

刘战霞,代文婷,吴洪斌,等. 超声辅助去糖处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(5): 234-241. DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.05.026

## 超声辅助去糖处理对热风干燥及压差闪蒸干燥 红枣脆片品质的影响

刘战霞<sup>1</sup>, 代文婷<sup>2</sup>, 吴洪斌<sup>1</sup>, 杨慧<sup>1</sup>

1. 新疆农垦科学院农产品加工研究所/新疆农垦科学院农产品加工重点实验室, 石河子 832000;  
2. 海南省农业科学院农产品加工设计研究所, 海口 570100

**摘要** 为探究不同去糖预处理方法对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片品质的影响, 利用超声(US)、超声辅助酶法(US+EM)、超声辅助碱法(US+AM)、超声辅助热水法(US+WM) 4种不同预处理方法处理红枣脆片, 分析干燥后红枣脆片的色泽、质构、滋味和主要营养成分含量。结果显示, 不同超声辅助去糖预处理方法对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片品质均有较大的影响, 对比不同去糖预处理组, 超声(US)和超声辅助酶法(US+EM)处理下红枣鲜样固形物减少率分别为2.53%和3.36%, 显著低于超声辅助碱法(US+AM)和超声辅助热水法(US+WM)处理; 超声辅助热水法(US+WM)处理下热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片多糖含量最低, 去除多糖效果最佳, 其次是超声辅助酶法(US+EM)处理; 超声辅助酶法(US+EM)去糖处理下压差闪蒸干燥红枣脆片黄酮保留量最高, VC损失量最小。电子舌结果显示超声辅助酶法处理下压差闪蒸干燥红枣脆片口感最佳。结果表明, 超声辅助酶法处理在减少糖分的同时最大程度地保留了红枣脆片的风味和营养成分。

**关键词** 红枣脆片; 热风干燥; 压差闪蒸干燥; 超声辅助酶法; 去糖处理

**中图分类号** TS255.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)05-0234-08

红枣(*Zizyphus jujube* Mill.)属于鼠李科枣属, 在我国广泛种植, 是食品工业中的重要原料<sup>[1-2]</sup>。新鲜采摘的红枣因含有多糖、酚类、维生素等营养成分而备受推崇, 但枣果实采摘后不易贮藏, 在没有任何额外保护的情况下保存不超过10 d<sup>[3]</sup>, 限制了其加工和利用。因此, 采用适当的方法延长保质期和保持品质显得尤为重要。

干燥是保持果蔬品质的有效方法, 不同的干燥方法以防止微生物的滋生、提高食品保鲜、减少食品的质量和体积<sup>[4-5]</sup>为目的来提高产品附加值。热风干燥(hot air drying, HAD)作为一种传统的干燥方式, 能耗低、操作简单, 但产品在干燥过程中容易因氧化引起褐变和营养物质的损失, 使产品品质降低<sup>[6]</sup>。压差闪蒸干燥(instant controlled pressure drop, DIC)是在变温压差膨化干燥基础上发展的一种新型非油炸干燥技术, 属于一种新型、环保、节能

的快速干燥技术, 采用该技术生产的产品具有绿色天然、品质优良、营养丰富、食用方便、便于贮运等特点<sup>[7-9]</sup>。

高糖脆片虽然风味好, 但甜度相对较高, 为了满足现代人对天然、营养、健康的休闲食品的追求, 需要不断改善红枣脆片的品质和减少糖分。生产上枣片在干燥前需进行去糖预处理, 但红枣含糖量高, 高糖不利于水分扩散, 导致干燥效率降低, 干燥时间延长。同时, 红枣中游离糖易发生美拉德等化学反应, 虽然一定程度上增加了产品风味, 但也会产生不良反应, 影响产品品质<sup>[10-11]</sup>。前期研究表明, 超声处理具有操作简单、耗时短、溶剂用量少的优点; 碱法处理对细胞壁结构破坏程度高, 更有利于多糖溶出; 超声辅助酶法可有效提高提取率、缩短提取时间、降低成本, 已被广泛应用于天然有效成分的提取<sup>[12]</sup>。但目前国内外关于超声辅助去糖脱水在果蔬中的应用研究

收稿日期: 2023-09-25

基金项目: 新疆生产建设兵团科技合作计划项目(2021BC007); 新疆生产建设兵团英才青年项目; 国家现代农业产业技术体系岗位科学家项目(CARS-30-5-04); 新疆生产建设兵团科技创新人才计划(2023CB007-02); 新疆生产建设兵团农业科技创新工程专项(NCG202226)

