

预处理对火龙果热泵干燥品质的影响

李改莲, 韩隽丛, 张振亚, 王广红, 金昕祥, 陈刚

(郑州轻工业大学 能源与动力工程学院, 郑州 450002)

摘要: **目的** 寻找合适的预处理方式, 从而获得感官评分相对最高的干制品。**方法** 以干燥速率、体积收缩率、色差、褐变度和感官评分为评价指标, 分析烫漂、汽蒸、超声、渗透和冻融等5种预处理方式对火龙果热泵干燥品质的影响。**结果** 所有经过预处理实验组火龙果的干燥速率和体积收缩率均大于未经预处理对照组火龙果的干燥速率和体积收缩率, 其中经过冻融1次预处理的实验组火龙果的干燥速率和体积收缩率相对最大, 干燥时间和体积分别减小了76.6%和93.3%; 经过醋酸锌(质量分数为0.2%)渗透预处理后实验组火龙果的色差和褐变度相对最小, 分别为24.893和17.225; 采用模糊综合评价法所得权重集 $W=(0.23, 0.33, 0.26, 0.18)$, 在权重集的基础上计算可知, 醋酸锌(质量分数为0.2%)渗透预处理实验组火龙果的感官评分相对最高, 达到71.55。**结论** 经过醋酸锌(质量分数为0.2%)渗透预处理后火龙果的品质相对最佳。

关键词: 火龙果; 预处理; 热泵干燥; 模糊综合评价; 品质

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)15-0105-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.15.012

Effect of Pretreatment on Drying Quality of Pitaya by Heat Pump

LI Gai-lian, HAN Lu-cong, ZHANG Zhen-ya, WANG Guang-hong, JIN Ting-xiang, CHEN Gang

(School of Energy and Power Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT: The work aims to find the most suitable pretreatment method to obtain the dry products with the highest sensory score. Drying rate, volume shrinkage rate, color difference, browning degree and sensory score were taken as evaluation indexes to analyze the effects of five pretreatment methods (blanching, steaming, ultrasonic, osmotic and freeze-thaw) on the drying quality of pitaya by heat pump. The drying rate and volume shrinkage rate of all pitaya after pretreatment in experimental group were higher than those of the control group without pretreatment. The drying rate and volume shrinkage rate of the experimental group after one freeze-thaw pretreatment were the largest, and the drying time and volume were reduced by 76.6% and 93.3% respectively. After 0.2% zinc acetate osmotic pretreatment, the browning degree of the experimental group was the lowest, which was 24.893 and 17.225 respectively. The weight set obtained by the fuzzy comprehensive evaluation method was $W=(0.23, 0.33, 0.26, 0.18)$. Based on the weight set, it was calculated that the sensory score of the experimental group with 0.2% zinc acetate osmotic pretreatment was the highest, ing 71.55. The quality of pitaya is the best after osmotic pretreatment with 0.2% zinc acetate.

KEY WORDS: pitaya; pretreatment; drying by heat pump; fuzzy comprehensive evaluation; quality

收稿日期: 2021-12-27

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(52106212); 河南省研究生教育创新培养基地项目(YJS2021JD05); 河南省科技攻关项目(222102320075)

作者简介: 李改莲(1975—), 女, 郑州轻工业大学副教授, 主要研究方向为制冷空调设备新技术及关键部件开发。

通信作者: 金昕祥(1976—), 男, 博士, 郑州轻工业大学教授, 主要研究方向为制冷空调设备新技术及关键部件开发。

火龙果 (*Hylocereus undatus* 'Foo-Lon') 多汁味甜, 含有丰富的植物性白蛋白、纤维质及高浓度天然色素花青素^[1], 具有排毒护胃、防止血管硬化、美容养颜等功效^[2-3], 是集水果、蔬菜、保健品于一身的营养品。随着火龙果亩产量的上升和种植规模的不断扩大, 出现了火龙果成熟后因滞销而腐烂变质, 小果、次果的收购率较低等问题, 资源浪费较严重。

干燥是水果加工的一种常用方法, 可以显著延长水果的贮藏时间, 提高次果的利用率。由于热泵干燥温度较低, 在干燥过程中物料表面水分的蒸发速度较慢, 能较好地维持干制品原有的色泽、风味及营养成分, 因此是火龙果最合适的干燥方法^[4]。不过, 热泵干燥耗时较长, 得到的干制品存在褐变等品质劣变问题。目前, 预处理方式已广泛用于果蔬的干燥, 常用的预处理方式有超声波^[5]、渗透^[6]、冷冻^[7]、烫漂^[8]及多种预处理方式联合等。在热泵干燥前进行预处理可以有效解决干燥过程中产品的褐变问题, 并大幅提高干燥速率^[9-10]。

目前, 关于火龙果预处理的研究较少, 孟繁博等^[11]发现, 火龙果片经过超声预处理后, 热风干燥速率得到提高, 品质显著提升。由此, 研究人员针对预处理对水果干制品品质的影响已展开了深入研究。Afjeh 等^[12]发现, 猕猴桃脆片经干燥后的硬度和色差随着渗透液温度的增加而增大, 随着渗透溶液浓度的增加, 其含油率、硬度和色差逐渐减小。周頔等^[13]发现, 将苹果进行超声预处理后(超声波功率 200 W, 超声温度 35 °C, 超声时间 10 min), 真空冷冻干燥时间缩短了 22%, 干制品的 Vc 保留量更高、颜色更洁白。Gamboa-Santos 等^[14]发现, 草莓经过不同超声功率(0、30、60 W)预处理后, 干燥时间缩短了 13%~44%。郭婷等^[15]发现, 在不同干燥条件下冻融大果山楂的热风干燥速率随着冻融次数的增加而增加, 有效水分的扩散系数随着冻融次数的增加而增大。汤石生等^[16]发现, 经烫漂-护色液浸泡预处理后苹果片的复水效果和护色效果更佳、品质更好。

