不同温度下干燥香蕉片的芳香成分、收缩程度、色泽、质地等品质指标。以往研究主要集中在不同干燥方式、功率、物料特性等对物料干燥速度影响,而排湿压力对物料干燥速度及干燥品质方面的影响鲜有报道。为此,本研究针对粒状果蔬物料,以苹果粒为试

验样品,考察在不同排湿压力下粒状果蔬的微波干燥特性和干燥后品质,为生产应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

采用苹果作为材料,最初含水率约为 87%。样品被切割成 10 mm × 10 mm × 10 mm 小块,并在 80 ℃热水中处理 1 min 以抑制酶反应。每个试验采用 40 g 样品并被处理到大约 11% 的含水率。所有的试验重复 3 次。

1.2 仪器与设备

为了研究在微波干燥过程中排湿压力对苹果干制品品质的影响,本试验采用了自主研发的微波干燥系统,试验设备见图 1。系统采用一个最大输出功率 600 W 的微波炉(Beaumarck 02314, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd., Yamatokoriyama, Japan)。微波炉底部安装有旋转天线,用于均匀腔内微波功率。同时,改造相关的控制电路,通过相位控制器对功率进行自动连续调节,用以控制物料中心的温度,使得试验可以在定温下完成。

干燥过程中采用电子天平(P-2002, Denver Instrument, Denver, CO, USA)在线质量测量。将光纤传感器(Nortech Fibronic Inc., Quebec, Canada)插入样品中心测量物料中心温

收稿日期:2014-06-09

基金项目:国家自然科学基金(编号:21206051);江苏省产学研联合创新资金(编号:BY20130155-22)。

作者简介:李 静(1972—),女,江苏无锡人,硕士,讲师,研究方向为食品加工与无损检测。E-mail:lisytu@163.com。

的高纯度蓝莓花色苷。上述方法制备的高纯度蓝莓花色苷呈黑褐色片状,有明显金属光泽,是高价值的提取产品,有良好的应用前景。

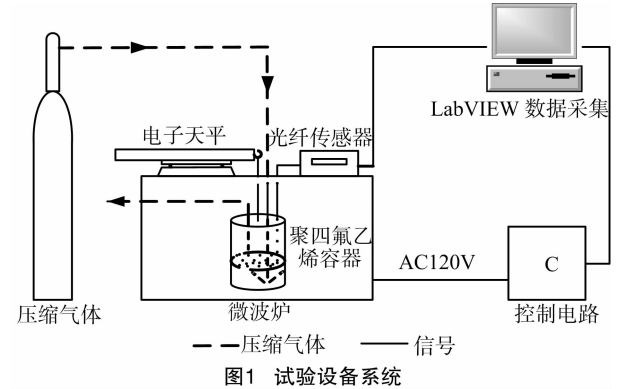
参考文献:

- [1] 王日为,张丽霞,高吉刚. 茶叶中花青素类物质研究展望[J]. 茶叶科学技术,2002(4):4-8.
- [2] 孙志健,张 燕,陈 芳,等. 对蓝莓产业化发展的思考[J]. 食品工业科技,2005,26(12):183-184.
- [3] 王姗姗,孙爱东,李淑燕. 蓝莓的保健功能及其开发应用[J]. 中国食物与营养,2010(6):17-20.
- [4] 卜庆雁,周晏起. 浅析蓝莓的营养保健功能及开发应用前景[J]. 北方园艺,2010(8):215-217.
- [5] 冷吉燕,张 婧,邵明柏. 蓝莓花色苷的研究进展[J]. 中国老年学杂志,2011,31(17):3419-3423.

