

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.029

过热蒸汽膨化干燥香蕉脆片品质研究*

安凤平 宋洪波 宋江良

(福建农林大学食品科学学院, 福州 350002)

【摘要】 以香蕉为原料,研究添加柠檬酸护色抑制香蕉片酶促褐变,以及热风干燥对护色香蕉片营养损失及褐变的影响。采用均匀试验设计法研究膨化条件对香蕉脆片剪切强度的影响,并优化工艺条件。结果表明,采用0.3%柠檬酸溶液护色20 min,可有效抑制香蕉片酶促褐变;干燥过程中香蕉片营养成分的损失及色泽的劣化主要发生在降速干燥阶段。以70℃热风预干燥至干基含水率0.363 0,采用156℃过热蒸汽膨化并滞留60 s后,再以70℃热风干燥而成的香蕉脆片营养损失小、褐变轻、脆性好。

关键词: 香蕉脆片 过热蒸汽 膨化 干燥 品质

中图分类号: TS255.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)12-0138-05

Quality for Super Heated Stream Puffing and Drying Banana

An Fengping Song Hongbo Song Jiangliang

(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract

Banana was used as material to study adding citric acid to inhibit enzymatic browning and effect of hot air drying on nutrient component loss and browning. Uniform experimental design method was used for studying the effect of puffing conditions on the shear strength of banana chips and processing technology was optimized. Results showed that dipping banana slice into 0.3% citric acid solution for 20 min could effectively inhibit enzymatic browning. The nutrient component loss and color deterioration of banana slice were occurred mainly in the falling rate drying period. Banana chip was produced by pre-dried with 70℃ hot-air to a moisture content on dry basis of 0.363 0, then puffed by 156℃ super heated steam remaining for 60 s, finally dried with 70℃ hot air to safety moisture content. Obtained banana chip had good brittleness and light nutrient component loss and browning.

Key words Banana chip, Super heated stream, Puffing, Drying, Quality

引言

传统的香蕉脆片是将香蕉经过油炸后生产的食品,不仅耗费大量食油,而且产品含油率高达20%以上,长期食用对健康不利。此外,油炸处理使产品难于长期保存^[1-2]。本文系统研究过热蒸汽加工香蕉脆片的前处理、预干燥、膨化及干燥过程对其营养及食用品质的影响规律,并揭示其机理、优化工艺及参数。

1 材料与方法

1.1 材料

香蕉原料为市售天宝香蕉,成熟度80%,每1 kg干物质含水分4.69 kg,新鲜、无病虫害或机械损伤。

1.2 仪器设备

过热蒸汽膨化机,自制;DGZ-B实验型热风干燥机,杭州言实科技有限公司;FA1004N型电子天

收稿日期:2010-02-01 修回日期:2010-03-09

* 福建省科技创新平台建设资助项目(2009N2002)

作者简介: 安凤平,副教授,主要从事食品科学与工程研究, E-mail: pingfengan@163.com

通讯作者: 宋洪波,教授,主要从事食品科学与工程研究, E-mail: sghbode@163.com

平,上海精科仪器有限公司;LFRA 质构仪,美国 Brookfield 公司;ZE 6000 型测色色差计,日本电色公司。

1.3 试验方法

过热蒸汽膨化干燥香蕉脆片工艺:香蕉—清洗—去皮—切片—护色—预干燥—过热蒸汽膨化—干燥—冷却—成品。

用清水洗净香蕉表面,去皮,切成 3 mm 厚的薄片。将切好的香蕉片浸入护色液中保持一定时间,将其取出并沥干,平铺于热风干燥机中,以一定的温度干燥至所需的含水率。将预干燥的香蕉片置于过热蒸汽膨化机中,通入一定温度的过热蒸汽并滞留一定时间,瞬时释放压力实现膨化。用热风干燥机将膨化香蕉片干燥至安全干基含水率(0.053),自然冷却后即成香蕉脆片。

过热蒸汽膨化前后的干燥环节均为热风干燥,气流速度为 1.1 m/s。

1.4 指标及检测方法

总糖:蒽酮比色法;还原糖:GB/T 5009.7—2008;蛋白质:GB 5009.5—2010;脂肪:GB/T 14772—2008;干物质:105℃恒质量法;剪切强度:定速加压法;色差:色差计法。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

式中 L^* ——亮度值 a^* ——红色值
 b^* ——黄色值 ΔE ——色差
 L_0^* ——对照样品的亮度值
 a_0^* ——对照样品的红色值
 b_0^* ——对照样品的黄色值

