

不同预处理方式对红枣热风-微波联合干燥品质特性及抗氧化活性的影响

刘启玲¹, 王庆卫¹, 崔胜文²

(1. 郑州工业应用技术学院, 河南 新郑 451100; 2. 漯河食品职业学院, 河南 漯河 462300)

摘要:为提高干燥红枣品质,将4种不同预处理技术(超声波、热水、碱性油酸乙酯乳液、冷冻)应用于红枣干燥前处理,运用热风-微波联合干燥技术干燥红枣,探究不同处理方式下红枣的酚类物质、可溶性糖、有机酸、三萜酸、维生素C、总酚、总黄酮的含量,并比较其抗氧化能力。结果表明:4种不同预处理组红枣鉴定出8种酚类物质、4种可溶性糖、4种有机酸、4种三萜类物质,其中儿茶素、绿原酸为主要的酚类物质,蔗糖为主要的可溶性糖,柠檬酸、琥珀酸、富马酸为主要的有机酸,白桦脂酸、熊果酸为主要的三萜酸。经超声预处理后热风-微波联合干燥的红枣较其它处理组红枣,主要的酚类物质、可溶性糖、有机酸、三萜酸、维生素C、总酚、总黄酮含量较高且抗氧化活性较强,表明超声处理是一种优良的红枣干燥前处理方法。

关键词:红枣;预处理;热风-微波联合干燥;品质特性;抗氧化能力

Effects of Different Pretreatment Methods on Quality Characteristics and Antioxidant Activity of Jujube Drying by Combined Hot-air-microwave Drying

LIU Qi-ling¹, WANG Qing-wei¹, CUI Sheng-wen²

(1. Zhengzhou University of Industry Technology, Xinzheng 451100, Henan, China; 2. Luohe Vocational College of Food, Luohe 462300, Henan, China)

Abstract: In order to improve the quality of dried jujube, four different pretreatment technologies (ultrasonic, hot water, alkaline ethyl oleate emulsion and freezing) were applied to the pretreatment of jujube drying. The hot-air-microwave combined drying technology was used to dry the jujube to explore different treatment methods. The contents of phenols, soluble sugars, organic acids, triterpene acids, vitamin C, total phenols and total flavones in jujube were compared, and their antioxidant capacity was compared. The results showed that eight phenolic compounds, four soluble sugars, four organic acids and four triterpenoids were identified in four different pretreatment groups. Catechin and chlorogenic acid were the main phenolic substances, sucrose was the main soluble sugar, citric acid, succinic acid and fumaric acid were the main organic acids, betulinic acid and ursolic acid were the main triterpenoid. Compared with other treatment groups, the jujube dried with hot-air-microwave drying after pretreatment with ultrasound had higher contents of major phenols, soluble sugars, organic acids and triterpenoids. Vitamin C, total phenols and total flavonoids were higher and resistant to the strong oxidative activity indicated that ultrasonic treatment was an excellent pre-drying method for jujube.

Key words: *Ziziphus jujuba* Mill; pretreatments; hot-air-microwave drying; quality characteristics; antioxidant activity

引文格式:

刘启玲,王庆卫,崔胜文. 不同预处理方式对红枣热风-微波联合干燥品质特性及抗氧化活性的影响[J]. 食品研究与开

发,2020,41(24):124-130

LIU Qiling, WANG Qingwei, CUI Shengwen. Effects of Different Pretreatment Methods on Quality Characteristics and Antioxidant Activity of Jujube Drying by Combined Hot-air-microwave Drying [J]. Food Research and Development, 2020, 41 (24): 124-130

红枣(*Ziziphus jujuba* Mill)是鼠李科枣属植物枣树的成熟果实,具有悠久的栽培历史。红枣资源丰富,栽培面积与产量均居世界之首^[1]。红枣营养含量丰富,食用价值与药用价值较高^[2],鲜枣果除少量用以鲜食外,绝大部分用以干制,以克服储藏期短,容易腐烂等缺点,干制是红枣加工的基础技术,红枣中富含多酚、可溶性糖、有机酸等营养物质,干燥过程相关成分易损失而影响品质^[3]。目前工业生产中红枣干制主要运用三段式热风干燥技术,但存在耗能较高,干燥效率较低,品质不佳等问题^[4]。

近年来新型干燥技术发展迅速,微波干燥技术受到广泛关注^[5-6],红枣经微波干燥后,枣果温度升高较快容易引起品质劣变^[7],有研究表明将传统热风与微波联合干燥运用到红枣干制中,其枣果的干燥品质较好^[8-9],Fang Shuzeng 等^[10]运用微波热风的组合干燥方式干制红枣,其品质较热风干燥明显提高,品质优于热风干燥产品。

