

热风 and 微波干燥对龙眼品质的影响

王宸之¹, 邓自高², 李琳¹, 毛世林², 李伯康¹,
刘路¹, 钟意¹, 张清¹, 秦文^{*1}

(1. 四川农业大学 食品学院, 四川 雅安 625014; 2. 泸州市邓氏土特产品有限公司, 四川 泸州 646000)

摘要: 为了获得品质优良的龙眼干制品, 研究分析了龙眼果肉在热风和微波两种干燥过程中的品质变化。结果表明, 两种干燥方法下果肉褐变度变化均与多酚氧化酶(PPO)活性相关; 过氧化氢酶(POD)活性的激活与果肉水分质量分数相关; PPO 对温度的敏感性高于 POD; 抗坏血酸褐变不是引发果肉褐变的主要原因; 双层堆积厚度下微波干燥较均匀, 制得龙眼质构较优。通过对比分析, 微波干燥的效率显著高于热风干燥, 且微波干燥下果肉褐变度及 PPO 活性均低于热风干燥, 故微波干燥法比热风干燥法更适合用于龙眼干燥加工。

关键词: 龙眼; 热风干燥; 微波干燥; 过氧化氢酶; 多酚氧化酶; 质构

中图分类号: TS 255.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2018)04—0429—08

Changes in the Quality of *Dimocarpus longan* During the Hot-Air Drying and Microwave Drying Processes

WANG Chenzhi¹, DENG Zigao², LI Lin¹, MAO Shilin², LI Bokang¹,
LIU Lu¹, ZHONG Yi¹, ZHANG Qing¹, QIN Wen^{*1}

(1. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; 2. Luzhou Dengshi Native Products Corporation, Luzhou 646000, China)

Abstract: The changes in quality of longan during the hot-air and microwave drying processes were investigated in this study. As a result, the change in browning degree of the longan pulp was closely related to the polyphenoloxidase (PPO) activity. The activation of peroxidase (POD) activity had a connection with the water content of longan pulp. PPO was more sensitive to high temperature than POD. The browning of ascorbic acid was not the major reason for the browning of longan pulp. Microwave drying was well-distributed when two-layer of fresh longan was placed in the microwave chamber. The longan dried by microwave was acceptable in texture. By comparison, the efficiency of microwave drying was significantly higher than that of hot-air drying and the browning degree and PPO activity of the longan dried by microwave drying were both lower than those of the longan dried by hot-air drying. Therefore, microwave drying is more suitable for the drying process of longan than

收稿日期: 2016-01-04

基金项目: 四川省科技富民强县专项行动计划。

* 通信作者: 秦文(1967—), 女, 重庆涪陵人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事果蔬采后生理及贮藏技术研究。

E-mail: qinwen1967@aliyun.com.cn

引用本文: 王宸之, 邓自高, 李琳, 等. 热风和微波干燥对龙眼品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(04): 429-436.

hot-air drying from the viewpoint of quality and time-saving process.

Keywords: *Dimocarpus longan*, hot-air drying, microwave drying, POD, PPO, texture

龙眼(*Dimocarpus longan*)果肉鲜美,风味独特,富含维生素与碳水化合物。龙眼盛产于夏季,呼吸代谢旺盛,鲜果极易腐烂变质,因此除少量鲜食外,绝大部分依赖于干燥保藏,适宜的干燥工艺及干燥设备能有效抑制微生物的繁殖,利于干制品的长期保存^[1-2]。我国传统龙眼干燥方法以热风干燥为主,干燥后的龙眼水分含量较低,能达到20%以下,货架期相对于新鲜龙眼显著延长。

随着龙眼产业加工技术和产品开发的研究,更多干燥方法如微波干燥、真空冷冻干燥等被应用到龙眼干燥加工中^[3-4]。不同方法的干燥原理不同,因而对于龙眼营养品质的保留及储藏性能的影响也不一样。作者着眼于热风干燥和微波干燥对于龙眼果肉干燥品质的影响,分析了在不同干燥阶段龙眼营养品质及相关酶活性的变化。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“蜀冠”龙眼:四川省泸州市邓氏土特产公司提供,采摘后储藏于4℃条件下。

冰醋酸,丙酮,3,5-二硝基水杨酸,盐酸,甲醇,蒽酮,乙酸乙酯,MPEG,PEG 6000,PVPP,Triton X-100,愈创木酚,邻苯二酚等,均为分析纯,购于成都市科龙化工有限公司。