刘战霞, E-mail: 806796383@qq.com

通信作者: 杨慧, E-mail: 258086146@qq.com

还比较少。

本研究采用超声(ultrasound, US)、超声辅助碱法(ultrasound-assisted alkaline method, US+AM)、超声辅助热水法(ultrasound assisted hot-water method, US+WM)、超声辅助酶法(ultrasound-assisted enzymatic method, US+EM)4种不同去糖预处理,对处理后红枣脆片理化性质和品质进行分析,寻求超声辅助去糖处理的最佳工艺,以期为新鲜红枣选择合适的去糖干燥方法,改善红枣脆片口感,最大限度地利用红枣营养成分提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

红枣:大小均一、无裂、无损伤及病虫害的挂熟红枣,采购于新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市,初始含水率26%。

### 1.2 超声及超声辅助去糖处理

参照宋悦等<sup>[13]</sup>的方法。原料清洗去核后,切成厚度4 cm的圆片,将等量红枣片分别放入不同去糖液(pH=5)进行预处理。预处理步骤(1)超声(US):水浴温度50℃、水浴提取时间1 h、料液比1:50(m/V, g/mL),超声时间设定为90 min,超声频率为40 kHz;(2)超声辅助碱法(US+AM):1 mol/L NaOH溶液处理,水浴温度50℃、水浴提取时间1 h,料液比1:20,超声时间设定为90 min,超声频率为40 kHz;(3)超声辅助热水法(US+WM):温度100℃、料液比1:50(m/V, g/mL)、提取时间1 h,提取1次,超声时间为90 min,超声频率为40 kHz;(4)超声辅助酶法(US+EM):水浴温度50℃、水浴提取时间1 h、料液比1:50(m/V, g/mL)、果胶酶10 000 U/g,纤维素酶18 000 U/g,超声时间设定为90 min,超声频率为40 kHz;以不做任何去糖预处理的红枣脆片样品作为对照组。

采用多水分损失率(moisture loss rate,  $R_{ML}$ )、固形物减少率(solid reduction rate,  $R_{SR}$ )评价预处理效率,分别按式(1)~(2)计算。

$$R_{ML} = \frac{(m'_0 - m_0) - (m' - m)}{m'_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$R_{SR} = \frac{m_0 - m}{m'_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $m'_0$  为原料初始鲜质量, g;  $m'$  为原料某时刻鲜质量, g;  $m_0$  为原料初始干质量, g;  $m$  为原料某时

刻干质量, g。

### 1.3 热风干燥处理

参照宋悦等<sup>[13]</sup>的方法,物料预处理后单层平铺于托盘放入干燥箱固定,温度65℃、出口风速1.5 m/s,每次试验用量为(100±1) g,前6 h每30 min记录1次样品质量变化,之后每60 min记录1次样品质量变化,直至红枣切片的含水率低于5%。

### 1.4 压差闪蒸干燥处理

DIC法的工艺条件参照文献<sup>[14]</sup>,样品用量为(100±1) g,闪蒸温度95℃,停滞10 min,抽真空温度65℃、时间(1.5±0.2) h,保证红枣切片的含水率低于5%。

### 1.5 色泽的测定

用色差仪测量不同处理枣脆片样品的亮度值  $L^*$ 、红绿值  $a^*$ 、黄蓝值  $b^*$ ,以鲜枣(亮度值  $L$ 、红绿值  $a$ 、黄蓝值  $b$ )为对照,计算总色差值  $\Delta E$ ,每个处理3次重复。 $\Delta E$ 值按式(3)计算。

$$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2} \quad (3)$$

### 1.6 硬度及脆度的测定

参照杜茜茜等<sup>[15]</sup>的方法,测定条件为:探头模式为阻力测试,选择方式为运行方式,前期测试速率2 mm/s,检测速率1 m/s,后期检测速率1 mm/s,触发力 and 穿透距离分别为10 mm和20 mm。硬度测试结果用测试产生峰的最高值表示, N;脆度测试结果用断裂距离表示, mm;每个处理重复10次。

### 1.7 营养成分的测定

维生素C含量采用直接滴定法测定;黄酮含量采用Folin-Ciocalteu法测定;多糖含量采用苯酚-硫酸法测定,利用多糖含量(polysaccharide content, PC)评价预处理效率<sup>[16]</sup>,每组重复3次。

### 1.8 抗氧化能力的测定

2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sul-fonic acid) diammonium salt, ABTS)自由基清除能力测定、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力的测定、Fe离子还原能力(ferric-reducing antioxidant power, FRAP)测定参照Hou等<sup>[16]</sup>的方法。

### 1.9 数据处理与分析

采用IBM SPSS Statistics 26软件进行差异显著性分析,使用Origin 2021软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同去糖预处理对红枣鲜样多水分损失率、固形物减少率的影响