有研究表明,红枣经预处理后干燥效率明显提高^[11],干燥品质显著改善^[12],但将不同预处理方式应用到红枣微波热风联合干燥中探究其干燥过程相关品质的变化研究较少。本研究将超声波、热水、碱性油酸乙酯乳液、冷冻4种预处理方式应用到微波-热风联合干燥中,比较不同预处理方式下干燥红枣的酚类物质、可溶性糖、有机酸、三萜酸、维生素C、总酚、总黄酮含量及抗氧化能力,以期为提高红枣的干燥品质提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

山西板枣(初始干基含水率224.32%):采自山西稷县,挑选均匀坚硬果实作为干燥用果,采摘后及时运回实验室,及时预冷储存于低温冰箱中备用[温度(0±1)℃,相对湿度90%]。

甲醇、磷酸、油酸乙酯、碳酸钾、没食子酸、槲皮素、维生素C:国药集团化学试剂有限公司;儿茶素、表儿茶素、丁香酸、咖啡酸、阿魏酸、绿原酸、对香豆酸、芦丁:上海源叶生物科技有限公司;白桦脂酸、熊果酸、齐墩果酸、山楂酸、苹果酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸、环磷

酸腺苷(levetiracetam,cAMP)标准品:上海博蕴生物科技有限公司;DPPH试剂、Trolox、福林酚试剂:Sigma公司。以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

SB-500DTY型超声波扫频清洗机:宁波新芝生物科技股份有限公司;HH-S6双列六孔型电热水浴锅:北京科伟有限公司;DHG-9070A型电热恒温鼓风干燥箱:上海精宏实验设备有限公司;NJ07-3型微波设备:南京杰全微波设备有限公司;ALC-210.3型电子分析天平:赛多利斯艾科勒公司;UV-mini1240型紫外-可见分光光度计、LC-2010AHT型液相色谱仪:日本岛津公司。

1.3 方 法

1.3.1 预处理条件

从低温冰箱中取出红枣,挑选均匀果实洗净并擦干,每个预处理组选取2000g枣果备用,超声处理条件参考陈文敏等^[13]的方法:超声频率40kHz、超声时间40min、功率350W;热水处理条件参考Ade Omowaye等^[14]的方法:沸水浸泡90s;碱性油酸乙酯乳液处理组条件参考Zhu Baomeng等^[11]的方法:2%的油酸乙酯与5%的碳酸钾溶液混合处理10min。冷冻处理组参考罗东升等^[12]的方法:将红枣果放置于-18℃冰箱中预冻12h,后解冻至室温(25℃),各预处理条件处理后充分洗净并擦干,以待后续干燥试验,各预处理条件皆为文献报道的最佳预处理条件。

1.3.2 干燥条件

参照罗东升等^[12]方法,设置干燥试验条件为微波功率60W,热风温度45℃,第一段间歇比为4(5s/15s)、水分转换点为1g/g、第二段间歇比为6(5s/25s)。将红枣干燥至水分比MR=0.3左右^[11]。

1.3.3 酚类含量测定

红枣中总酚、总黄酮的提取及测定参考文献[15]的方法处理,以没食子酸与槲皮素为标准品,将红枣提取物稀释至合适倍数后进行测定。

单体酚含量的测定:利用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography,HPLC)测定红枣中酚类物质的含量,单体酚类物质的提取方法与总酚提取方法一致,色谱条件参考文献[16]并略有改动,色谱

柱:Symmetry C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 3 μm),流动相为 A: 乙腈, B: pH 2.5 的甲酸水溶液, A : B=90 : 10, 流速为 0.8 mL/min, 温度: 30 ℃, 检测波长: 285 nm, 进样量: 10 μL。

1.3.4 可溶性糖含量测定

1)可溶性糖的提取:取去核枣果 8 g 研磨匀浆,加入 50 mL 蒸馏水超声辅助提取 30 min, 后用低温离心机于 9 000 r/min 下离心 10 min 取上清液,滤渣重复提取 3 次合并上清液,过 0.45 μm 的水系滤膜后待测。

2)可溶性糖含量的测定:利用高效液相色谱法(HPLC)测定红枣中可溶性糖含量^[17]。

1.3.5 有机酸含量测定

准确称取枣果果肉 2.5 g,充分研磨后将其置于三角瓶中加入 100 mL 蒸馏水,超声辅助提取 30 min,使用 6 000 r/min 的低温离心机离心 15 min,收集离心后的上清液,提取步骤重复 3 次,最后合并上清液将其旋蒸至干,最后蒸馏水定容至 15 mL,过 0.45 μm 滤膜,采用高效液相色谱法测定有机酸含量。