1.2 仪器

真空干燥箱(DZF-6050):上海三发科学仪器有限公司产品;冷冻离心机(Heraeus Multifuge X-3R):Thermo Scientific产品;紫外分光光度计(UV-1800):上海美谱达仪器有限公司产品;TA-XT Plus物性测试仪:英国Stable micro systems公司产品;微波科学实验炉(ORW08S-3H):南京澳润微波科技有限公司产品;电热鼓风干燥箱(DHG-9246A):上海精宏实验设备有限公司产品;家用活氧解毒机(FL-8A):深圳市飞立电器科技有限公司产品。

1.3 实验流程

鲜果→剪枝→挑选分级→清洗护色→带壳干燥→冷却→果肉指标测定

选取果实成熟度相近、大小均一、健康无虫害、

表面无机械损伤的龙眼鲜果放入气调箱内,确保气调箱密闭性能良好后关闭气调箱通入臭氧;臭氧速率为400 mg/h,处理10 min后停止通臭氧,静置20 min。然后将龙眼取出放入护色液中浸泡10 min;护色液由质量分数1.5%柠檬酸和0.05%抗坏血酸组成。浸泡结束后将龙眼取出,沥干待用。

1.4 干燥方法

1.4.1 热风干燥 龙眼热风干燥工艺参考吴光亮^[5]的干燥方法并作一些改进:龙眼鲜果→剪粒、清理→护色处理→沥干→恒温热风干燥(65℃,6 h)→恒温热风干燥(75℃,12 h)→最终干燥(70℃,6 h)。取护色沥干、干燥6 h、干燥12 h、干燥18 h和干燥24 h的龙眼作为分析对象。

1.4.2 微波干燥 采用两段微波加热-间歇工艺。微波功率恒定800 W。第一段:加热时间10 s、间歇时间50 s;待样品中水分质量分数降至40%时,换成第二段:加热时间5 s,间歇时间40 s。以护色后沥干的龙眼、处理时间(加热和间歇时间都统计)5、10、20、40、80、120、160 min的龙眼作为检测水分含量的对象。以护色后沥干的龙眼、处理时间10、20、40、80和160 min的龙眼作为其他理化指标检测分析的对象。

将护色后沥干的龙眼分别以单层、双层、三层堆积的方式置于微波炉中干燥以研究微波对不同堆积厚度品质均匀性的影响。

1.5 水分质量分数与干燥速率的测定

水分含量的测定参照GB 5009.3-2010《食品中水分的测定》中的直接干燥法。根据两种干燥方法所取样品时间点的不同,分别取样测定干燥速率。干燥速率计算公式如式1所示。

$$S = \frac{(X_{\text{前}} - X_{\text{后}})}{t} \times 100\% \quad (1)$$

式中, S 为干燥速率,%; $X_{\text{前}}$ 为干燥前含水率,%; $X_{\text{后}}$ 为干燥后含水率,%; t 为干燥时间,h。

1.6 褐变度的测定

褐变度的测定参考Leeratanarak et al.的方法^[6]。分别称取2 g去核后的果肉样品,研磨后加入20 mL体积分数2%的醋酸溶液,充分混匀,在8 000 r/

min 下离心 10 min, 吸取上清液。将 20 mL 丙酮加入上清液中, 混合均匀后在 8 000 r/min 下离心 10 min, 吸取上清液。在 420 nm 波长下测定其光密度, 结果用 $A_{420\text{ nm}}$ 表示。

1.7 可溶性糖和还原糖质量分数的测定

干龙眼可溶性总糖质量分数测定采用蒽酮比色法, 还原糖质量分数测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[7]。

1.8 龙眼果肉 PPO 和 POD 活性的测定

称取 5.0 g 桂圆果肉, 置于研钵中, 以适量液氮研磨破碎后加入 5.0 mL 提取缓冲液 (含 1 mmol PEG、质量分数 4% PVPP 和 1% Triton X-100), 于 4 ℃、1 200 g 离心 30 min, 收集上清液即为酶提取液, 低温保存待用。

PPO 活性测定采用分光光度法^[8]。酶活计算公式如式 2 所示。

$$U = \frac{\Delta A_{420\text{ nm}} \times V}{V_s \times m} \quad (2)$$

式中, $\Delta A_{420\text{ nm}}$ 为样品在 420 nm 处吸光值每分钟变化量; V 为样品提取液总体积, mL; V_s 为测定时所取样品提取液体积, mL; m 为样品质量 g。

龙眼干 POD 活性测定采用愈创木酚法^[8]。酶活计算公式按式 3 进行。

$$U = \frac{\Delta A_{470\text{ nm}} \times V}{V_s \times m} \quad (3)$$

式中, $\Delta A_{470\text{ nm}}$ 为样品在 470 nm 处吸光值每分钟变化量; V 为样品提取液总体积, mL; V_s 为测定时所取样品提取液体积, mL; m 为样品质量 g。