由表1可知,超声辅助碱法(US+AM)、超声辅助热水法(US+WM)处理组多水分损失率分别为23.15%、22.15%,显著高于超声法(US)、超声辅助酶法(US+EM)处理组( $P<0.05$ ),更易造成水分损失。超声(US)和超声辅助酶法(US+EM)处理组红枣鲜样固形物减少率分别为2.53%和3.36%,显著低于超声辅助碱法(US+AM)、超声辅助热水法(US+WM)( $P<0.05$ )。以上结果表明,超声法(US)去糖处理对红枣鲜样的多水分损失率和固形物减少率最小。

表1 不同预处理后红枣鲜样的多水分损失率和固形物减少率

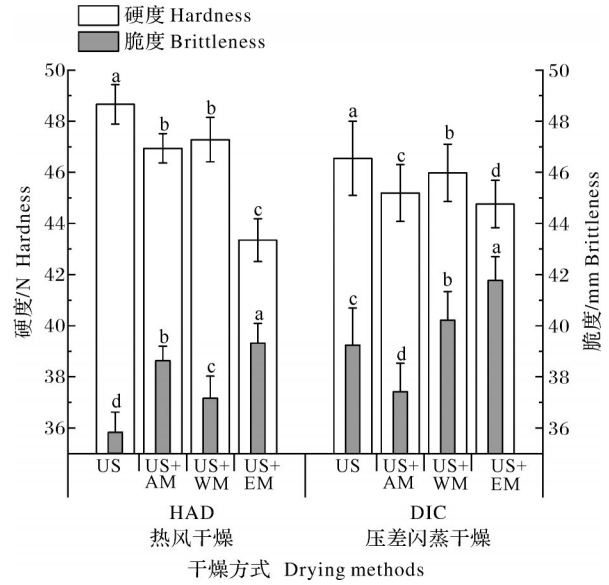
Table 1 Moisture loss rate and solid reduction rate of fresh jujube samples with different pretreatments %

组别 Group	鲜样多水分损失率 Moisture loss rate of fresh samples( $R_{ML}$ )	固形物减少率 Solid reduction rate ( $R_{SR}$ )
US	16.55±1.24d	2.53±0.55c
US+AM	23.15±1.05a	4.42±0.72a
US+WM	22.25±1.13b	4.53±0.44a
US+EM	21.73±1.18c	3.36±0.57b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ ),下同。  
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in different treatments ( $P<0.05$ ), the same as follows.

### 2.2 不同去糖预处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片硬度及脆度的影响

硬度和脆度是反映红枣脆片食用口感的主要参数之一。由图1可知,热风干燥红枣脆片硬度较大,脆性较小,而压差闪蒸干燥红枣脆片硬度较小,脆性相对较好。不同去糖预处理后热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片的硬度与脆度均存在显著差异( $P<0.05$ )。经过超声辅助碱法(US+AM)、超声辅助热水法(US+WM)和超声辅助酶法(US+EM)处理后,热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片硬度均有所降低,超声辅助酶法(US+EM)处理组热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片硬度分别为43.35、44.76 N,显著低于其他处理组( $P<0.05$ );脆度分别为39.32、41.77 N,显著高于其他处理组( $P<0.05$ )。以上结果表明,从质构角度看,超声辅助酶法(US+EM)处理压差闪蒸干燥红枣脆片工艺最佳。



不同小写字母代表不同处理间差异显著( $P<0.05$ ),下同。Different lowercase letters indicate significant differences between different treatments ( $P<0.05$ ), the same as follows.

图1 不同去糖预处理下热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片的硬度及脆度比较

Fig. 1 Comparison of hardness and brittleness of red jujube slices dried by hot air drying and instant controlled pressure drop under different desugaring treatments

### 2.3 不同去糖预处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片色泽的影响

由表2可知,经过不同去糖预处理后的热风干燥红枣脆片 $a^*$ 、 $b^*$ 值与对照组相比显著升高( $P<0.05$ ),总色差 $\Delta E$ 相对于对照组下降,但没有达到显著性差异( $P>0.05$ ),其中超声辅助酶法(US+EM)处理后的总色差 $\Delta E$ 最低,为6.37。不同去糖预处理后的压差闪蒸干燥红枣脆片 $a^*$ 与对照组相比呈现显著或不显著的下降, $b^*$ 值与对照组相比呈现显著或不显著升高,其中超声辅助酶法(US+EM)处理后的压差闪蒸干燥红枣脆片 $a^*$ 值为14.01、 $b^*$ 值为26.65,与对照组相比差异显著( $P<0.05$ ),总色差 $\Delta E$ 为8.05,显著高于其他处理方法( $P<0.05$ )。以上结果表明,超声辅助酶法(US+EM)处理后压差闪蒸干燥红枣脆片对呈色物质破坏较小,能较好地保持原有色泽。