色谱柱:Symmetry C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 3 μm);流动相为 A: 甲醇, B: pH 2.6 的磷酸二氢钾溶液, A : B=97 : 3, 流速为 0.5 mL/min, 温度: 30 ℃, 进样量: 20 μL。

1.3.6 三萜酸含量测定

1)三萜酸的提取:准确称取 1 g 枣果果肉,研磨后加入 30 mL 85%的乙醇溶液中,超声辅助提取 45 min 后以 5 000 r/min 离心 20 min,取上清液,提取步骤重复 3 次,合并上清液后旋转蒸发至干,后用超纯水定容至 25 mL,过 0.45 μm 滤膜。

2)总三萜含量的测定:参考文献[18]并略有改动。

三萜酸单体含量利用高效液相色谱法(HPLC)定量分析,色谱柱:Symmetry C18 色谱柱(4.6 mm ×250 mm× 5 μm);流动相为 A: 甲醇, B: pH 3.0 的磷酸水溶液, A : B=90 : 10, 流速为 0.6 mL/min, 温度: 25 ℃, 检测波长: 210 nm, 进样量: 5 μL。

1.3.7 维生素 C 测定

依据 GB 5009.86-2016 《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》2,6-二氯酚酚滴定法测定维生素 C 含量。

1.3.8 抗氧化能力测定

取 5 g 枣果果肉,研磨后用 20 mL 80%甲醇溶液超声辅助提取 30 min,5 000 r/min 离心 20 min 收集上清液,重复提取 3 次,合并上清液并用 80%甲醇定容至 100 mL,用于抗氧化能力测定。

红枣枣果抗氧化能力的测定采用自由基清除法(DPPH)及铁离子还原法(ferric-reducing/antioxidant powe, FRAP),具体方法参考文献[19],DPPH 自由基清除能力测定使用 Trolox 作为标准对照品,结果以 mmol TE/LDW 表示,FRAP 铁还原能力的测定使用维生素 C 作为标准对照品,结果以 mgAAE/100 gDW 表示。

1.4 数据分析

每组试验重复 3 次,利用 Minitab 16.2.3 软件进行统计处理,利用邓肯检验分析进行差异显著性分析,数据均以 $\bar{x} \pm s$ 表示, $p < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同处理条件下酚类物质含量

不同预处理条件下干燥枣果的酚类物质含量如表 1 所示。

表 1 不同预处理条件下干燥枣果的酚类物质含量比较

Table 1 Comparison of phenolics in dried jujube fruit under different pretreatment conditions

处理组	儿茶素	表儿茶素	丁香酸	阿魏酸	绿原酸	对香豆酸	咖啡酸	芦丁
鲜枣	45.5±1.2 ^a	12.9±1.1 ^a	9.8±1.4 ^a	18.8±2.1 ^a	44.5±2.3 ^a	8.2±0.6 ^a	6.7±0.2 ^a	10.9±0.8 ^a
未处理	28.8±0.7 ^c	5.8±0.9 ^d	6.8±1.3 ^b	11.5±1.2 ^c	27.3±1.4 ^d	5.8±0.7 ^b	4.8±0.2 ^c	5.6±1.1 ^c
超声处理	37.2±0.4 ^b	10.5±0.5 ^b	7.5±1.7 ^b	14.8±0.8 ^b	38.2±0.9 ^b	6.3±0.4 ^b	5.5±0.3 ^b	7.5±0.3 ^c
热水处理	21.1±0.5 ^d	8.5±0.2 ^c	7.4±0.9 ^b	8.6±0.8 ^d	35.2±1.4 ^c	5.5±0.7 ^b	5.6±0.7 ^b	8.5±0.5 ^b
碱性油酸乙酯处理	18.1±0.2 ^e	9.7±0.4 ^b	3.4±0.3 ^e	7.3±1.8 ^d	22.6±0.4 ^e	4.1±0.5 ^e	5.8±0.7 ^b	6.8±0.3 ^d
冷冻处理	30.3±0.7 ^c	10.2±0.8 ^b	8.1±1.1 ^b	12.4±1.2 ^c	26.1±0.5 ^d	5.6±0.9 ^b	4.5±0.4 ^c	7.5±0.2 ^c