现有文献较少研究预处理结合热泵干燥对火龙果品质的影响, 缺乏对不同预处理方法处理后所得干制品品质对比方面的研究。此外, 感官评分作为一个非常重要的评价指标, 易受到评估员个人喜好和其他因素的影响, 从而导致评价的准确性降低^[17]。模糊综合评价法综合考虑了各因素对结果的影响程度, 将定性评价转化为定量评价, 进而获得比较客观的感官评价结果^[18]。由此, 文中研究烫漂、汽蒸、超声波、渗透和冻融等 5 种预处理方式对火龙果热泵干燥品质的影响, 并以干燥速率、体积收缩率、色差、褐变度为评价指标, 结合模糊综合评价法得出相对客观的感官评分, 确定最佳的预处理方式, 为提高火龙果热泵干燥品质提供一定的理论参考。

1 实验

1.1 材料与试剂

实验样品选用果型大小均匀、成熟度相似、无霉变和无机械损伤的八成熟白心火龙果, 并进行烘干处理。火龙果购于郑州丹尼斯超市。

主要试剂: 醋酸锌(分析纯)、柠檬酸、氯化钠、壳聚糖、海藻糖(食品级), 郑州利研仪器有限公司。

1.2 仪器设备

主要仪器设备: CG-05HA 空气能热泵箱式一体节能烘干机, 广东创陆制冷科技有限公司; DC-3010 低温恒温槽, 江苏天翎仪器有限公司; YS-SE26 型多功能电煮锅, 潮州市益鸿尚五金制品厂; YS3060 型分光测色仪, 深圳市三恩时科技有限公司; 139 型水果切片机, 广州恒纳餐饮有限公司; 020 型超声波清洗机, 深圳市超洁科技实业有限公司; FBS-750A 型快速水分仪, 厦门弗布斯检测设备有限公司; ES500 精密电子天平, 天津市德安特传感技术有限公司。

1.3 方法

1.3.1 流程

- 1) 将火龙果清洗后去皮, 切成 50 mm×50 mm×9 mm(长度×宽度×厚度)左右的薄片, 并拍照。
- 2) 测量火龙果的鲜果水分含量。
- 3) 对火龙果进行不同的预处理。
- 4) 将预处理后的火龙果放入热泵干燥机中干燥, 设定干燥温度为 60 °C, 相对湿度为 20%。每隔 1 h 记录一次样品的质量和体积, 当每组样品的质量变化小于 0.2 g/h 时干燥结束。
- 5) 测定干燥成品的干燥速率、体积收缩率、色差、褐变度等。
- 6) 选择 10 名感官评估员, 确定因素集、评语集后, 得到权重集; 评估员品尝样品后分别对每组样品进行打分; 通过模糊综合评价法得出每组样品的感官评分, 并确定最佳预处理方式。

1.3.2 预处理方法

- 1) 烫漂预处理。称取质量相近的 5 组火龙果样品, 参考刘伟等^[19]对蓝莓 NFC 果汁品质的研究, 按料液比(g/mL) 1:10 放入水温为 80 °C 的恒温槽中, 分别烫漂 2、3、4、5、6 min 后捞出, 擦干火龙果表面的水分备用。
- 2) 汽蒸预处理。称取质量相近的 5 组火龙果样品, 待多功能电煮锅中的水沸腾 2 min 后将样品置于蒸屉上, 分别汽蒸 2、3、4、5、6 min 后捞出, 擦干火龙果表面的水分备用。
- 3) 超声预处理。称取质量相近的 5 组火龙果样品, 放入超声波清洗机中, 分别设定超声温度为 30、

40、50、60、70 °C, 超声预处理 10 min 后捞出, 擦干火龙果表面的水分备用。

4) 渗透预处理。称取质量相近的 5 组火龙果样品, 参考丁真真等^[20]对苹果的研究和谷绒等^[21]对淮山药的研究, 按料液比 (g/mL) 1:10 配置壳聚糖 (质量分数为 2%)、海藻糖 (质量分数为 12%)、醋酸锌 (质量分数为 0.2%)、柠檬酸 (质量分数为 0.2%)、氯化钠 (质量分数为 4%) 溶液, 将样品浸入溶液中静置 2 h 后捞出, 擦干火龙果表面的水分备用。

5) 冻融预处理。称取质量相近的 3 组火龙果样品, 铺在冰柜中, 在-18 °C 条件下冷冻 10 h, 待完全冷冻后, 在 20 °C 条件下解冻 10 h, 分别重复冷冻和解冻 1 次、2 次、3 次。将解冻后的样品擦干表面水分备用。

