

真空冷冻干燥过程中鲜食枣营养品质的变化研究

魏婷, 高彩凤, 沈静, 张积凡, 王敏

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘要: 本文研究了真空冷冻干燥过程中鲜食枣营养品质及抗氧化活性的变化规律, 为实际生产加工产品选择合适的干燥时间提供理论依据。结果表明: 冷冻干燥过程中, 鲜食枣还原糖含量存在显著性差异, 且干燥结束时显著升高 ($p < 0.05$); 冻干产品维生素 C 保留率高达 99.58%; 有机酸是产品中重要的风味营养物质, 其中, 草酸、柠檬酸含量在冻干过程中均存在显著性差异 ($p < 0.05$), 且在干燥结束时, 草酸、酒石酸、柠檬酸含量分别是鲜样的 1.64 倍、1.32 倍、3.83 倍; 冻干过程鲜食枣 ABTS⁺清除能力、抗氧化力均存在显著性差异 ($p < 0.05$), 且冻干后 ABTS⁺清除能力提高 6.91%, 抗氧化力保留率达 92.01%。由此可见, 冻干过程中冻干时间对营养物质含量及活性有重要影响。冻干 6~9 h 有利于保持贮藏的水分和较高的营养品质, 同时有助于降低能耗, 并保持其功能价值。

关键词: 鲜食枣; 真空冷冻干燥; 营养品质; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2017)5-161-167

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.5.026

Changes in Nutritional Properties of Jujube Fruits during Different Stages of Vacuum Freeze-drying

WEI Ting, GAO Cai-feng, SHEN Jing, ZHANG Ji-fan, WANG Min

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Variations in nutritional properties and antioxidant activity of jujube fruits during different stages of vacuum freeze-drying were investigated to provide a scientific basis for selecting the appropriate drying time during production and processing. The results showed that during freeze-drying of the jujube fruits reducing sugar content increased significantly by the end of drying ($p < 0.05$). The titratable acid content of freeze-dried jujube fruits was 0.92 times as much as fresh jujube fruits, which is one of the reasons for the drop in the sugar:acid ratio observed in freeze-dried products. Additionally, freeze-drying produced a higher retention rate of vitamin C (99.58%) over time, as compared to its fresh counterpart. The organic acid content of fruits is an important factor in determining flavor, and this study found that the freeze-dried jujube fruit oxalic acid, tartaric acid, and citric acid content were 1.64 times, 1.32 times, and 3.83 times as much as the fresh fruit, respectively. During freeze-drying, jujube fruits appeared to increase their ABTS⁺ scavenging power and antioxidant capacity ($p < 0.05$), with the former increasing by 6.91% and antioxidant capacity increasing by 92.01%. Therefore, freeze-drying time has a significant effect on the nutrient content and antioxidant activity of the fruits being processed. The freeze-drying time ranging from 6 to 9 is beneficial in reserving moisture, and maintaining nutritional and functional property.

Key words: fresh jujube; vacuum freeze-drying; nutritional properties; antioxidant activity

红枣是我国传统的果品之一, 我国红枣产量占全世界的 95% 以上, 味美香甜、是补气生血的佳品。红枣除含有大量的糖、蛋白质、维生素和微量元素外, 还富含皂甙、三萜类和多酚等多种功能活性物质^[1]。鲜食红枣因水分含量高, 极易腐烂, 贮藏期短, 一般将鲜枣进行干燥加工处理, 便于贮藏和销售。不同的

收稿日期: 2016-08-27

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目 (2013KTZB02-03-04); 榆林市科技局项目 (2012cxy3-7)

作者简介: 魏婷 (1990-), 女, 硕士, 研究方向: 食品营养与化学

通讯作者: 王敏 (1967-), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向: 食品化学与分析及西部特色药食兼用资源加工利用

干燥方式对红枣的营养品质及活性的影响有显著性差异, 红枣中富含黄酮、多酚类组分, 在干制过程中极易损失变化, 影响品质。研究表明高温 (超过 80 °C)、长时或微波干制易使红枣中芦丁等含量明显下降^[2]。王毕妮等^[3]研究发现自然干制和热风干制会造成红枣中酚类化合物含量显著下降, 而对总黄酮含量的影响不显著。李焕荣等^[4]比较了热风干燥、微波辅助干燥及灭酶辅助干燥三种方式对红枣中果胶、还原糖、总糖和总酸等营养成分的影响, 结果表明采用相对较低的温度干制红枣, 能最大限度地减少营养成分的损失。