1.9 抗坏血酸质量分数的测定

抗坏血酸质量分数的测定采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[8]。

1.10 质构的测定

将龙眼果肉剥离, 剪为 1.5 cm×1.5 cm 大小的正方形, 采用 TPA 模式对果肉进行二次压缩试验, 探头型号为 P/36R。测前速度 3.00 mm/s, 测中速度 1.00 mm/s, 测后速度 3.00 mm/s, 应变量为 75%。测定参数为果肉的硬度、黏附性、弹性、内聚性、咀嚼性、回复性, 5 次重复。

1.11 数据处理

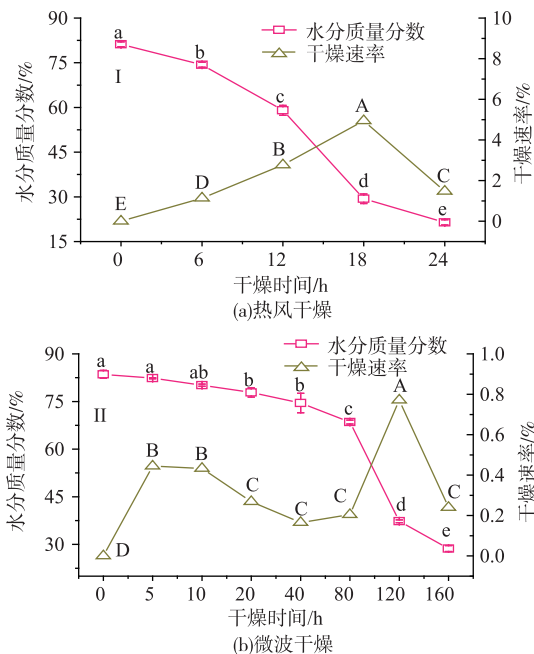
采用 Office Excel 2013 对数据进行处理, Origin 7.5 进行绘图以及误差分析, SPSS Statistics 19 软件进行方差分析 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 龙眼干燥过程中的失水特性

龙眼干燥的湿热传导过程涉及水分从龙眼表面蒸发转移及物料中心水分向龙眼表面的扩散, 前者为给湿, 后者为导湿^[9]。如图 1(a) 所示, 在热风干燥的各个阶段, 果肉中水分含量均显著下降 ($p < 0.05$), 这与热风干燥的特点有关。在给湿阶段, 热空气与龙眼发生热传导, 龙眼表面水分蒸发并被空气带走。在导湿阶段, 龙眼内部水分向表面扩散, 热空气与龙眼表面再次发生热传导及水分交换。

干燥至 18 h 时, 干燥速率达到最大值。该时间段温度最高 (75 ℃), 导致果肉蛋白质变性, 细胞膜对水的透性增强, 在这一时间段水分质量分数急剧下降。到了干燥后期, 水分质量分数已降至 30% 以下, 大部分游离水已被除去, 而结合水较难去除, 干燥速率随之下降。因此, 热风干燥过程中水分散失是显著而连续的过程。



图中不同小写或大写字母表示不同时间点所测样品间存在差异显著性, $p < 0.05$

图 1 干燥过程中果肉水分质量分数及干燥速率变化
Fig. 1 Changes in water content and drying efficiency of longan aril during hot-air drying and microwave drying process

与传统热风干燥法相比, 微波干燥法耗时明显缩短。微波干燥利用偶极子在局部快速变化电场下

摩擦产热干燥物料,干燥速率较高,加热较为均匀^[9]。如图 1(b)所示,干燥从 10 min 进行到 40 min 时,干燥速率显著下降($p<0.05$),这可能与干燥前期游离水大量散失导致龙眼果肉温度下降有关。干燥从 0 min 进行到 80 min 的时期,微波功率及间歇时间均恒定,故龙眼果肉温度在缓慢升高,在 80 min 左右达到临界温度后干燥速率显著上升($p<0.05$)。而果肉 PPO 的活性也在这一阶段上升,这可能是由于高温以及水分大量散失破坏了龙眼细胞的分区结构而导致结构蛋白变性。干燥至 120 min 时,干燥时的相对加热时间减少,温度相对恒定,且结合水的结合力相对比重上升,导致了干燥速率的显著下降。因此,微波干燥时水分变化不是显著而连续的过程,而是前期水分散失慢,后期水分显著下降的过程。