- [6] Markakis P. Anthocyanins as food colors[M]. New York: Academic Press,1982:10-18.
- [7] 孟宪军,李颖畅,宣景宏,等. AB-8 大孔树脂对蓝莓花色苷的动态吸附与解吸特性研究[J]. 食品工业科技,2007,28(12):94-96,99.
- [8] 张 华,李景琳,李传新,等. 越橘红色素提取工艺的研究[J]. 辽宁农业科学,1988(2):8-12.
- [9] 石 光,张春枝,陈 莉,等. 蓝莓花色苷稳定性研究[J]. 食品与发酵工业,2008,34(2):97-99.
- [10] 凌天庭. 可供开发食品添加剂(IX): 蓝莓提取物及其抗氧化作用[J]. 粮食与油脂,2003(6):45-48.
- [11] 杨国放,杨 宏,吕春茂,等. 越橘果实花色苷及其抗氧化活性研究进展[J]. 辽宁农业科学,2011(5):46-50.
- [12] 陆国权,吴小蓉. 黑豆皮色素的提取及其理化性质研究[J]. 中国粮油学报,1997,12(3):55-57.

度并进行在线温度控制。通过一个数据采集卡 (PCI 6014, National Instruments, TX, USA) 收集样品的温度和质量并传递给 PC 用于控制和记录。LabVIEW 程序 (National Instrument, TX, USA) 可以实现功率控制、质量读取、温度监测和控制。

在微波干燥过程中,样品被安放在圆柱形聚四氟乙烯容器内(直径 85 mm,高 105 mm)的多孔筛上,容器上设置进气孔和出气孔。进气管穿过进气孔和多孔筛到达容器的底部,排气管通过排气孔将载体气体排放到容器外。采用压缩空气作为载体气体将干燥过程中产生的水蒸气排出容器外,并用以控制排湿压力。



1.3 试验方法

苹果粒的初始水分测量采用标准烘箱法,于 70 ℃ 烘至恒重。烘干后的苹果粒颜色采用比色计 (CR - 300X, Minolta Camera Co. Ltd., Japan) 对 5 mm 直径的表面进行测量,用于评价产品的颜色质量。 L^* 坐标的范围从 0 (black) 到 100 (white), a^* 坐标表示的是红 - 绿色, b^* 坐标表示的是黄 - 蓝色。测量 3 次取平均值。颜色参数进行方差分析 (ANOVA)。差值是通过邓肯法多重估算用以在 $\alpha = 0.05$ 确定为显著和非显著。

干制品的感官评价采用专家打分的方法,对制品外观、色泽、味道和整体一致性 4 个指标进行综合评价,根据表 1 评定标准进行评定。

1.4 干燥速率计算

在微波干燥过程中,空气的相对湿度连续变化时,干燥样品在 t 时间内水分的变化可以用水分比 (MR) 表示:

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \times 100\%。$$

式中: M_t 是 t 时刻含水量 (kg/kg 干基); M_0 是初始时刻含水量 (kg/kg 干基)。

干燥速率用下式表示:

$$DR = \frac{MR_t - MR_{t+\Delta t}}{\Delta t}。$$

式中: DR 是干燥速率 (百分点/min)。

表 1 苹果粒品质评分标准

评分指标	评分标准	加权值
味道	浓 (4); 一般 (3); 淡 (2); 无 (1)	4
整体一致性	一致 (3); 稍不一致 (2); 不一致 (1)	3
外观	整齐 (3); 稍不整齐 (2); 不整齐 (1)	2
色泽	淡乳白色 (4); 黄色 (3); 深黄色 (2); 褐色 (1)	1

2 结果与分析

2.1 苹果粒微波干燥特性

2.1.1 排湿压力对微波干燥特性的影响 如图 2 所示,在恒温干燥中,随着干燥时间的延长,苹果粒的水分比不断下降。不同排湿压力下,干燥时间有差异,但不是很大。压力为 17.24 kPa 时,干燥时间最长,为 140 min,压力提升至 34.4、68.95 kPa 时,干燥时间分别缩短为 17.24 kPa 时的 92.8%、85.7%,同时能耗分别降低到 81%、73.9%。由此可见,加大排湿压力可以更快地将溢出的水分带走,缩短干燥时间,降低能耗,但 2 者下降都不明显 (表 2)。