2 结果与分析

测定新鲜天宝香蕉主要营养成分为(干基):总糖,0.774 6;还原糖,0.315 1;蛋白质,0.076 8;脂肪,0.028 1。天宝香蕉含有丰富糖类物质、较高蛋白质和少量脂肪,营养价值较高。

2.1 柠檬酸溶液浓度对香蕉片酶促褐变的影响

香蕉脆片加工过程中抑制褐变是保证色泽品质的关键。褐变主要包括酶促褐变和非酶促褐变两种主要形式。香蕉的酶促褐变主要是由多酚氧化酶引起的,其最适 pH 值范围为 5.9~6.8^[3]。柠檬酸中的 3 个羧基对多酚氧化酶中的铜离子起较强的螯合作用,抑制其活性^[4];柠檬酸又是酸味剂,常用于调整食品的酸度。天宝香蕉含糖量较高,具有较高的甜度,因此合理利用柠檬酸降低香蕉的 pH 值既能改善其风味品质,又可抑制多酚氧化酶活力以防止酶促褐变。

将香蕉片浸入不同浓度(质量分数)的柠檬酸溶液中,保持 20 min,使护色液充分浸入香蕉片中。取出并吸干表面水分后测定其色值,结果如表 1 所示。

表 1 不同浓度柠檬酸溶液处理的香蕉片色值及含水率
 Tab.1 Effect of citric acid concentration on the color and moisture content of banana slice

处理方式	L^*	a^*	b^*	ΔE	干基含水率
新鲜香蕉	59.42	0.36	15.22		3.46
0.2% 柠檬酸护色	60.16	0.88	18.39	3.27	4.68
0.3% 柠檬酸护色	60.18	0.32	15.08	0.76	4.69

从表 1 可看出,采用 0.2% 柠檬酸溶液护色,香蕉片的干基含水率较新鲜香蕉稍有增大而变得更为饱满,因此使其 L^* 稍有增加, a^* 及 b^* 均有所增加;求得的 ΔE 为 3.27,较新鲜香蕉有所增加,说明酶促褐变未能得到有效抑制。采用 0.3% 柠檬酸溶液护色,与对照组新鲜香蕉相比, L^* 稍有增加, a^* 和 b^* 均稍有减小, ΔE 很小,这是由于浸泡后香蕉片的干基含水率增加,使之变得明亮、色泽变浅。同时也说明,采用 0.3% 柠檬酸溶液护色 20 min,有效抑制了酶促褐变现象的发生。

2.2 干燥温度对香蕉片成分及色泽的影响

过热蒸汽膨化加工香蕉脆片,在膨化前后均需进行热风干燥。膨化前的预干燥是使香蕉片降低至适宜膨化的含水率以利于膨化,膨化后的干燥则是将其含水率降至安全水平,并赋予其良好的口感。因此,研究干燥温度对香蕉片色泽及营养成分的影响对保证香蕉脆片品质至关重要。

为了探明香蕉片干燥过程与品质变化的关系,首先研究其干燥特性。测定不同热风温度条件下(70℃、80℃、90℃)的香蕉片干燥曲线,如图 1 所示。

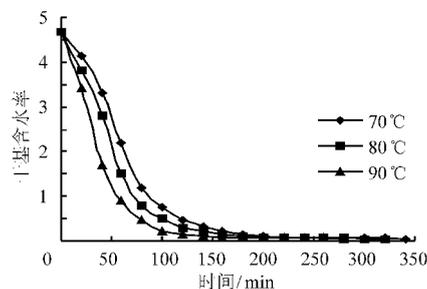


图 1 香蕉片干燥曲线

Fig.1 Drying curves of banana slice

由图 1 可看出,热风干燥香蕉片的过程分为 3 个阶段,即加速干燥阶段、恒速干燥阶段和降速干燥阶段。加速干燥阶段香蕉片温度低,部分热量被其吸收,因此水分不能充分蒸发;随着时间的延长,

香蕉片升温所需的热量逐渐减少,干燥速度加快;此阶段所需的时间最短。恒速干燥阶段,水分均匀蒸发;由于大量的水分蒸发需要充足的汽化潜热,此阶段物料升温很少^[5];香蕉片的恒速干燥时间较长。降速干燥阶段香蕉片内部水分向表面迁移的速度小于表面汽化的速度,干燥速度越来越慢。空气传给物料的热量一部分作为汽化水分之外,其余部分被物料吸收而使之温度升高,直至最后接近于热风温度^[5]。热风温度越高,香蕉片干燥速度越快,其温度也越高。