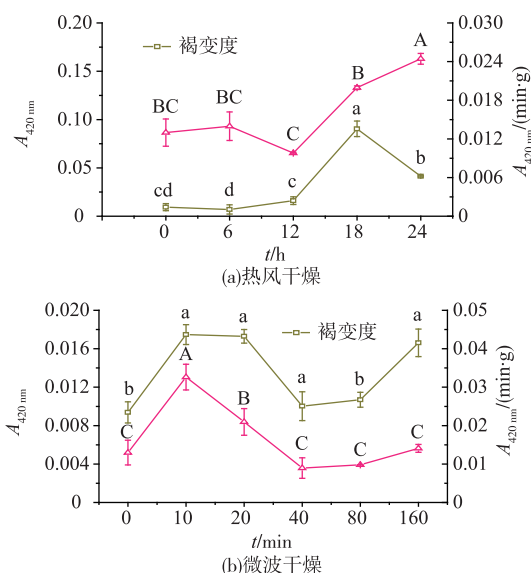
2.2 龙眼干燥过程褐变度及 PPO 活性变化

由于机械损伤或者逆境,果蔬会产生损伤信号等生理信息,激活相关酶并使其活性升高;研究表明引起果蔬酶促褐变的酶主要是多酚氧化酶^[10]。热风干燥过程中龙眼果肉褐变度变化如 2(a)所示。干燥至 6 h 时,果肉褐变度无显著性变化,这和 PPO 活性变化趋势一致;可能与护色液中抗坏血酸等 PPO 抑制剂在干燥初期抑制了 PPO 的活性有关。另外,即使兼具底物、PPO 和氧气也不一定发生酶促褐变,因为植物细胞内部是由一系列膜系统实现的区域化分布,使得酶与底物不能直接接触,无法引发酶促褐变^[11]。干燥至 6 h 时,干燥温度处于较低温阶段(65 °C),龙眼水分散失程度较低,果肉细胞内的区域屏障并未被打破,植物的抗逆机制可能未被激发。

干燥至 12 h,龙眼果肉褐变度显著上升($p<0.05$),而 PPO 活性下降。可能原因是干燥温度升高至高温干燥阶段(75 °C),PPO 活性在高温下下降。但此时细胞内的分区系统可能开始被破坏,PPO 与底物接触,褐变度上升。干燥至 18 h 时,褐变度显著上升($p<0.05$)并达到峰值。因为干燥速率达到了整个干燥过程的最高值,水分质量分数显著下降,底物浓度上升,细胞内的区域屏障系统进一步被打破,PPO 被激活并催化酚类底物为醌,酶促褐变加剧。同时,干燥至 18 h 时,抗坏血酸含量下降,其氧化分解可引发褐变。另外,龙眼中富含的还原糖可与果肉中的蛋白质、肽、游离氨基酸发生美拉德褐

变。

干燥至 24 h 时,褐变度显著下降($p<0.05$)。一方面干燥后期褐变底物大量消耗,且干燥温度下降(70 °C),不利于美拉德反应的进行。PPO 活性持续上升,可能是因为水分大量散失后酶活上升,这与龙眼果皮褐变趋势一致^[12]。另一方面,果肉中游离水大部分已蒸发,成品含水量较低(质量分数 20%);虽然底物浓度较高,但缺乏溶剂,难以接触,褐变速率下降。



图中不同小写或大写字母表示不同时间点所测样品间存在差异显著性, $p<0.05$

图 2 干燥过程中果肉褐变度及 PPO 活性变化

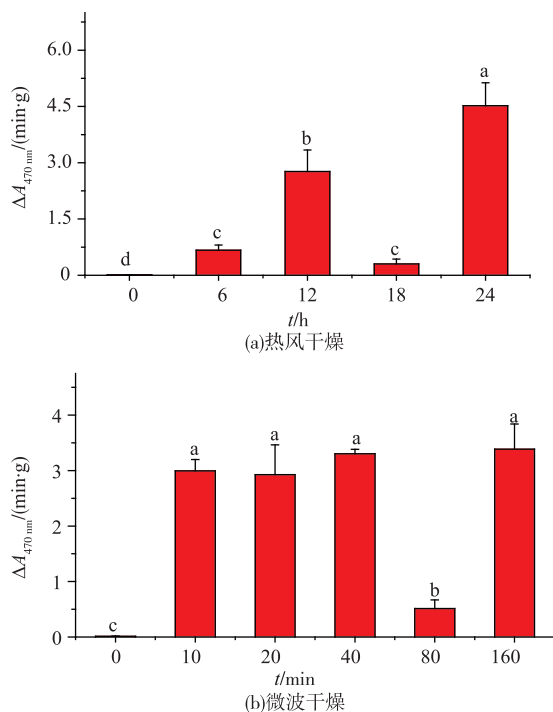
Fig. 2 Changes in degree of browning and PPO activity of longan aril during hot-air drying and microwave drying process