### 2.4 不同去糖预处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片风味的差异性分析

由图2A可知,4种不同去糖预处理下热风干燥红枣脆片甜味、酸味、苦味的响应值变化较大。4种不同去糖预处理下热风干燥红枣脆片的甜度有明显差异( $P<0.05$ ),超声辅助酶法(US+EM)处理后红

表2 不同去糖预处理下热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片的色泽比较  
Table 2 Comparison of color of red jujube slices dried by hot air drying and instant controlled pressure drop under different desugaring treatments

干燥方法 Drying methods	不同处理方式 Different desugaring treatments	亮度值 $L^*$	红绿值 $a^*$	黄蓝值 $b^*$	总色差 $\Delta E$
鲜样 Fresh sample		36.75±2.55b	14.95±3.15d	23.25±4.85d	6.89±1.05c
热风干燥 Hot air drying (HAD)	US	39.55±2.24a	15.53±2.55c	24.53±3.51c	6.55±1.25c
	US+AM	34.35±1.75d	16.42±4.11b	24.68±2.54c	6.43±0.94c
	US+WM	36.25±1.81b	16.53±3.58b	25.29±4.15b	6.72±1.35c
	US+EM	32.65±2.35e	17.59±2.15a	26.18±4.51ab	6.37±1.12c
压差闪蒸干燥 Instant controlled pressure drop(DIC)	US	36.32±2.88b	14.61±4.19d	24.65±4.27c	7.51±1.54b
	US+AM	35.82±2.12bc	14.15±3.54e	24.27±2.65c	7.88±0.65b
	US+WM	36.02±1.15b	14.31±2.25d	23.65±3.45d	7.72±1.11b
	US+EM	35.72±1.31bc	14.01±2.78e	26.65±4.56a	8.05±2.08a

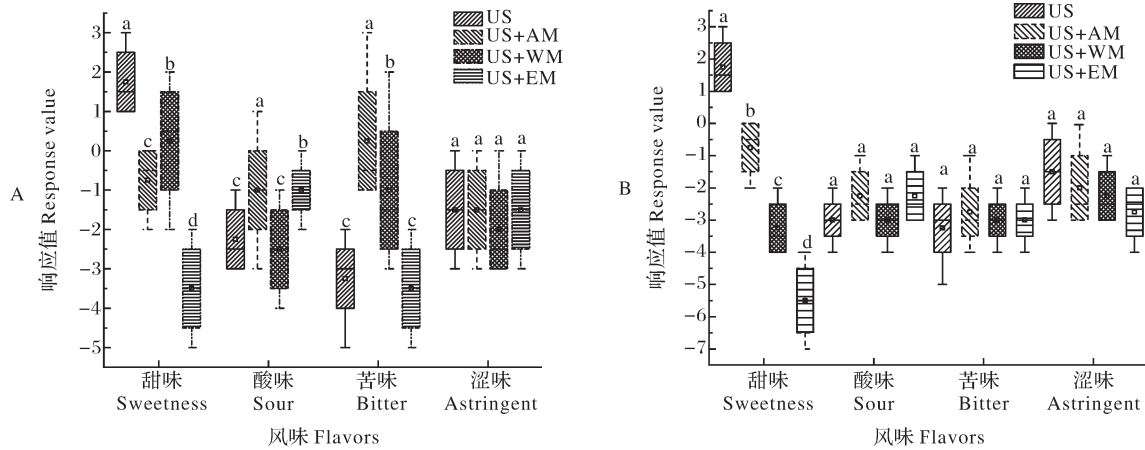


图2 不同去糖预处理下热风干燥(A)及压差闪蒸干燥(B)红枣脆片的风味比较

Fig. 2 Comparison of flavor of red jujube slices dried by hot air drying (A) and instant controlled pressure drop (B) under different desugaring treatments

枣脆片的甜度最低;超声辅助碱法(US+AM)处理后酸味明显高于其他处理组( $P<0.05$ );4种不同去糖预处理下红枣脆片的涩味无显著差异( $P>0.05$ );超声法(US)和超声辅助热水法(US+WM)去糖处理与超声辅助碱法(US+AM)和超声辅助热水法(US+WM)去糖处理后红枣脆片的苦味值具有显著差异( $P<0.05$ )。以上结果表明,US+EM处理后热风干燥红枣脆片去糖去苦效果最明显。