真空冷冻干燥技术是集真空、低温、传热于一体的新型综合干燥技术, 是国际上公认的优质保鲜干燥

方法^[5]。近年来,该技术广泛应用于果蔬制品当中,有效地提高了产品的质量和附加值。Reyes等^[6]利用真空冷冻干燥技术制备蓝莓粉,发现其功能成分与鲜样没有显著性差异;郭树国等^[7,8]对猕猴桃、黄瓜的真空冷冻干燥工艺进行了优化,保证了猕猴桃干制品质量的同时,又最大限度的节省了生产能耗;Gao等^[9]对自然晒干、热风干燥、微波干燥和冷冻干燥四种方式获得的红枣品质进行比较,发现冷冻干燥的枣果品质最佳。真空冷冻干燥产品最大限度保持原料色泽、营养、形态和风味,且产品含水量低,复水性好,携带方便,深受消费者的喜爱。但是,真空冷冻干燥耗能高、前期投资大等问题也制约其在实际生产中的广泛应用。掌握鲜食枣在真空冷冻干燥过程中的变化规律,以便在生产中进行目标控制,在得到高质量冻干产品的同时,能兼顾到绿色节能加工,提高经济效益。

因此,本试验研究真空冷冻干燥过程中鲜食枣营养品质及功能性活性成分的含量变化,以期为实际生产选择合理的工艺参数提供理论依据,在保证产品质量的同时,选择恰当的冻干时间,降低能耗。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

新鲜冬枣系2015年11月9日购买于陕西杨凌果蔬市场,选择大小均匀,无病虫害、无机械损伤、成熟度一致的枣果。预冷后在0~3℃冷库中保藏。

维生素C、果糖、葡萄糖、蔗糖、草酸、酒石酸、柠檬酸标品,上海博蕴生物科技有限公司;ABTS、TPTZ、Trolox、福林酚试剂均购买自Sigma公司;其他分析纯试剂无水甲醇、无水乙醇、盐酸、Al(NO₃)₃、NaOH、NaNO₂、NaCO₃及FeSO₄等均购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

LGJ-25C型冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂有限公司;Waters 600E型高压液相色谱,美国Waters公司;101型电热鼓风干燥箱,上海精宏仪器有限公司;JD400-3型电子分析天平,沈阳龙腾电子有限公司;KQ-700DE型数控超声波清洗器,昆山市超生仪器有限公司;RE-52AA型旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;QL-901型涡旋混合器,海门市其林贝尔仪器有限公司;DK-8D电子恒温水浴锅,国华电器有限公司;pHS-3C型pH计,上海精密科学仪器有限公司;UV-1240分光光度计,日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 鲜食枣冻干前处理

参照Du^[10]等方法并加以改进,具体步骤如下:新鲜冬枣清洗后,去核器去核,可食部分切成厚度约为3mm的枣圆薄片,浸泡在0.2%的抗坏血酸溶液中护色30min,置于筛网上沥去水分。

1.3.2 鲜食枣的冻干过程

鲜食枣首先在-40℃冰箱中预冻8h,随机取样并测得水分含量为81.67±1.02%;然后在冷阱温度-45℃,真空度0.06kPa的真空冷冻干燥设备中进行干燥,并分别在干燥3h、6h、9h和12h随机取样,测得相应水分含量为67.15±0.08%、14.84±1.21%、10.77±1.40%和9.59±0.85%。该冻干机在工作3h、6h、9h和12h消耗的能量分别是6kJ、12kJ、18kJ和24kJ。Fei等^[11]认为在蘑菇的真空冷冻干燥过程中,6.5h将冻干过程分为升华干燥和解析干燥两个阶段,且升华阶段除去大量自由水,解析阶段除去少量结合水。本研究中的鲜食枣在冻干6h时除去的水分最多,因此,将6h后的过程认为是解析干燥阶段。

1.3.3 测定指标及方法

1.3.3.1 还原糖和总糖的测定

总糖和还原糖的测定采用3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定。

1.3.3.2 总酸和维生素C测定

总酸依据《GB/T 12456-2008 酸碱滴定法》测定;依据《GB/T 6195-86 2,6-二氯靛酚滴定法》测定维生素C。

1.3.3.3 pH值测定

取一定量的枣片研磨,加两倍量的水。3000r/min离心15min。用校准的pH计测pH,连续测两次,两次测量结果相差不超过0.1单位。

1.3.3.4 可溶性糖和有机酸的测定

样品提取物的准备:不同处理称取样品2.5g,研磨,置于150mL的烧杯中,加入80mL的蒸馏水,均质5min,超声提取30min,然后5000r/min离心10min,收集上清液,重复3次,最后合并上清液。将上清液于55℃旋转蒸发至干,最后用超纯水定容至10mL。提取液上液相前须通过0.45μm滤膜过滤。

