

不同联合干燥方式对火龙果粉品质的影响*

陈晓旭^{1,2}, 易建勇², 毕金峰², 刘璇², 陈芹芹², 吴昕烨²

1(沈阳农业大学 食品学院, 辽宁 沈阳, 110161)

2(中国农业科学院 农产品加工研究所 农业部农产品加工重点实验室, 北京, 100193)

摘 要 为比较不同联合干燥方式对火龙果粗粉和超微粉品质的影响, 研究了热风联合变温压差膨化干燥(HA-EP)、中短波红外联合变温压差膨化干燥(IR-EP)和中短波红外联合真空干燥(IR-V)方式对火龙果粗粉和超微粉理化及营养品质的影响。结果表明: 经 IR-EP 干燥制得的火龙果粗粉和超微粉色泽最接近鲜样的颜色; 经 HA-EP 和 IR-EP 干燥制得的超微粉具有较好的堆积密度; 经 IR-EP 和 IR-V 干燥制得的超微粉溶解性较好; 经 IR-EP 干燥制得的超微粉具有较好的复水性; 经 IR-EP 干燥制得的超微粉粒径最小, 为 10.46 μm 。经 3 种不同方法干燥制得的火龙果超微粉, 其营养成分较鲜样均有不同程度的降低, 如经 IR-EP 和 IR-V 干燥制得的粗粉和超微粉, 其蛋白质含量分别下降 28.34% 和 16.92%, V_c 含量分别下降 41.67% 和 33.33%。综合考虑, 经 IR-EP 干燥制得的火龙果粗粉和超微粉品质较优。

关键词 火龙果; 变温压差膨化干燥; 联合干燥; 粗粉; 超微粉; 品质

火龙果(*Hylocereus undatus*)是仙人掌科(*Cactaceae*)三角柱属植物(量天尺属), 又名青龙果、红龙果、仙蜜果、玉龙果、情人果等^[1], 主要生长在干旱和半干旱地区, 原产于热带地区的北部, 中部和南美洲等地区, 越南, 泰国等分布较广^[2], 在我国主要分布在台湾、广西、云南、贵州、福建等地, 近些年在台湾地区种植较多^[3]。火龙果果皮的颜色有粉色, 红色和黄色, 果肉有红色和白色。火龙果是一种营养丰富, 可食多汁的热带水果^[4], 果实中富含白蛋白、 V_c 、膳食纤维和 Ca、P、Fe 等矿物质^[5], 果皮含有大量天然色素, 如花色苷。新鲜火龙果含水量很高, 因此不易储存, 在 4 $^{\circ}\text{C}$ 条件下的贮藏时间为一个月左右。加工是解决火龙果鲜果贮藏期短的有效途径之一。目前, 市场上火龙果加工的主要产品有火龙果果脯^[6]、果酒^[7-8]、果汁^[9]和冰激凌^[10]等, 但果粉类的产品较少。果粉中的营养物质更容易被人们吸收, 随着人们生活水平的日益提高, 粉剂类产品逐渐受到人们关注。干燥是制粉工艺中的重要环节, 干燥方式和工艺的科学性是决定果粉品质的重要因素。目前, 市场上火龙果干大多仍是采用真空冷冻干燥工艺制得^[11], 但因设备昂贵, 能耗大, 导致加工成本高, 不易推广。

针对火龙果干燥, 如热风干燥、中短波红外干燥和真空干燥等单一干燥方式均有一定的局限性。联合干燥可以综合不同干燥方式的优点, 近年来相关的研究逐渐增多, 研究也不断深入, 学者们提出了一些较好的联合干燥方式。李大婧等^[12]研究了热风联合变温压差膨化干燥对毛豆仁品质的影响, 发现这一联合干燥方式不仅缩短了干燥时间, 还有利于营养物质的保持。徐艳阳等^[13]研究了热风和微波真空联合干燥对甘蓝品质的影响, 发现联合干燥的时间比热风干燥的时间缩短约 48.33%, 且提高了产品的营养成分保存率, 使产品的质构更加疏松。徐艳阳等^[14]研究了真空冷冻联合热风干燥对毛竹笋品质的影响, 发现联合干燥时间比单一的真空冷冻干燥节约能耗约 21%, 同时也提高了产品的品质。本文研究了热风联合膨化干燥(hot air-explosion puffing)、中短波红外联合膨化干燥(infrared radiation-explosion puffing)和中短波红外联合真空干燥(infrared radiation-vacuum)对火龙果粗粉和超微粉品质的影响, 获得了火龙果制粉工艺中的联合干燥方式。