1.4 评价标准

1.4.1 干基含水率

不同干燥时间火龙果的干基含水率按式 (1) 计算。

$$M_t = \frac{m_t - m_g}{m_g} \tag{1}$$

式中: M_t 为 t 时刻的干基含水率; m_t 为 t 时刻火龙果的质量; m_g 为火龙果的绝干质量。

1.4.2 干燥速率

火龙果片的干燥速率按式 (2) 计算。

$$D_r = \frac{M_t - M_{t+dt}}{dt} \tag{2}$$

式中: D_r 为干燥速率, g/(g·h); M_{t+dt} 为样品在 $t+dt$ 时刻的干基含水率; M_t 为样品在 t 时刻的干基含水率。

1.4.3 体积收缩率

火龙果片的体积收缩率按式 (3) 计算。

$$S_r = \frac{V_0 - V_t}{V_0} \times 100\% \tag{3}$$

式中: S_r 为体积收缩率; V_0 为样品在初始时刻的体积; V_t 为样品在 t 时刻的体积。

1.4.4 色差与褐变度

根据校准板校准色差计, 将设备设置为 SCI 测量模式、D65 光源和 CIE Lab 颜色空间, 再用分光测色仪测量火龙果鲜果的白度 L_0^* 、红绿度 a_0^* 和黄蓝度 b_0^* , 最后测量热泵干燥后火龙果样品的白度 L^* 、红绿度 a^* 和黄蓝度 $b^{*[22]}$ 。按式 (4) 计算总色差 ΔE , 按式 (5) — (6) 计算褐变指数 A_{BI} , 取 5 组数据的平均值。

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \tag{4}$$

$$x = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a - 3.012b^*} \tag{5}$$

$$A_{BI} = \frac{x - 0.31}{0.172} \times 100 \tag{6}$$

式中: L_0^* 、 L^* 为白度, 表示鲜果/样品由暗到亮的趋势; a_0^* 、 a^* 为红绿度, 表示鲜果/样品从红到绿的趋势; b_0^* 、 b^* 为黄蓝度, 表示鲜果/样品从黄色到蓝色的趋势。

1.5 模糊综合评价模型的建立

参照 Sallam 等^[23]的方法, 感官评估员由 10 名无不良习惯且经过感官评分培训的学生组成。对产品的色泽、风味、口感、形态等 4 个方面进行感官评价, 评估员需要在评价每组样品后漱口, 最后填写感官评价表, 评价期间禁止相互讨论。

模糊综合评价模型的构建过程主要包括 4 个步骤: 建立因素集、建立评价集、确定权重集、构建模糊关系综合评价集等。因素集 (U) 由用于评价对象的因素组成, $U = (U_1, U_2, U_3, U_4)$, 其中 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 分别表示色泽、风味、口感、形态。评语集 (V) 是评价标准中各因素得分的集合, $V = (V_1, V_2, V_3, V_4)$, 满分为 100 分。 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 代表干燥火龙果的得分, 分为差 (25)、一般 (50)、好 (75) 和优秀 (100) 等。评价标准见表 1。

表 1 火龙果感官评价
Tab.1 Sensory evaluation of pitaya

分值	色泽 U_1	风味 U_2	口感 U_3	形态 U_4
$V_4(100)$	颜色呈白色, 明亮有光泽	火龙果原始风味浓郁	良好的硬度、弹性和质地	表面光滑, 样品完整
$V_3(75)$	颜色呈浅黄色, 有一定的光泽	火龙果风味明显, 略有焦味	稍软/硬, 有弹性, 质地适中	表面基本平整, 样品基本完整
$V_2(50)$	颜色呈浅褐色, 略有光泽	火龙果风味与焦味混合	中等软硬, 弹性差, 质地中等	表面有轻微褶皱, 样品有轻微损坏
$V_1(25)$	颜色为深褐色, 毫无光泽	有明显焦味	非常硬/软, 无弹性, 难以吞咽	表面收缩严重, 样品完全损坏

权重集 W , 即各质量因素权重系数的集合, 表示各指标的相对重要程度。文中 $W=(w_1, w_2, w_3, w_4)$, 其中 w_1, w_2, w_3, w_4 分别表示色泽、风味、口感、形态等的权重系数, 且 $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ 。通过统计因素集中各因素在评语集中各等级的得票数, 计算各等级得票数占总人数的比例, 得到火龙果感官评价的模糊关系矩阵。模糊综合评价集 K 由式 (7) 得出。

$$K = W \times R = (w_1, w_2, \dots, w_n) \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} = (K_1, K_2, \dots, K_m) \quad (7)$$

