

不同预处理对提高大果沙棘热风干燥效果的对比分析

姚娜¹, 车凤斌^{2,3}, 张婷³, 李永海², 张谦^{3,4}, 张辉¹, 周嘉佳¹, 吴雪¹

(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052) (2. 新疆沙棘工程技术研究中心, 新疆乌鲁木齐 830000) (3. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830091)

(4. 新疆主要农副产品精深加工工程技术研究中心, 新疆乌鲁木齐 830091)

摘要: 通过研究不同预处理对大果沙棘热风干燥微观结构、干燥特性及品质的影响, 以期筛选适宜大果沙棘热风干燥的预处理方式提供理论依据和技术参数。以新鲜大果沙棘为原料, 采用不同预处理(蒸馏水(对照)、70℃烫漂、150 W 超声、2% Na₂CO₃、2% 促干剂和 2% NaHCO₃) 对大果沙棘预处理后进行热风干燥, 分析不同预处理对大果沙棘干燥前表皮微观结构、干燥过程中的干燥特性及干燥后品质指标的影响。结果表明, 不同预处理对大果沙棘果实表皮微观结构均有不同程度的影响, 2% Na₂CO₃ 预处理对其蜡质溶解和气孔结构破坏最为明显; 70℃烫漂、2% Na₂CO₃、2% 促干剂和 2% NaHCO₃ 预处理均可显著缩短大果沙棘热风干燥时间, 其中 2% Na₂CO₃ 预处理效果最显著, 仅需 44 h, 与对照(118 h)相比, 缩短了 62.71%; 经 2% Na₂CO₃ 预处理后, 大果沙棘热风干燥品质较优, 其中 Vc 含量为 351.90 mg/100 g DW、总黄酮含量为 12.86 mg RE/g DW、总酚含量为 7.50 mg GAE/g DW, 且色泽最接近于新鲜果实。可见, 2% Na₂CO₃ 浸泡 1 min 为热风干燥较佳的预处理方式, 可在生产中进行应用和推广。

关键词: 大果沙棘; 预处理; 微观结构; 干燥速率; 品质

文章编号: 1673-9078(2020)08-211-219

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.8.0121

Comparative Analysis of Different Pretreatment on Improving Hot Air Drying Effect of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)

YAO Na-na¹, CHE Feng-bin^{2,3}, ZHANG Ting³, LI Yong-hai², ZHANG Qian^{3,4}, ZHANG Hui¹, ZHOU Jia-jia¹, WU Xue¹

(1.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2.Xinjiang Research Center of *Hippophae Rhamnoides* Engineering and Technology, Urumqi 830000, China)

(3.Institute of Agricultural Product Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)(4.Research Center of Main Agricultural Products Processing Engineering in Xinjiang, Urumqi 830091, China)

Abstract: The effects of different pretreatments on the microstructure, drying characteristics and quality of hot air drying of *Hippophae rhamnoides* L. were studied, which provided theoretical basis and technical parameters for screening suitable pretreatment methods of hot air drying of *Hippophae rhamnoides* L. Fresh *Hippophae rhamnoides* L. was used as raw material. Different pretreatments (distilled water (control), blanching at 70℃, 150 W ultrasound, 2% Na₂CO₃, 2% grape drier and 2% NaHCO₃) were used to dry the pretreated *Hippophae rhamnoides* L.

引文格式:

姚娜,车凤斌,张婷,等.不同预处理对提高大果沙棘热风干燥效果的对比分析[J].现代食品科技,2020,36(8):211-219

YAO Na-na, CHE Feng-bin, ZHANG Ting, et al. Comparative analysis of different pretreatment on improving hot air drying effect of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 211-219

收稿日期: 2020-02-12

基金项目: 新疆精准扶贫项目(2019-8)

作者简介: 姚娜(1995-),女,硕士研究生,研究方向:农产品加工与综合利用

通讯作者: 车凤斌(1956-),男,研究员,研究方向:果树栽培技术及果品贮藏加工技术研究;共同通讯作者: 张辉(1964-),女,教授,研究方向:果蔬贮藏与物流工程

with hot air. The effects of different pretreatments on the microstructure of epidermis before drying, drying characteristics during drying and quality indexes after drying were analyzed. The results showed that different pretreatments had different effects on the epidermis microstructure of *Hippophae rhamnoides* L. fruits, and 2% Na_2CO_3 pretreatment had the most obvious effect on wax dissolution and stomatal structure destruction. Blanching at 70 °C, pretreatment with 2% Na_2CO_3 , 2% grape drier and 2% NaHCO_3 can significantly shorten the hot air drying time of *Hippophae rhamnoides* L. Among them, pretreatment with 2% Na_2CO_3 is the most effective, requiring only 44 hours, which is 62.71% shorter than that of the control (118 hours). After pretreatment with 2% Na_2CO_3 , the hot air drying quality of *Hippophae rhamnoides* L. was better, with the Vc content of 351.90 mg/100 g DW, the total flavonoids content of 12.86 mg RE/g DW, and the total phenol content of 7.50 mg GAE/g DW, and the color and luster were the closest to those of fresh fruits. It can be seen that soaking 2% Na_2CO_3 for 1 min is a better pretreatment method for hot air drying, which can be applied and popularized in production.

Key words: *Hippophae rhamnoides* L.; pretreatment; microstructure; drying rate; quality

