

邱珊莲, 林宝妹, 张少平, 等. 不同干燥方式对嘉宝果品质的影响 [J]. 福建农业学报, 2019, 34 (9): 1100–1107.

QIU S L, LIN B M, ZHANG S P, et al. Effects of Different Dehydration Methods on Quality Dehydration of *Myrciaria cauliflora* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 34 (9): 1100–1107.

不同干燥方式对嘉宝果品质的影响

邱珊莲, 林宝妹, 张少平, 洪佳敏, 张 帅, 郑开斌*

(福建省农业科学院亚热带农业研究所, 福建 漳州 363005)

摘 要:【目的】探讨不同干燥方式对嘉宝果品质的影响, 为嘉宝果干燥保存和深加工提供理论依据。【方法】以‘沙巴’嘉宝果为试验材料, 研究 50℃、60℃、70℃ 热风干燥以及真空冷冻干燥 4 种不同干燥方式对嘉宝果感官特性、主要营养成分及氨基酸组成的影响, 不同干燥方式各项指标对比采用单因素方差分析。【结果】真空冷冻干燥样品感官品质最好, 果皮色泽、果肉颜色及形状接近鲜果, 质地均匀疏松, 而热风干燥样品颜色发黑、无光泽, 干瘪坚硬。在营养品质上, 真空冷冻干燥样品蛋白质、脂肪、蔗糖、维生素 C、总多酚含量显著高于热风干燥, 且水分含量仅 5.92%, 显著低于热风干燥, 在 4 种干燥方式中脱水效果最好。50℃ 热风干燥淀粉、粗纤维、灰分、氨基酸含量最高, 真空冷冻干燥次之。3 种温度的热风干燥结果表明, 淀粉、蛋白质、灰分、维生素 C、硒、水分、总多酚、氨基酸含量随烘干温度升高而下降, 还原糖、葡萄糖、果糖含量随烘干温度升高而升高。【结论】综合分析感官品质和营养成分, 真空冷冻干燥得到的嘉宝果品质最好。

关键词: 嘉宝果; 感官品质; 营养成分; 氨基酸; 干燥处理

中图分类号: S 667.9

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2019) 09-1100-08

Effects of Different Dehydration Methods on Quality Dehydration of *Myrciaria cauliflora*

QIU Shan-lian, LIN Bao-mei, ZHANG Shao-ping, HONG Jia-min, ZHANG Shuai, ZHENG Kai-bin*

(Institute of Subtropical Agriculture, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou, Fujian 363005, China)

Abstract: 【Objective】Conditions of dehydration process to preserve jaboticaba, *Myrciaria cauliflora*, were studied for optimization. 【Method】Sensory quality and nutritional contents of fat, protein, crude fiber, starch, reducing sugar, ash, fructose, glucose, sucrose, moisture, vitamin C, selenium, and total polyphenols of the dried fruits were used as criteria to evaluate the dehydration by hot air at 50℃, 60℃ or 70℃ and by vacuum freeze-drying. Experimental data were analyzed using one-way ANOVA. 【Results】The sensory quality of the freeze-dried jaboticaba was the best among all samples. The dried product remained a color and shape of the peel and pulp close to those of the fresh fruit, and the texture was uniform and palatable. In contrast, the hot air drying darkened and dulled the color, severely shrunk and deformed the appearance, and hardened the fruit. Nutritionally, the contents of protein, fat, sucrose, vitamin C, and total polyphenols in the dehydrated products processed by freeze-drying were significantly higher than those by the hot air-drying. Furthermore, the moisture content of the freeze-dried samples was 5.92%, which was significantly lower than that by the hot air-drying. It appeared that the vacuum freeze-drying was superior among the 4 methods. The fruits dried with hot air at 50℃ had the highest contents of starch, crude fiber, ash, and amino acids, followed by the freeze-dried counterparts. And, the higher the hot air temperature applied for the dehydration, the lower the contents of starch, protein, ash, vitamin C, selenium, moisture, total polyphenols, and amino acids, and the higher the contents of reducing sugars, fructose, and glucose in the dried jaboticaba. 【Conclusion】The vacuum freeze-drying was considered the choice for jaboticaba dehydration as it yielded desirable sensory quality as well as nutritional value for the product.