式中: W 为权重集; R 为模糊关系矩阵。

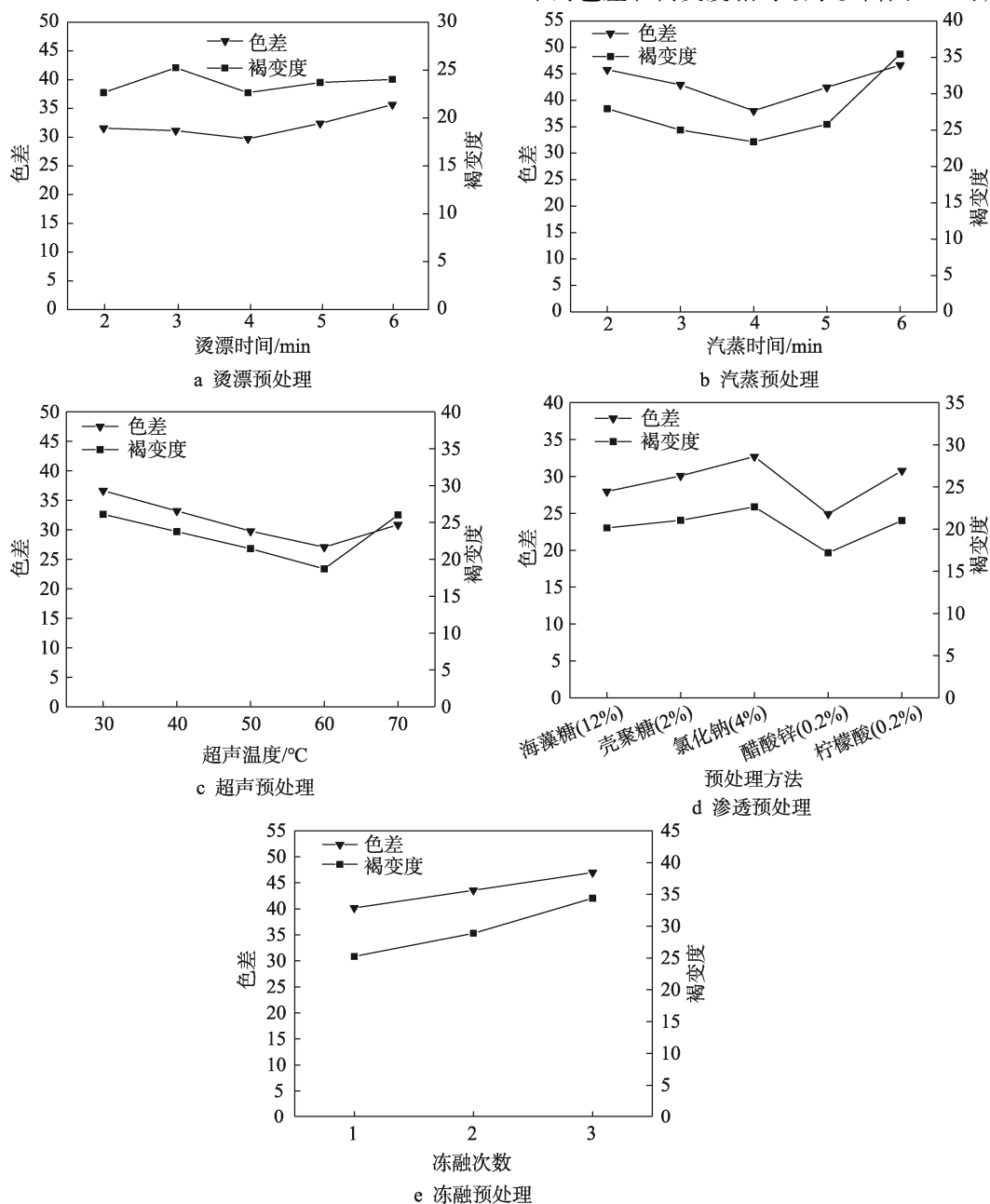


图1 不同预处理方式对火龙果护色效果的影响

Fig.1 Effect of different pretreatment methods on color protection effect of pitaya

2 结果与分析

2.1 不同预处理方法对火龙果干制品色差和褐变度的影响

5种预处理方式对火龙果色差和褐变度的影响见图1。由图1a可知, 火龙果经过烫漂预处理后色差和褐变度的变化较小, 其值在预处理时间为4 min时最小。由图1b—c可知, 火龙果的色差和褐变度随着汽蒸预处理时间和超声预处理温度的增加呈现先降低后增加的趋势, 当汽蒸时间为4 min、超声温度为60 °C时, 2个指标均达到最佳值。由图1d可知, 使用醋酸锌(质量分数为0.2%)渗透预处理后, 火龙果的色差和褐变度相对最小。由图1e可知, 火龙果

的色差和褐变度随着冻融次数的增加而显著增加, 冻融 1 次所得干制品的 2 个指标均为最佳值。综上可知, 选取经过烫漂预处理 4 min、汽蒸预处理 4 min、超声 60 ℃预处理、醋酸锌 (质量分数为 0.2%) 渗透预处理和冻融 1 次预处理后的样品进行后续试验。

2.2 不同预处理方式对火龙果热泵干燥特性的对比分析

基于 2.1 节所得结论, 对 5 种预处理方式所得火龙果干制品的各项评价指标进行对比分析。由表 2 可知, 经过醋酸锌 (质量分数为 0.2%) 渗透预处理后火龙果干制品的成色相对最佳。

2.2.1 干燥速率

不同预处理后火龙果片的干基含水率变化和干燥速率变化见图 2—3。由图 2 可知, 经过冻融 1 次预处理后的火龙果最先达到干燥标准, 干燥时间缩短了约 76.6%。所有经过预处理的实验组火龙果均比未经过预处理的对照组火龙果更快达到干燥标准, 干燥时间缩短了 30%~76.6%。这是因为经烫漂和汽蒸预处理后, 在高温条件下火龙果的组织结构软化, 细胞壁的通透性增加, 内部水分易于外逸, 干燥时间缩短。经过超声预处理后, 火龙果片受到反复的拉伸和压缩, 不断收缩和膨胀, 内部形成了较多的微孔通道, 最终形成海绵状结构^[24]。当该结构效应的作用力大于物料内部微孔通道中水分的吸附作用力时, 水分就容易迁移出来, 干燥速率加快。渗透预处理利用细胞膜的半透性, 在火龙果细胞浸入渗透液后, 渗透压增大, 内部结合水渗出, 在无相变条件下水分快速脱除, 干燥速率加快^[25]。火龙果片在进行冻融预处理时, 细胞组织被生成的冰晶破坏, 细胞内的结合水在解冻时随之脱离, 提高了水分升华的效率^[26]。

