

刘春菊, 王海鸥, 刘春泉, 等. 循环脉冲提高气流膨化干燥黄桃效率[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(3): 680-685.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.03.030

循环脉冲提高气流膨化干燥黄桃效率

刘春菊^{1,2}, 王海鸥³, 刘春泉^{1,2}, 李大婧^{1,2}

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2. 国家蔬菜加工技术研发专业分中心, 江苏 南京 210014;

3. 南京晓庄学院食品科学学院, 江苏 南京 211171)

摘要: 为了提高膨化干燥效率, 简化工艺, 研究了脉冲气流膨化干燥技术的脉冲频率对黄桃丁干燥过程和产品的影响, 与热风联合气流膨化干燥相比较分析干燥过程中水分含量变化、工序和耗时, 及干燥产品类胡萝卜素组分和含量、干燥品质。脉冲频率对黄桃丁水分汽化及膨化骨架形态的保持具有较大影响, 脉冲膨化3次, 黄桃丁仍能维持骨架形态, 棱角光滑, 继续脉冲会造成黄桃丁骨架坍塌, 表面皱缩。热风联合气流膨化干燥工艺包括热风预干燥、均湿和气流膨化3个工序, 耗时达到20.0 h, 而脉冲气流膨化干燥工艺只需脉冲气流膨化一道工序, 耗时为4.5 h。脉冲气流膨化干燥黄桃丁的总类胡萝卜素和组分含量及色泽与热风联合气流膨化黄桃丁差异不显著, 黄桃丁面和边膨化效果均较好, 色泽鲜亮, 膨化度高, 未出现棱角硬边现象, 但热风联合气流膨化干燥黄桃丁产品硬度较大, 棱角出现硬边。本研究为果蔬脉冲气流膨化干燥的产业应用提供了一定的理论基础。

关键词: 黄桃; 脉冲气流膨化干燥; 热风联合气流膨化干燥

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)03-0680-06

Efficiency of explosion puffing drying of yellow peach improved by cyclic pulse

LIU Chun-ju^{1,2}, WANG Hai-ou³, LIU Chun-quan^{1,2}, LI Da-jing^{1,2}

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. National Vegetable Processing Technology R&D Sub-center, Nanjing 210014, China; 3. College of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China)

Abstract: To improve the drying efficiency of yellow peach and simplify the process, the effect of pulse explosion puffing drying on peach quality was studied. The moisture content, working procedure, time consumption, the contents of carotenoids and the quality of dried product were compared with those by hot air combining explosion puffing. Results showed that pulse frequency had a great influence on water gasification and the skeleton of yellow peach. As pulse explosion puffing drying was operated less than three times, yellow peach maintained the morphological skeleton with smooth edges and corners. Continued pulse led to skeleton collapse and surface shrinkage. Instead of hot air combining explosion puffing drying which involves three procedures and tooks 20.0 h working time, pulse explosion puffing drying only involves one procedure and tooks 4.5 h. The content of total carotenoids, and the color of yellow peach did not differ significantly in the two methods. Yellow peach dried by pulse explosion puffing presented bright-colored surface with high puffing degree, and no hard edges. However, yellow peach showed high hardness and hard edges dried by hot air combining explosion puffing.

Key words: yellow peach; pulse explosion puffing drying; hot air combining explosion puffing drying

收稿日期: 2015-11-16

基金项目: 江苏省重点研发计划(现代农业)重点项目(BE2015350-2); 江苏省政策引导类计划(产学研合作)项目(BY2015073-02)

作者简介: 刘春菊(1979-), 女, 辽宁鞍山人, 硕士, 助理研究员, 主要从事果蔬加工与质量控制研究。(Tel) 13915963548; (E-mail) cjliu0306@163.com