注:同列肩标不同小写字母间有显著性差异($p < 0.05$)。

红枣中酚类物质含量丰富,极富生物活性,对其营养价值和保健功能具有重要意义^[20],由表 1 可知:8 种单体酚类中,儿茶素、绿原酸含量较高,为主要的酚类物质。无论是经过预处理还是未处理红枣干燥后主要酚类物质含量显著低于鲜枣,红枣经超声波处理后干燥儿茶素、绿原酸含量较高(儿茶素含量为

37.2 mg/100 gDW, 绿原酸含量为 38.2 mg/100 gDW), 主要原因为超声处理使果皮蜡质层产生了裂缝,水分更易从内部扩散出来,减少了干燥时间,酚类物质与氧气接触时间较短,保留率较高^[13],红枣经碱性油酸乙酯处理后干燥两种主要的酚类物质含量最低(儿茶素含量为 18.1 mg/100 gDW, 绿原酸含量为 22.6 mg/

100 gDW),这可能是由于碱性油酸乙酯的作用使红枣果皮蜡质结构破坏最为严重,酚类物质与氧气大量接触降解速度变快^[12],目前未有相关研究报道超声处理与碱性油酸乙酯处理红枣干燥后其主要酚类物质含量不同的原因,推测其可能的原因为碱性有机试剂处理枣果其果皮蜡质层结构破坏严重,红枣中酚类物质溶解破坏较为严重,而超声处理较碱性油酸乙酯处理酚类物质保留率较高的原因可能为果皮蜡质层结构破坏相对较轻,其酚类物质溶解破坏较少,两者都能显著提高干燥效率减少干燥时间,两者酚类物质保留率较高。红枣果经冷冻处理后丁香酸含量最高(8.1 mg/100 gDW),热水处理后枣果的芦丁含量最高(8.5 mg/100 gDW),这可能是由于特殊处理过程促进了其它酚类物质的转化。

2.2 不同预处理对红枣可溶性糖含量的影响

不同预处理条件下干燥枣果的可溶性糖含量如表2所示。

表2 不同预处理条件下干燥枣果的可溶性糖含量比较

Table 2 Comparison of soluble sugar in dried jujube fruit under different pretreatment conditions

处理组	mg/100 gDW			
	果糖	蔗糖	葡萄糖	山梨醇
鲜枣	258.5±24.2 ^a	1 432.9±55.1 ^a	152.8±12.4 ^a	38.9±2.8 ^a
未处理	132.3±9.7 ^{cd}	724.6±41.9 ^e	98.8±7.3 ^d	16.6±2.1 ^e
超声处理	216.3±24.4 ^b	1 125.5±42.2 ^b	128.5±9.7 ^b	28.5±3.2 ^c
热水处理	118.1±8.2 ^d	1 108.7±35.4 ^b	77.4±8.3 ^e	20.3±2.2 ^d
碱性油酸乙酯处理	156.1±11.5 ^c	945.5±47.1 ^d	113.4±8.9 ^{bc}	18.5±1.5 ^{bc}
冷冻处理	175.3±10.7 ^c	1 008.9±25.8 ^c	103.1±7.1 ^c	32.5±1.6 ^b

注:同列肩标不同小写字母间有显著性差异($p<0.05$)。

由表2可知,蔗糖、果糖、葡萄糖为红枣中最主要的可溶性糖,其中蔗糖在鲜枣中含量最高达到了1 432.9 mg/100 gDW,未经任何处理干燥的红枣可溶性糖含量显著低于各处理组红枣,主要原因为未处理组红枣干燥时间较长,美拉德反应、焦糖化反应严重造成大量可溶性糖损失^[21],超声处理与热水处理后干燥的红枣蔗糖含量最高(超声处理为1 125.5 mg/100 gDW,热水处理为1 108 mg/100 gDW),碱性油酸乙酯处理后干燥红枣的蔗糖含量较低(945.5 mg/100 gDW),此外冷冻处理组红枣经干燥后具有较高的山梨醇含量,这可能的原因为冷冻处理冰晶破坏了红枣细胞结构,干燥过程促进了山梨醇的释放。

2.3 不同预处理对红枣有机酸含量的影响

不同预处理条件下干燥枣果的有机酸含量如表3所示。

表3 不同预处理条件下干燥枣果的有机酸含量比较

Table 3 Comparison of ascorbic acid content in dried jujube fruit under different pretreatment conditions