分别测定不同温度干燥过程中香蕉片总糖和还原糖的含量,结果如图2、3所示。

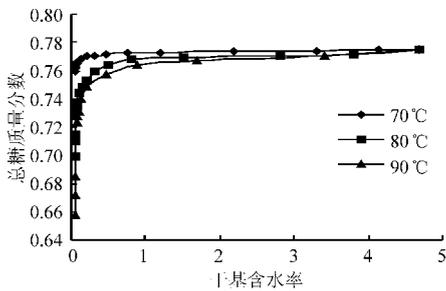


图2 干燥温度对总糖含量的影响曲线

Fig. 2 Effect of drying temperature on total sugar content

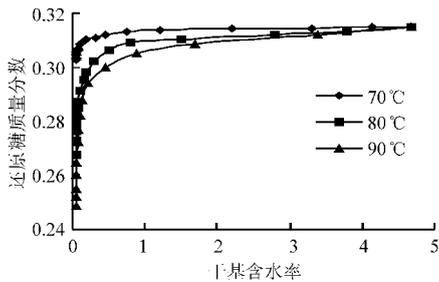


图3 干燥温度对还原糖含量的影响曲线

Fig. 3 Effect of drying temperature on reducing sugar content

从图1~3可看出,干燥过程中香蕉片的总糖含量和还原糖含量的变化趋势相同。快速干燥及恒速干燥阶段,总糖及还原糖减小的趋势较平缓;降速干燥期内总糖和还原糖含量减小的速度加快。干燥温度越高,总糖和还原糖含量减小的速度越快。干燥过程中,香蕉片中糖的损耗与非酶褐变有关,包括美拉德反应和焦糖化反应。美拉德反应的机理是在热的作用下,氨基酸和还原糖及还原糖的分解物反应生成褐色物质。由于降速干燥期是香蕉片升温的主要阶段,因此还原糖的减少主要发生在降速干燥期内;干燥温度越高,还原糖减少的速度越快,损失也越多^[6]。焦糖化反应是糖类在没有氨基化合物存在的情况下,加热到熔点以上的高温(一般在170℃以上)时,因糖脱水与降解发生的褐变反应。由于

本研究中采用的干燥温度不超过90℃,因此焦糖化反应程度很低,总糖的减少主要与其中的还原糖的减少有关。从图2和图3中可见,采用70℃热风干燥时,总糖和还原糖的减少程度低。

测不同温度干燥过程中香蕉片色值,并计算色差值,结果如图4所示。从图1和4可看出,降速干燥之前,随着含水率的降低,香蕉片的色差值缓慢增大;降速干燥期内,色差值随着含水率的减小而快速增大。干燥温度越高,色差值增加幅度亦越大,褐变加剧;当干燥温度为70℃,至干燥结束时香蕉片色差值增加不大、褐变程度低。这进一步证明了美拉德反应是香蕉片干燥过程中褐变的主要原因。

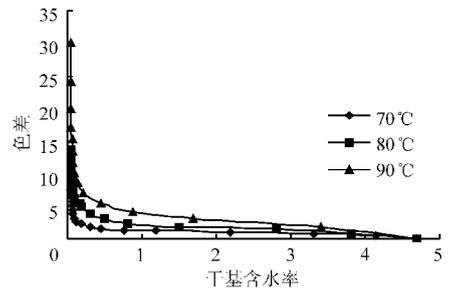


图4 干燥温度对色泽的影响曲线

Fig. 4 Effect of drying temperature on color

分别测定不同温度干燥香蕉片过程中蛋白质和脂肪含量的变化,结果分别如图5、6所示。

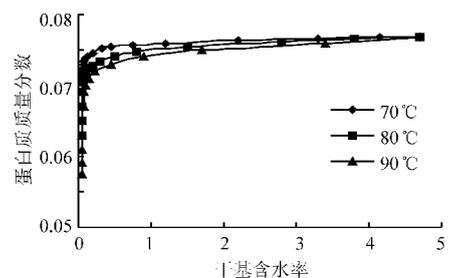


图5 干燥温度对蛋白质含量的影响曲线

Fig. 5 Effect of drying temperature on protein content

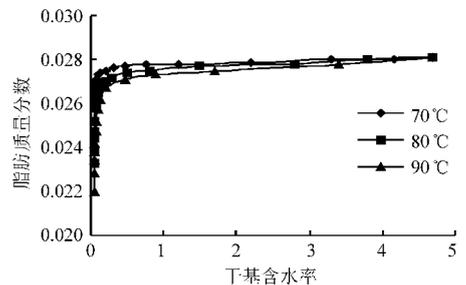


图6 干燥温度对脂肪含量的影响曲线

Fig. 6 Effect of drying temperature on lipid content

从图5、6看出,随着香蕉片含水率的降低,蛋白质和脂肪含量在降速干燥期前缓慢减小、在降速干燥期内快速减小;干燥温度越高,蛋白质和脂肪含量减小的速度亦越快。蛋白质含量的减小与美拉德反应有关,是因为其和还原糖作用生成褐变物质而减