如图 2(b)所示,微波干燥至 10 min 时果肉褐变度显著上升($p<0.05$),这与 PPO 的活性变化趋势一致,可能原因是微波干燥时温度上升速度快,激发 PPO 引发酶促褐变。干燥至 20 min 时,褐变度与 10 min 时的褐变度基本一致,这是由于水分质量分数无显著性变化,同时 PPO 活性随着温度的升高显著下降($p<0.05$)。在 40~80 min 期间,褐变度显著下降后无显著性变化,这和也与 PPO 的变化情况一样。综合前 80 min 的褐变度变化情况,褐变度的变化与 PPO 的变化具有极大相关性,因此该阶段褐变产物的积累受酶促褐变速率的影响较大。160 min 时褐变度达到峰值,这是由于在干燥后期水分质量分数已经达到较低水平。同时,PPO 的活性在这一

时期无显著性变化,可能是水分蒸发减少,果肉温度较高抑制了酶活。在较高糖含量和高温条件下,美拉德反应会引起褐变产物的积累。

2.3 龙眼干燥过程 POD 活性变化

图 3(a)为热风干燥过程龙眼果肉 POD 活性变化。干燥至 6 h 时,POD 活性无明显变化($p>0.05$),反映了干燥初期活性氧的积累较少,未激活 POD。干燥至 12 h 时,POD 活性出现了与 PPO 相反的变化趋势,显著上升($p<0.05$)。这反映出了两种酶对于温度变化的不同反应。该阶段有可能积累了较多活性氧,活性氧对 POD 的激发程度可能超过了高温对酶活的抑制。随着在高温下持续干燥,POD 活性在 18 h 显著性下降($p<0.05$);此时果肉水分质量分数已降至较低水平(30%左右),游离水大量散失,自由基或活性氧的移动受到限制。到第 24h 时干燥温度下降,干燥成品 POD 活性显著上升($p<0.05$)达到峰值。



图中不同小写或大写字母表示不同时间点所测样品间存在差异显著性, $p<0.05$

图 3 干燥过程中果肉 POD 活性变化

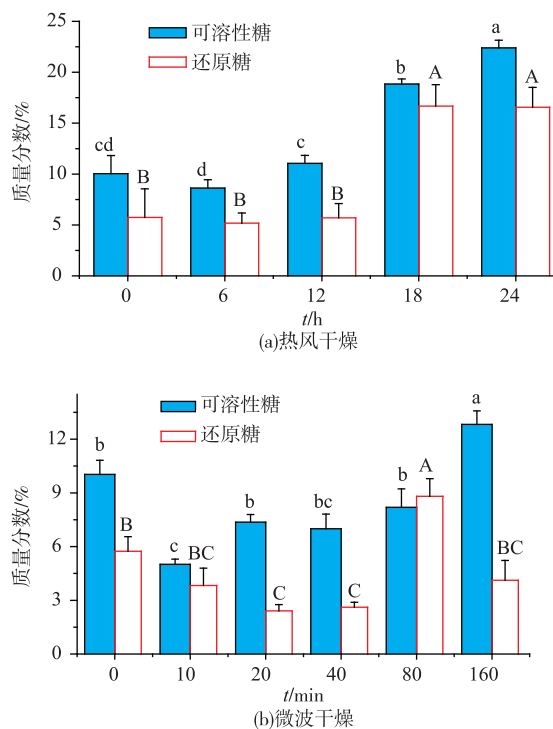
Fig. 3 Changes in POD activity of longan aril during hot air drying and microwave drying process

如图 3(b)所示,0 min 时 POD 活性较低。干燥至 10 min 时 POD 活性显著升高($p<0.05$),可能是由于干燥处理和自由基的产生激活了 POD 活性。而干燥至 10~40 min 时 POD 活性无显著性变化 ($p>$

0.05)。干燥至 80 min 时,干燥速率上升,POD 活性显著下降,说明水分子间的摩擦会加剧因而温度可能会随之上升抑制酶活。干燥至 160 min 时随着相对加热时间的减少,果肉温度下降,果肉皱缩严重,POD 活性随着温度的下降显著上升。

2.4 龙眼干燥过程可溶性糖和还原糖质量分数变化

龙眼在干燥过程中常伴随着非褐变反应,而非酶褐变反应原因多样,其中美拉德反应的进行伴随着糖类的含量变化^[13]。图 4(a)为热风干燥过程中可溶性糖与还原糖含量变化。干燥至 6 h 时,可溶性糖含量出现小幅下降,这与还原糖的变化趋势一致。这是因为干燥前期温度较高且水分下降速率不及褐变消耗糖类的速率,单糖经脱水而生成糠醛及相应的衍生物,经聚合后褐变。随着干燥的进一步进行,后期可溶性糖质量分数呈现显著性上升 ($p<0.05$)。首先,热风干燥这一方法能使得龙眼迅速脱水,使得果肉糖含量上升。其次,较少量的糖类消耗便能引发较大程度的褐变^[14],故在干燥后期随着褐变产物的积累糖类的消耗速率可能下降。