处理组	mg/100 gDW			
	柠檬酸	苹果酸	琥珀酸	富马酸
鲜枣	53.5±2.2 ^a	5.9±0.2 ^a	34.8±1.4 ^a	31.9±2.8 ^a
未处理	32.3±1.7 ^d	3.6±0.3 ^e	18.8±0.3 ^e	16.6±0.5 ^e
超声处理	46.3±2.4 ^b	5.5±0.2 ^a	30.5±1.7 ^b	23.5±0.2 ^b
热水处理	38.1±2.2 ^c	5.7±0.4 ^a	22.4±1.3 ^d	20.3±0.8 ^c
碱性油酸乙酯处理	34.1±2.5 ^c	4.5±0.2 ^b	30.4±1.1 ^b	18.5±0.5 ^d
冷冻处理	36.3±2.7 ^c	4.9±0.3 ^b	25.1±1.1 ^c	19.5±0.6 ^{cd}

注:同列肩标不同小写字母间有显著性差异($p<0.05$)。

有机酸是枣果中的重要风味营养物质,可以促进消化系统蠕动,改善食欲,探究枣果中有机酸在加工过程中的变化,筛选最佳工艺使其具有更高的保留率对于红枣干燥加工具有重要意义。由表3可知柠檬酸、琥珀酸、富马酸为红枣中主要的有机酸,这与Gao等^[21]的研究结果不同,主要原因为品种差异性较大,其中鲜枣中柠檬酸含量最高(53.5 mg/100 gDW),苹果酸含量最低(5.9 mg/100 gDW)。红枣在未经预处理后干燥其主要的有机酸含量显著降低。超声处理组与未处理组相比主要有有机酸含量显著提高(柠檬酸含量提高了43.3%,琥珀酸含量提高了62.2%,富马酸含量提高了41.6%),超声预处理后干燥红枣与其它处理组干燥红枣相比有机酸含量较高,红枣经热水处理、冷冻处理、碱性油酸乙酯处理后干燥其柠檬酸含量变化不明显,枣果经热水处理干燥其琥珀酸含量较其它处理组最低(22.4 mg/100 gDW)。

2.4 不同预处理对红枣三萜酸含量的影响

红枣中4种三萜酸在干燥加工过程含量变化如表4所示。

表4 不同预处理条件下干燥枣果的三萜酸含量比较

Table 4 Comparison of triterpenic acids content in dried jujube fruit under different pretreatment conditions

处理组	mg/100 gDW			
	白桦脂酸	熊果酸	齐墩果酸	山楂酸
鲜枣	58.5±3.2 ^c	45.9±2.2 ^c	24.8±1.4 ^d	8.9±0.8 ^d
未处理	67.3±3.7 ^b	55.6±3.3 ^b	28.8±2.3 ^{bc}	12.6±0.5 ^b
超声处理	76.3±2.4 ^a	69.7±2.2 ^a	38.5±1.7 ^a	18.5±0.9 ^a
热水处理	59.1±1.2 ^c	47.6±2.4 ^c	26.4±1.3 ^c	9.3±0.8 ^d
碱性油酸乙酯处理	65.1±3.5 ^b	59.5±2.2 ^b	26.4±1.1 ^c	11.5±0.5 ^c
冷冻处理	67.9±5.7 ^b	57.9±1.3 ^b	29.1±1.3 ^b	19.6±0.8 ^a

注:同列肩标不同小写字母间有显著性差异($p<0.05$)。

由表4可知,红枣中的白桦脂酸、熊果酸、齐墩果酸含量较高,为红枣中主要的三萜酸,在鲜枣中白桦脂酸含量最高为58.5 mg/100gDW,此外还检测出了较

少含量的山楂酸(8.9 mg/100 gDW),红枣未处理干燥后三萜酸含量显著提高,主要因为红枣经较高温度干燥时与其它物质结合三萜酸在酶的作用下解离^[2],红枣经超声预处理后较未处理组红枣三萜酸含量显著提高(白桦脂酸提高了13.4%,熊果酸提高了25.4%,齐墩果酸提高了33.7%,山楂酸提高了46.8%)且超声处理组红枣各三萜酸含量显著高于其它处理组红枣,原因可能为超声处理促进了与其它物质结合三萜酸的解离,增加了其含量,红枣经热水预处理后干燥其各三萜酸含量较低,甚至低于未处理组红枣,原因可能为较高温度破坏了相关酶的结构使其失活,且三萜类物质较易溶解于热水,易使其干燥后含

量较低。结合态的三萜酸无法在酶的作用下大量解离,红枣经碱性油酸乙酯与冷冻处理后其白桦脂酸与熊果酸含量变化不显著,红枣经超声、冷冻处理后干燥山楂酸含量较高(超声处理组为18.5 mg/100gDW,冷冻处理组为19.6 mg/100gDW)但两者差异不显著($p>0.05$)。