测定可溶性糖的HPLC条件:Waters色谱系统配备2414示差折光检测器,色谱柱:Ca²⁺交换柱(7.8×300mm,10μm);流动相:纯水;流速0.6mL/min;进样量10μL,柱温85℃。

测定有机酸的HPLC条件:Waters色谱系统配备

2487 UV-vis 检测器, 色谱柱: Atlantis T3(4.6×250 mm, 3 μm); 流动相: 磷酸二氢铵溶液 (pH=2.6); 流速 0.8 mL/min; 进样量 20 μL, 柱温 25 °C。

1.3.3.5 总酚和总黄酮的测定

总酚和总黄酮测定参照文献^[9]的方法处理。

1.3.3.6 ABTS 自由基清除能力的测定

参照 Du 等^[10]的方法, 处理步骤有所改进后进行实验。取 200 μL 稀释 300 倍的提取液, 加入 3 mL 经 PBS 缓冲液调节过的 ABTS⁺ 涡旋混匀后, 在 734 nm 下测定吸光度。以 Vc 为标准品, 结果以每 100 g 样品中含有的 Vc 的量表示 (×10⁻² mmol/g)。

1.3.3.7 还原力测定 (FRAP 法)

参照胥莉等人^[12]的方法。以 FeSO₄ 为标准品, 样品的还原力 (FRAP 值) 以每克干质量达到同样吸光度所需要的 FeSO₄ 微摩尔数表示 (μmol FeSO₄)。

1.3.4 数据处理

数据统计分析采用 Excel 和 SPSS 20.0 分析软件进行处理, 所有样品进行重复试验, 结果均以平均值±标准差 ($\bar{x}\pm SD$) 表示。

2 结果与分析

2.1 鲜食枣冷冻干燥过程糖类化合物变化

2.1.1 鲜食枣冷冻干燥过程总糖和还原糖含量

鲜食枣冷冻干燥过程总糖和还原糖含量变化如图 1 所示。根据图 1 可知, 冷冻干燥过程中, 鲜食枣总糖和还原糖含量均存在显著性差异 ($p<0.05$)。鲜样的总糖含量为 87.64×10^{-2} g/g DW, 经预冻后显著降低 38.58% 达到 53.83×10^{-2} g/g DW, 但随着干燥时间延长, 总糖含量呈现出上升趋势, 冻干结束时, 总糖含量为 88.24×10^{-2} g/g DW, 较鲜样几乎无显著性差异 ($p>0.05$), 由图可以看出, 还原糖含量的变化趋势与总糖类似。在冷冻干燥过程中, 还原糖变化范围为 $21.11\times 10^{-2}\sim 57.64\times 10^{-2}$ g/g DW, 经预冻后含量下降 36.17%, 之后随着干燥时间延长, 还原糖含量也呈现

出上升趋势, 但是, 干燥结束时, 还原糖含量显著增加 74.30% ($p<0.05$)。鲜食枣片在干燥 3 h~6 h 之间, 总糖和还原糖含量均出现较大幅度增加, 其原因可能是预冻使枣片内水分变成冰晶体, 冰晶体易刺破枣片内部的细胞壁, 从而使细胞内的糖分大量溶出, 导致糖浓度的升高^[13]; 而冻干结束后, 鲜枣片还原糖含量显著增加, 这可能是由于冻干过程中随着温度的升高, 枣片中部分酶被激活, 促进了大分子糖类物质的代谢, 多糖发生降解^[14]。

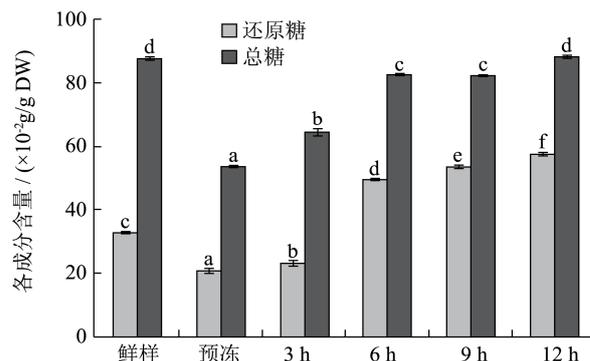


图 1 鲜食枣冷冻干燥过程总糖和还原糖含量变化

Fig.1 Changes in the content of total sugar and reducing sugar in jujube fruits during freeze-drying