由图2B可知,4种不同去糖预处理压差闪蒸干燥红枣脆片的甜度有显著差异( $P<0.05$ ),超声辅助酶法(US+EM)处理后红枣脆片的甜度明显低于其他压差闪蒸干燥红枣脆片处理组( $P<0.05$ );4种不同去糖预处理后红枣脆片的酸度、苦味、涩味均无显著差异( $P>0.05$ )。以上结果表明,超声辅助酶法(US+EM)处理后压差闪蒸干燥红枣脆片风味

最佳。

### 2.5 不同去糖预处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片多糖含量的影响

由图3可知,经过不同去糖预处理后,热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片多糖均有不同程度的损失,同一去糖处理后的压差闪蒸干燥红枣脆片多糖含量均高于热风干燥的红枣脆片,差异不显著( $P>0.05$ )。4种去糖处理的热风干燥和压差闪蒸干燥红枣脆片的多糖含量显著低于对照组( $P<0.05$ ),其中超声辅助热水法(US+WM)处理组的多糖含量最低,处理效果最明显。以上结果表明,不同去糖预处理热风干燥和压差闪蒸干燥红枣脆片多糖含量差异不明显,超声辅助热水法(US+WM)处理组多糖含量最低,去除多糖效果最佳。

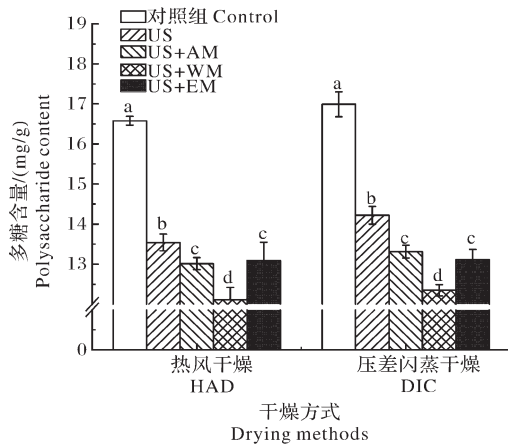


图3 不同去糖预处理下热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片多糖含量

Fig. 3 Polysaccharide content in red jujube slices dried by hot air drying and instant controlled pressure drop under different desugaring treatments

## 2.6 不同去糖预处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片黄酮含量的影响

由图4可知,不同去糖预处理后热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片的黄酮含量与对照组相比均有不同程度的降低。超声辅助热水法(US+WM)和超声辅助酶法(US+EM)处理下热风干燥红枣脆片黄酮含量分别为6.77、6.85 mg/g,显著高于超声(US)和超声辅助碱法(US+AM)处理组( $P < 0.05$ );超声辅助碱法(US+AM)、超声辅助热水法(US+WM)和超声辅助酶法(US+EM)去糖处理下压差闪蒸干燥红枣脆片黄酮含量无明显差异,超声辅助酶法(US+

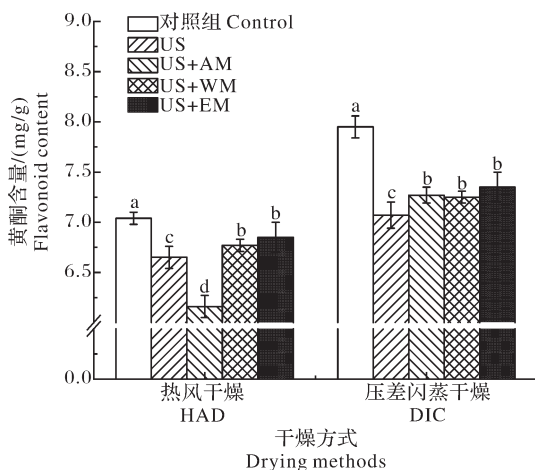


图4 不同去糖预处理下热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片中黄酮含量

Fig. 4 Flavonoids content in red jujube crisp dried by hot air and instant controlled pressure drop under different desugaring treatments

EM)去糖处理黄酮含量略高于其他处理组( $P > 0.05$ )。以上结果表明,超声辅助酶法(US+EM)去糖处理压差闪蒸干燥红枣脆片黄酮保留量高,处理组效果最佳。

## 2.7 不同去糖预处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片VC含量的影响

由图5可知,不同去糖预处理后热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片的VC含量与对照组相比均有不同程度的损失。不同去糖预处理后热风干燥和压差闪蒸干燥红枣脆片VC含量存在显著性差异( $P < 0.05$ ),其中,超声辅助酶法(US+EM)处理后热风干燥和压差闪蒸干燥红枣脆片的VC含量分别为4.46、4.48 mg/g,显著高于其他处理组( $P < 0.05$ )。以上结果表明,不同去糖预处理热风干燥和压差闪蒸干燥红枣脆片VC含量差异不明显,超声辅助酶法(US+EM)去糖处理VC损失最少,效果最佳。