2.5 V_C、总酚、总黄酮含量及抗氧化活性测定

水果干燥加工过程中维生素C的保留率是评价加工手段的重要指标,维生素C对温度较为敏感,较高的温度下干燥易造成其大量损失,影响水果品质^[23],不同预处理条件下干燥后红枣的营养成分及抗氧化活性变化如表5所示。

表5 不同干燥条件下红枣的营养成分及抗氧化活性

Table 5 Nutrient composition and antioxidant activity of jujube at different drying conditions

处理组	维生素 C/ (mg/100 gDW)	总酚/ (mg/100 gDW)	总黄酮/ (mg/100 gDW)	DPPH 自由基清除能力/ (mmol TE/L DW)	FRAP/ (mg AAE/100 gDW)
鲜枣	855.5±11.2 ^a	1556.7±21.3 ^a	658.6±10.8 ^a	0.95±0.03 ^a	985.6±20.3 ^a
未处理	242.1±8.7 ^d	889.8±11.2 ^d	457.4±11.9 ^d	0.54±0.02 ^d	614.2±17.5 ^c
超声处理	449.2±19.4 ^b	1282.6±19.8 ^b	586.3±10.7 ^b	0.86±0.02 ^b	779.8±18.5 ^b
热水处理	58.4±4.5 ^e	1212.5±20.4 ^e	526.5±12.2 ^c	0.25±0.02 ^e	388.4±12.2 ^d
碱性油酸乙酯处理	358.3±6.1 ^c	817.5±26.4 ^e	439.5±18.2 ^e	0.59±0.01 ^c	638.4±22.2 ^c
冷冻处理	367.7±15.7 ^c	830.8±20.3 ^e	451.5±19.5 ^d	0.61±0.02 ^c	602.5±18.6 ^c

注:同列肩标小写字母不同表示差异显著($p<0.05$)。

由表5可知,鲜枣果未经处理后干燥其维生素C含量显著降低,干燥后枣果维生素C保留率仅为鲜果的28.3%,红枣经超声预处理后干燥维生素C的含量最高(449.2 mg/100 gDW),与未处理对照组相比提高了85.5%,原因可能为经超声处理后红枣干燥效率提高,缩短了与氧气的接触时间,维生素C得以较好地保留;经热水处理后干燥红枣的维生素C含量最低(58.4 mg/100 gDW),主要因为维生素C对温度较为敏感,高温处理能破坏维生素C结构使其降解;红枣经油酸乙酯或冷冻处理后干燥其维生素C含量变化不显著。综上分析超声处理是保留红枣维生素C较好的干燥前处理方式。

红枣中富含酚类物质,其酚类物质含量也是评价枣果质量的一个重要因素。鲜枣不经任何预处理后干燥其总酚含量显著降低(总酚含量降低了42.8%,总黄酮含量降低了30.5%),枣果经超声处理后总酚、总黄酮含量较其它处理组高(总酚含量为1282.6 mg/100 gDW,总黄酮含量为586.3 mg/100 gDW),这也与主要的单体酚类物质的变化情况一致,在经热水处理后干燥枣果的总酚、总黄酮含量仅次于超声处理组红枣,主要原因可能为热水处理下高温破坏了酚类氧化酶的活性,

使酚类物质较好保留;碱性油酸乙酯处理与冷冻处理组红枣干燥后总酚含量无显著性差异。因此超声处理相较于其他处理更有助于酚类物质的保留,主要因为超声处理显著缩短了干燥时间,酚类与氧化酶及氧气的接触时间较短,总酚、总黄酮保留率较高^[24]。

不同预处理后干燥枣果皆显示出较高的DPPH自由基清除能力,鲜枣具有最高的DPPH自由基清除能力(0.95 mmol TE/L DW),经超声处理后枣果的DPPH自由基清除能力(0.86 mmol TE/L DW)仅次于鲜枣,显著高于其它处理组,这也与总酚、维生素C含量变化一致,经热水处理后枣果的DPPH自由基清除能力(0.25 mmol TE/L DW)最低,主要因为热水处理组红枣维生素C与总酚保留率较低导致,碱性油酸乙酯与冷冻处理组枣果干燥后DPPH自由基清除能力变化不明显。

枣果的铁离子还原能力与其DPPH自由基清除能力变化趋势类似,鲜枣果显示出较强的铁离子还原能力(985.6 mg AAE/100 g W),枣果经干燥后铁离子还原能力显著降低,热水处理组干燥后枣果的铁离子还原能力最低(388.4 mg AAE/100 g DW),这也与酚类物质,维生素C较高降解率有关;超声处理组枣果经干燥后