图中不同小写或大写字母表示不同时间点所测样品间存在差异显著性, $p<0.05$

图 4 干燥过程中果肉可溶性糖及还原糖质量分数变化

Fig. 4 Changes in Contents of soluble total sugar and reducing sugar of longan aril during hot air drying and microwave drying process

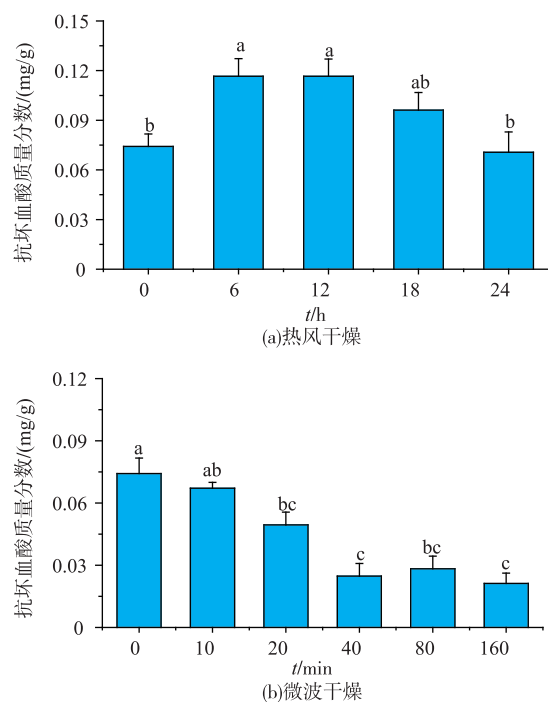
如图 4(b)所示,通过对微波干燥过程中褐变度和还原糖质量分数的分析发现两者具有相关性。干燥 10 min 时可溶性糖及还原糖质量分数均下降,这与该时期褐变度的显著性上升相反,可能是还原糖与果肉中游离的氨基酸、蛋白质及其他胺类化合物大量反应所引起。在 10~160 min 期间,可溶性糖质量分数总体呈现上升趋势,水分的快速散失使得果肉糖质量分数迅速提高,这导致干燥过程中可溶性糖质量分数的变化难以反映褐变引起的糖类消耗。干燥至 20 min 时,还原糖质量分数显著下降 ($p < 0.05$),而褐变度在这一时期达到峰值,因此还原糖的消耗有可能为褐变反应引起。与 20 min 时还原糖质量分数相比,40 min 时还原糖质量分数基本不变,这可能与褐变度和水分质量分数在这一时期均显著下降有关。干燥至 80 min 时,还原糖质量分数显著上升达到峰值,这与该阶段褐变度无显著变化以及含水量的显著下降有关。干燥至 160 min 时褐变度显著上升 ($p < 0.05$),可能是由于该阶段果肉含水量最低,在高温以及高浓度糖环境下极易引发美拉德褐变。

2.5 龙眼干燥过程抗坏血酸质量分数变化

抗坏血酸能通过抑制果实 PPO 活性来抑制酶促褐变^[5],而且抗坏血酸是植物体内重要的抗氧化物质,具有极强的抗氧化性,能通过自身氧化分解来防止其他物质氧化;同时,抗坏血酸的分解也可引发褐变^[6]。图 5(a)为热风干燥过程中抗坏血酸质量分数变化,在 0~12 h 间抗坏血酸质量分数显著上升后 ($p < 0.05$) 维持恒定,而褐变度和 PPO 活性在这一时期均上升,因此干燥前期可能以酶促褐变为主要褐变方式。干燥至 18 h 时,抗坏血酸质量分数下降,此时水分干燥速率与褐变度达到峰值。水分质量分数快速下降的同时,包括抗坏血酸褐变在内的多种褐变反应均有可能进行。干燥至 24 h 时,果肉抗坏血酸的质量分数与鲜品中的质量分数基本一致,这可能与果肉水分大量散失导致单位质量中抗坏血酸质量分数升高有关。

如图 5(b)所示,微波干燥过程中抗坏血酸质量分数总体呈现下降趋势。微波干燥虽然具有自动热平衡的优点,但较高功率下仍有可能出现局部过热焦化的情况^[7]。与新鲜龙眼相比,干燥至 160 min 时龙眼的抗坏血酸质量分数显著下降,降幅达到了 86.1%。而热风干燥所制得的龙眼干,其抗坏血酸质