通讯作者: 李大婧, (Tel) 13951743380; (E-mail) lidajing@163.com

近几年,水果脆片休闲产品以多种多样的形式在超市和专卖店中不断涌现,凭借口感酥脆、热量较低、营养健康受到广大消费者的青睐,成为休闲食品加工中具有广阔前景的朝阳产品。水果脆片干燥方法主要有冷冻干燥^[1-2]、油炸^[3-4]、气流膨化^[5-7]等,其中气流膨化即压差变温膨化,是近几年发展起来的一种新兴加工技术,是当前水果休闲食品加工领域的研究热点。赖必辉等^[8]采用变温压差膨化干燥技术,探讨芒果切条厚度、预干燥后水分含量、膨化温度、膨化压力差、抽空温度、抽空时间和停滞时间对芒果膨化产品的硬度、脆度、色泽、膨化度和含水率的影响,发现预干燥后水分含量、膨化温度和抽空时间是影响芒果膨化产品品质的关键因素;何新益等^[9]研究了不同膨化温度对冬枣变温压差膨化干燥特性的影响,建立了变温压差膨化干燥动力学模型,可预测冬枣在变温压差膨化干燥过程中含水率与膨化温度和干燥时间之间的变化关系;刘志勇等^[10]分析了预干燥含水率、膨化温度、抽空温度、抽空时间、停滞时间和膨化压力差对葡萄气流膨化干燥产品的影响,通过单因素和二次回归模型确定了气流膨化干燥工艺条件。

以上对于气流膨化技术的研究,都必须进行一定的预干燥和均湿工序后才能进行,这种加工技术工艺复杂,涉及环节多,工艺路线长,设备投入多,生产效率低,且受时间和空间的约束,工艺流程成套化集成难度大,加工经济性难以被企业接受,导致气流膨化技术目前还只能停留在实验室小试或中试阶段,难以真正地实现大规模产业化生产应用。针对以上问题,本研究创新性地引入一种新的干燥加工技术即脉冲气流膨化,以黄桃为研究对象,研究脉冲气流膨化技术脉冲频率对黄桃丁的影响,分析传统气流膨化技术和脉冲气流膨化技术的干燥时间、工序繁易、产品营养和品质的差异,旨在为食品干燥产业新技术的生产应用提供一定的技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黄桃品种为金童9号,于2014年7月中旬采自江苏省农业科学院国家果蔬种质桃资源圃。

玉米黄质标准品、 β -胡萝卜素标准品和 β -隐黄质标准品购自美国Sigma公司,叶黄素纯品(纯度大于90%)为实验室自制,丙酮、己烷、乙酸铵、石英砂

由国药集团化学试剂有限公司生产,色谱级甲基叔丁基醚(MTBE)、甲醇(MeOH)由美国天地公司生产,纯净水购自苏果超市。

1.2 仪器与设备

BS224S电子分析天平购自北京赛多利斯科学仪器公司,DHG-9070电热恒温鼓风干燥箱购自上海精宏实验设备有限公司,CT3 25K型质构仪购自美国博勒飞公司,FW100高速万能粉碎机购自天津市泰斯特仪器有限公司,WSC-S型色差仪购自上海精密科学仪器有限公司,THZ-C-1台式冷冻恒温振荡器购自太仓市实验设备厂,旋转蒸发器RE52CS购自上海亚荣生化仪器厂,SHZ-D(III)循环水式真空泵购自上海东玺制冷仪器设备有限公司,D10氮气吹扫仪购自杭州奥盛仪器有限公司,HPLC 1200高效液相色谱仪购自美国Agilent科技有限公司,色谱柱YMC-C30(4.6 mm×250.0 mm,5 μ m),40目标标准筛购自浙江上虞市水仙纱筛厂。

1.3 传统气流膨化和脉冲气流膨化

1.3.1 黄桃丁制备 选择成熟度为九成熟的新鲜黄桃,洗净沥干水分,用去皮器削掉外皮,纵向切成黄桃梯形丁,尺寸详见图1。称取2 kg黄桃丁,沸水烫漂2.0 min,放入预热至95~100 $^{\circ}$ C浓度8%的糖溶液中煮2.0 min,然后40 $^{\circ}$ C保温浸渍60.0 min,浸渍冷却后放入-18 $^{\circ}$ C冷冻柜中冷冻12.0 h,冻藏备用。