1 材料与方法

1.1 试验材料

原料为红皮白肉火龙果, 品种是白玉龙, 购自北京新发地批发市场。

1.2 试验仪器设备

变温压差果蔬膨化干燥机(QDPH10-1), 天津勤

第一作者: 硕士研究生(毕金峰研究员为通讯作者, E-mail: bijinfeng2010@163.com)。

*公益性行业(农业)科研专项(No. 201303077); 新疆生产建设兵团科技支疆计划(2013AB020)

收稿日期: 2014-07-10, 改回日期: 2014-08-14

德新材料科技有限公司;中短波红外干燥机,圣泰科红外科技有限公司;电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9123A),上海精宏实验设备有限公司;高速万能粉碎机(FW100),天津市泰斯特仪器有限公司;低温超微粉碎机(KCW-10),北京锐捷玉诚机械设备有限公司;色差计(DL-25),美国 Hunterlab 公司;紫外可见分光光度计(UV1800),日本岛津公司;液相色谱(SPD-10A),日本岛津公司;激光粒度仪(LBT-BT2000E),中工天地科技(北京)有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 新鲜火龙果的干燥前处理

取新鲜火龙果原料,去皮,将椭圆形的果肉,先纵切1/2,再分别横切1/2,切片厚度为 (7 ± 1) mm,取大小均匀的火龙果切片用于试验。

1.3.2 火龙果干燥

(1)热风联合变温压差膨化干燥:80℃热风预干燥4 h后进行膨化干燥,膨化温度100℃,停滞时间10 min,抽空温度60℃,抽空时间3.5 h。

(2)中短波红外联合变温压差膨化干燥:中短波红外干燥功率2 250 W、温度70℃,干燥时间2 h再进行膨化干燥、膨化温度100℃,停滞时间10 min,抽空温度60℃,抽空时间3.5 h。

(3)中短波红外联合真空干燥:中短波红外干燥功率2 250 W、温度70℃,干燥时间2 h再进行真空干燥,真空干燥温度80℃,干燥时间4.5 h。

上述方法干燥后所得的火龙果湿基含水量分别为3.5%、3.8%、4.6%。

1.3.3 火龙果粗粉制备

用高速万能粉碎机打粉,每次处理量是100 g,每次打粉时间为10~15 s,每次间隔3 min,共粉碎3次。

1.3.4 火龙果超微粉制备

将100 g上述火龙果粗粉投入低温超微粉碎机中再进行粉碎,粉碎时间为30 min。

1.4 火龙果粉物理指标的测定

1.4.1 超微火龙果粉色泽测定方法

采用色差计测定火龙果粉的色泽^[15]。每组试验3次平行,结果取平均值,用以反映不同干燥方式制得火龙果粉的色泽差异。 ΔE 计算方法如下:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2} \quad (1)$$

其中: ΔE 为物料的色泽与标准板($L^* = 91.44$ 、 $a^* = -0.95$ 、 $b^* = 0.69$)的色差值, L 代表明度的变

化; a 代表颜色从绿色($-a$)到红色($+a$)的变化, b 代表颜色从蓝色($-b$)到黄色($+b$)的变化。

1.4.2 超微火龙果粉色泽测定方法

将1 g的火龙果粉加入10 mL的蒸馏水中,搅拌15 s,共搅拌25个来回,再将复水后的火龙果粉过212 μm 的筛,取过筛后的果汁1 mL放入铝盒,在105℃下烘干4 h,最后进行称重^[16]。

$$TDS/\% = \frac{10 \times (m_2 - m_0)}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

其中:TDS为溶解性, m_0 为铝盒的质量(g), m_1 为粉的初始质量(g), m_2 为烘干后粉的质量(g)。

1.4.3 超微火龙果粉堆积密度测定方法

将10 g火龙果粉倒入10 mL容量瓶中,期间振动摇实,直至火龙果粉填充至容量瓶刻度。火龙果粉的堆积密度(d_0)表示为10 mL粉的质量^[17]。

$$d_0 = \frac{M_2 - M_1}{10} \quad (3)$$

其中: M_1 为容量瓶的质量(g), M_2 为粉和容量瓶的总质量(g)。

1.4.4 超微火龙果粉复水性测定方法

将1 g的火龙果粉加入20 mL的蒸馏水中,在25℃下水浴1 h,离心速度2 000 r/min,再将混合物离心25 min,最后称量沉淀物的质量^[18]。

$$RR = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \quad (4)$$

其中:RR为火龙果超微粉的复水性; w_1 为复水前的质量(g); w_2 为复水后的质量(g)。

1.4.5 超微火龙果粉粒径测定方法

采用激光粒度仪测定粒径^[19]。

1.5 火龙果粉营养成分的测定

可溶性固形物的测定采用折光仪法^[20];总糖的测定采用苯酚硫酸法^[21];V_C的测定依据国标 GB/T 6195-1986,采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[20];总酸的测定依据国标 GB/T 12456-2008,采用酸碱滴定法^[21];蛋白质的测定采用考马斯亮蓝法^[22]。