量分数相对较高。因此,干燥时的温度和水分蒸发效率都有可能影响龙眼干中抗坏血酸的质量分数。



图中不同小写字母表示不同时间点所测样品间存在差异显著性, $p < 0.05$

图 5 干燥过程中果肉抗坏血酸质量分数变化

Fig. 5 Changes in ascorbic acid contents of longan aril during hot air drying and microwave drying process

2.6 堆积厚度及干燥方式对龙眼质构的影响

如表 1 所示,与新鲜龙眼相比,热风干燥和微波干燥后的龙眼,各项质构指标均出现显著性上升 ($p < 0.05$),这可能是由于干燥后的龙眼水分质量分数较低而糖质量分数较高。单层堆积厚度下,微波干燥与热风干燥所制得龙眼的硬度、黏附性、内聚性和回复性无显著性差异 ($p > 0.05$);而微波干燥法所制得龙眼的弹性和咀嚼性均显著高于热风法所制得的龙眼。这说明单层堆积厚度下微波干燥法所制得龙眼的质构参数优于传统热风法所制得的样品。双层堆积厚度下,上下层样品的黏附性和弹性存在显著性差异,其余质构参数无显著性差异,这说明双层堆积厚度下微波干燥的均匀性较好。双层与单层堆积方式相比,质构参数基本无显著性差异。3 层堆积厚度下,不同层数样品的硬度、黏附性、内聚性、咀嚼性和回复性均存在显著性差异,因此 3 层堆积厚度过大,导致微波干燥不均匀,在实际实

表 1 不同干燥方式对龙眼质构特性的影响

Table 1 Effects of different accumulative thickness on texture characteristics of longan

指标	新鲜龙眼	热风干燥	层数	微波干燥堆积厚度		
				单层堆积	双层堆积	三层堆积
硬度/g	5455.20±228.11 ^e	8538.78±390.86 ^d	上	8712.93±257.18 ^d	8302.38±226.88 ^d	11760.22±598.29 ^c
			中		—	14363.40±873.06 ^b
			下		8692.26±300.40 ^d	19733.26±812.79 ^a
黏附性/(g·s)	-8.87±2.12 ^c	-158.56±67.40 ^d	上	-185.12±49.92 ^d	-147.80±15.20 ^d	-145.44±6.74 ^d
			中		—	-718.45±28.17 ^b
			下		-258.91±90.32 ^c	-1304.29±36.96 ^a
弹性	0.34±0.02 ^c	0.52±0.07 ^b	上	0.81±0.08 ^a	0.64±0.044 ^b	0.85±0.12 ^a
			中		—	0.97±0.02 ^a
			下		0.85±0.13 ^a	0.99±0.003 ^a
内聚性	0.19±0.03 ^d	0.50±0.04 ^{bc}	上	0.54±0.08 ^b	0.59±0.07 ^b	0.49±0.01 ^c
			中		—	0.53±0.03 ^{bc}
			下		0.51±0.07 ^{bc}	0.68±0.02 ^a
咀嚼性	330.17±34.80 ^f	2235.65±361.09 ^c	上	3548±121.33 ^d	3474.11±55.55 ^d	5202.88±448.98 ^c
			中		—	7329.91±182.87 ^b
			下		3208.99±852.91 ^{dc}	13222.44±900.59 ^a
回复性	0.079±0.01 ^c	0.29±0.03 ^b	上	0.32±0.08 ^b	0.35±0.09 ^b	0.35±0.03 ^b
			中		—	0.36±0.01 ^b
			下		0.30±0.05 ^b	0.50±0.05 ^a

表中不同小写或大写字母表示不同样品间存在差异显著性, $p<0.05$

验过程出现了果肉焦化的现象。所以 3 层堆积厚度不适用于微波干燥。

通过上述分析可知,双层堆积厚度的微波干燥法所制得龙眼的质构特性较好,且干燥效率高于单层堆积方式,更适用于龙眼的干燥加工。

3 结 语

通过对两种干燥方法的失水特性研究发现,热风干燥各个阶段水分质量分数均显著下降,而微波干燥法在干燥后期才出现水分质量分数的显著下降。两种干燥方法过程中均发现果肉褐变度与 PPO 活性呈正相关,与水分质量分数呈负相关,果肉褐变度同时受水分质量分数和 PPO 活性的影响。干燥前期的褐变与酶促反应紧密相关,而干燥后期褐变反应种类较多,但抗坏血酸褐变不是引发褐变的主要原因。干燥完成后果肉 PPO 仍具有活性,其中以热风干燥后的果肉 PPO 活性最高,因此并不能排除