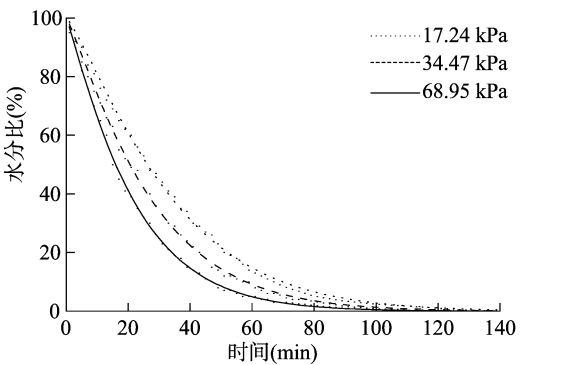


图2 水分比随时间的变化

表 2 不同排湿压力对苹果粒干燥时间、能耗、品质、维生素 C 含量的影响

排湿压力 (kPa)	干燥时间 (min)	能耗 (J/g)	品质 (分)	维生素 C 含量 (mg/kg)
17.24	140	20.88	25.7	317.9
34.47	130	16.92	35.2	321.6
68.95	120	15.43	28.9	322.5

2.1.2 排湿压力对微波干燥速率的影响 从图 3 可以看出,整个定温干燥过程可以分为 3 个阶段:加速期、缓慢降速期、快速降速期,这与恒定功率下典型干燥曲线的特征不同。定温干燥中,在干燥初期干燥速率会很快加速上升并到达干燥速率峰值。不同压力下干燥加速上升的过程基本相同,压力分别为 17.24、34.4、68.95 kPa 时,达到干燥速率的峰值分别为 22.03、27.59、34.22 百分点/min。因此,排湿压力越大,达到的干燥速率峰值越大。在定温干燥过程中,物料内部的自由水接受微波能量并迅速蒸发,压力急剧升高并与排湿压力达到平衡,排湿压力越大,平衡点对应的压力越高,干燥速率的峰值越大。第二个阶段是缓慢降速阶段,物料的干燥速率从峰值缓慢下降,此时是水分溢出和风味流失的主要阶段。与恒定功率下的典型干燥曲线不同,定温干燥下,干燥速率在第二阶段不是恒定的,而是随含水率的下降而下降,且排湿压力越大,干燥速率下降的梯度越大。当含水率接近 20% 时,干燥过程进入快速降速期,排湿压力对这个阶段没有影响。因此,排湿压力对物料干燥的速度峰值 (A、B、C) 和缓慢降速期的干燥速率下降梯度有直接的影响,可以通过控制排湿压力控制缓慢降速期的速率下降梯度,以减少风味的流失;在加速期和快速降速期,排湿压力不敏感,可以提高排湿压力以加快干燥过程,从而达到分段控制的目的。

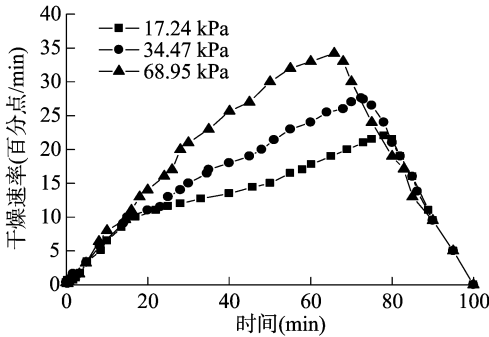


图3 排湿压力对干燥速率的影响

2.1.3 排湿压力对干制品品质的影响 排湿压力对苹果粒色差有影响(表3),压力分别为 17.24、34.47 kPa 时,干燥后的果粒与鲜样的色差变化不大;但当压力为 68.95 kPa 时,出现比较大的色差,因此高排湿压力对干燥的制品色差影响显著。