1.6 数据分析

利用SPSS软件进行数据分析,利用Origin软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同预干燥方式的优化

图1-a为在不同温度下火龙果中短波红外干燥速率曲线。由图1-a可见,干燥温度对火龙果干燥时

间有显著影响。随着中短波红外干燥温度的升高,干燥的时间越短。火龙果干燥温度为 80 ℃ 时干燥速率最快,绝干时间为 214 min。在 60、70 和 80 ℃ 时,火龙果片的 ΔE 分别为 26.83、28.69 和 33.68,表明在 80 ℃ 时火龙果褐变严重 ($P > 0.05$)。干燥温度在 70 ℃ 和 60 ℃ 时火龙果到达绝干的时间分别为 470 min 和 475 min。干燥温度越高,火龙果内部水分所获得的热能就越多,进而水分子迁移速度增加,干燥时间越短。综合考虑,中短波红外干燥温度为 70 ℃ 时,干燥速率较快,产品品质较好,可作为 IR-EP 中的中短波红外干燥条件。

图 1-b 为在不同温度下火龙果热风干燥速率曲线。由图 1-b 可见,不同干燥温度对火龙果干燥时间有显著性的影响,热风干燥温度越高,干燥时间越短。热风干燥温度分别为 60、70 和 80 ℃ 时,火龙果的绝干时间为 558、546 和 385 min。此外,在 60、70 和 80 ℃ 条件下热风干燥,火龙果片的 ΔE 分别为 30.14、33.48 和 34.82,其褐变程度无显著差异 ($P < 0.05$)。干燥温度越高,水分子的迁移速度增加,干燥时间就越短。综合考虑,可选择 80 ℃ 作为 HA-EP 中的热风干燥的条件。

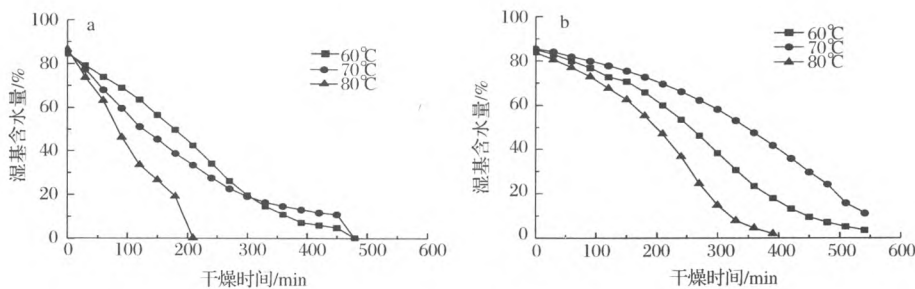


图 1 不同温度下火龙果中短波红外干燥(a)和热风干燥(b)速率曲线图
Fig. 1 Short and medium-wave infrared drying (a) and hot-air drying (b) rate of pitaya under different temperature

2.2 不同干燥方法对火龙果粗粉和超微粉物理特性的影响

2.2.1 不同干燥方法对火龙果粗粉和超微粉物理指标的影响

经 HA-EP、IR-EP 和 IR-V 制得的火龙果粗粉和超微粉的物理指标影响如表 1 所示。火龙果在不同方式下制粉,粒径大小有显著差异 ($P < 0.05$),这是

因为粗粉的制备是经粉碎机粉碎后再过 212 μm 的筛,而超微粉制备是将粗粉经超微粉碎机粉碎后所得,粒径可达到 10–20 μm 。经 IR-EP 制得的火龙果粗粉和超微粉的粒径分别为 109.23 μm 和 10.46 μm ,分别小于 HA-EP 和 IR-V 干燥后制得的火龙果粉粒径。粉的粒径越小,食用后更利于人们对营养物质的吸收^[23]。