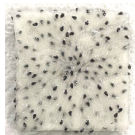
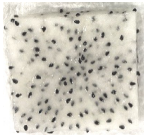
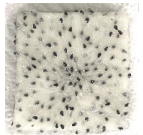
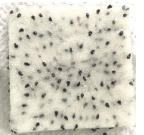
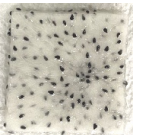
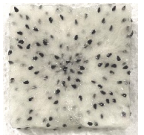
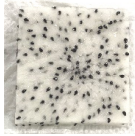
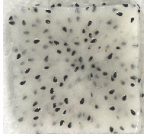
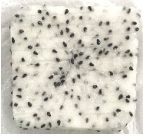
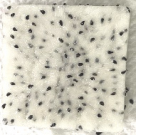
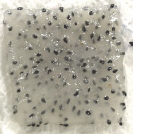
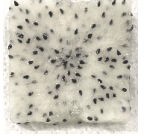
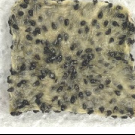
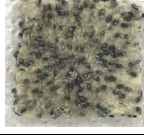
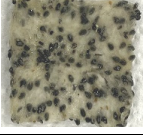
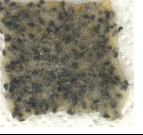
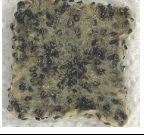
2.2.2 体积收缩率

由图 4 可知, 在热泵干燥过程中, 火龙果片的体积收缩率随着干燥时间的延长而逐渐增大, 冻融预处理后火龙果的体积收缩率最大值为 93.22%。所有经过预处理的实验组火龙果的体积收缩率均大于对照组的体积收缩率 (78%)。在冻融预处理过程中生成的冰晶严重破坏了细胞的结构, 细胞间的孔隙增大, 导致热泵干燥后火龙果干制品的体积严重收缩。由于烫漂、汽蒸、超声预处理均需要加热, 高温加速了火龙果组织结构的塌陷, 内部细胞结构被严重破坏^[27], 因此火龙果的体积收缩明显 (81.24%~84.85%)。由于在渗透脱水过程中不需要加热, 且没有相变发生, 产品品质保持良好^[25], 因此所得火龙果干制品的体积收缩率较小 (80.5%)。

2.2.3 色差与褐变度

新鲜样品的 $L^*=71.894$, $a^*=-0.874$, $b^*=3.744$, 干燥后产品的色差和褐变度见表 3。只有经过醋酸锌 (质量分数为 0.2%) 渗透预处理后的火龙果的色差 (24.893) 和褐变度 (17.225) 同时低于无预处理的对照组火龙果的色差 (26.993) 和褐变度 (20.513)。经过烫漂、汽蒸预处理后火龙果的非酶促反应加剧, 游离的氨基化合物聚合和羰基化合物缩合, 生成了棕色甚至棕黑色的大分子类黑色素, 导致火龙果的褐变度明显增加^[28]。由于超声 (60 ℃) 预处理的温度低于烫漂和汽蒸预处理, 火龙果的非酶促反应进程相对较慢, 所以经超声处理后火龙果的色差、褐变度均小于烫漂和汽蒸组的。在冻融过程中, 会将火龙果的细胞结构严重破坏, 在氧化酶的作用下将酚类物质氧化后形成了醌, 醌的多聚化及它与其他物质的结合会产生黑色或褐色的色素沉淀, 这样导致火龙果的褐变严重。综上可知, 经过醋酸锌 (质量分数为 0.2%) 渗透预处理后, 火龙果的色差和褐变度相对最佳。

表 2 不同预处理各阶段外观对比
Tab.2 Appearance comparison at different pretreatment stages

处理 方法	烫漂预处理	汽蒸预处理	超声预处理	渗透预处理	冻融预处理	未预处理
	烫漂时间 4 min	汽蒸时间 4 min	超声温度 60 ℃	醋酸锌 (0.2%)	冻融 1 次	
新鲜 样品						
预处理后						
干燥 成品						