注: 柱形上不同小写字母表示组间有显著性差异 ($p<0.05$), 下同。

2.1.2 鲜食枣冷冻干燥过程可溶性糖含量

鲜食枣冷冻干燥过程中可溶性糖含量变化如表 1 所示。葡萄糖、果糖和蔗糖是鲜食枣检测到的 3 种主要可溶性糖。根据表 1 可知, 葡萄糖、蔗糖含量经预冻后分别提高了 15.69% 和 6.14%, 而果糖含量下降了 20.56%。鲜枣片在干燥 3~12 h 的过程中, 三种糖的含量变化几乎均无显著性差异 ($p>0.05$)。干燥结束时, 葡萄糖、果糖和蔗糖含量分别增加了 1.32 倍、0.34 倍和 0.19 倍。一方面, 可能是因为冻干过程的两个阶段, 升华和解析干燥都会使水分含量降低; 另一方面, 温度升高会激发部分酶活性, 导致大分子糖的分解^[15]。

表 1 鲜食枣冷冻干燥过程可溶性糖组分变化

Table 1 Changes in the content of soluble sugars in jujube fruits during freeze-drying (×10⁻² mg/g DW)

可溶性糖	鲜样	预冻	3 h	6 h	9 h	12 h
葡萄糖	33.40±7.25 ^a	38.64±8.44 ^a	80.42±9.51 ^b	73.59±9.76 ^b	63.25±9.99 ^b	77.51±2.63 ^b
果糖	31.27±6.79 ^{ab}	24.84±5.42 ^a	52.30±6.18 ^c	48.82±8.61 ^{bc}	41.45±8.48 ^{abc}	41.77±7.24 ^{abc}
蔗糖	31.92±6.93 ^a	33.88±7.40 ^{ab}	48.02±5.68 ^{ab}	48.36±8.53 ^{ab}	52.65±10.77 ^b	37.99±3.51 ^{ab}

注: a~c 不同字母代表同一行差异显著 ($p<0.05$)。

2.2 鲜食枣冷冻干燥过程可滴定酸和有机酸变化

2.2.1 鲜食枣冷冻干燥过程 pH 值和可滴定酸含量

鲜食枣冷冻干燥过程 pH 值和可滴定酸含量变化如图 2 所示。由图 2 可知，冷冻干燥过程中鲜食枣的 pH 值介于 4.50~4.60 之间，干燥过程中 pH 值有所上升，从干燥 3 h 至干燥结束阶段，pH 值呈缓慢下降趋势。

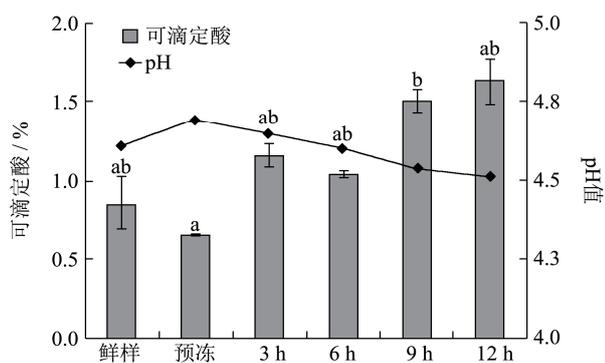


图 2 鲜食枣冷冻干燥过程 pH 值和可滴定酸含量变化

Fig.2 Changes in the pH and titratable acidity in jujube fruits during freeze-drying

从图 2 可知，鲜食枣冷冻干燥过程可滴定酸含量几乎无显著性差异 ($p>0.05$)。可滴定酸含量在干燥 9 h 开始上升，12 h 达到 1.63%，与鲜样相比，可滴定

酸含量提高了 91.76%。Wu^[16]研究也发现真空冷冻干燥能够显著提高白玉菇中可滴定酸含量。鲜枣中酸的含量对风味有重要影响，适宜的酸度使产品口感更佳。所以，冻干产品中总酸含量的升高，导致糖酸比大幅下降，最终影响产品的口感。