表 1 不同干燥方法对火龙果粗粉和超微粉物理指标的影响

Tab 1 Effect of different drying methods on physical properties of coarse and superfine grinding pitaya powder

干燥方式	粉的类型	粒径/ μm	溶解性/%	复水性	堆积密度/ ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)
HA-EP	粗粉	128.26 ^a \pm 4.18	0.08 ^c \pm 0.01	1.12 ^c \pm 0.09	0.49 ^b \pm 0.04
HA-EP	超微粉	14.34 ^c \pm 1.11	0.26 ^a \pm 0.02	3.42 ^a \pm 0.53	0.58 ^a \pm 0.01
IR-EP	粗粉	109.23 ^a \pm 4.01	0.12 ^b \pm 0.01	1.36 ^c \pm 0.01	0.46 ^b \pm 0.01
IR-EP	超微粉	10.46 ^c \pm 1.09	0.28 ^a \pm 0.03	3.51 ^a \pm 1.02	0.61 ^a \pm 0.02
IR-V	粗粉	118.39 ^a \pm 3.89	0.14 ^b \pm 0.01	1.08 ^d \pm 0.02	0.32 ^c \pm 0.00
IR-V	超微粉	20.38 ^b \pm 1.21	0.15 ^b \pm 0.02	2.88 ^b \pm 0.41	0.48 ^b \pm 0.04

注:表 1 中不同小写字母的处理表示差异显著 ($P < 0.05$)。

不同联合干燥方式制得的火龙果粉中,经 IR-EP 和 IR-V 制得的火龙果粗粉溶解性无显著差异 ($P >$

0.05),均显著低于经 HA-EP 和另 2 种干燥制得的火龙果粗粉的溶解性 ($P < 0.05$),这可能是粒径的大小

影响了粉的溶解性,即经 HA-EP 制得的粗粉的粒径最大,导致溶解性较差。经 HA-EP 和 IR-EP 制得火龙果超微粉的溶解性无显著差异($P > 0.05$),分别为 0.26% 和 0.28%。这 2 种干燥方式制得的超微粉的溶解性好于经 IR-V 制得的超微粉的溶解性,可能是因为经 HA-EP 和 IR-EP 制得的超微粉粒径较小,而经 IR-V 制得的超微粉粒径较大。唐璐等^[24]研究发现,果粉的粒径越大其溶解性越差,这与本文的研究结论相似。粉的溶解性越好,则越利于营养果粉产品的速溶^[25],所以经 IR-EP 制得的超微火龙果粉品质较优,也更适于开发新型火龙果粉产品。

火龙果粉的复水性是粉的重要物理指标^[26],是衡量其溶于水后的复水程度,复水性较好的果粉更有利于产品的开发。火龙果粉在 3 种不同联合干燥方式下,经 HA-EP 和 IR-EP 制得的火龙果粗粉和超微粉复水性之间无显著差异($P > 0.05$)。经 IR-V 制得的火龙果粗粉和超微粉的复水性相对较差,分别为 1.08 和 2.88。经 HA-EP 和 IR-EP 制得的超微火龙果粉复水性分别为 3.42 和 3.51,这可能是因为这 2 种干燥方式都联合变温压差膨化干燥,物料内部结构疏松程度相似。IR-V 联合的是真空干燥,在真空状态下物料内部结构疏松程度较变温压差膨化干燥差。这是因为膨化过程中,在膨化罐内瞬间降压的过程,

使物料水分瞬间蒸发,组织瞬间膨胀,形成一种蜂窝状的结构,其膨胀程度大于真空干燥状态下物料的结构。由于物料内部结构疏松程度将影响水分的浸入的多少,所以粉的复水性与物料内部结构的疏松程度相关。该结论与吴素萍等^[27]的研究类似,即物料内部结构越疏松,越易于水分浸入,则复水性越好结论相似。

由表 1 可见,在最佳干燥条件下,经 IR-V 制得的火龙果粗粉和超微粉的堆积密度分别为 0.32 g/mL 和 0.48 g/mL,均分别小于 HA-EP 和 IR-EP 制得的火龙果粗粉和超微粉。可能因为在经 IR-V 制得的火龙果粉中纤维物质被破坏程度较小。在不同制粉条件下,火龙果粉中存在不同大小程度的纤维物质,而纤维物质弹性大,在受力的环境下,纤维物质变小。该结论与沈建锋等^[28]研究粉的粒径越大,堆积密度越大结论相似。粉的堆积密度越大,则越利于压片产品的制备^[29],因此经 HA-EP 和 IR-EP 制得的火龙果超微粉在生产火龙果片产品时更具优势,应用前景更广。