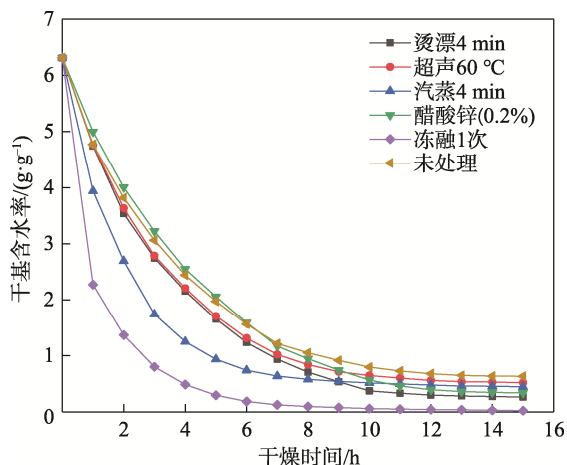


图2 火龙果干基含水率的变化情况
Fig.2 Variation of water content of drying base of pitaya

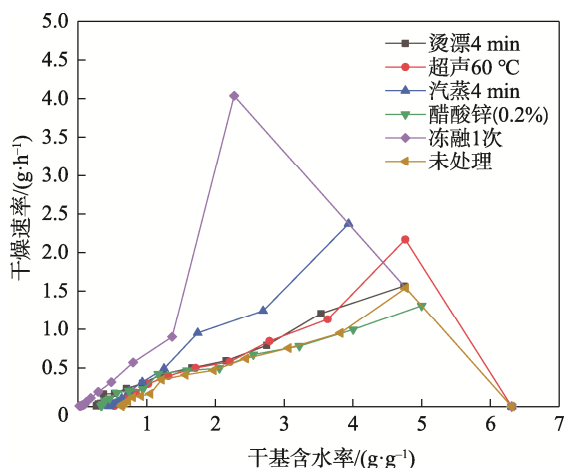


图3 火龙果干燥速率的变化情况
Fig.3 Variation of drying rate of pitaya

2.3 模糊综合感官评价

10 名感官评估员根据标准对影响火龙果感官评分的 4 个因素的打分情况见表 3。权重为 W (色泽 0.23, 风味 0.33, 口感 0.26, 形态 0.18), 见表 4。

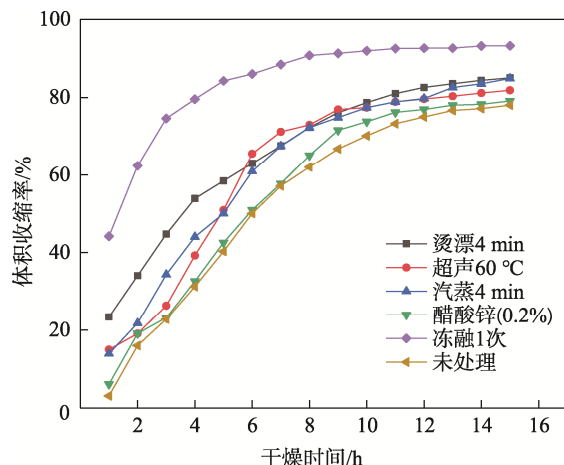


图4 火龙果片干燥体积收缩率曲线
Fig.4 Curve of drying volume shrinkage rate of pitaya slices

10 名感官评估员评估了 6 组样品的色泽、形态、风味、质地, 统计了每个因素对应等级的得票数, 评估过程同 1.5 节, 评价结果见表 5。

根据模糊变换原理 $K = W \times R$, 经过烫漂 4 min 预处理的实验组的综合评价结果如式 (8) 所示。

$$K_1 = W \times R_1 = (0.23, 0.33, 0.26, 0.18) \begin{pmatrix} 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 \end{pmatrix} = (0.131, 0.295, 0.336, 0.238) \quad (8)$$

结果表明, 13.1%的感官评估者认为火龙果的质量差, 29.5%的感官评估者认为火龙果的质量一般, 33.6%的感官评估者认为火龙果的质量良好, 23.8%的感官评估者认为火龙果的质量优异。同样, 也可以得到其他实验组的评价结果。将上述 6 组评价结果的 K 值乘以评语集中对应的得分, 再相加, 得到实验组的最终得分, 该组得分为 67.025。最终感官评分结果见图 5。显然, 经过醋酸锌 (质量分数为 0.2%) 渗透预处理的实验组火龙果的感官评分相对最佳 (71.55)。

表3 干燥后产品色差和褐变度
Tab.3 Color difference and browning degree of dried products

处理方式	烫漂 4 min	汽蒸 4 min	超声 60 °C	醋酸锌(0.2%)	冻融 1 次	未预处理
L^*	42.77	34.076	43.524	47.482	31.898	45.414
a^*	-1.138	-0.272	-1.342	-1.294	-0.004	-0.424
b^*	9.652	7.498	9.442	8.596	7.346	8.962
ΔE	29.718	38.009	27.059	24.893	40.167	26.993
褐变度	22.651	23.376	18.707	17.225	25.246	20.513

表 4 热泵干燥火龙果影响因素权重分布统计
Tab.4 Statistics of weight distribution of influencing factors of pitaya dried by heat pump

编号	色泽	风味	口感	形态
1	3	2	3	2
2	4	1	2	3
3	2	5	2	1
4	2	3	3	2
5	2	4	2	2
6	2	5	2	1
7	1	4	3	2
8	1	4	3	2
9	3	3	3	1
10	3	2	3	2
总分	23	33	26	18

表 5 热泵干燥火龙果感官评定票数分布
Tab.5 Distribution of sensory evaluation votes of pitaya dried by heat pump

序号	色泽				风味				口感				形态			
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
烫漂 4 min	2	5	3	0	1	2	3	4	2	3	3	2	0	2	5	3
汽蒸 4 min	4	4	2	0	4	3	2	1	2	3	2	3	0	2	4	4
超声 60 ℃	4	2	3	1	1	3	3	3	1	1	3	5	0	3	3	4
醋酸锌(0.2%)	0	2	5	3	2	4	3	1	0	3	2	5	0	2	5	3
冻融 1 次	8	2	0	0	8	1	1	0	8	2	0	0	9	1	0	0
无预处理	2	3	4	1	2	3	2	3	2	3	4	1	0	2	3	5