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.) 俗称酸刺、醋柳、吉汗, 属胡颓子科沙棘属落叶性灌木。我国是沙棘分布区面积最大, 种类最多的国家, 占全世界沙棘面积的 90% 以上, 主要分布于新疆、内蒙古、宁夏、青海和甘肃等 19 个省 (区) [1]。沙棘因含有丰富的生物活性成分而备受关注, 其中的维生素 C、黄酮类化合物、不饱和脂肪酸、5-羟色胺等营养成分 [2-5], 已被证实具有抗菌、抗炎、抗氧化、抗肿瘤和预防心血管疾病等的作用 [6-8]。大果沙棘是 20 世纪 30 年代前苏联通过杂交等技术手段筛选的沙棘优良品种, 具有果实大、果柄长、枝条无刺或少刺、易采收等优势, 已在我国东北、新疆和内蒙古等地获得较好的引种效果 [9]。然而, 大果沙棘由于果实多汁、质地柔软和采收季高温等特点, 采收后极易发生腐败变质, 造成原料的损失, 生产上多以干制加工为主。张庆钢等 [10] 在对沙棘果实真空冷冻干燥试验中得出, 预冻温度在 -35 °C 以下, 物料温度控制在 50 °C 以下, 搁板温度控制在 40 °C, 升华干燥时间在 30 h, 可防止果实“干缩”和“跑浆”现象发生, 冻干效果较好, 色泽、品质更接近于新鲜沙棘; Araya-Farias 等 [11] 的研究表明沙棘经真空冷冻干燥样品比热风干燥样品保留了更多的维生素 C 和总类胡萝卜素和维生素 E 含量。Kyriakopoulou 等 [12] 的研究表明, 相比真空冷冻和太阳能干燥, 热风干燥的沙棘浆果干燥速率最快。在产地生产调研中了解到, 沙棘加工企业也利用自然晒干和热风干燥生产沙棘果干。虽然对沙棘果实干燥的少量研究中表明真空冷冻干燥能够保持较高营养成分, 但其干燥效率低, 干燥成本高, 而热风干燥操作简单、干燥效率较高, 90% 以上的企业仍以热风干燥方式为主 [13]。前人研究发现, 沙棘果实含油且表皮覆盖有一层致密的蜡质层, 干燥处理虽可使其表皮水分不同程度蒸发, 但干燥效果仍不理想 [14]。研究表明, 除蜡剂、烫漂和超声等预处理方式可适当破坏果疏表皮蜡质结构, 从而加快其水分散失, 提高其干燥效率和干燥品质 [15-18]。目前, 关于不同预

处理方式在大果沙棘干燥中的应用研究报道甚少。因此, 本研究以新鲜大果沙棘为原料, 采用不同预处理 (蒸馏水 (对照)、70 °C 烫漂、150 W 超声、2% Na_2CO_3 、2% 促干剂和 2% NaHCO_3) 对大果沙棘进行热风干燥, 通过研究不同预处理对大果沙棘微观结构、干燥特性及品质的影响, 以期筛选适宜大果沙棘热风干燥预处理方式提供理论依据和技术参数。

1 材料与方法

1.1 试验原料

以新鲜的阿勒泰大果沙棘为试材, 于 2019 年 8 月 15 日采摘自新疆阿勒泰地区哈巴河县阔斯喀巴特试验示范区。试验树属于盛果期, 树龄 5 年, 长势较好。带果枝采摘, 采摘时果实平均含水量约为 80.69%±0.41%。冷库预冷后当天运回新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所实验室, 选取大小均匀 (滤网筛取, 要求果长 15.00±1.00 mm, 果宽 9.00±1.00 mm)、成熟饱满、无机械损伤、无病虫害的果实于 4 °C 冷库预冷, 待用。

1.2 主要仪器设备

FEI Quanta FEG 250 场发射环境扫描电子显微镜, 广州贝拓科学技术有限公司; 101-2ES 电热鼓风干燥箱, 北京市永光明医疗仪器有限公司; CP64 万分天平, 奥豪斯仪器 (上海) 有限公司; YP20002 电子天平, 余姚市金诺天平仪器有限公司; GL-20G-1 高速冷冻离心机, 上海安亭科学仪器厂; KQ3200DE 型数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; WB-2002 恒温水浴锅, 郑州长城科工贸有限公司; AP-01P 真空泵, 天津市津南八里台微电子园区; UPw-UP-20 超纯水仪, 成都大莘宁科技有限公司; YS6060 台式分光测色仪, 深圳市三恩时科技有限公司; UV-2600 紫外可见分光光度计, 日本岛津公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

挑选后的大果沙棘果实分别用蒸馏水(对照)浸泡 1 min、150 W 超声 10 min(室温条件下,按照料液比 1:5 在烧杯中放入沙棘和蒸馏水后,将烧杯放入超声波清洗机中,设定超声功率为 150 W 后,超声 10 min)、70 °C 烫漂 1 min 后冷水预冷、2% Na₂CO₃ 浸泡 1 min、2% 促干剂(葡萄促干剂)浸泡 1 min、2% NaHCO₃ 浸泡 1 min,料液比均为 1:5,处理后的果实浸泡结束后沥干,结合生产上常用的热风干燥(50 °C)方式进行试验,干燥每隔 4 h 称重,至湿基含水率达到 13% 时结束干燥。每组实验设置 3 组重复,取平均值作为结果。本试验中的试验参数是结合相关文献和前期的预试验得出。

1.3.2 微观结构

大果沙棘分别用蒸馏水(对照)浸泡 1 min、150 W 超声 10 min、70 °C 烫漂 1 min 后冷水预冷、2% Na₂CO₃ 浸泡 1 min、2% 促干剂浸泡 1 min、2% NaHCO₃ 浸泡 1 min(料液比均为 1:5),浸泡结束后并沥干表面水分,固定在样品台上,电子束的加速电压:20.00 kV;样品放大倍数:800 倍,采集图像。

1.3.3 干燥曲线的测定

水分比(moisture ratio, MR)表示物料水分剩余率,其计算公式:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}$$

式中, M_0 为大果沙棘初始干基含水率; M_e 为大果沙棘干燥平衡时干基含水率; M_t 为大果沙棘在干燥 t 时刻的干基含水率。由于 M_e 远小于 M_0 和 M_t , 故公式可简化为:

$$MR = \frac{M_t}{M_0}$$

干燥速率(drying rate, DR)表示物料的脱水速度的快慢,单位为 g/(g·h)。其计算公式:

$$DR = \frac{M_{t1} - M_{t2}}{t_2 - t_1}$$

式中: M_{t1} 和 M_{t2} 分别为干燥时间 t_1 和 t_2 时大果沙棘的干基含水率。

1.3.4 色泽的测定

新鲜和干燥后大果沙棘的色泽利用色差仪进行定量测定^[19]。测得 L^* 值(明亮度)、 a^* 值(红/绿色)、 b^* 值(黄/蓝色),计算物料色泽差别程度的总色差(ΔE)、色泽饱和程度的 C 和色调角 h° 。按公式计算:

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

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

1.3.5 褐变度的测定

参照李晓丽等人^[20]的方法,略作修改。取 2.0 g 大果沙棘按料液比 1:10 加蒸馏水,匀浆后在 4 °C 下 10000 r/min 离心 30 min,褐变度以上清液在 420 nm 波长处的吸光度表示,数值以干基计。

1.3.6 可滴定酸的测定

参照曹建康^[21]的酸碱滴定法测定大果沙棘中可滴定酸含量,略作修改。称取混合均匀的果肉 2.0 g,置于研钵中磨碎,转移到 100 mL 容量瓶中,再用蒸馏水润洗研钵,一并转入到容量瓶中,10000 r/min 离心 10 min。吸取 20 mL 上清液,转入锥形瓶中,加入 2 滴 1% 酚酞指示剂,用已标定的 NaOH 溶液进行滴定。滴定溶液出现粉色并在 30 s 内不褪色时为终点,记录 NaOH 滴定液的用量,重复三次。再以蒸馏水代替滤液进行滴定,作为空白对照。样品中的可滴定酸含量以干基表示(% DW)。

1.3.7 Vc 的测定

参照曹建康^[21]的滴定法测定大果沙棘中 Vc 含量,略作修改。称取 2.0 g 果肉至于研钵中,加入少量 20 g/L 草酸溶液,在冰浴条件下研磨成浆状,转入到 100 mL 容量瓶中,用 20 g/L 草酸溶液冲洗研钵后,亦倒入容量瓶中,再用 20 g/L 草酸溶液定容至刻度,摇匀,10000 r 离心 10 min。吸取上清液 10.0 mL 置于锥形瓶中,用已标定的 2,6-二氯酚靛酚溶液滴定至出现微红色且 15 s 不褪色为止,记下染料的用量。同时,以 10 mL 20 g/L 草酸溶液做空白,按相同方法进行滴定,重复三次。样品中的 Vc 含量以干基表示(mg/100 g DW)。

1.3.8 总黄酮的测定方法

标准曲线的制作参照白生文^[22]的方法。按照制作标准曲线的方法,以吸光度为纵坐标,标准溶液质量浓度为横坐标,绘制标准曲线,并以吸光度对质量浓度进行运算,得到回归方程: $y = 6.350x$, $r^2 = 0.998$ 。黄酮的提取:准确称取 1.00 g 沙棘,按照料液比 1:20 加入 20 mL 的 70% 乙醇溶液,在温度为 50 °C、功率为 150 W 条件下超声提取 40 min。用 0.45 μm 有机系滤膜抽滤得到提取液,用 70% 乙醇定容至 25 mL,取 1 mL 提取液用于测定。样品中的总黄酮含量以每克含毫克芦丁当量表示(mg RE/g DW),总黄酮含量按下式计算:

$$\text{总黄酮含量} / (\text{mg RE} / \text{g DW}) = \frac{x \cdot V \cdot n}{m}$$

式中: x 为实验测得总黄酮质量浓度/(mg/mL); V 为提取液体积/mL; n 为稀释倍数; m 为样品质量/g。

1.3.9 总酚的测定

参照田文翰等^[23]的方法, 略作修改。精确称取 10 mg 没食子酸标准品, 用蒸馏水溶解定容至 100 mL, 此溶液浓度为 100 mg/L。溶液于 4 °C 冰箱中避光保存。用绘制标准曲线的方法, 得到回归方程: $y=124.8x+0.03$, $r^2=0.9996$ 。总酚的提取方法与黄酮相同, 提取完取 1 mL 提取液用于测定。结果以每克样品含有相当没食子酸的毫克数表示 (mg GAE/g DW), 总酚含量按下式计算。

$$\text{总酚含量} / (\text{mg GAE} / \text{g DW}) = \frac{x \cdot V \cdot n}{m}$$

式中: x 为实验测得总酚质量浓度/(mg/mL); V 为提取液体积/mL; n 为稀释倍数; m 为样品质量/g。

1.4 数据统计分析

使用 Excel 2010 软件和 SPSS 20.0 软件进行数据处理, 采用 Duncan's 进行多重比较检验, 用 SigmaPlot 12.5 软件绘制试验图。

2 结果与讨论

2.1 预处理方式对大果沙棘果实微观结构的影响

图 1 为不同预处理方式对大果沙棘果实表皮及气孔的影响程度。A-1 和 A-2 为蒸馏水(对照)浸泡 1 min 后的大果沙棘蜡质表皮和气孔结构, 可以看出, 对照组的蜡质层完全覆盖在角质层外, 蜡质层没有溶解、断裂或出现裂缝的现象, 其表皮的气孔口周围也被蜡质所覆盖; B-1 和 B-2 为 150 W 超声 10 min 后的大果沙棘果实微观结构, 可以看出, 其表皮蜡质结构遭到破坏, 有溶解现象, 但未出现断裂和裂缝, 气孔口周围蜡质层已有部分被超声下来; C-1 和 C-2 为 70 °C 烫漂浸泡 1 min 后的大果沙棘果实微观结构, 可以看出, 其表皮蜡质层受损伤较大, 有蜡质溶解并出现少许蜡质层断裂和裂缝现象, 气孔口已遭到破坏; D-1 和 D-2 为 2% Na_2CO_3 浸泡 1 min 后的果实微观结构, 可以看出, 其蜡质层结构受损伤非常大, 有溶解并出现大量裂缝现象, 气孔破坏程度严重; E-1 和 E-2 为 2% 促干剂浸泡 1 min 后的果实微观结构, 可以看出, 其表皮蜡质有溶解现象, 气孔周围出现轻微的裂痕; F-1 和

F-2 为 2% NaHCO_3 浸泡 1 min 后的果实微观结构, 可以看出, 其表皮蜡质溶解现象较为轻微, 气孔口破坏程度较小。可以看出, 不同预处理方式对大果沙棘果实表皮蜡质和气孔均有不同程度的影响, 依次为: 2% Na_2CO_3 > 2% 促干剂 > 2% NaHCO_3 > 70 °C 烫漂 > 150 W 超声 > 蒸馏水(对照), 在枸杞^[24]的干燥中也有相同结论。