2.2.2 不同干燥方法对火龙果粗粉和超微粉色泽的影响

经 HA-EP、IR-EP 和 IR-V 制得的火龙果粗粉和超微粉色泽的影响如表 2 所示。

表 2 不同干燥方法对火龙果粗粉和超微粉色泽的影响

Tab 2 Effect of different drying methods on color of coarse and superfine pitaya powder

干燥方式	粉的类型	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	ΔE
HA-EP	粗粉	60.06 ^a ± 0.03	3.39 ^b ± 0.02	12.57 ^b ± 0.03	33.83 ^b ± 2.45
HA-EP	超微粉	61.22 ^a ± 0.02	2.06 ^b ± 0.07	13.85 ^b ± 0.03	33.10 ^b ± 3.02
IR-EP	粗粉	63.25 ^a ± 0.01	1.77 ^c ± 0.03	10.24 ^c ± 0.01	29.89 ^c ± 2.15
IR-EP	超微粉	63.67 ^a ± 0.29	1.29 ^c ± 0.01	10.81 ^c ± 0.02	29.98 ^c ± 2.42
IR-V	粗粉	56.60 ^b ± 0.01	4.69 ^b ± 0.03	11.97 ^b ± 0.01	35.18 ^b ± 3.21
IR-V	超微粉	44.01 ^c ± 0.02	7.26 ^a ± 0.07	15.84 ^a ± 0.02	50.46 ^a ± 5.26

注:表 2 中不同小写字母的处理表示差异显著($P < 0.05$)。

由表 2 可以看出,经 IR-EP 和 HA-EP 干燥后制备的火龙果粗粉和超微粉的 *L* 值无显著差异,但均大于经 IR-V 干燥后制备的火龙果粉。这可能是因为 IR-EP 和 HA-EP 干燥过程中的膨化温度和时间一致,都分别为 100 ℃ 和 3.5 h,导致其对火龙果粉色泽的影响类似。IR-V 因联合了真空干燥,真空干燥过程中物料在 80 ℃ 条件下干燥了 4.5 h,由于较长时间的处于高温状态下,导致火龙果片褐变较为严重,以其制得的火龙果粉的颜色相应较深,这种方式制得的粗粉和超微粉 *L* 值分别为 58.6 和 44.01。该结果与刘殿

宇等^[30]研究的温度的高低和时间的长短影响速溶茶粉色泽的结论相似。火龙果粗粉和超微粉的 *a* 值大小依次为 IR-EP > HA-EP > IR-V,经 IR-V 制得的火龙果超微粉的 *a* 值最大则代表趋近于红色程度最大,表明火龙果在干燥过程中褐变较严重。*b* 值大则代表火龙果粉的颜色变黄程度大。经 IR-V 制得的火龙果粉的变黄程度最大,所以 *b* 值最大。图 2 为不同联合干燥制得的火龙果粗粉和超微粉,由图 2 可见,经 IR-V 制得的超微粉颜色暗淡,经 IR-EP 制得的超微粉颜色明亮,这与表 2 的结论吻合。综合来看,经 IR-