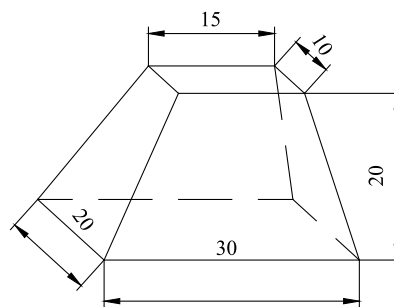


图1 黄桃梯形丁的尺寸(mm)

Fig.1 Size of yellow peach dicing (mm)

1.3.2 热风联合气流膨化干燥样品制备 将冷冻黄桃丁室温解冻,完全融化后沥干黄桃丁表面水分,放至热风干燥箱中60 $^{\circ}$ C烘至水分含量在60%左右,放入4 $^{\circ}$ C冰箱中均湿12.0 h,然后进行气流膨化干燥。气流膨化干燥条件:膨化压力 1.5×10^5 Pa,膨化温度105 $^{\circ}$ C,抽空干燥温度75 $^{\circ}$ C,抽空干燥时间120.0 min,真空罐压力 -1×10^4 Pa。制得的黄桃丁

干制品用于指标的测定。

1.3.3 脉冲干燥频率对黄桃水分含量和外观品质的影响 将冷冻黄桃丁室温解冻,完全融化后沥干黄桃丁表面水分后进行脉冲气流膨化。脉冲气流膨化干燥条件:膨化压力 1.50×10^5 Pa,膨化温度 105°C ,开启泄压阀瞬间降压,黄桃丁中水分迅速闪蒸的同时进行第 1 次膨化,并抽真空干燥 30.0 min,抽空温度为 80°C ;然后关闭泄压阀,在真空和蒸汽管道加热的环境中,黄桃丁中水分继续发生汽化,使膨化罐自然回升压力至 -7.0×10^4 Pa,再次开启泄压阀瞬间降压,黄桃丁中水分再次迅速闪蒸进行第 2 次膨化,并抽真空 30.0 min,抽空温度为 80°C ,依此循环脉冲膨化 6 次,测定每次脉冲膨化后黄桃丁的含水量及观察黄桃丁的外观形态。

1.3.4 脉冲气流膨化干燥样品制备 采用方法 1.3.3 中脉冲气流膨化干燥条件进行脉冲膨化 3 次后,保持抽空温度为 80°C ,抽空时间为 180.0 min,制得脉冲气流膨化黄桃丁干制品用于指标的测定。

1.4 各项指标测定方法

1.4.1 水分含量 参照 GB 5009.3 食品中水分的测定方法^[11]。

1.4.2 膨化度 采用石英砂置换法。将干燥样品称其质量,然后以干净石英砂为置换介质,以 100 ml 量筒为容器,采用体积置换法测定其体积,每个样品测定 6 次,结果取平均值^[12]。用比容表示,比容为体积与质量之比值。

1.4.3 硬度和脆度 用 CT3 25K 型质构仪测定,测试条件如下:探头型号为 TA25/1000 圆柱型探头,测试类型为压缩,测试速度为 0.50 mm/s ,测后返回速度为 0.50 mm/s ,测试距离为 7 mm。样品的硬度以坐标图中出现的最大压力峰值表示,单位为 g;脆度以坐标图中出现的第 1 个明显压力峰值表示,单位为 g。每种样品重复 5 次,取其平均值。

1.4.4 色泽 将黄桃脆丁用粉碎机打成粉,过 40 目筛后采用色差计测定黄桃粉的色差。 $L^* = 0$ 表示黑色, $L^* = 100$ 表示白色; a^* 为“+”值表示偏红,“-”值表示偏绿,值越大表示偏向越严重; b^* 值为“+”表示被测物偏黄,“-”值表示被测物偏蓝,值越大表示偏向越严重。