其铁还原能力最强(779.8 mgAAE/100 gDW),较未处理组提高了 30.0%,这表明超声处理干燥后枣果相比其它处理方式具有较强的抗氧化能力。

3 结论

将不同预处理(超声、热水、碱性油酸乙酯、冷冻)应用至红枣的热风-微波联合干燥中,对干燥后枣果的酚类物质、可溶性糖、有机酸、三萜酸、维生素 C、总酚、总黄酮及抗氧化能力进行分析比较可得:4 种不同处理组红枣鉴定出 8 种酚类物质、4 种可溶性糖、4 种有机酸、4 种三萜酸,其中儿茶素、绿原酸为主要的酚类物质,蔗糖为主要的可溶性糖,柠檬酸、琥珀酸、富马酸为主要的有机酸,白桦脂酸、熊果酸为主要的三萜酸。

超声预处理的红枣经热风-微波联合干燥后与其它预处理组相比,其主要的酚类物质、可溶性糖、有机酸、三萜酸含量较高;维生素 C、总酚、总黄酮含量较高(维生素 C 含量为 449.2 mg/100 gDW,总酚含量为 1 282.6 mg/100 gDW,总黄酮含量为 586.3 mg/100 gDW),且具有较高的抗氧化活性(DPPH 自由基清除能力为 8.6 mmol TE/100 gDW,铁离子还原能力为 779.8(mg AAE/100 gDW),这表明超声是一种优良的红枣干燥前处理方法,本研究可为实际生产提供理论依据。

参考文献:

- [1] Ji X L, Peng Q, Yuan Y P, et al. Isolation, structures and bioactivities of the polysaccharides from jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.): a review[J]. Food Chemistry, 2017, 227: 349-357
- [2] Fang S Z, Wang Z F, Hu X S, et al. Hot-air drying of whole fruit Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Miller): physicochemical properties of dried products [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(7): 1415-1421
- [3] 陈文敏,彭星星,孙田奎,等.红外温度对超声处理红枣的干燥特性及品质影响[J].现代食品科技,2015,31(6):224-229
- [4] 陈锦屏,穆启运,田呈瑞.不同升温方式对烘干品质影响的研究[J].农业工程学报,1999,15(3):237-240
- [5] Therdthai N, Northongkom H. Characterization of hot air drying and microwave vacuum drying of fingerroot (*Boesenbergia pandurata*)[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(3): 601-607
- [6] Luo D S, Zhu Y L, Wang M, et al. Effects of pretreatment on characteristics and qualities of Chinese jujube drying by segmented intermittent microwave coupled with hot air [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(7): 261-267
- [7] Alibas I. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices [J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(8): 1445-1451
- [8] Duan Z H, Jiang L N, Wang J L, et al. Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating[J]. Food and Bioproducts Processing, 2011, 89(4): 472-476
- [9] Argyropoulos D, Heindl A, Müller J. Assessment of convection, hot-air combined with microwave-vacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(2): 333-342
- [10] Fang S Z, Wang Z F, Hu X S, et al. Energy requirement and quality aspects of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* miller) in hot air drying followed by microwave drying[J]. Journal of Food Process Engineering, 2011, 34(2): 491-510
- [11] ZHU B M, WEN X S, WEI G D. Effect of pre-treatments on drying characteristics of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Miller)[J]. International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 2014, 7(1): 94-102
- [12] 罗东升,朱玉丽,王梅,等.预处理对红枣分段间歇微波耦合热风干燥特性及品质的影响 [J].农业工程学报,2017,33(7):261-267
- [13] 陈文敏,彭星星,马婷,等.超声处理对短波红外干燥红枣时间及品质的影响[J].食品科学,2015,36(8):74-80
- [14] Ade Omowaye B I O, Rastogi N K, Angersbach A, et al. Effects of high hydrostatic pressure or high intensity electrical field pulse pre-treatment on dehydration characteristics of red paprika [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2001, 2(1): 1-7
- [15] Gao Q H, Wu P T, Liu J R, et al. Physico-chemical properties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130(1): 67-72
- [16] 刘杰超,张春岭,陈大磊,等.不同品种枣果实发育过程中多酚类物质、VC含量的变化及其抗氧化活性 [J].食品科学,2015,36(17):94-98
- [17] Wang R R, Ding S H, Zhao D D, et al. Effect of dehydration methods on antioxidant activities, phenolic contents, cyclic nucleotides, and volatiles of jujube fruits [J]. Food Science and Biotechnology, 2016, 25(1): 137-143
- [18] 刘聪,海妮,张英.红枣不同部位中有效成分含量的比较研究[J].现代食品科技,2014,30(3):258-261,205
- [19] Kou X H, Chen Q, Li X H, et al. Quantitative assessment of bioactive compounds and the antioxidant activity of 15 jujube cultivars [J]. Food Chemistry, 2015, 173: 1037-1044
- [20] Gao Q H, Wu C S, Yu J G, et al. Textural characteristic, antioxidant activity, sugar, organic acid, and phenolic profiles of 10 promising jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) selections[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(11): C1218-C1225
- [21] Gao Q H, Wang M. Response to Comment on Effect of drying of jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.) on the contents of sugars, organic acids, α -tocopherol, β -carotene, and phenolic compounds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(19): 4665
- [22] Guo S, Duan J A, Zhang Y, et al. Contents changes of triterpenic acids, nucleosides, nucleobases, and saccharides in jujube (*Ziziphus jujuba*) fruit during the drying and steaming process [J]. Molecules,