2.2.2 鲜食枣冷冻干燥过程有机酸含量

鲜食枣冷冻干燥过程中有机酸组分含量变化如表 2 所示。草酸、酒石酸和柠檬酸是冻干鲜食枣中检测到最主要的有机酸物质。根据表 2 可知，草酸、柠檬酸含量在冷冻干燥过程中均存在显著性差异 ($p<0.05$)。预冻之后，随着干燥时间延长，三种有机酸含量不断升高。干燥 3 h 时，草酸、酒石酸、柠檬酸含量分别达到了峰值，为 24.45 mg/g、55.45 mg/g 和 134.96 mg/g。干燥结束时，枣片中草酸、酒石酸、柠檬酸含量分别是鲜样的 1.64 倍、1.32 倍和 3.83 倍。有机酸是鲜枣片的重要风味营养物质，可以改善食欲，促进消化，影响水果的口感和生物稳定性，也是水果成熟度和腐烂程度的评价标准之一^[17]。冷冻干燥过程中，三种有机酸含量不断积累，至干燥结束时都呈现出显著性地增高，这可能是因为升华干燥阶段中随着样品温度的升高，相关的酶如：柠檬酸合成酶、苹果酸脱氢酶等被激活，促进了有机酸的转化合成^[18]。

表 2 鲜食枣冷冻干燥过程有机酸组分变化

Table 2 Changes in the content of organic acids in jujube fruits during freeze-drying ($\times 10^{-2}$ mg/g DW)

有机酸	鲜样	预冻	3 h	6 h	9 h	12 h
草酸	1.90±0.02 ^b	1.11±0.04 ^a	24.45±0.37 ^f	3.43±0.14 ^c	5.66±0.09 ^e	5.02±0.14 ^d
酒石酸	2.85±0.27 ^a	1.60±0.20 ^a	55.45±15.72 ^b	4.82±0.05 ^a	5.93±0.95 ^a	6.61±0.60 ^a
柠檬酸	7.64±0.33 ^a	8.66±1.88 ^a	134.96±6.68 ^c	30.82±3.61 ^b	44.36±0.58 ^b	36.90±0.53 ^b

注：a~f 不同字母代表同一行差异显著 ($p<0.05$)。

2.3 鲜食枣冷冻干燥过程糖酸比和维生素 C 含量

含量

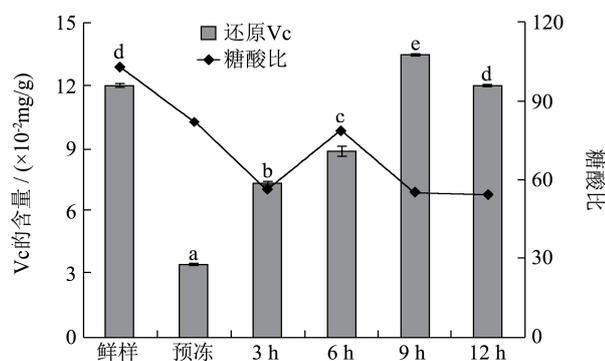


图 3 鲜食枣冷冻干燥过程糖酸比和 Vc 含量变化

Fig.3 Changes in the sugar:acid ratio and vitamin C content in jujube fruits during freeze-drying

鲜食枣冷冻干燥过程糖酸比和维生素 C 含量变化如图 3 所示。由图 3 可知，冷冻干燥过程中，鲜食枣维生素 C 含量存在显著性差异 ($p<0.05$)。干燥 3 h~9 h 过程中，维生素 C 含量呈上升趋势，9 h 含量最高，达 13.36×10^{-2} mg/g，较鲜样升高 11.24%，存在显著性差异 ($p<0.05$)，冻干结束时，维生素 C 含量有轻微地下降，较鲜样无显著性差异，保留率高达 99.58%。枣果中含有十分丰富的维生素 C 因其结构中存在烯二醇基，所以极易受热、光、氧和 pH 等因素的影响，因此将其作为评价营养品质的重要指标^[19]。真空冷冻干燥过程很好的保存了维生素 C 的含量，这是因为冻干过程在高度真空的条件下，升华干燥阶段干燥箱中的加热板以辐射的形式将热量传递给干燥物，热量可直接作用于水分子，从而有效减少了维生素 C 的损失。

糖酸比是影响干枣片风味和口感的重要因素。干燥 3 h、6 h、9 h 和 12 h 的糖酸比分别是 56.21、78.77、

54.73 和 54.15, 干燥结束时, 鲜枣片的糖酸比下降了 47.47%, 干燥 6 h 的枣片糖酸比显著高于其他时间。因此, 在实际生产加工中, 应控制冻干时间, 提高产品的口感。