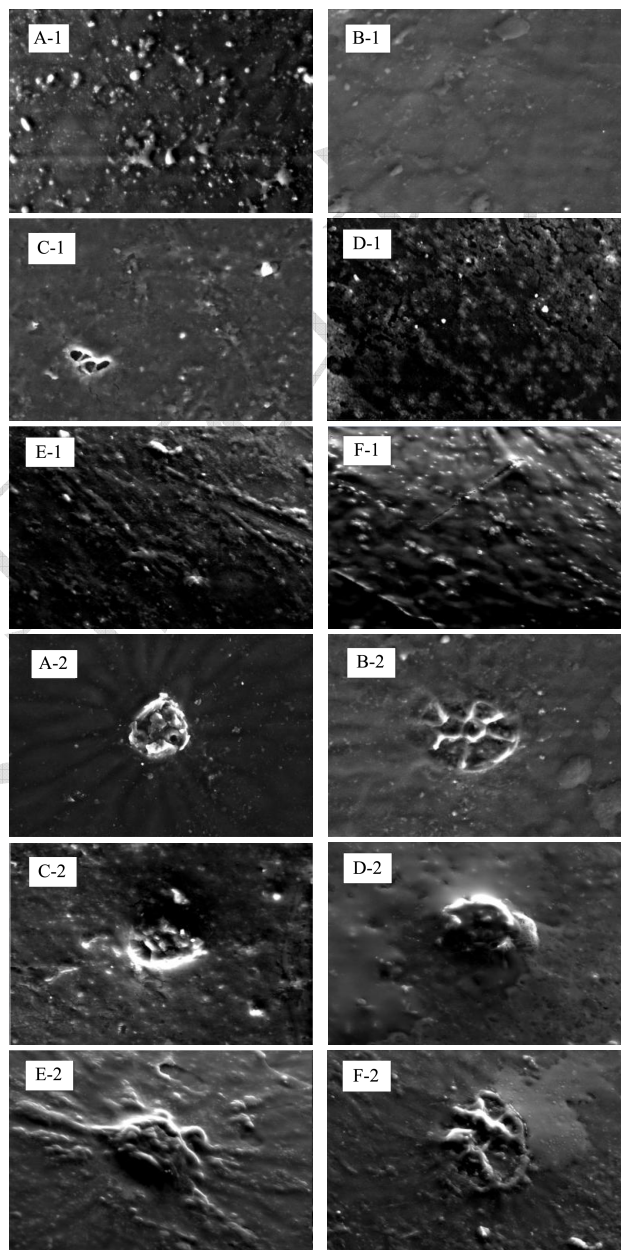


图 1 预处理对新鲜大果沙棘果实表皮微观结构的影响 (×800)

Fig. 1 Effects of different pretreatment methods on epidermis microstructure of fresh *Hippophae rhamnoides* L. (×800)

注: A~F 分别为对照、150 W 超声、70 °C 热烫、2% Na_2CO_3 、2% 促干剂、2% NaHCO_3 浸泡预处理, 其中 1 为表皮, 2 为气孔。

2.2 预处理对大果沙棘热风干燥特性的影响

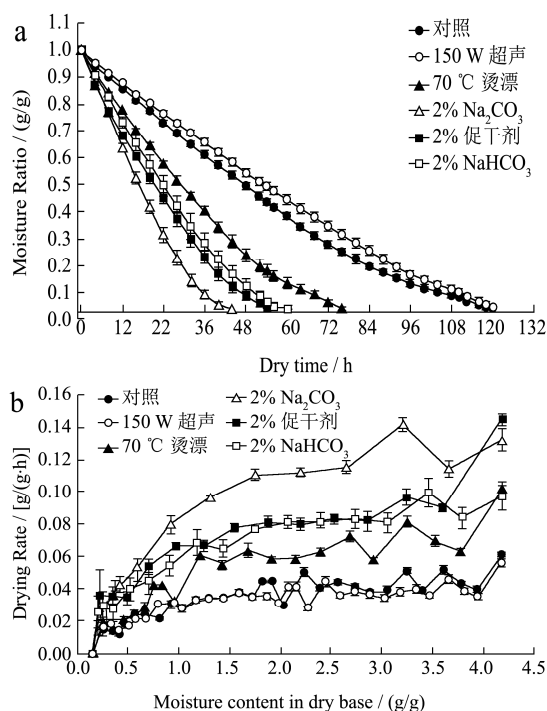


图2 预处理对大果沙棘热风干燥曲线和干燥速率曲线的影响

Fig.2 Effect of pretreatment on hot air drying curve and drying rate curve of *Hippophae rhamnoides* L.

由图2a可知,随着干燥时间的延长,水分比呈下降趋势,干燥初期水分比下降趋势明显,后期随着干燥的进行水分比下降趋势减缓,可能是干燥后期传递介质推动力逐渐减小,且物料表面物质逐渐变得致密导致^[25]。在干燥的前36 h,去除沙棘水分含量 2% Na₂CO₃ (53.67%)>2%促干剂 (31.71%)>2% NaHCO₃ (27.26%)>70 °C 烫漂 (18.03%)>对照 (8.73%)>150 W 超声 (7.44%)。在干燥时间上,2% Na₂CO₃ (44 h) 预处理的沙棘干燥所需时间最短,比对照 (118 h) 缩短约 62.71%。2% Na₂CO₃、2%促干剂、2% NaHCO₃ 和 70 °C 烫漂干燥速率显著快于对照和 150 W 超声,说明不同除蜡剂和烫漂预处理对大果沙棘的干燥过程均有促进效果,表明除蜡剂对植物表皮蜡质层成分有刺激作用,能够使沙棘表皮蜡质层变薄、断裂,形成水分排出通道^[24];而烫漂预处理能够起到排除物料中的气体,能增加细胞膜的通透性以及软化组织的作用,因此能够大幅提高干燥效率^[26];超声预处理并没有起到加速水分散失的作用,相比对照反而增加了干燥时间。Ricce 等^[15]对胡萝卜的研究中发现超声时间为 30 min 时,干燥速率低于对照,而超声时间增加到 60 min 时,干燥速率高于对照;周頔等^[27]对苹果片的研究中发现超声功率低于 200 W 时,冻干时间随着超声功率