红心火龙果酒颜色稳定性影响因素的研究

段秋霞^{1,2}, 李定金¹, 段振华^{1,2,*}, 陈嫣^{1,2}, 唐美玲^{1,2}

(1. 贺州学院 食品科学与工程技术研究院, 广西 贺州 542899;

2. 大连工业大学 食品学院, 辽宁 大连 116034)

摘要:为探索红心火龙果酒颜色稳定性的影响因素,进而确定其最佳贮藏条件,以自酿红心火龙果酒为试验对象,研究温度、光照、pH值和氮气对果酒颜色稳定性和口感的影响。研究表明:环境温度越高,红心火龙果酒颜色褪色越快,同时果酒口感也变差。光照能加速分解火龙果酒中的甜菜红色素,随着光照时间的延长,果酒的酒味变淡,酒性不协调。不同的pH值对红心火龙果酒的颜色和口感有显著的影响,在不影响口感的前提下,火龙果酒中甜菜红色素在pH4时较稳定。充氮气可减缓色素降解,接触空气会加速色素的降解。红心火龙果酒的贮藏过程中应注意冷藏避光,在适宜的pH值下密封储存,且可适量填充氮气。

关键词:火龙果;果酒;贮藏;颜色;稳定性

Study on the Factors Affecting the Color Stability of Red Heart Pitaya Wine

DUAN Qiu-xia^{1,2}, LI Ding-jin¹, DUAN Zhen-hua^{1,2,*}, CHEN Yan^{1,2}, TANG Mei-ling^{1,2}

(1. Institute of Food Science and Engineering, Hezhou University, Hezhou 542899, Guangxi, China;

2. School of Food, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning, China)

Abstract: In order to explore the factors that affect the color stability of red heart pitaya, and then determine its optimum storage conditions, using the self-brewed red heart pitaya wine as test object, the effect of temperature, light, pH value and nitrogen on the color stability and taste of fruit wine were researched. The results showed that the higher the ambient temperature, the faster the color of red heart pitaya color fades, and the worse the taste of fruit wine. Light could accelerate the decomposition of beet red pigment in pitaya wine. With the extension of light time, the wine tasted becomes weak and the wine was incongruous. Different pH values had a significant effect on the color and tasted of red heart pitaya wine. Under the premise of not affecting the taste, the beet red pigment in red heart pitaya wine was stable at pH 4. Filling with nitrogen could slow the degradation of pigments, while contact with air could accelerate the degradation of pigment. During the storage of red heart pitaya wine, it should be kept refrigerated and protected from light, sealed and stored at a suitable

基金项目:广西特色果蔬深加工与保鲜技术研究(YS201601);贺州学院“果蔬深加工与保鲜团队建设”项目(YS201602);广西特聘专家专项经费(厅发[2016]21号);广西科技基地和人才专项(桂科AD17195088);贺州市创新驱动发展专项(贺科创PT1907006);广西自然科学基金(2019JJA130016);2019年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY0711)

作者简介:段秋霞(1995—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品加工与安全。

*通信作者:段振华(1965—),男,教授,博士,研究方向:现代食品加工新技术。

2015, 20(12): 22329-22340

[23] Wojdyło A, Figiel A, Oszmiański J. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(4): 1337-1343

[24] Wu C S, Gao Q H, Guo X D, et al. Effect of ripening stage on physicochemical properties and antioxidant profiles of a promising table fruit 'pear-jujube' (*Zizyphus jujuba* Mill.)[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 148: 177-184

收稿日期:2020-02-01