2.4 鲜食枣冷冻干燥过程中总酚和总黄酮含量

量

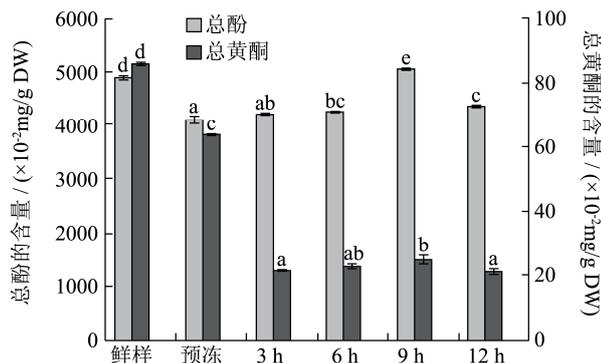


图 4 鲜食枣冷冻干燥过程总酚和总黄酮含量变化

Fig.4 Changes in the total flavonoid and total phenolic content in jujube fruits during freeze-drying

鲜食枣冷冻干燥过程中总酚和总黄酮含量变化如图 4 所示。从图 4 可知, 鲜样预冻后总酚含量显著下降, 3~9 h 阶段, 随着干燥时间延长, 总酚含量呈增长趋势, 但是干燥结束时, 总酚含量较鲜样降低了 10.22%。Asami 等^[20]研究发现冷冻干燥技术使黑莓、草莓和玉米等作物得到了较高的总酚含量。本研究中干燥 9 h 的枣片总酚含量呈现显著性升高, 这可能是由于在冷冻干燥前期, 细胞内的水分被冻结成大量细小冰晶, 破坏了细胞结构, 使得细胞内物质释放出来, 更好的与提取溶剂接触, 从而提高了总酚含量^[13], 而随着干燥时间延长, 总酚含量又呈现出下降趋势, 这可能是由于在冷冻干燥阶段后期, 要想除掉孔隙当中残留的结合水分, 需要提供更多的热量, 而温度的升高又使得一些降解酶如多酚氧化酶被激活, 加速了总酚的降解^[21]。由此可见, 适当的冻干时间可以保持较多或者增加多酚类物质含量, 从而提高冻干枣片的功能品质。

冷冻干燥过程中, 鲜食枣总黄酮含量变化趋势与酚类物质类似。鲜样中总黄酮含量为 85.47×10^{-2} mg/g, 在干燥 3 h 时, 鲜食枣中总黄酮含量显著下降了 75.04% ($p < 0.05$), 可能是由于在该过程中, 热能以辐射的形式传递给枣片, 致使枣片由内而外的升温, 加速了黄酮物质的降解。干燥 12 h 后, 黄酮含量相比鲜样降低了 75.27%。陈玮琦等^[22]研究中也发现真空冷冻

技术降低了苹果幼果中总黄酮含量。黄酮类物质较为敏感, 易受光照、温度等因素影响而发生降解, 因此, 冷冻干燥处理破坏了枣片中黄酮类物质含量, 不利于总黄酮的保存。

2.5 鲜食枣冷冻干燥过程抗氧化活性变化

2.5.1 鲜食枣冷冻干燥过程中 ABTS⁺清除能力

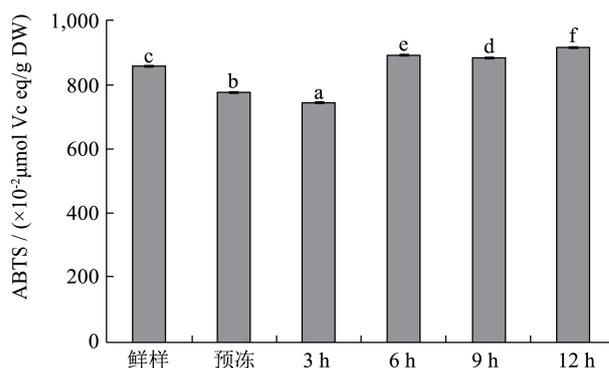


图 5 鲜食枣冷冻干燥过程 ABTS 自由基清除能力变化

Fig.5 Changes in the scavenging rate of ABTS free radicals in jujube fruits during freeze-drying