干燥后期酶促褐变反应的存在。干燥过程中 POD 与 PPO 对于温度的敏感程度不同,PPO 对于温度更加敏感。可溶性糖质量分数均呈现初期下降和后期上升的趋势。可溶性糖质量分数变化趋势与还原糖质量分数变化趋势具有相关性,这与还原糖质量分数占可溶性糖质量分数比重较高有关。微波干燥与热风干燥方法不同,微波干燥后期还原糖质量分数下降,这可能与大功率下局部高温引发焦糖化反应和美拉德褐变有关,因此微波干燥要控制功率。双层堆积厚度下,微波干燥所制得样品品质构较好,干燥效率高,适合于龙眼的干燥加工。

相比传统热风干燥法,双层堆积厚度下的微波干燥法干燥效率高,能使产品迅速脱水。微波干燥后的成品褐变度更低,感官评价更高,质构参数更优。微波干燥后,龙眼果肉中 PPO 的活性更低,更利于龙眼的储藏。因此,微波干燥法比热风干燥法更适用于龙眼的干燥加工。

参考文献:

- [1] CHEN Yinan. Optimization of vacuum freeze-drying technologies of longan fruits [J]. **Transactions of the CSAE**, 2008, 24(9): 244-248. (in Chinese)
- [2] YI Yang, ZHANG Mingwei. Research progress in drying and preservation technology of tropical fruits in China [J]. **Food Science**, 2010, 31(13): 331-336. (in Chinese)
- [3] HU Qingguo. Effect of different drying methods on the quality changes of the granular fruits and vegetables [J]. **Journal of Food and Science Biotechnology**, 2006, 35(2): 28. (in Chinese)
- [4] XIAO Weiqiang, CAI Changhe, ZHANG Aiyu, et al. Study on the vacuum drying of litch and longan [J]. **Food Science**, 2004, 25(8): 218-219. (in Chinese)
- [5] 吴光亮. 龙眼干加工过程功效营养成分的变化[D]. 福建: 福建农林大学, 2013.
- [6] LEERATANARAK N, DEVAHASTIN S, CHIEWCHAN N. Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques[J]. **Journal of Food Engineering**, 2006, 77(3): 635-643.
- [7] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [8] 曹健康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [9] 蒲彪, 张坤生. 食品工艺学[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [10] CHANDRASEKARANS, RAMANATHANS, BASAK T. Microwave food processing-A review [J]. **Food Research International**, 2013, 52(1): 243-261.
- [11] 赵国华. 食品化学[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [12] SUN Jian, LI Li, YOU Xiangrong, et al. Chemical mechanism advances of enzymatic browning reaction in postharvest lychee and longan fruits[J]. **Journal of Southern Agriculture**, 2012, 43(10): 1561-1568. (in Chinese)
- [13] HUANG Meixiang, DUAN Qi, LIN Hetong, et al. Studies on Pretreated-technologies of dried longan pulp [J]. **Packaging and Food Machinery**, 2014(2): 5-9. (in Chinese)
- [14] XU Huiyan. Research progress on non-enzymatic browning of fruit juice and influence factors[J]. **Academic Periodical of Farm Products Processing**, 2011(4): 103-106. (in Chinese)
- [15] YANG Wei, LIU Jing, LÜ Chunjing, et al. Effects of CaCl_2 and AsA treatments on quality and browning in fresh-cut apple[J]. **Scientia Agricultura Sinica**, 2010, 43(16): 3402-3410. (in Chinese)
- [16] BRADSHAW M P, BARRIL C, CLARK A C, et al. Ascorbic acid: A review of its chemistry and reactivity in relation to a wine environment[J]. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2011, 51(6): 479-498.
- [17] LUO Shucan, LI Yunzhi, PENG Weirui, et al. The drying processing technology of combining thermal airflow with microwave for litchi[J]. **Modern Food Science and Technology**, 2006, 22(3): 10-13. (in Chinese)

科技信息

美国豁免脂质几丁寡糖 SP104 在食品中的最大残留限量

近日, 据美国联邦公报消息, 美国环保署发布通报, 豁免脂质几丁寡糖(Lipochitooligosaccharide)SP104 在食品中的最大残留限量。

据了解, 本次豁免申请由孟山都公司按照美国《联邦食品、药品与化妆品法案》的要求提交。

美国环保署就其毒性、致癌性等方面进行了风险评估, 得出结论认为, 脂质几丁寡糖 SP104 对普通人群、婴儿和儿童的健康无影响, 因此豁免其最大残留限量要求。

新条例自发布之日起生效, 有关人员于 2018 年 5 月 7 日之前提交意见。

[信息来源] 食品伙伴网?. 美国豁免脂质几丁寡糖 SP104 在食品中的最大残留限量 [EB/OL]. (2018-3-9). <http://www.foodmate.net/law/usa/193288.html>