Key words: *Myrciaria cauliflora*; sensory quality; nutritional composition; amino acid; drying methods

收稿日期: 2019-07-27 初稿; 2019-08-29 修改稿

作者简介: 邱珊莲 (1979-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工 (slqiu79@163.com)

* 通信作者: 郑开斌 (1966-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品加工 (kaibin118@163.com)

基金项目: 福建省科技计划公益类专项 (2019R1030-4); 福建省农业科学院创新团队项目 (STIT2017-3-4); 福建省农业科学院青年英才计划项目 (YC2015-19)

0 引言

【研究意义】嘉宝果 [*Myrciaria cauliflora* (DC.) Berg], 又名肖怪柳桃金娘、珍宝果、树葡萄、拟爱神木, 为桃金娘科拟香桃木属常绿灌木, 主要分布于南美洲的巴西、巴拉圭、阿根廷等国家或地区, 目前在我国福建、广东、四川、重庆、湖南等地均有种植。嘉宝果具有很高的食药价值, 口味独特, 营养丰富^[1-2], 果皮中富含维生素及花青素、酚酸等酚类物质, 具有很强的抗氧化、抗糖尿病及抗细胞增殖等活性^[3-4]。嘉宝果鲜果的保质期短, 往往在采收后 3~4 d 就开始发酵^[5], 即使在冷库保鲜, 嘉宝果感官品质和口感随时间延长也明显下降, 在上市集中季节容易造成资源浪费, 因此把嘉宝果制成果干是延长货架期的一种重要途径。【前人研究进展】国内外开展了许多有关嘉宝果加工的研究^[6], 但未见嘉宝果产品干燥方法的报道。热风干燥具有操作简便、成本低、容量较大等优点, 是农产品加工中的常用干燥方法^[7-9]。【本研究切入点】目前国内嘉宝果企业常用热风干燥制成果干, 但由于热风干燥所用干燥温度较高, 往往导致营养成分含量降低以及产品感官品质的劣变, 影响了后续的加工利用。因此确定合适的干燥方式, 最大程度地保留嘉宝果的营养、活性成分及外观颜色等, 可为嘉宝果的综合利用及深加工提供依据。【拟解决的关键问题】采用不同温度 (50、60、70℃) 的热风干燥以及真空冷冻干燥加工嘉宝果, 对比分析不同干燥方式的嘉宝果感官特性、主要营养成分及氨基酸组成。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜嘉宝果果实于 2019 年 4 月 20 日采自福建省农业科学院亚热带农业研究所种质资源圃, 供试嘉宝果品种为‘沙巴’。

1.2 试验仪器与设备

BYS-TUDK142 全自动凯氏定氮仪 (意大利 VELP 公司); L-8800 型氨基酸自动分析仪 (日本日立高新技术公司); AAS novAA400 原子吸收光谱仪 (德国耶拿分析仪器公司); Thermo U-3000 液相色谱仪 (美国 Thermo 公司); L5S 型紫外可见分光光度计 (上海仪电分析仪器有限公司); 冷冻干燥机 (FD-1D-50 型, 北京博医康实验仪器有限公司); UPW-20N 型超纯水机 (北京历元电子仪器有限公司);

BS110S 型分析天平 (德国 Sartorius 集团); 101A 型恒温鼓风干燥箱 (上海市实验仪器总厂)。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理 将新鲜嘉宝果洗净, 称取 12 份, 每份 2 500 g, 各取 3 份分别进行 50、60、70℃ 热风干燥和真空冷冻干燥。

热风干燥: 新鲜嘉宝果均匀铺散在干燥箱搁板上, 3 台烘箱分别设置温度 50、60、70℃, 烘干至恒重。

真空冷冻干燥: 先将嘉宝果放入 -35℃ 冷库中预冻 18 h, 然后在冷阱温度 -45℃ 真空度 10 Pa 的条件下升华 16 h, 最后在温度 55℃ 真空度 10 Pa 的条件下解析干燥 5 h。

将干燥后的嘉宝果置于研磨机中打粉, 粉碎后过 80 目筛, 过筛后的嘉宝果果粉用于检测指标备用。

1.3.2 感官评价 感官评价主要从干燥后产品的果皮色泽、果肉颜色、形状、质地、风味 5 个方面进行综合评价^[10-12], 评分标准见表 1。分值越高, 表明该特征指标越好。

1.3.3 指标测定 粗蛋白^[13]、脂肪^[14]、淀粉^[15]、还原糖^[16]、粗纤维^[17]、灰分^[18]、果糖、葡萄糖、蔗糖^[19]、水分^[20]、维生素 C^[21]、硒^[22] 和氨基酸^[23] 分别参照相关国标测定。

1.3.4 多酚含量测定 参照 Xu 等^[24] 和刘禹等^[25] 的方法做适当改动。取 0.1 mL 样品液, 加入 0.1 mL 1.0 mol·L⁻¹ Folin-Ciocalteu 试剂和 2.8 mL 蒸馏水, 混匀, 静置 8 min 后加入 2 mL 7.5% 碳酸钠溶液, 摇匀, 室温下密封避光 2 h, 于 765 nm 处测其吸光度, 平行测定 3 次。以没食子酸为标准品, 建立方程: $y=0.0018x-0.0032$ (30~300 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, $R^2=0.9995$), 式中: y 为吸光度值, x 为没食子酸浓度 ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)。不同提取液中多酚含量用每克干燥叶片中所含的相当于没食子酸 (GAE) 的量进行计算, 单位为 $\text{mg GAE}\cdot\text{g}^{-1}$ (以干基计)。