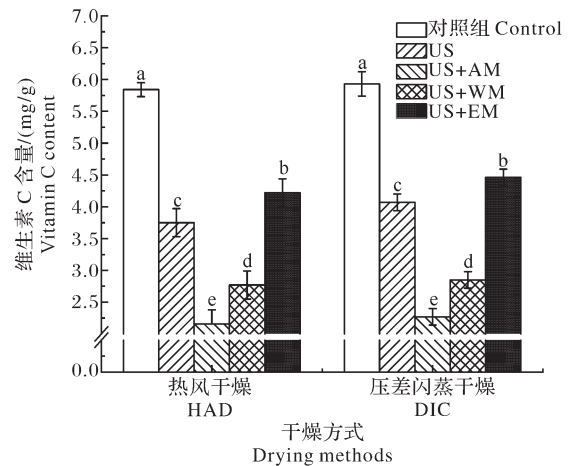


图5 不同去糖预处理下热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片VC含量

Fig. 5 VC content in red jujube crisp dried by hot air and instant controlled pressure drop under different desugaring treatments

## 2.8 不同去糖预处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片抗氧化能力的影响

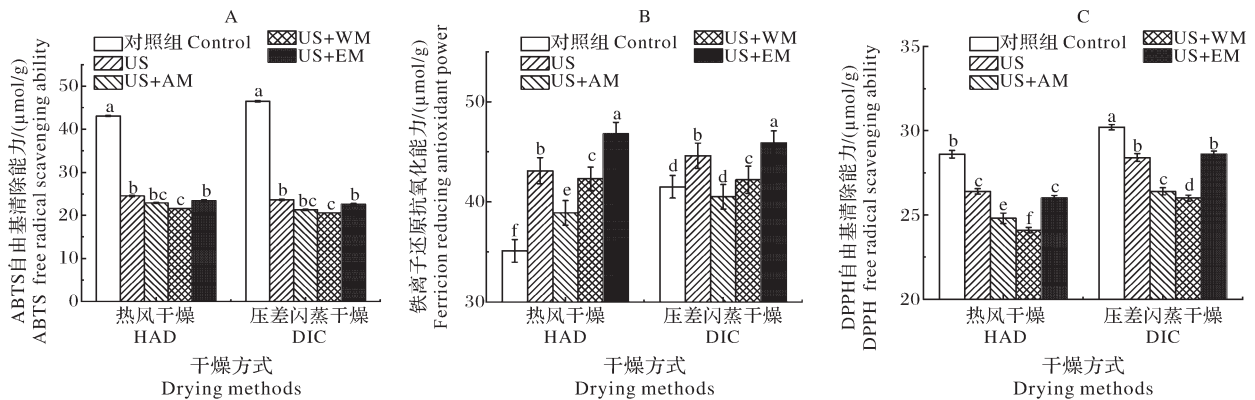
由图6A可知,与对照组相比,4种去糖处理后热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片ABTS自由基清除能力显著下降( $P < 0.05$ ),超声(US)、超声辅助碱法(US+AM)和超声辅助酶法(US+EM)处理组之间无显著差异。

由图6B可知,与对照组相比,4种去糖处理后热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片 $Fe^{2+}$ 还原能力

(FRAP值)显著升高( $P<0.05$ ),超声辅助酶法(US+EM)处理后热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片 $Fe^{2+}$ 还原能力最高。

由图6C可知,与对照组相比,4种去糖处理后热

风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片DPPH自由基清除能力显著下降( $P<0.05$ ),超声辅助酶法(US+EM)处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片DPPH自由基清除能力影响最小。



A: ABTS 自由基清除能力 ABTS free radical scavenging ability; B: 铁离子还原抗氧化能力 Ferric ion reducing antioxidant power; C: DPPH 自由基清除能力 DPPH free radical scavenging ability.

图6 不同去糖预处理下热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片的抗氧化能力

Fig. 6 Antioxidant capacity in red jujube crisp dried by hot air and instant controlled pressure drop under different desugaring treatments

### 3 讨论

理化性质如色泽、硬度和脆度、风味等,是干制脆片的一项重要指标,直接影响产品的感官特性和商品特性。经过不同去糖预处理后的热风干燥红枣脆片 $a^*$ 、 $b^*$ 值升高, $\Delta E$ 值显著降低( $P<0.05$ ),这可能是由于去糖处理后导致红枣脆片细胞结构的破坏,从而造成原有色泽的减少<sup>[17]</sup>。经过不同去糖预处理后的压差闪蒸干燥红枣脆片 $\Delta E$ 值显著高于对照组( $P<0.05$ ),这主要与处理后红枣脆片 $L^*$ 、 $b^*$ 值变化有关。但与热风干燥不同,压差闪蒸干燥红枣脆片经预处理后 $\Delta E$ 值的增加主要表现为亮度下降,色泽发白,红色变浅<sup>[18]</sup>。