小;脂肪含量的减小是由于热作用使得其氧化所致。干燥温度为70℃时,蛋白质及脂肪的减少程度很低。

综上所述,要减少香蕉片干燥过程中营养成分损失并保证良好的色泽,热风温度应控制在70℃以下。

2.3 过热蒸汽膨化过程优化

过热蒸汽膨化目的是使香蕉片的组织结构更加开放,增加内部的孔隙,提高香蕉脆片的脆性,从而改善食用品质。将70℃热风预干燥至一定含水率的香蕉片用过热蒸汽进行膨化,再用70℃热风干燥至安全含水率。采用预干燥香蕉片含水率(X_1)、过热蒸汽温度(X_2)和滞留时间(X_3)3个因素,以干燥的香蕉脆片剪切强度(y)为指标,采用 $U_9(9^4)$ 均匀试验设计,对过热蒸汽膨化过程进行研究与优化。试验采用的预干燥香蕉片干基含水率为0.1785~0.5385,间隔为0.045;过热蒸汽温度为140~160℃,间隔为2.5℃;滞留时间为40~60s,间隔为2.5s。试验设计与结果如表2所示。

表2 均匀试验设计与结果

Tab.2 Uniform experimental design and results

试验序号	X_1	X_2	X_3	y/N
1	3	7	9	3.02
2	6	4	8	2.98
3	9	1	7	4.66
4	2	8	6	3.93
5	5	5	5	2.98
6	8	2	4	4.55
7	1	9	3	4.53
8	4	6	2	3.13
9	7	3	1	3.65

表3 香蕉脆片与干片的品质对比

Fig.3 Quality comparison between banana chip and dried banana slice

种类	总糖质量分数	还原糖质量分数	蛋白质质量分数	脂肪质量分数	ΔE	剪切强度/N
香蕉脆片	0.7418	0.2958	0.0697	0.0246	8.16	2.38
香蕉干片	0.7591	0.3025	0.0707	0.0261	8.44	6.25

3 结论

(1) 采用0.3%柠檬酸溶液护色20min,可有效抑制香蕉片酶促褐变。

(2) 干燥过程中香蕉片营养成分总糖、还原糖、蛋白质、脂肪的损失以及色泽的劣化主要发生在降温干燥阶段;干燥温度越高,营养损失及色泽劣化越

明显。采用DPS 9.05数据分析系统软件对表2中的结果进行回归,得剪切强度与水平编码值回归方程

$$y = 3.6797 - 0.1894X_1 - 0.1007X_2 + 0.1238X_3 + 0.0290X_1^2 + 0.0290X_2^2 - 0.0139X_3^2 - 0.0290X_1X_2 + 0.0120X_1X_3 - 0.0120X_2X_3 \quad (1)$$

式(1)的回归系数 R^2 为0.9238,表明该回归方程可有效地反映过热蒸汽膨化条件与香蕉脆片剪切强度的相关关系。从式(1)可看出,预干燥香蕉片含水率、过热蒸汽温度和滞留时间的一次项对香蕉脆片剪切强度的影响明显高于二次项和交互项的影响;3个因素一次项影响剪切强度由大到小依次为:预干燥香蕉片含水率、滞留时间、过热蒸汽温度。

根据式(1),采用Excel软件并运用规划求解,以香蕉脆片剪切强度为目标,进行过热蒸汽膨化条件的优化,优化的结果为: X_1 、 X_2 、 X_3 分别取5.10、7.39、9.00,即预干燥香蕉片干基含水率为0.3630、过热蒸汽温度为156℃、滞留时间为60s时,预测的香蕉脆片剪切强度为2.43N。

对优化的条件进行试验验证,测定各项品质指标,并与未经膨化处理、70℃热风干燥而成的香蕉干片品质指标进行对照,结果如表3所示。

表3表明经过热蒸汽膨化后干燥的香蕉脆片,较70℃热风干燥的香蕉干片的总糖、还原糖、蛋白质、脂肪含量稍有减小;减幅最大的为脂肪,减小5.75%,其他成分减幅在2.3%以内;色差值稍有增加,说明过热蒸汽膨化环节对香蕉的营养成分影响不大,色泽劣化程度小。这是因为过热蒸汽温度虽然较高,但作用时间短,不足以导致营养成分和色泽的过度破坏。表3还表明,香蕉脆片剪切强度较香蕉干片减小了61.92%,脆性提高明显。