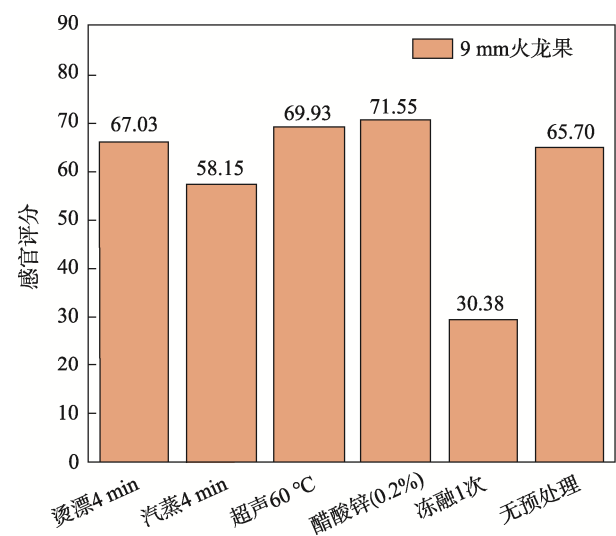


图 5 火龙果感官评分
Fig.5 Sensory score of pitaya

3 结语

通过研究不同预处理方式对火龙果热泵干燥品质的影响，得到如下结论。

1) 经预处理后实验组火龙果的干燥速率得到明显提升，同时其体积收缩率也明显大于未经预处理的对照组火龙果的体积收缩率。经冻融预处理 1 次后火龙果的干燥速率相对最快，其干燥时间减少了 76.6%；体积收缩率相对最大，高达 93.3%。由此可见，冻融预处理是提升火龙果的热泵干燥速率和体积收缩率的最有效的方法。

2) 经过烫漂、汽蒸、冻融预处理后火龙果的色差和褐变度明显增加。经超声预处理的火龙果的色差和褐变度与对照组的相差不大。经醋酸锌（质量分数为 0.2%）渗透预处理后，火龙果的色差和褐变度相对最小，分别为 29.893 和 17.255。由此可见，使用

醋酸锌(质量分数为0.2%)常温下进行渗透预处理可有效防止火龙果的褐变。

3)通过模糊综合评价法计算得出,经过醋酸锌(质量分数为0.2%)渗透预处理的火龙果的感官评分相对最高(71.55)。

综合上述评价指标可知,经醋酸锌(质量分数为0.2%)渗透预处理并结合热泵干燥得到的火龙果干制品的品质相对最佳。

参考文献:

- [1] SANTOS G B M, DIONÍSIO A P, MAGALHÃES H C R, et al. Effects of Processing on the Chemical, Physicochemical, Enzymatic, and Volatile Metabolic Composition of Pitaya (*Hylocereus Polyrhizus* (F A C Weber) Britton & Rose)[J]. *Food Research International*, 2020, 127: 108710.
- [2] 张桂芝, 吴小禾, 黄裕豪, 等. 冻干技术在火龙果加工上的应用[J]. *现代食品*, 2021(15): 92-95.
ZHANG Gui-zhi, WU Xiao-he, HUANG Yu-hao, et al. Application of Freeze Drying Technology in Pitaya Processing[J]. *Modern Food*, 2021(15): 92-95.
- [3] SONG Hai-zhao, CHU Qiang, YAN Fu-jie, et al. Red Pitaya Betacyanins Protects from Diet-Induced Obesity, Liver Steatosis and Insulin Resistance in Association with Modulation of Gut Microbiota in Mice[J]. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 2016, 31(8): 1462-1469.
- [4] HOU Hao-nan, CHEN Qin-qin, BI Jin-feng, et al. Understanding Appearance Quality Improvement of Jujube Slices during Heat Pump Drying via Water State and Glass Transition[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 272: 109874.
- [5] LIU Yun-hong, ZENG Ya, GUO Lin-ge, et al. Drying Process and Quality Characteristics of Contact Ultrasound Reinforced Heat Pump Drying on Kiwifruit Slices[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, 43(10): e14162.
- [6] ALOLGA R N, OSAE R, ESSILFIE G, et al. Sonication, Osmosonication and Vacuum-Assisted Osmosonication Pretreatment of Ghanaian Garlic Slices: Effect on Physicochemical Properties and Quality Characteristics[J]. *Food Chemistry*, 2021, 343: 128535.
- [7] DANDAMRONGRAK R, MASON R, YOUNG G. The Effect of Pretreatments on the Drying Rate and Quality of Dried Bananas[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2003, 38(8): 877-882.
- [8] 李敏雯, 温文杰, 张钦发, 等. 热预处理对药渣纤维/PP共混材料的性能影响[J]. *包装工程*, 2017, 38(19): 82-86.
- LI Min-wen, WEN Wen-jie, ZHANG Qin-fa, et al. Effect of Heat Pre-Treatment on Properties of Fiber of Herb Residues and Blends with PP[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(19): 82-86.
- [9] NATH A, CHATTOPADHYAY P K. Optimization of Oven Toasting for Improving Crispness and other Quality Attributes of Ready to Eat Potato-Soy Snack Using Response Surface Methodology[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 80(4): 1282-1292.
- [10] 黄毅成, 於海明, 缪磊, 等. 热泵干燥技术研究现状及发展趋势[J]. *农业工程*, 2020, 10(6): 61-65.
HUANG Yi-cheng, YU Hai-ming, MIAO Lei, et al. Research Status and Development Trend of Heat Pump Drying Technology[J]. *Agricultural Engineering*, 2020, 10(6): 61-65.
- [11] 孟繁博, 黄道梅, 郑秀艳, 等. 超声波预处理对热风干燥火龙果片品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(13): 205-209.
MENG Fan-bo, HUANG Dao-mei, ZHENG Xiu-yan, et al. Ultrasound Pretreatment on Quality of Pitaya before Hot Air Drying[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(13): 205-209.
- [12] AFJEH F A, BASSIRI A, NAFCHI A M. Optimization of Vacuum Frying Parameters in Combination with Osmotic Dehydration of Kiwi Slices to Produce Healthy Product[J]. *Journal of Chemical Health Risks*, 2014, Issue: 207-216.
- [13] 周頔, 孙艳辉, 蔡华珍, 等. 超声波预处理对苹果片真空冷冻干燥过程的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(22): 282-286.
ZHOU Di, SUN Yan-hui, CAI Hua-zhen, et al. Effect of Ultrasonic Pretreatment on Vacuum Freeze Drying Process of Apple Slices[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(22): 282-286.
- [14] GAMBOA-SANTOS J, MONTILLA A, CÁRCCEL J A, et al. Air-Borne Ultrasound Application in the Convective Drying of Strawberry[J]. *Journal of Food Engineering*, 2014, 128: 132-139.
- [15] 郭婷, 吴燕, 陈益能, 等. 冻融预处理对山楂热风干燥特性的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(4): 68-71.
GUO Ting, WU Yan, CHEN Yi-neng, et al. Effects of Freeze-Thaw Pretreatment on the Characteristics of Hot-Air Drying in *Malus domeri*(Bois)chev[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(4): 68-71.
- [16] 汤石生, 马道宽, 刘军, 等. 三种不同预处理的冻干苹果片品质比较[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(7): 169-175.
TANG Shi-sheng, MA Dao-kuan, LIU Jun, et al. Comparison of Three Kinds of Pretreatment on Quality of Freeze-Dried Apple Slices[J]. *Modern Food Science and*