鲜食枣冷冻干燥过程中 ABTS⁺清除能力如图 5 所示。由图 5 可知, 干燥过程中枣片的 ABTS⁺清除能力存在显著性差异 ($p < 0.05$)。干燥 3 h 的枣片 ABTS⁺清除能力最低, 为 $743.87 \times 10^{-2} \mu\text{mol Vc eq/g DW}$, 比鲜样降低了 12.89%。干燥 6 h、9 h 和 12 h 的枣片其抗氧化能力有显著提高, 分别升高了 4.36%、3.23%和 6.91%。

2.5.2 鲜食枣冷冻干燥过程 FRAP 值

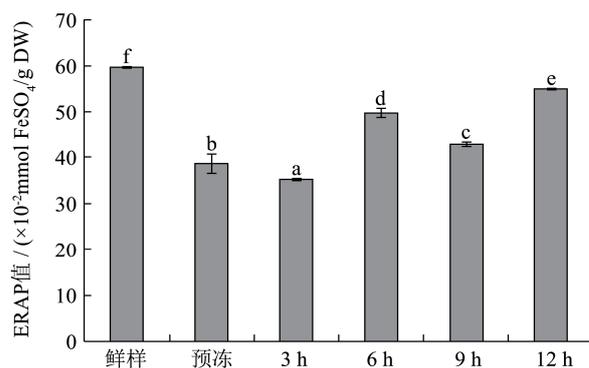


图 6 鲜食枣冷冻干燥过程还原力变化

Fig.6 Changes in the reducing power of jujube fruits during freeze-drying

鲜食枣冷冻干燥过程 FRAP 值变化如图 6 所示。FRAP 值表示鲜食枣的还原能力。由图 6 可知, 干燥过程中枣片的 FRAP 值存在显著性差异 ($p < 0.05$)。冻干过程中 FRAP 值变化范围为 $35.10 \times 10^{-2} \sim 59.81 \times 10^{-2} \text{mmol FeSO}_4/\text{g DW}$, 冻干 3 h 时, FRAP 值最低, 为

35.10×10^{-2} mmol FeSO₄/g DW, 较鲜样降低了 41.31%, 但随着干燥时间延长, FRAP 出现不同程度上升。干燥结束时, 稳定在 55.03×10^{-2} mmol FeSO₄/g DW, 抗氧化能力保留率达 92.01%。

3 结论

真空冷冻干燥过程中鲜食枣片营养品质及抗氧化活性不断变化。总糖和还原糖在干燥 3 h~6 h 之间, 含量均出现较大幅度增加, 干燥 12 h 时, 还原糖含量显著增加, 且葡萄糖、果糖和蔗糖含量分别出现不同程度增加; 鲜食枣可滴定酸含量在干燥 9 h 开始上升, 干燥 12 h 时, 枣片中的草酸、酒石酸、柠檬酸含量分别是鲜样的 1.64 倍、1.32 倍和 3.83 倍; 鲜食枣片干燥 6 h 的糖酸比显著高于其他时间, 因此, 6 h 的枣片口感可能相对其他时间较佳, 冻干处理使得 Vc 保留率高达 99.58%; 鲜食枣片的总酚、总黄酮含量经冻干后分别损失了 10.22% 和 75.27%, 故冻干时间对鲜食枣功能性物质有重要影响; 鲜食枣片在干燥 6 h、9 h 和 12 h 时清除自由基能力有所上升, 且抗氧化得到了较高程度的保留。综上所述, 冻干时间对鲜食枣营养物质含量及抗氧化活性有重要影响, 冻干 6~9 h 有利于保持较高的营养品质和功能价值, 同时有助于降低能耗。