增大而缩短,大于 200 W 时,冻干时间则随着干燥功率增大而延长。分析原因可能是超声预处理对细胞破裂、微通道形成、细胞肿胀等微观结构的影响。一方面,可能是短时间的预处理不足以形成微通道,反而会导致细胞肿胀,导致大量水分从超声环境转移到物料中,阻碍干燥过程^[15,28];另一方面,可能是超声功率过大,使得物料内部组织破坏剧烈,导致已有的微通道崩溃,反而不利于水分的散失,使得干燥时间增加^[27]。因此,超声预处理对沙棘干燥特性的影响,还需要后续摸索超声预处理的具体工艺参数,做进一步的解释说明。

从图2b可以看出,在干基含水率大于 3.50 g/g 干基时,为快速干燥阶段;在 0.50~3.50 g/g 干基之间时,除蜡剂和烫漂预处理组进入缓慢降速阶段,而对照和 150 W 超声进入恒速干燥阶段。当含水量小于 0.50 g/g 干基时,也就是干燥的后期,不同预处理方式均进入了快速降速干燥阶段。除蜡剂和烫漂预处理的干燥速率快于对照和 150 W 超声处理组,其中 2% Na₂CO₃ 干燥速率最快。

2.3 预处理对大果沙棘热风干燥色泽的影响

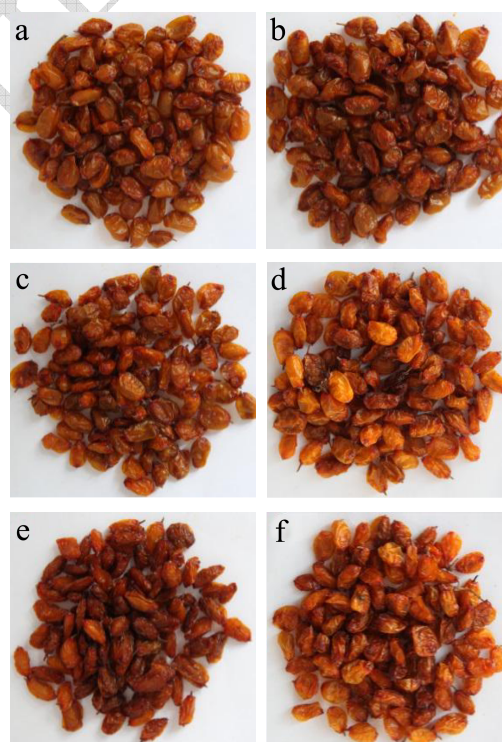


图3 预处理对大果沙棘热风干燥外观品质的影响

Fig.3 Effect of pretreatment on appearance quality of hot air drying of *Hippophae rhamnoides* L.

注: a: 蒸馏水 (对照); b: 150 W 超声; c: 70 °C 烫漂; d: 2% Na₂CO₃; e: 2% 促干剂; f: 2% NaHCO₃。

表 1 预处理对大果沙棘热风干燥色泽参数的影响

Table 1 Effect of pretreatment on color parameters of hot air drying of *Hippophae rhamnoides* L.

干燥方式	预处理方式	L^*	a^*	b^*	ΔE	C	h°
热风	鲜样	62.34±0.97 ^a	28.65±0.87 ^a	57.58±1.63 ^a	-	64.31±1.84 ^a	63.55±0.18 ^a
	蒸馏水	41.07±3.01 ^c	20.49±2.11 ^{cd}	29.57±4.31 ^{cd}	36.25±5.19 ^b	36.06±4.09 ^{de}	55.05±4.11 ^{bc}
	150 W 超声	41.74±2.88 ^{bc}	19.91±1.98 ^d	30.47±4.77 ^c	35.22±5.51 ^{bc}	36.49±4.41 ^{de}	56.53±4.25 ^b
	70 °C 烫漂	42.57±3.44 ^{bc}	20.82±4.69 ^{cd}	32.09±5.34 ^{bc}	33.48±6.54 ^{bcd}	38.42±6.09 ^{cd}	57.08±5.13 ^b
	2% Na ₂ CO ₃	43.56±2.28 ^b	22.71±1.90 ^b	34.95±3.96 ^b	30.09±4.36 ^d	41.74±3.77 ^b	56.84±3.09 ^b
	2% 促干剂	38.19±3.62 ^d	19.91±3.31 ^d	27.01±5.93 ^d	40.01±7.16 ^a	33.63±6.43 ^e	53.25±3.71 ^c
	2% NaHCO ₃	43.05±3.67 ^{bc}	22.25±2.50 ^{bc}	33.84±5.41 ^b	31.39±6.32 ^{cd}	40.63±4.91 ^{bc}	56.35±4.76 ^{bc}

注：表中同列肩标字母不同表示差异显著 ($p<0.05$)。

色泽是干制品的一个重要指标之一，物料在干燥期间会因酶促褐变、非酶褐变及色素本身氧化等一系列作用引起色泽改变。由表 1 可见，相对于未加工的大果沙棘，不同预处理结合热风干燥对大果沙棘色泽产生显著影响，沙棘的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C 和 h° 值显著下降 ($p<0.05$)，而 ΔE 值也有不同程度的增大。在 Kyriakopoulou 等人^[12]对沙棘的干燥中也发现热风干燥对沙棘的色泽有显著的影响。经 2% Na₂CO₃ 预处理后干燥的产品具有与新鲜大果沙棘最接近的色泽。在 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C 值保持上，2% Na₂CO₃ 预处理相比其他预处理能够更好的保持沙棘的色泽，色差值 ΔE 值也低于其他预处理组，是由于使用能够使沙棘快速干燥，减少因干燥时间过长带来的氧化褐变。以 ΔE 值为例，2% Na₂CO₃ 预处理的色差值明显小于对照组，与宋慧慧^[18]等人的研究结果一致。不同预处理（除 2% 促干剂）相比对照均能对沙棘色泽起到保护作用，其中 2% Na₂CO₃、2% NaHCO₃ 和 70 °C 烫漂在色泽保持上显著优于 2% 促干剂、150 W 超声和对照 ($p<0.05$)。从图 3 中也可以看出，2% Na₂CO₃ 和 2% NaHCO₃ 预处理后的沙棘果干颜色较为鲜艳，更符合消费者购买心里。