1.4.5 类胡萝卜素含量 类胡萝卜素的提取:将黄桃脆丁用粉碎机打成粉,过 40 目筛后 -20°C 冻藏待提取。参照颜少宾等^[13]、肖亚冬等^[14]的方法,稍作

修改。准确称取 2.00 g 黄桃粉于 50 ml 磨口三角瓶中,加入 8 ml 的冷丙酮,放至 4°C 12 000 r/min 的振荡器中振荡过夜。浸提后于离心机 4°C 12 000 g 离心 15.0 min,重复提取 3 次直至残渣为无色。合并浸提液, 40°C 下真空旋干,用 4 ml 甲醇复溶后过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 滤膜,用于色谱分析。为避免样品的光氧化降解,所有操作均在昏暗的灯光下进行。

色谱条件: 色谱柱 YMC-C30 ($4.6\text{ mm} \times 250.0\text{ mm}$, $5\text{ }\mu\text{m}$); 流动相: A 为水: MTBE: MeOH = 5: 25: 70, B 为水: MTBE: MeOH = 5: 85: 10, 由 5% B (B 占流动相的比例) 开始, 4.5 min 时 B 占流动相的比例升至 20%, 12.5 min 比例变为 50%, 18.0 min 后, B 占流动相的比例升至 75%, 此后的 6.0 min 内, B 占流动相的比例达到最大, 为 95%, 维持 6.0 min 后在 2.0 min 内降为 5%; 流速 0.6 ml/min ; 柱温 25°C ; 进样量 $20\text{ }\mu\text{l}$ 。

质谱条件: 色谱柱流出组分进入质谱仪的流速为 $10\text{ }\mu\text{l/min}$, 离子源: APCI+, m/z 扫描范围: 80~1 000, 毛细管电压: 2 500 V, 干燥气体: 5 L, 雾化气体: 20 psi, 汽化温度: 350°C , 蒸汽温度: 400°C , 电晕电流: $4\text{ }\mu\text{A}$ 。

标准曲线的制作: 用甲醇溶解叶黄素、 β -隐黄质和玉米黄质标准品, 用己烷溶解 β -胡萝卜素标准品, 分别制成浓度为 $40\text{ }\mu\text{g/ml}$ 的标准品溶液, 再进行系列标准溶液的配制。按照色谱和质谱方法, 每个系列浓度进样 3 次, 以进样量为横坐标, 相应吸收峰面积为纵坐标进行线性回归分析, 绘制标准曲线。得到叶黄素、玉米黄质、 β -隐黄质和 β -胡萝卜素的标准曲线(表 1)。

表 1 4 种类胡萝卜素的标准曲线

Table 1 Standard curves of four carotenoids

标准品	回归方程	相关系数	检测限 (ng)
叶黄素	$Y_1 = 28.142x_1 + 104.140$	0.999 1	1
玉米黄质	$Y_2 = 6.1693x_2 - 32.140$	0.999 1	20
β -隐黄质	$Y_3 = 12.454x_3 - 4.086$	0.998 9	2
β -胡萝卜素	$Y_4 = 12.790x_4 + 9.600$	0.999 0	1

Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 分别为叶黄素、玉米黄质、 β -隐黄质、 β -胡萝卜素的峰面积; x_1, x_2, x_3, x_4 分别为叶黄素、玉米黄质、 β -隐黄质、 β -胡萝卜素进样量。

1.5 数据处理

各处理间的差异采用 SPSS 17.0 统计软件中

ANOVA 方差分析,由 Tukey 分析均值差异的显著性,显著水平 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 脉冲干燥频率对黄桃丁水分含量和外观品质的影响