EP 制得的火龙果超微粉色泽最好,更接近鲜果的颜色。

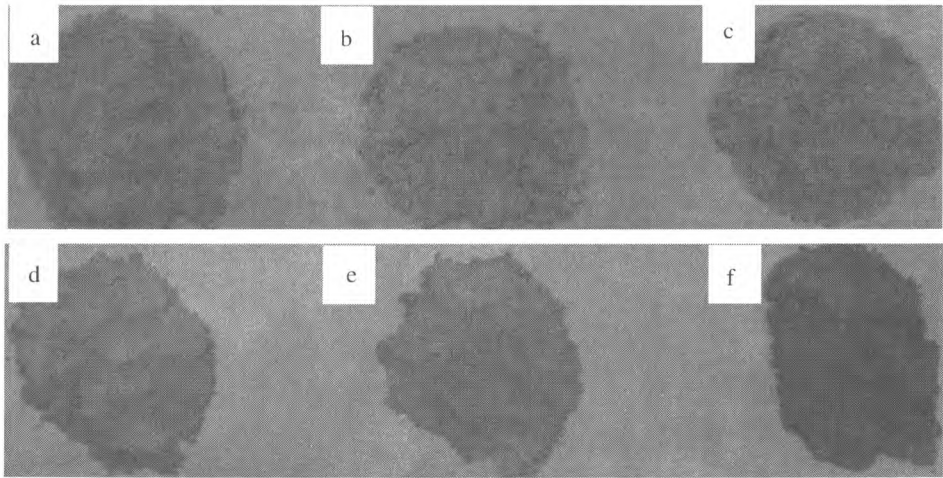


图2 不同联合干燥制得的火龙果粗粉和超微粉
Fig. 2 Different drying coarse and superfine pitaya powder

2.3 不同干燥方法对火龙果粗粉和超微粉营养成分的影响

2.3.1 不同干燥方法对火龙果粗粉和超微粉营养成分的影响

经 HA-EP、IR-V 和 IR-EP 制得的火龙果粗粉和超微粉的营养成分如表 3。

由表 3 可以看出,3 种联合干燥方式中,粗粉和超微粉中可溶性固形物的含量大小依次为 IR-V >

IR-EP > HA-EP。这可能是 IR-EP 和 IR-V 预干燥温度都是 70 ℃,同时这 2 种干燥方式分别联合变温压差膨化干燥和真空干燥,并都是在抽真空的条件下干燥,所以其可溶性固形物无显著性差异($P > 0.05$)。经 HA-EP 制得的火龙果粗粉和超微粉的可溶性固形物分别为 0.64 mg/g 和 0.62 mg/g,这可能是由于其预干燥为热风干燥,经历的温度高且时间长,导致可溶性固形物含量降低。

表 3 不同干燥方法对火龙果粗粉和超微粉营养成分的影响

Tab 3 Effect of different drying methods on nutrient content of coarse and superfine grinding pitaya powder

干燥方式	粉的类型	可溶性固形物/%	总糖/(mg · g ⁻¹)	V _C /(mg · g ⁻¹)	总酸/(mg · g ⁻¹)	蛋白质/(mg · g ⁻¹)
HA-EP	粗粉	5.58 ^c ± 1.08	0.82 ^c ± 0.02	97.04 ^d ± 1.59	0.03 ^d ± 0.01	5.93 ^c ± 0.10
HA-EP	超微粉	6.62 ^c ± 1.12	0.95 ^d ± 0.01	108.23 ^c ± 1.28	0.04 ^d ± 0.00	6.06 ^d ± 0.22
IR-EP	粗粉	7.79 ^b ± 1.16	1.23 ^c ± 0.01	110.05 ^c ± 0.70	0.07 ^c ± 0.01	6.65 ^d ± 0.10
IR-EP	超微粉	8.84 ^b ± 1.23	1.48 ^b ± 0.03	115.26 ^b ± 2.13	0.08 ^c ± 0.01	6.96 ^d ± 0.12
IR-V	粗粉	9.98 ^b ± 1.17	1.31 ^c ± 0.03	117.40 ^b ± 2.12	0.08 ^c ± 0.00	7.71 ^c ± 0.11
IR-V	超微粉	10.01 ^b ± 1.12	1.56 ^b ± 0.02	120.10 ^a ± 2.13	0.09 ^b ± 0.01	8.25 ^b ± 0.14
鲜果		12.12 ^a ± 1.56	3.32 ^a ± 0.02	128.85 ^a ± 3.16	0.12 ^a ± 0.02	9.28 ^a ± 0.25

注:表 3 中不同小写字母的处理表示差异显著($P < 0.05$)。

由表 3 可见,3 种联合干燥方式制备的火龙果粗粉和超微粉中总糖的含量大小依次为 IR-V > IR-EP > HA-EP,并且火龙果粗粉总糖含量均低于超微粉,这可能因为在火龙果干燥过程中,热风预干燥温度和抽空温度分别达到 80 ℃ 和 60 ℃,在此条件下干燥火龙果中的还原糖和氨基酸可能会发生美拉德反应,导致部分糖类的损失。温度和水分活度是影响美拉德反应的重要因素,温度在 30 ℃ 以上时,温度每升高

10 ℃,反应速度会加快 3 ~ 5 倍。经 HA-EP 预干燥热风干燥比经 IR-EP 和 IR-V 预干燥中短波红外干燥温度高 10 ℃,所以糖的损失也会更多,经 IR-EP 和 IR-V 制得的火龙果粉水分活度低于经 HA-EP 制得的火龙果粉,而水分活度越低,则会降低氨基化合物和羟基化合物的分子的活动,因此美拉德反应也会减少。经 IR-EP 和 IR-V 干燥后制得的火龙果超微粉的总糖含量损失相对较少。