- Technology, 2021, 37(7): 169-175.
- [17] CAO Ce-jun, XIE Yu-ting, ZHOU Yun-hong, et al. Assessment of WeChat Work Online Teaching Modes under COVID-19: Based on AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. Open Journal of Social Sciences, 2020, 8(7): 349-358.
- [18] 刘军, 段月, 张喜康, 等. 模糊数学评价结合响应面法优化枸杞真空微波干燥工艺[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(15): 127-135.
- LIU Jun, DUAN Yue, ZHANG Xi-kang, et al. Fuzzy Mathematics Evaluation of Optimized Vacuum Microwave Drying Process of Lycium Barbarum L[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(15): 127-135.
- [19] 刘伟, 许弯, 胡小琴, 等. 预处理对蓝莓 NFC 果汁品质和风味的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(3): 193-202.
- LIU Wei, XU Wan, HU Xiao-qin, et al. Effect of Pretreatment on Quality and Flavor of Blueberry NFC Juice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(3): 193-202.
- [20] 丁真真, 刘飞, 张甜, 等. 糖护色对热风干燥苹果片品质的影响[J]. 现代食品, 2020(12): 152-157.
- DING Zhen-zhen, LIU Fei, ZHANG Tian, et al. Effect of Sugar Color on Quality of Hot Air Dried Apple Slices[J]. Modern Food, 2020(12): 152-157.
- [21] 谷绒, 万国福, 陶琛昊. 鲜切淮山药防褐变技术[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 161-165.
- GU Rong, WAN Guo-fu, TAO Chen-hao. Anti-Browning Technology of Fresh-Cut *Dioscorea Opposita* Thunb[J]. The Food Industry, 2019, 40(12): 161-165.
- [22] GANJE M, JAFARI S M, FARZANEH V, et al. Kinetics Modelling of Color Deterioration during Thermal Processing of Tomato Paste with the Use of Response Surface Methodology[J]. Heat and Mass Transfer, 2018, 54(12): 3663-3671.
- [23] SALLAM K I. Chemical, Sensory and Shelf Life Evaluation of Sliced Salmon Treated with Salts of Organic Acids[J]. Food Chemistry, 2007, 101(2): 592-600.
- [24] 夏蓉, 姬青华, 周存山, 等. 超声预处理和湿度控制对香蕉干燥特性的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(1): 40-48.
- XIA Rong, JI Qing-hua, ZHOU Cun-shan, et al. Effects of Ultrasonic Pretreatment and Humidity Control on Banana Drying Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(1): 40-48.
- [25] 吴阳阳, 李敏, 关志强, 等. 预处理方法在食品冷冻干燥中的应用分析[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(9): 135-140.
- WU Yang-yang, LI Min, GUAN Zhi-qiang, et al. The Analysis of Pretreatment Methods Applied in the Freeze-Dried Food[J]. Food Research and Development, 2015, 36(9): 135-140.
- [26] 郝启栋. 大蒜热风干燥特性及水分迁移规律研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021: 14-17.
- HAO Qi-dong. Study on Air Drying Characteristics and Water Transfer of Garlic(*Allium Sativum* L.)[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2021: 14-17.
- [27] 马有川, 毕金峰, 易建勇, 等. 预冻对苹果片真空冷冻干燥特性及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(18): 241-250.
- MA You-chuan, BI Jin-feng, YI Jian-yong, et al. Effects of Pre-Freezing on the Drying Characteristics and Quality Parameters of Freeze Drying Apple Slices[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(18): 241-250.
- [28] 刘园, 肖广健, 陈飞, 等. 烫漂方式对桃微观结构、酶促褐变及相关品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(20): 183-190.
- LIU Yuan, XIAO Guang-jian, CHEN Fei, et al. Effects of Blanching Methods on Microstructure, Enzymatic Browning and Related Quality of Peach[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(20): 183-190.

责任编辑: 彭颀