干燥前黄桃丁原料含水量较高,达到 91.91% (图 2),棱角分明,表面可以看到新鲜黄桃的水润光泽(图 3a)。脉冲膨化 1 次时,黄桃丁中的水分在高温高压的状态下突然降压,瞬间闪蒸汽化,水分以水蒸气的形式快速从黄桃果肉中逸出,导致内部结构空隙中的水分和空气迅速迁移至黄桃丁表面^[15],在黄桃丁的表面形成了沸腾状态,经过继续抽空,黄桃丁表面沸腾状态消失,完成了第 1 次脉冲膨化。经过第 1 次脉冲膨化,黄桃丁每个面都略有膨胀,棱角变得光滑,表面没有新鲜黄桃的水润光泽(图 3b)。继续脉冲第 2 次和第 3 次后,黄桃丁内部的水分又发生了 2 次间断性的闪蒸汽化,又有大量的水分从黄桃丁内部扩散到表面,从表面逃逸出去,水分含量分别下降至 80.56% 和 74.89% (图 2),黄桃丁每个面仍然保持膨胀状态,菱角光滑,表面逐渐出现细小皱缩(图 3c 和图 3d)。脉冲膨化第 4 次后,黄桃丁水分含量降至 69.81% (图 2),由于在不断脉冲膨化后,水分的不断迁移和汽化造成了黄桃丁中内外水分的不均匀,继续降压脉冲,黄桃丁中的部分水分汽化所产生的膨化力不足以支撑黄桃丁内部骨架形

态,另外在多次的脉冲膨化过程中加压收缩的程度大于瞬间减压膨胀程度,使得黄桃丁孔隙骨架柔软性和弹变性下降^[16],导致黄桃丁每个面不能保持膨胀状态,棱角显现,表面皱缩程度加剧(图 3e)。当经过第 5 次和第 6 次脉冲膨化后,黄桃丁每个面塌陷逐渐加剧,棱角越发显现,表面皱缩越来越严重(图 3f、图 3g)。

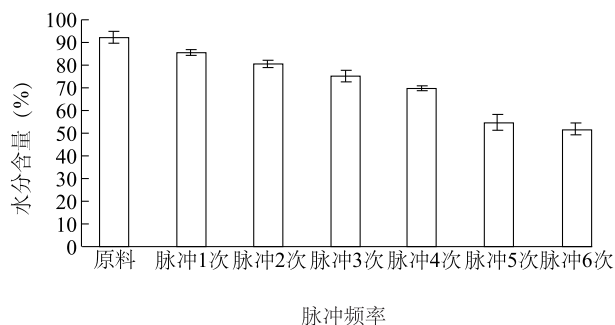
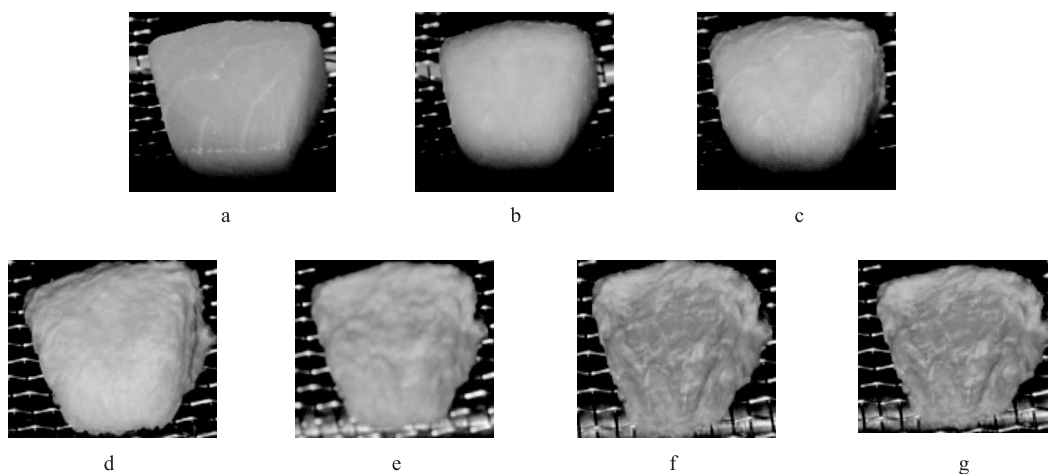