参考文献

- [1] 鲁周民, 刘坤, 闫忠心, 等. 枣果实营养成分及保健作用研究进展[J]. 园艺学报, 2010, 37(12): 2017-2024
LU Zhou-min, LIU Kun, YAN Zhong-xin, et al. Research status of nutrient component and health functions of *Ziziphus jujuba* mill [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(12): 2017-2024
- [2] 张宝善, 陈锦屏, 刘芸. 加工条件对红枣中芦丁含量变化的影响研究[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 175-177
ZHANG Bao-shan, CHEN Jin-ping, LIU Yun. Effect of processing conditions on the content of rutin in jujube [J]. Food Science, 2002, 23(8): 175-177
- [3] 王毕妮, 樊明涛, 程妮, 等. 干制方式对红枣多酚抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 157-161
WANG Bi-ni, FAN Ming-tao, CHENG Ni, et al. Effect of drying style on antioxidant activity of phenolic compounds from jujube [J]. Food Science, 2011, 32(23): 157-161
- [4] 李焕荣, 徐晓伟, 许淼. 干制方式对红枣部分营养成分和香气成分的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 330-333
LI Huan-rong, XU Xiao-wei, XU Miao. Effects of different drying methods oil nutritional and aromatic components of jujube [J]. Food Science, 2008, 29(10): 330-333
- [5] 徐冲, 陈杰, 陈丽媛, 等. 真空冷冻干燥技术在食用菌加工中的应用研究[J]. 微生物学杂志, 2015, 35(6): 96-99
XU Chong, CHEN Jie, CHEN Li-yuan, et al. Application of vacuum freeze-drying technology in edible fungi processing [J]. Journal of Microbiology, 2015, 35(6): 96-99
- [6] Reyes A, Evseev A, Mahn A, et al. Effect of operating conditions in freeze-drying on the nutritional properties of blueberries [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2011, 62(3): 303-306
- [7] 郭树国, 蒋爱国, 王丽艳. 基于品质和能耗的猕猴桃真空冷冻干燥工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(4): 108-112
GUO Shu-guo, JIANG Ai-guo, WANG Li-yan. Optimization of technology of chinese gooseberry slices by vacuum freeze-drying based on quality and energy consumption [J]. Food Research and Development, 2016, 37(4): 108-112
- [8] 郭树国, 王丽艳, 李成华. 黄瓜真空冷冻干燥工艺参数优化[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(1): 232-234
GUO Shu-guo, WANG Li-yan, LI Cheng-hua. Optimization on technological parameters of vacuum freeze-drying [J]. Food Research and Development, 2012, 33(1): 232-234
- [9] 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
- [10] Du L J, Gao Q H, Ji X L, et al. Comparison of flavonoids, phenolic acids, and antioxidant activity of explosion-puffed and sun-dried jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) [J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2013, 61(48): 11840-11847
- [11] Pei F, Shi Y, Gao X, et al. Changes in non-volatile taste components of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during different stages of freeze drying and freeze drying combined with microwave vacuum drying [J]. Food Chemistry, 2014, 165(3): 547-554
- [12] 胥莉, 李阳, 刘学波. 车前子总黄酮和总多糖粗提物的体外抗氧化性能及其对脑神经细胞的保护作用[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 142-146
XU Li, LI Yang, LIU Xue-bo. Semen Plantaginis Extract: Antioxidant Activity and Protective Effect on Nerve Cell Death [J]. Food Science, 2013, 34(11): 142-146
- [13] Nicoli M C, Anese M, Parpinel M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables [J]. Trends in Food Science & Technology, 1999, 10(3): 94-100
- [14] Pei F, Shi Y, Gao X Y, et al. Changes in non-volatile taste components of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during

- different stages of freeze drying and freeze drying combined with microwave vacuum drying [J]. *Food Chemistry*, 2014, 165: 547-554
- [15] Tsai S Y, Wu T P, Huang S J, et al. Nonvolatile taste components of *Agaricus bisporus*, harvested at different stages of maturity [J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(4): 1457-1464
- [16] Wu F, Tang J, Pei F, et al. The influence of four drying methods on nonvolatile taste components of White *Hypsizygus marmoreus* [J]. *European Food Research & Technology*, 2014, 240(4): 1-8
- [17] Igual M, García-Martínez E, Martín-Esparza M E, et al. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot [J]. *Food Research International*, 2012, 47(2): 284-290
- [18] Hirai M, Ueno I. Development of citrus fruits: Fruit development and enzymatic changes in juice vesicle tissue [J]. *Plant and Cell Physiology*, 1997, 18(4): 791-799
- [19] Goula A M, Adamopoulos K G. Retention of ascorbic acid during drying of tomato halves and tomato pulp [J]. *Drying Technology*, 2006, 24(24): 57-64
- [20] Asami D K, Hong Y J, Barrett D M, et al. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(5): 1237-1241
- [21] Mayachiew P, Devahastin S, Mackey B M, et al. Effects of drying methods and conditions on antimicrobial activity of edible chitosan films enriched with galangal extract [J]. *Food Research International*, 2010, 43(1): 125-132
- [22] 陈玮琦,郭玉蓉,张娟,等.干燥方式对苹果幼果干酚类物质及其抗氧化性的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(5): 33-37
CHEN Wei-qi, GUO Yu-rong, ZHANG Juan, et al. Effect of drying methods on polyphenol contents and antioxidant activities of unripe apple fruits [J]. *Food Science*, 2015, 36(5): 33-37