表 3 不同排湿压力对苹果粒色差的影响

干燥方式	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	ΔE
鲜样	38.41a	-0.09a	8.29a	0.00
排湿压力 17.24 kPa	38.40a	+0.10b	8.70a	0.45a
排湿压力 34.47 kPa	38.70a	-0.50b	8.26a	0.50a
排湿压力 68.95 kPa	40.32b	-0.30b	7.67c	2.02b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

排湿压力为 34.37 kPa 时,苹果干制品的品质较 17.24 kPa 和 68.95 kPa 好。同时,维生素 C 含量随排湿压力的上升略有增加,主要原因可能是排湿压力增加加快了干燥过程,减少了对维生素 C 的破坏。但是,排湿压力的增加对干燥时间的影响不明显,对维生素 C 含量的影响也相应较小。因此,将排湿压力控制在 34.74 kPa 时,可以获得较好的干燥品质(表 1)。

3 结论

本试验表明,加大排湿压力在缩短干燥时间的同时,还能降低干燥能耗,但降低幅度均不明显。

苹果粒的定温干燥过程分为加速、缓慢降速和降速 3 个阶段,不同于恒定功率的微波干燥过程。排湿压力与干燥速率峰值之间有直接的关系,通过对排湿压力的控制,可以控制缓慢降速阶段的进行,减少风味物质的流失。因此,在应用中,可将加速、缓慢降速、降速 3 个阶段的排湿压力分段控制,减少能耗和干燥时间的同时,也可获取好的干燥品质。

定温微波干燥苹果粒,排湿压力对产品的品质影响较大。排湿压力大时,高压差会导致果粒内部高孔隙的产生,造成风味的流失,产品的品质变差,同时出现较大色差。排湿压力过小时,干燥时间变长,气味分子流失的时间和总量增加,产品的品质变差,只有在 70 ℃、排湿压力 34.47 kPa 条件下,可以有效地保留产品风味,提高产品质量。

参考文献:

[1] Chandrasekaran S, Ramanathan S, Basak T. Microwave food processing: A review[J]. Food Research International, 2013, 52(1): 243 - 261.

[2] 江 宁, 刘春泉, 李大婧, 等. 果蔬微波干燥技术研究进展[J]. 江苏农业科学, 2008(1): 216 - 219.

[3] Andrés A, Bilbao C, Fito P. Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air - microwave dehydration[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63: 71 - 78.

[4] Clary C D, Wang S, Petrucci V E. Fixed and incremental levels of microwave power application on drying grapes under vacuum[J]. Journal of Food Science, 2005, 70: 344 - 349.

[5] Cui Z W, Xu S Y, Sun D W, Chen W. Temperature changes during microwave - vacuum drying of sliced carrots[J]. Drying Technology, 2005, 23: 1057 - 1074.

[6] Lu L, Tang J, Ran X. Temperature and moisture changes during microwave drying of sliced food[J]. Drying Technology, 1999, 17(3): 414 - 431.

[7] 陈 燕, 陈羽白. 荔枝的微波干燥特性及其对品质的影响研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 192 - 194.

[8] 熊永森, 王 俊, 王金双. 微波干燥胡萝卜片工艺试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 291 - 294.

[9] 蒋生听, 许乃章, 陆平中, 等. 微波干燥黄桃的研究[J]. 农业机械学报, 1991, 9(3): 51 - 57.

[10] 宋洪波, 毛志怀. 干燥方法对植物产品物理特性影响的研究进展[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 117 - 121.

[11] 赵思明, 熊善柏, 李 雄. 藕片的高温高湿干燥研究[J]. 食品科学, 1999(4): 24 - 27.

[12] Thuwapanichayanan R, Prachayawarakorn S, Kunwisawa J, et al. Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying[J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44(6): 1502 - 1510.

[13] Bains R, Langrish T A G. Assessment of colour development in dried bananas measurements and implications for modeling[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 68(2): 177 - 182.