图 2 脉冲膨化频率对黄桃水分含量的影响

Fig. 2 Effects of pulse frequency on moisture content of yellow peach

2.2 干燥工艺和耗时

脉冲气流膨化黄桃丁干燥加工过程只需一道工序,即脉冲气流膨化,脉冲膨化 3 次,每次膨化均保温 80 °C 抽空 30.0 min,然后保温 80 °C 抽空 180.0 min,加上气流膨化之前的升温加热阶段,脉冲气流膨化干燥共耗时 4.5 h。而热风联合气流膨化黄桃丁干燥加工过程包括将 60 °C 热风干燥至水分含量



a:干燥前;b:脉冲1次;c:脉冲2次;d:脉冲3次;e:脉冲4次;f:脉冲5次;g:脉冲6次。

图 3 脉冲频率对黄桃丁外观品质影响

Fig. 3 Effects of pulse frequency on appearance quality of yellow peach

60.00%左右,需时 2.5 h,均湿需要 15.0 h,然后进行气流膨化,膨化罐升温至 105 ℃保温 10.0 min,80 ℃抽空 120.0 min,此干燥过程涵盖热风预干燥、均湿和气流膨化 3 道工序,耗时长达 20.0 h。不论从工序的复杂程度,还是耗费时间上,脉冲气流膨化干燥技术都明显优于热风联合气流膨化干燥技术。

2.3 干燥过程中水分含量变化

热风联合气流膨化和脉冲气流膨化干燥过程中每隔 30.0 min 监测黄桃丁水分含量的变化(表 2)。热风干燥 3.0 h,黄桃丁的水分含量由原料的

91.90%降至 62.09%,而脉冲气流膨化干燥 3.0 h,黄桃丁的水分含量由原料的 91.90%降至 32.84%。热风联合气流膨化干燥在气流膨化阶段需要 2.0 h 才能使黄桃丁水分含量基本达到 5.00%以下,脉冲气流膨化也需要 2.0 h 将黄桃丁水分含量由 56.80%降至 5.00%以下。可以看出热风干燥后均湿促使黄桃丁内部的水分扩散至表面,达到黄桃丁水分内外一致而提高干燥速率的效果并没有突显,而脉冲气流膨化通过一道工序完成了 3 道工序的工艺要求。

表 2 热风联合气流膨化干燥和循环脉冲气流膨化干燥过程中黄桃丁水分含量变化

Table 2 Change of the moisture content in yellow peach by hot air combining explosion puffing drying and pulse explosion puffing drying

热风联合气流膨化工艺			脉冲气流膨化工艺		
干燥方式	干燥时间(min)	黄桃丁水分含量(%)	干燥方式	干燥时间(min)	黄桃丁水分含量(%)
干燥前	0	91.90±2.52	干燥前	0	91.90±2.52
热风	30.0	89.13±0.23	气流膨化	30.0	83.31±1.55
热风	60.0	84.96±1.14	气流膨化	60.0	76.87±2.63
热风	90.0	78.97±2.11	气流膨化	90.0	68.44±1.82
热风	120.0	71.05±1.56	气流膨化	120.0	56.80±2.08
热风	150.0	62.09±0.78	气流膨化	150.0	32.84±0.44
气流膨化	30.0	19.54±0.69	气流膨化	180.0	13.79±0.92
气流膨化	60.0	12.53±1.55	气流膨化	210.0	9.87±1.26
气流膨化	90.0	9.26±1.09	气流膨化	240.0	4.71±0.57
气流膨化	120.0	4.63±0.26			