2.4 预处理对热风干燥大果沙棘褐变度的影响

褐变是指在加工和贮藏过程中颜色发生改变的一种现象，这种颜色的改变不仅影响产品的外观、风味，而且还会造成营养物质的丢失，甚至食品的变质。新鲜大果沙棘的 A420 nm 为 0.35 DW，由图 4 可知，新鲜沙棘经不同预处理干燥后，褐变度均变大。经不同预处理干燥后的褐变度均低于对照，但高于新鲜大果沙棘的褐变度。经 2% Na₂CO₃ 预处理的沙棘干果 A420 nm 为 0.65 DW，显著低于对照和其他预处理 ($p<0.05$)，比对照 (1.13 DW) 低了 42.48%，说明 2% Na₂CO₃ 能够降低大果沙棘的褐变程度。

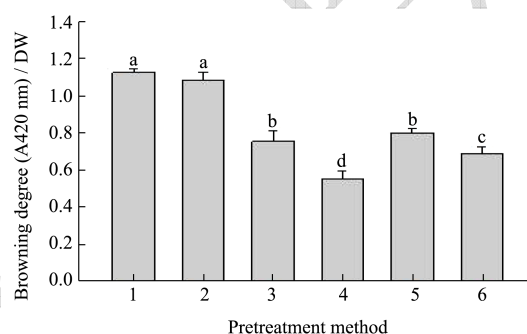


图 4 预处理对大果沙棘热风干燥褐变度的影响

Fig.4 Effect of pretreatment on hot air drying browning degree of *Hippophae rhamnoides* L

注：1、2、3、4、5、6 分别表示蒸馏水（对照）、150 W 超声、70 °C 烫漂、2% Na₂CO₃、2% 促干剂及 2% NaHCO₃；不同小写字母表示各预处理之间存在显著性差异， $p<0.05$ ；下同。

2.5 预处理对热风干燥大果沙棘 Vc 含量的影响

由于 Vc 的化学性质不稳定，遇热、光和氧气容易发生氧化分解，所以在干燥过程中干燥温度过高或者时间过长都会减少物料中抗坏血酸的含量。鲜样中，大果沙棘含量为 668.19 mg/100 g DW。不同预处理对热风干燥后沙棘的 Vc 含量具有显著的影响 ($p<0.05$)，除 150 W 超声外，其他预处理 Vc 含量均显著高出对照 ($p<0.05$)，可能是由于超声波预处理导致沙棘已有的微通道崩溃，从而不利于传质，延长了干燥时间；也有可能是超声预处理相比对照组处理的工序多，预处理时间长，以上可能是导致超声预处理后果干 Vc 含量低于对照的原因。张莉会等^[29]对草莓的干燥中也发现糖渍处理及超声处理相比对照，并没有对 Vc 含量起到积极作用，反而含量降低。经 2% Na₂CO₃ 预处理的干燥产品 Vc 含量最高，为 351.90 mg/100 g DW，保留率达到 52.66%，比对照 (93.02 mg/100 g DW) 高出 73.57%。Araya-Farias 等人^[11]在对沙棘的 50 °C

热风干燥中,沙棘经切半预处理后,15 h 达到干燥效果,Vc 保留率达到 67%,比本实验的热风干燥的 Vc 保留率要高,这可能是因为切半处理导致干燥时间大大缩短,从而减少 Vc 的损失。

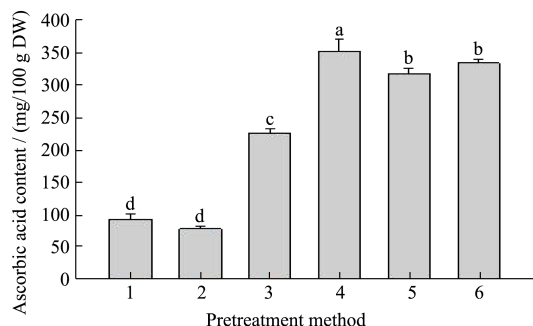


图5 预处理对大果沙棘热风干燥 Vc 含量的影响

Fig.5 Effect of pretreatment on Vc content in hot air drying of *Hippophae rhamnoides* L

2.6 预处理对热风干燥大果沙棘可滴定酸含量的影响

量的影响

鲜样中,大果沙棘可滴定酸含量为 8.02% DW,干燥后大果沙棘可滴定酸含量均低于新鲜样品。对照组与预处理组干燥产品的可滴定酸含量差异显著 ($p<0.05$),对照组 (6.75%) 高于其他预处理组,可能是由于 2% Na_2CO_3 、2% 促干剂和 2% NaHCO_3 呈弱碱性,渗入到沙棘果实内部中和了一部分酸性物质,导致可滴定酸含量下降;而超声预处理可能是由于超声作用导致大量水分从超声环境转移到沙棘中,从而增加干燥时间,导致可滴定酸含量下降;而 70 °C 烫漂 (5.10%) 含量最低,可能是由于在热烫过程中物料内部细胞膜受到损伤,使可滴定酸较易损失,导致含量较低^[26]。

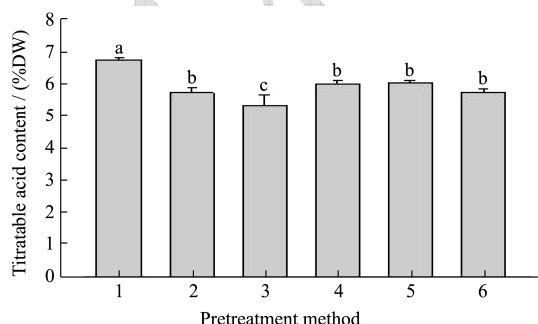


图6 预处理对大果沙棘热风干燥可滴定酸含量的影响

Fig.6 Effect of pretreatment on titratable acid content in hot air drying of *Hippophae rhamnoides* L