由表3可见,经3种不同联合干燥方式干燥后制得火龙果粗粉和超微粉中 V_c 的含量依次是IR-V>IR-EP>HA-EP。经HA-EP制得火龙果粗粉和超微粉 V_c 的损失最多,而经IR-EP和IR-V制得火龙果粗粉和超微粉相对损失较少。HA-EP预干燥方式中温度较高,时间较长,因此其 V_c 的损失最为严重。

由表3可见,火龙果在3种联合干燥方式下火龙果粗粉和超微粉的总酸含量多少依次是IR-V>IR-EP>HA-EP。许多酸类物质属于可挥发性的物质,在干燥过程中会持续散失。此外, V_c 是一种酸类物质,也会影响总酸的总量的降低。由于热风干燥中温度高而且时间长,因此经HA-EP制得火龙果粗粉和超微粉酸类物质损失最多。

火龙果中含有丰富的功能活性蛋白,其含量的高低是火龙果粉的重要品质之一。由表3可见,经3种联合干燥制得火龙果粗粉和超微粉的蛋白质含量多少依次为IR-V>IR-EP>HA-EP,均低于火龙果鲜样的蛋白含量。这表明经HA-EP制得火龙果粗粉和超微粉损失蛋白质较多,另2种联合干燥方式损失蛋白质相对较少,其含量分别为6.96 mg/g和8.25 mg/g。温度在60℃以上,火龙果中蛋白质的高级结构将发生改变或被破坏,从而导致火龙果蛋白分子发生变性。HA-EP预干燥温度为80℃,高于IR-EP和IR-V的预干燥温度70℃,由于温度越高蛋白质变性越严重,因此经HA-EP制得火龙果粉中蛋白质含量也损失最多。从蛋白质含量上看,经IR-EP和IR-V制得火龙果超微粉中蛋白质含量保留较好。

3 结论

经IR-EP干燥后制得火龙果超微粉粒径最小;经IR-EP和IR-V制得火龙果超微粉的溶解性较好;经HA-EP和IR-EP制得火龙果超微粉堆积密度较好;经IR-EP制得火龙果超微粉复水性较好;经IR-EP制得火龙果超微粉色泽较好。此外,火龙果超微粉的可溶性固形物、总糖、总酸、维生素、蛋白质营养物质含量均高于粗粉,经IR-EP和IR-V制得火龙果粗粉和超微粉在营养物质含量无显著性差异,经IR-EP和IR-V制得火龙果粉的营养物质含量均高于经HA-EP制得火龙果粉营养物质含量。

综合火龙果粗粉和超微粉的物理品质和营养品质来看,经IR-EP制得火龙果超微粉的综合品质均优于另2种联合干燥的火龙果粗粉和超微粉。IR-EP

作为火龙果粉制备过程中的干燥方法,能较好的保持了火龙果的物理品质和营养品质,是生产火龙果粉较适宜的干燥方式。

参 考 文 献

- [1] WU L, Hsu H W, CHEN Y C, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya[J]. Food Chemistry, 2006, 95(2): 319-327.
- [2] Ariffin A A, Bakar J, Tan C P, et al. Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 561-564.
- [3] 罗小艳, 郭璇华. 火龙果的研究现状及发展前景[J]. 食品与发酵工业, 2008, 33(9): 142-145.
- [4] 陈杰, 庞江琳, 李尚德, 等. 火龙果的微量元素含量分析[J]. 广东微量元素科学, 2004, 11(5): 56-57.
- [5] 何聪芬, 李鹏, 赵进, 等. 火龙果茎多糖的提取及结构鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2009(11): 140-143.
- [6] 王蕊, 高翔. 火龙果低糖果脯的加工工艺[J]. 食品与机械, 2004, 20(4): 48-49.
- [7] 马菽浩, 刘长海, 蒲琦旋. 火龙果酒发酵工艺研究[J]. 酿酒科技, 2010(6): 79-81.
- [8] 颜璐洁, 郭红, 朱岳麟, 等. 红芯火龙果酒酿酒酵母的筛选[J]. 食品科技, 2008, 33(5): 4-7.
- [9] 王宝森, 白红丽, 郭俊明, 等. 火龙果汁中微量元素抗坏血酸和总糖量的分析[J]. 安徽农业科学, 2009(27): 12 908-12 909.
- [10] 高翔, 王蕊. 火龙果冰淇淋的研制[J]. 中国乳品工业, 2004, 32(10): 9-11.
- [11] 邹同华, 陈见兴, 易小红, 等. 真空冷冻干燥技术及其在火龙果冻干中的应用[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(5): 159-163.
- [12] 李大婧, 卓成龙, 江宁, 等. 热风联合压差膨化干燥对苏99-8毛豆仁风味和品质的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(6): 1 219-1 225.
- [13] 徐艳阳, 张慧, 陈亦辉, 等. 热风和微波真空联合干燥甘蓝试验[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 6(22): 64-66.
- [14] 徐艳阳, 张慧, 屠定玉, 等. 真空冷冻与热风联合干燥毛竹笋[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 6(22): 28-32.
- [15] Kim S H, Choi Y J, Lee H, et al. Physicochemical properties of jujube powder from air, vacuum, and freeze drying and their correlations[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(2): 271-279.
- [16] GONG Z, ZHANG M, Mujumdar A S, et al. Spray drying and agglomeration of instant bayberry powder[J].