2.4 干燥产品类胡萝卜素组分和含量

从表 3 中可以看出,热风联合气流膨化干燥和脉冲气流膨化干燥后黄桃丁中类胡萝卜素均由叶黄素、玉米黄质、 α -胡萝卜素和 β -胡萝卜素构成,热风联合气流膨化总类胡萝卜素含量高于脉冲气流膨化,但两者差异不显著($P>0.05$),叶黄素、玉米黄质、 α -胡萝卜素和 β -胡萝卜素都出现了与总类胡萝卜素相同的规律,这可能跟类胡萝卜素类化合物对热敏感有关系,在低温条件下类胡萝卜素较稳定,当超过 70 ℃后类胡萝卜素降解较明显^[17]。本试验中热风联合气流膨化干燥在前期热风干燥过程是 60 ℃干燥 2.5 h,气流膨化干燥是 75 ℃干燥 2.0 h,而脉冲气流膨化干燥一直是 80 ℃干燥 4.0 h,相比较而言脉冲气流膨化干燥的温度略高于热风联合气流膨化干燥,造成了总类胡萝卜素组分和含量较热风联合气流膨化干燥的稍低。

2.5 干燥产品品质

热风联合气流膨化和脉冲气流膨化干燥黄桃丁产品均色泽鲜亮、膨化效果较好,但热风联合气流膨化干燥的黄桃丁棱角没有完全膨化,棱角出现硬边;脉冲气流膨化干燥的黄桃丁桃面和边膨化效果都较好,没有硬的棱角出现。从表 4 可以看出,热风联合气流膨化黄桃丁的硬度和脆度明显大于脉冲气流膨化,这与热风联合气流膨化黄桃丁棱角膨化较差,出现硬边的现象一致。热风联合气流膨化黄桃丁产品的脆度大于循环脉冲气流膨化干燥,但感官评价两者都具有较好的脆性,说明两者脆度都在可接受范围内。热风联合气流膨化和脉冲气流膨化干燥得到的黄桃丁产品的 L^* 值较高,均在 75 以上,黄度 b^* 值较高,而略有红色,2 种干燥技术产品色泽差异不大。脉冲气流膨化黄桃丁的膨化率明显高于热风联合气流膨化,这与脉冲膨化经过了多次脉冲有关,多

次脉冲使膨化度增加。

表3 热风联合气流膨化干燥和脉冲气流膨化干燥产品类胡萝卜素组分和含量

Table 3 Carotenoid contents of yellow peach dried by hot air combining explosion puffing and pulse explosion puffing

组 分	类胡萝卜素含量 ($\mu\text{g/g}$)	
	热风联合气流膨化	脉冲气流膨化
总类胡萝卜素	15.74 \pm 1.46a	13.61 \pm 0.88a
叶黄素	0.27 \pm 0.04a	0.21 \pm 0.03a
玉米黄质	2.51 \pm 0.24a	2.19 \pm 0.16a
α -胡萝卜素	3.97 \pm 0.08a	3.01 \pm 0.21a
β -胡萝卜素	8.99 \pm 0.45a	8.20 \pm 0.27a

同一行相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。

表4 热风联合气流膨化干燥和循环脉冲气流膨化干燥产品品质

Table 4 Quality of yellow peach dried by hot air combining explosion puffing and pulse explosion puffing

指标	气流膨化黄桃丁产品品质	
	热风联合气流膨化	脉冲气流膨化
硬度(g)	659 4.8 \pm 234.10	355 6.91 \pm 336.90
脆度(g)	370 4.2 \pm 451.30	222 9.64 \pm 254.60
L^* 值	78.23 \pm 0.02	77.62 \pm 0.05
a^* 值	14.68 \pm 0.07	15.72 \pm 0.06
b^* 值	38.54 \pm 0.06	36.99 \pm 0.08
膨化率 mg/g	4.45 \pm 0.03	5.25 \pm 0.04