明显。采用70℃热风干燥,可有效减小营养成分损失和色泽劣化。

(3) 优化的过热蒸汽膨化条件为:预干燥香蕉片的干基含水率为0.3630、过热蒸汽温度为156℃、滞留时间为60s,此条件膨化后经70℃热风干燥的香蕉脆片营养损失小、色泽好、脆性优。

参 考 文 献

- 1 郑素霞, 李远志, 罗树灿, 等. 微波对苹果脆片干燥特性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(3): 109~111.
Zheng Suxia, Li Yuanzhi, Luo Shucan, et al. Effect of microwave on the dehydration feature of apple crispy chips [J]. Journal of South China Agricultural University, 2004, 25(3): 109~111. (in Chinese)
- 2 陈仪男, 杨学敏. 冻干香蕉预处理条件优化的研究[J]. 漳州职业技术学院学报, 2006, 8(1): 22~25.
Chen Yi'nan, Yang Xuemin. Studies on optimization of the conditions for pre-processing frozen-dry bananas [J]. Journal of Zhangzhou Technical Institute, 2006, 8(1): 22~25. (in Chinese)
- 3 塔卡基, 杨方琪, 高福成. 广东芝麻香蕉加工中的酶变研究(I)—多酚氧化酶的提取、分离及其特性研究[J]. 无锡轻工业学院学报, 1994, 13(1): 10~20.
Alex Koku M, Yang Fangqi, Gao Fucheng. Research on Guangdong zhima banana browning (I)—study on the extraction, purification and characteristics of the PPO [J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 1994, 13(1): 10~20. (in Chinese)
- 4 谢绍萍, 欧阳学智. 香蕉加工过程酶促褐变控制的研究[J]. 电子科技大学学报, 2003, 32(6): 641~644.
Xie Shaoping, Ouyang Xuezhi. A study on control of enzymatic browning in banana processing [J]. Journal of University of Electronic Science and Tehchnology of China, 2003, 32(6): 641~644. (in Chinese)
- 5 Song H B, Mao Z H, Lian G P. Effect of drying on the physical characteristics of black leaf tea [C] // ASABE Annual Meeting, Paper 036110, 2003.
- 6 Leite J B, Mancini M C, Borges S V. Effect of drying temperature on the quality of dried bananas cv. *prata and d'águs* [J]. LWT -Food Science and Technology, 2007, 40(2): 319~323.
- 7 韩清华, 李树君, 毛志怀, 等. 微波真空干燥条件对苹果脆片感官质量的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 130~134.
Han Qinghua, Li Shujun, Mao Zhihui, et al. Effects of microwave vacuum drying technology on sensory quality of apple slices [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 130~134. (in Chinese)
- 8 宋洪波, 安凤平. 胡萝卜过热蒸汽膨化干燥工艺优化[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 127~131.
Song Hongbo, An Fengping. Optimization of super heated steam puffing drying technology for carrot [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 127~131. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 115 页)

- 16 杨淑蕙. 植物纤维化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
- 17 Carlos A C, Hooshang P, Christian R. Production of monomeric phenols by thermochemical conversion of biomass: a review [J]. Bioresource Technology, 2001, 79(3): 277~299.
- 18 Nakamura T, Kawamoto H, Saka S. Pyrolysis behavior of Japanese cedar wood lignin studied with various model dimers [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2008, 81(2): 173~182.
- 19 Coats A W, Redfern J P. Kinetic parameters from thermogravimetric data [J]. Nature, 1964, 201(4): 68~69.
- 20 Argyropoulos D S, Bolker H I, Heitner C, et al. <sup>31</sup>P-NMR spectroscopy in wood chemistry. part V. qualitative analysis of lignin functional groups [J]. Journal of Wood Chemistry and Technology, 1993, 13(2): 187~212.
- 21 Lin S Y, Dence C W. Methods in lignin chemistry [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1992: 83~109.
- 22 Vázquez G, Antorrena G, González J, et al. FTIR, <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR characterization of acetosolv-solubilized pine and eucalyptus lignins [J]. Holzforschung, 1997, 51(2): 158~166.
- 23 Ramesh K Sharma, Jan B Wooten, Vicki L Baliga, et al. Characterization of chars from pyrolysis of lignin [J]. Fuel, 2004, 83(11~12): 1469~1482.
- 24 张斌, 阴秀丽, 吴创之, 等. 木粉水解残渣热解半焦结构及反应性研究 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 87~92.  
Zhang Bin, Yin Xiuli, Wu Chuangzhi, et al. Study on structure and CO<sub>2</sub> gasification reactivity of acid hydrolysis residue char [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 87~92. (in Chinese)