2.7 预处理对热风干燥大果沙棘总黄酮的影响

沙棘黄酮类化合物是具有广泛活性的一类物质。

鲜样中,大果沙棘总黄酮含量为 9.17 mg RE/g DW。对照及 2% Na_2CO_3 、2% 促干剂、2% NaHCO_3 、150 W 超声预处理干燥产品总黄酮含量均高于鲜样,这与枸杞的干燥研究结果一致^[18,30,31],可能是由于适当的温度在可以不破坏黄酮类化合物的情况下,引起细胞壁的破碎使黄酮类化合物容易释放,导致了总黄酮含量的增加。经 2% 促干剂、2% Na_2CO_3 和 150 W 超声预处理的干燥产品总黄酮含量无显著差异 ($p>0.05$),说明三者均能使干燥后的沙棘产品具有较高的总黄酮含量,含量分别为 14.25 mg RE/g DW、12.86 mg RE/g DW 和 12.33 mg RE/g DW,其中 2% 促干剂预处理干燥产品总黄酮含量最高,比对照 (9.31 mg RE/g DW) 高出 53.06%。而 70 °C 烫漂预处理干燥产品的总黄酮含量显著低于其他预处理干燥产品的总黄酮含量 ($p<0.05$),这主要是因为热烫过程中的高温使物料内部总黄酮发生降解,这与朱文学和唐璐璐等人^[26,32]的研究结果一致。

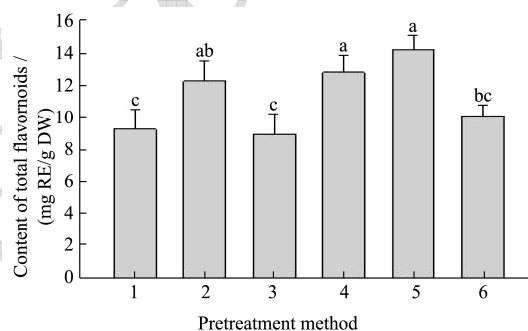


图7 预处理对大果沙棘热风干燥总黄酮的影响

Fig.7 Effect of pretreatment on hot air drying total flavonoids of *Hippophae rhamnoides* L

2.8 预处理对热风干燥大果沙棘总酚的影响

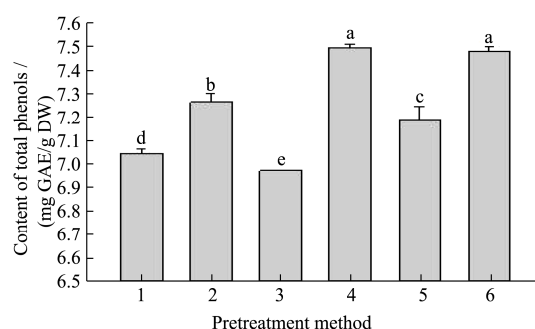


图8 预处理对大果沙棘热风干燥总酚的影响

Fig.8 Effect of pretreatment on hot air drying total phenol of *Hippophae rhamnoides* L

鲜样中,大果沙棘总酚含量为 30.32 mg GAE/g DW。由图 8 可知,不同预处理干燥样品总酚含量存在显著性差异 ($p<0.05$),其中 2% Na_2CO_3 预处理后干燥产品总酚含量 (7.50 mg GAE/g DW) 最高,其总

酚保留率为24.74%，而 Araya-Farias 等^[11]在对沙棘的50℃热风干燥中，得出总酚保留率达到89%，比本实验的总酚保留率要高，这可能是由于沙棘品种不同或是沙棘经切半处理导致干燥时间大大缩短，从而减少总酚含量损失。沙棘经70℃烫漂预处理干燥产品总酚含量(6.97 mg GAE/g DW)最低，这可能是由于酚类物质在漂烫时热降解导致的，长时间的高温漂烫会加快酚类物质的降解及氧化，这与朱文学等人^[26]的研究结果一致。

3 结论

干燥前预处理是大果沙棘热风干燥的关键环节，适当的预处理可以有效提高大果沙棘热风干燥效率。不同预处理对大果沙棘果实表皮微观结构均有不同程度的影响，2% Na₂CO₃ 预处理对其蜡质溶解和气孔结构破坏最为明显。70℃烫漂、2% Na₂CO₃、2%促干剂和2% NaHCO₃ 预处理均可显著缩短大果沙棘热风干燥时间，其中2% Na₂CO₃ 预处理效果最显著，仅需44 h，与对照(118 h)相比，缩短了62.71%。同样，适当的预处理可以有效改善热风干燥产品的品质。实验范围内，2% Na₂CO₃ 预处理能够使热风干燥产品具有较好的色泽、较低的褐变度、较高的Vc、总黄酮和总酚含量。因此基于本文的研究得出，在此预处理条件下沙棘热风干燥时间为44 h，色泽L*值为43.56、a*值为22.71、b*值34.95、ΔE值30.09、C值41.74、h°值56.84，褐变度为0.65 DW、Vc含量为351.90 mg/100 g DW、可滴定酸含量6.01% DW、总黄酮含量为12.86 mg RE/g DW、总酚含量为7.50 mg GAE/g DW。综合比较干燥效率、干制品色泽、Vc、总黄酮和总酚等指标，2% Na₂CO₃ 浸泡1 min 预处理可作为大果沙棘热风干燥较佳的前处理方式，在生产中进行应用和推广。