3 讨 论

脉冲气流膨化的脉冲频率直接影响了黄桃丁干制品骨架的形成,脉冲膨化前3次,黄桃丁内部水分发生了间断性的闪蒸汽化,黄桃丁每个面仍然保持膨胀状态,棱角光滑。脉冲膨化超过3次后,黄桃丁骨架发生坍塌,棱角显现,表面皱缩严重。脉冲气流膨化干燥工艺简单、耗时短,热风联合气流膨化干燥工艺包括热风预干燥、均湿和气流膨化3个工序,耗时达到20.0 h,而脉冲气流膨化干燥工艺只需脉冲气流膨化一道工序,耗时为4.5 h。干燥过程中热风联合气流膨化干燥速率和脉冲气流膨化干燥基本一致,没有突显两段干燥中间均湿工序的优势。热风联合气流膨化和脉冲气流膨化干燥黄桃丁中类胡萝卜素都由叶黄素、玉米黄质、 α -胡萝卜素和 β -胡萝卜素构成,由于干燥过程中热风联合气流膨化干燥温

度低于脉冲气流膨化,导致总类胡萝卜素和组分含量略高于脉冲气流膨化干燥。热风联合气流膨化干燥黄桃丁出现棱角硬边,硬度明显大于脉冲气流膨化干燥,膨化度较小,2种干燥技术色泽差异不大,均具有较高亮度和黄度值。

参考文献:

- [1] 梁 杰. 冻干草莓粉固体饮料速溶性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [2] 张彦军,朱科学,贺书珍,等. 菠萝蜜果肉真空冷冻干燥工艺及其理化性质研究[J]. 热带作物学报, 2015, 36(9): 1665-1671.
- [3] 雷 茜,范柳萍. 油炸香蕉片的等温吸湿规律及其热力学研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 49-52, 57.
- [4] 张 岩,吴继军,唐道邦,等. 香蕉片的真空油炸工艺及质构品质初探[J]. 现代食品科技, 2010, 26(9): 987-990, 1008.
- [5] KOZEMPEL M F, SULLIVAN J F, CRAIG J C, et al. Explosion puffing of fruits and vegetables[J]. Journal of Food Science, 1989, 54(3): 772-773.
- [6] 朱代根,陈君若,李 明. 胡萝卜热风干燥过程热质耦合传递分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 201-203.
- [7] BI J F, WANG X, CHEN Q Q, et al. Evaluation indicators of explosion puffing Fuji apple chips quality from different Chinese origins[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(2): 1129-1135.
- [8] 赖必辉,毕金峰,丁媛媛,等. 变温压差膨化干燥对芒果品质的影响[J]. 现代食品科技, 2011, 27(7): 751-755.
- [9] 何新益,程莉莉,刘金福,等. 膨化温度对冬枣变温压差膨化干燥特性的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 389-392.
- [10] 刘志勇,葛邦国,崔春红,等. 葡萄低温气流膨化干燥工艺研究[J]. 食品科技, 2012, 37(12): 72-77.
- [11] GB 5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].
- [12] 陈锋亮,陈相艳,王宪昌,等. 小麦品种品质与挤压膨化产品理化特性的关系[J]. 中国农业科学, 2013, 46(20): 4336-4343.
- [13] 颜少宾,张好艳,马瑞娟,等. 桃果实类胡萝卜素测定方法的研究[J]. 果树学报, 2012, 29(6): 1127-1133.
- [14] 肖亚冬,李大婧,刘春泉. 冻干甜玉米粒贮藏过程中玉米黄质稳定性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 229-233.
- [15] 朱开鼎,陈海峰,窦 丹,等. 果蔬压差膨化过程中水分迁移的机理分析-水分变化和变化规律[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 83-85.
- [16] 张永茂,庞中存,颜敏华,等. 微波-压差膨化苹果脆片生产的设备与工艺研究[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 210-214.
- [17] 龙 婷,魏兴武,陈彦斌,等. 加工温度对番茄和胡萝卜中类胡萝卜素含量的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(8): 77-79.

(责任编辑:陈海霞)