经过不同去糖预处理对后,热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片硬度均有所降低,这主要是由于经辅助处理后,多糖含量逐渐减少,造成孔隙度增加、组织结构变软,降低了产品的硬度,提高了产品的脆度。各营养物质在不同去糖预处理热风干燥和压差闪蒸干燥过程中均有较大的差异,虽然超声辅助热水法(US+WM)处理组多糖含量最低,去除多糖效果最佳,但超声辅助酶法(US+EM)去糖处理压差闪蒸干燥处理组黄酮含量、VC含量最高,营养成分损失均较低,ABTS自由基清除能力和DPPH自由

基清除能力均下降最少,表明超声辅助酶法(US+EM)处理红枣脆片理化指标最佳,最大程度地保留了红枣脆片的品质。

本研究分析了不同预处理对热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片感官品质和营养品质的影响,明确了超声辅助去糖处理可以作为热风干燥及压差闪蒸干燥红枣脆片的有效预处理手段,提高红枣脆片综合品质。但红枣脆片在干燥去糖处理过程中仍然会造成一定的营养物质的损失,后续需进一步研究2种干燥方式(热风干燥及压差闪蒸干燥)下红枣脆片不同处理阶段营养成分的变化及其与质构形成的关系,最大保留VC、黄酮等营养成分。

### 参考文献 References

- ZANG Y Z, YAO X D, CAO Y X, et al. Real-time detection system for moisture content and color change in jujube slices during drying process [J/OL]. Journal of food processing and preservation, 2021, 45(6): e15539 [2023-09-25]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15539>.
- 刘战霞, 贾文婷, 杨慧, 等. 红枣脆片加工技术研究现状及展望[J]. 食品工业, 2021, 42(12): 388-392. LIU Z X, JIA W T, YANG H, et al. Research progress and prospect of processing technology of jujube slices [J]. The food industry, 2021, 42(12): 388-392 (in Chinese with English abstract).