参考文献

- [1] 刘勇,廉永善,王颖莉,等.沙棘的研究开发评述及其重要意义[J].中国中药杂志,2014,39(9):1547-1552
LIU Yong, LIAN Yong-shan, WANG Ying-li, et al. Review of seabuckthorn research and development and its significance [J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2014, 39(9): 1547-1552
- [2] Stobdan T, Korekar G, B Srivastava R. Nutritional attributes and health application of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): a review [J]. Current Nutrition & Food Science, 2013, 9(2): 151-165
- [3] Kanayama Y, Kato K, Stobdan T, et al. Research progress on the medicinal and nutritional properties of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): a review [J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2012, 87(3): 203-210
- [4] Zielińska A, Nowak I. Abundance of active ingredients in sea-buckthorn oil [J]. Lipids in Health and Disease, 2017, 16(1): 95
- [5] 李淑珍,武飞,陈月林,等.沙棘活性成分及功效研究进展[J].中国民族民间医药,2015,24(1):51-53
LI Shu-zhen, WU Fei, CHEN Yue-lin, et al. Research progress on active components and efficacy of *Hippophae rhamnoides* L [J]. Chinese Ethnic and Folk Medicine, 2015, 24(1): 51-53
- [6] Feng-Qing Z, Dong-Sheng Z. Antibacterial properties of *Hippophae rhamnoides* marc flavones [J]. Food Science and Technology, 2012, 32(5): 101-108
- [7] Rédei D, Kúsz N, Jedlinszki N, et al. Bioactivity-guided investigation of the anti-inflammatory activity of *Hippophae rhamnoides* fruits [J]. Planta Medica, 2018, 84(1): 26-33
- [8] Jagtap S, Meganathan K, Wagh V, et al. Chemoprotective mechanism of the natural compounds, epigallocatechin-3-O-gallate, quercetin and curcumin against cancer and cardiovascular diseases [J]. Current Medicinal Chemistry, 2009, 16(12): 1451-1462
- [9] 焦岩.大果沙棘黄酮分离纯化及生物活性研究[D].沈阳:东北林业大学,2010
JIAO Yan. Purification and bioactivity of flavonoids from *Hippophae rhamnoides* L. [D]. Shenyang: Northeast Forestry University, 2010
- [10] 张庆钢,赵晶,邵晶,等.沙棘果真空冷冻干燥工艺的研究[J].食品科技,2009,34(1):39-41
ZHANG Qing-gang, ZHAO Jing, SHAO Jing, et al. Study on vacuum freeze drying of *Hippophae rhamnoides* [J]. Food Science and Technology, 2009, 34(1): 39
- [11] Araya-Farias M, Makhoul J, Ratti C. Drying of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berry: impact of dehydration methods on kinetics and quality [J]. Drying Technology, 2011, 29(3): 351-359
- [12] Kyriakopoulou K, Pappa A, Krokida M, et al. Effects of drying and extraction methods on the quality and antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) berries and leaves [J]. Drying Technology, 2013, 31(9): 1063-1076
- [13] 赵丹丹.枸杞加工特性及热泵干燥系统理论分析与应用研究[D].北京:中国农业大学,2016
ZHAO Dan-dan. Theoretical analysis and application study

- on processing characteristics and heat pump drying system of *Lycium barbarum* [D]. Beijing: China Agricultural University, 2016
- [14] Araya-Farias M, Macaigne O, Ratti C. On the development of osmotically dehydrated seabuckthorn fruits: pretreatments, osmotic dehydration, postdrying techniques, and nutritional quality [J]. Drying Technology, 2014, 32(7):813-819
- [15] Ricce C, Rojas M L, Miano A C, et al. Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration [J]. Food Research International, 2016, 89: 701-708
- [16] Tunde-Akintunde T Y. Effect of pretreatment on drying time and quality of chilli pepper [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2010, 34(4): 595-608
- [17] Doymaz İ, Altun P. Effect of pretreatment solution on drying and color characteristics of seedless grapes [J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(1): 43-49
- [18] 宋慧慧,陈芹芹,毕金峰,等.干燥方式及碱液处理对鲜枸杞干燥特性和品质的影响[J].食品科学,2018,39(15):197-206
- SONG Hui-hui, CHEN Qin-qin, BI Jin-feng, et al. Effects of drying methods and alkali treatment on drying characteristics and quality of fresh wolfberry [J]. Food Science, 2018, 39(15): 197-206
- [19] 谢龙.枸杞真空脉动干燥特性及干燥品质的研究[D].北京:中国农业大学,2017
- XIE Long. Study on vacuum pulsating drying characteristics and drying quality of wolfberry [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017
- [20] 李晓丽,陈计峦,范盈盈,等.无核白葡萄干制过程中酚类物质的变化及其与褐变的关系[J].食品科学,2019,40(7):27-32
- LI Xiao-li, CHEN Ji-luan, FAN Ying-ying, et al. Changes of phenolic substances and their relationship with browning in the process of making seedless white raisins [J]. Food Science, 2019, 40(7): 27-32
- [21] 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
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experimental Guidance for Fruits and Vegetables Harvested [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [22] 白生文,汤超,田京,等.沙棘果渣总黄酮提取工艺及抗氧化活性分析[J].食品科学,2015,36(10):59-64
- BAI Sheng-wen, TANG Chao, TIAN Jing, et al. Extraction technology and antioxidant activity analysis of total flavonoids from seabuckthorn pomace [J]. Food Science, 2015, 36(10): 59-64
- [23] 田文翰,张晓伟,杨小露,等.不同干燥方式对十香菜根多酚和黄酮含量及其抗氧化活性的影响[J].保鲜与加工,2019,19(2):103-107
- TIAN Wen-han, ZHANG Xiao-wei, YANG Xiao-lu, et al. Effects of different drying methods on polyphenols and flavonoids contents and their antioxidant activities in the roots of coriander [J]. Preservation and Processing, 2019, 19(2): 103-107
- [24] 李文丽.枸杞脱蜡剂及促干机理研究[D].天津:天津科技大学,2016
- LI Wen-li. Study on dewaxing agent and drying promotion mechanism of wolfberry [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016
- [25] 陈思奇,顾苑婷,王霖岚,等.刺梨不同干燥模型建立及综合品质分析[J].食品科学,2020,41(3):47-54
- CHEN Si-qi, GU Yuan-ting, WANG Lin-lan, et al. Establishment of different drying models and comprehensive quality analysis of *Rosa roxburghii* [J]. Food Science, 2020, 41(3): 47-54
- [26] 朱文学,黄敬,刘云宏.预处理对百合热风干燥特性及其品质的影响[J].河南科技大学学报(自然科学版),2017,38(4):77-83,120
- ZHU Wen-xue, Huang Jing, LIU Yun-hong. Effect of pretreatment on hot air drying characteristics and quality of lily [J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2017, 38(4): 77-83, 120
- [27] 周颀,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 Yi, 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
- [28] 王旭,李文峰,何泽威,等.干燥温度及超声波预处理对茎瘤芥热风脱水及复水的影响[J].农产品加工,2018,24:17-22, 25
- WANG Xu, LI Wen-feng, HE Ze-wei, et al. Effects of drying temperature and ultrasonic pretreatment on hot air dehydration and rehydration of stem tumor mustard [J]. Agricultural Products Processing, 2018, 24: 17-22, 25

(下转第 22 页)