- Drying Technology, 2007, 26(1): 116-121.
- [17] ZHAO X, YANG Z, GAI G, et al. Effect of superfine grinding on properties of ginger powder[J]. Journal of food engineering, 2009, 91(2): 217-222.
- [18] 杜卫华, 杨性民, 肖功年, 等. 改善真空冷冻干燥豌豆复水性的工艺研究[J]. 食品科技, 2006, 31(2): 28-32.
- [19] ZHANG L, XU H, LI S. Effects of micronization on properties of *Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne fruit powder[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(4): 633-637.
- [20] GB/T 6195-1986. 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法(2,6-二氯酚靛酚滴定法)[S].
- [21] GB/T 12456-2008. 食品中总酸的测定[S].
- [22] GB/T 5009.5-2003. 食品中蛋白质的测定[S].
- [23] 吴鸿飞, 周安, 鲁传华, 等. 不同粒径葛根素纳米乳动物体内吸收和分布研究[J]. 中国医学杂志, 2012, 47(1): 44-49.
- [24] 唐璐, 郭顺堂. 添加 CaCl_2 对豆乳粉溶解性的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(2): 290-295.
- [25] 钟芳, 王璋. 喷雾干燥条件对豆粉速溶性的影响[J]. 食品工业科技, 2003, 12(24): 1-4.
- [26] 蒋长兴, 焦云鹏. 喷雾干燥法制备南瓜粉的工艺参数研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(2): 111-115.
- [27] 吴素萍. 干燥方法对方便米粥复水性的影响[J]. 粮油加工与食品机械, 2006(9): 74-76.
- [28] 沈建锋, 朱曙光, 刘心志, 等. 不同粒径稻壳粉堆积密度试验研究[J]. 可再生能源, 2008, 26(5): 49-52.
- [29] 高春生, 单利, 崔光华, 等. 粉末直接压片工艺主要辅料的流动性研究[J]. 科学技术与工程, 2004(5): 367-370.
- [30] 刘殿宇, 陈丽. 影响速溶茶粉色泽的几个因素[J]. 福建茶叶, 2011(12): 25-26.

Effect of different combined drying methods on the quality characteristics of pitaya powder

CHEN Xiao-xu^{1,2}, YI Jian-yong¹, BI Jin-feng², LIU Xuan²,
CHEN Qin-qin², WU Xin-ye²

1(College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

2(Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China)

ABSTRACT To study the effect of different dehydration methods on coarse powder and superfine powder for pitaya, the paper studied different drying methods on physicochemical and nutritional quality of coarse powder and superfine powder for pitaya. These methods include hot air combined with explosion puffing drying (HA-EP), short and medium-wave infrared combined with explosion puffing drying (IR-EP), short and medium-wave infrared combined with vacuum drying (IR-V). The results showed that: the color of pitaya coarse powder and superfine powder were closest to that of fresh sample after IR-EP drying; HA-EP and IR-EP drying superfine powder had better bulk density; IR-EP and IR-V drying superfine powder had better solubility; IR-EP drying superfine powder had better rehydration; particle size of IR-EP drying superfine powder was 10.46 μm . By three different drying methods, the nutrition quality of dehydrated products decreased. In coarse powder of IR-EP drying and superfine powder of IR-V drying, the protein content decreased 28.34%, 16.92% respectively, the Vitamin C decreased 41.67%, 33.33% respectively. With comprehensive consideration, pitaya coarse and superfine powder of IR-EP drying keep better quality of pitaya.

Key words pitaya; puffing drying; combined drying; coarse powder; superfine powder; quality