- [3] SONG J X, BI J F, CHEN Q Q, et al. Assessment of sugar content, fatty acids, free amino acids, and volatile profiles in jujube fruits at different ripening stages [J]. *Food chemistry*, 2019, 270: 344-352.
- [4] 钱婧雅, 张茜, 王军, 等. 三种干燥技术对红枣脆片干燥特性和品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(17): 259-265. QIAN J Y, ZHANG Q, WANG J, et al. Effects of three drying technologies on drying characteristics and quality attributes of jujube crisps [J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(17): 259-265 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘德成, 郑霞, 肖红伟, 等. 红枣片冷冻-红外分段组合干燥工艺优化[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(17): 293-302. LIU D C, ZHENG X, XIAO H W, et al. Optimization of sequential freeze-infrared drying process of jujube slices [J]. *Transactions of the CSAE*, 2021, 37(17): 293-302 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李琼, 孟伊娜, 陈恺, 等. 红枣片热风干燥动力学研究[J]. *食品工业*, 2016, 37(3): 77-80. LI Q, MENG Y N, CHEN K, et al. Study on the hot-air drying dynamics of red jujube slices [J]. *The food industry*, 2016, 37(3): 77-80 (in Chinese with English abstract).
- [7] 于宛加, 金鑫, 胡丽娜, 等. 预干燥过程水分分布对热风-真空冷冻干燥桃脆片微观结构与质构的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(15): 69-79. YU W J, JIN X, HU L N, et al. Effect of water distribution during pre-drying on the microstructure and texture properties of peach crisps produced by hot air-vacuum freeze drying [J]. *Food science*, 2023, 44(15): 69-79 (in Chinese with English abstract).
- [8] 侯皓男, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 压差闪蒸干燥改善红枣脆片理化及营养品质的研究[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(11): 161-169. HOU H N, BI J F, CHEN Q Q, et al. Improvement of physicochemical and nutritional quality of red jujube chips by instant controlled pressure drop [J]. *Modern food science and technology*, 2019, 35(11): 161-169 (in Chinese with English abstract).
- [9] 高琨. 压差闪蒸干燥苹果脆片褐变机理研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017. GAO K. Research on mechanism of browning reactions in apple slices dried by instant controlled pressure drop drying (DIC) [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [10] JI X L, HOU C Y, YAN Y Z, et al. Comparison of structural characterization and antioxidant activity of polysaccharides from jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit [J]. *International journal of biological macromolecules*, 2020, 149: 1008-1018.
- [11] BAO T, HAO X, SHISHIR M R I, et al. Cold plasma: an emerging pretreatment technology for the drying of jujube slices [J/OL]. *Food chemistry*, 2021, 337: 127783 [2023-09-25]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127783>.
- [12] 刘战霞, 吴洪斌, 党富民, 等. 一种新型红枣脆片去糖装置: CN219020169U [P]. 2023-05-16. LIU Z X, WU H B, DANG F M, et al. A new type of sugar removal device for red jujube slices: CN219020169U [P]. 2023-05-16.
- [13] 宋悦, 金鑫, 毕金峰, 等. 超声辅助渗透处理对热风干燥及真空冷冻干燥黄桃片品质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(15): 177-185. SONG Y, JIN X, BI J F, et al. Effect of ultrasonic-assisted osmotic dehydration on the quality characteristics of hot air dried and vacuum freeze dried yellow peach chips [J]. *Food science*, 2020, 41(15): 177-185 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王雪媛, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 热风-脉动压差闪蒸干燥对苹果片水分及微观结构的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(20): 287-293. WANG X Y, CHEN Q Q, BI J F, et al. Effect of hot air-pulsed sudden decompression flashing drying on moisture and microstructure in apple slices [J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(20): 287-293 (in Chinese with English abstract).
- [15] 杜茜茜, 易建勇, 毕金峰, 等. 细胞壁多糖对真空冷冻干燥再造型苹果脆片质构的影响[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(1): 144-154. DU Q Q, YI J Y, BI J F, et al. Effects of cell wall polysaccharides on the texture of vacuum freeze-dried restructured apple chips [J]. *Journal of Chinese institute of food science and technology*, 2022, 22(1): 144-154 (in Chinese with English abstract).
- [16] HOU H N, CHEN Q Q, BI J F, et al. Glass transition and crystallization of solid model system of jujube slice as influenced by sugars and organic acids [J/OL]. *Food chemistry*, 2021, 359: 129935 [2023-09-25]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129935>.
- [17] CHAKRABORTY S, BHATTACHARJEE P. Ultrasonication-assisted extraction of a phyto-melatonin-rich, erucic acid-lean nutraceutical supplement from mustard seeds: an antioxidant synergy in the extract by reductionism [J]. *Journal of food science and technology*, 2020, 57(4): 1278-1289.
- [18] WANG X Y, GAO Y N, ZHAO Y T, et al. Effect of different drying methods on the quality and microstructure of fresh jujube crisp slices [J/OL]. *Journal of food processing and preservation*, 2021, 45(2): e15162 [2023-09-25]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15162>.

## Effects of ultrasound-assisted desugaring on quality of red jujube crisps dried with hot air drying and instant controlled pressure drop

LIU Zhanxia<sup>1</sup>, DAI Wenting<sup>2</sup>, WU Hongbin<sup>1</sup>, YANG Hui<sup>1</sup>

1. *Institute of Agricultural Products Processing/Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi 832000, China;*

2. *Institute of Processing & Design of Agriproducts, Hainan Academy of Agricultural Science, Haikou 570100, China*

**Abstract** Four different pre-treatment methods including ultrasound (US), ultrasound assisted enzymatic method (US+EM), ultrasound assisted alkaline method (US+AM), and ultrasound assisted hot-water method (US+WM) were used to study the effects of different desugaring pretreatment on the quality of red jujube crisps dried with hot air drying and instant controlled pressure drop. The color, texture, taste, and the content of main nutrients in the dried red jujube crisps were analyzed. The results showed that different ultrasound assisted desugaring pretreatment had a significant impact on the quality of red jujube crisps dried with hot air drying and instant controlled pressure drop. Compared with different desugaring pretreatment, the solid reduction rate of fresh jujube samples treated with US and US+EM was 2.53% and 3.36%, significantly lower than that with US+AM and US+WM. The content of polysaccharide in US+WM was the lowest with the best effect of desugaring, followed by US+EM treatment with hot air drying and instant controlled pressure drop of red jujube crisps. The US+EM with instant controlled pressure drop of red jujube crisps resulted in a high retention rate of flavonoid and the smallest loss of VC content. The results of electronic tongue showed that the taste of red jujube crisps pretreated with US+EM and dried with instant controlled pressure drop was best. It is indicated that ultrasound assisted enzymatic (US+EM) treatment reduces the content of sugar while retain the flavor and nutrients of red jujube crisps to the greatest extent.

**Keywords** red jujube crisp; hot air drying; instant controlled pressure drop; ultrasound-assisted enzyme method; desugaring treatment

(责任编辑:葛晓霞)