1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式对嘉宝果感官品质的影响

对比果皮色泽、果肉颜色、形状、质地、风味, 感官评定得分如表 2。从果皮色泽、果肉颜色上看, 真空冷冻干燥优于其他干燥方式, 果皮色泽、果肉颜色接近鲜果, 外观最好。真空冷冻干燥样品形状与鲜果相比变化不大, 质地疏松, 极易粉碎,

表 1 嘉宝果干燥产品的感官评价标准
Table 1 Criteria for sensory evaluation of dried jabuticaba fruits

指标 Index	状态 Criteria	分值 Score
果皮色泽 Peel color	接近鲜果颜色，紫黑色，均匀有光泽 Close to the color of fresh fruit, dark purple, uniform and glossy.	2
	黑褐色，无光泽，与鲜果相比，色泽变化较大 Dark brown, lusterless. Compared with fresh fruit, the color changes greatly.	1
果肉颜色 Pulp color	白色或浅黄色 White or light yellow	3
	棕色 Brown	2
	棕褐色 Tan	1
形状 Shape	圆形，规整，形状接近鲜果 Round, regular, shape close to fresh fruit.	3
	不规整，收缩卷曲 Irregular, curly.	2
	不规整，严重收缩卷曲 Irregular, severe shrinkage curl.	1
质地 Texture	整颗果干很脆，手捏易碎，果皮脆，果肉蜂窝状、疏松易碎，极易磨粉 The dried fruit is very crispy, can be crushed easily by hand. The peel is crispy. The pulp is loose and fragile, honeycomb structure. Fruit is easy to grind into power.	4
	整颗果干手感偏硬，手捏难破皮，果皮有弹性，果肉黏，难以磨粉 The dried fruit feels hard. The peel is hard to break. Elastic peel, sticky pulp, hard to grind into power.	3
	整颗果干手感硬，手捏不破皮，果皮弹性小，果肉黏，难以磨粉 The dried fruit is hard. The peel can't be brokeed, has small elasticity. Sticky pulp, hard to grind into power.	2
	整颗果干手感很硬，手捏不破皮，果皮无弹性、很硬，果肉黏，难以磨粉 The dried fruit is very hard. The peel can't be brokeed and is inelastic. Sticky pulp, hard to grind into power.	1
风味 Aroma	果香浓郁，甜度高于冷冻干燥果干，低于60℃、70℃热风干燥，略酸略有酒味 Rich fruit flavor, sweetness higher than freeze-drying, lower than 60℃ and 70℃ of hot air drying, slightly sour and slightly alcoholic.	4
	果香浓郁，甜而偏酸 Rich fruit flavor, sweet and slightly sour.	3
	果香味较淡，甜度酸度均较小 The fruit flavor is lighter, the sweetness and acidity are smaller.	2
	果香浓郁，较甜较酸，略有焦味 Rich fruit flavor, sweet and sour, slightly burnt.	1

表 2 不同干燥方式嘉宝果感官质量的分值
Table 2 Sensory panel scores on jabuticaba dried by different methods

干燥方式 Drying method	果皮色泽 Peel color	果肉颜色 Pulp color	形状 Shape	质地 Texture	香味 Aroma	总分 Total score
真空冷冻干燥 Vacuum freeze drying	2	3	3	4	2	14
热风干燥（50℃） Hot air drying (50℃)	1	1	2	3	4	11
热风干燥（60℃） Hot air drying (60℃)	1	2	1	2	3	9
热风干燥（70℃） Hot air drying (70℃)	1	2	1	1	1	6

但是果香味较淡。50、60、70℃ 热风干燥样品外观均较差，果皮颜色深且无光泽，形状收缩卷曲，质地坚硬，但 50℃ 热风干燥样品风味最好，果香浓郁，甜度适中，微酸，60℃ 热风干燥样品风味次之，稍偏酸，70℃ 热风干燥样品风味最差，甜偏酸且带焦味。综合各指标特征及评分，真空冷冻干燥样品的感官质量最好。

2.2 不同干燥方式对嘉宝果主要营养成分的影响

不同干燥方式的嘉宝果主要营养成分见表 3。真

空冷冻干燥与热风干燥、不同温度热风干燥之间对营养成分的影响差异显著。真空冷冻干燥对嘉宝果蛋白质、脂肪的保持最好，蛋白质、脂肪含量显著高于 50、60、70℃ 热风干燥。50℃ 热风干燥淀粉、粗纤维、灰分含量显著高于其他处理，真空冷冻干燥处理的样品淀粉含量与 60、70℃ 热风干燥无显著差异，淀粉含量随着热风干燥温度的升高而下降。真空冷冻干燥处理的粗纤维与灰分含量显著高于 60、70℃ 热风干燥，由表 3 可见还原糖是嘉宝果干

表 3 不同干燥方式对嘉宝果主要营养成分的影响
Table 3 Effects of drying methods on nutrients of jabuticaba (单位：%，以干基计)

干燥方式 Drying method	蛋白质 Protein	脂肪 Fat	淀粉 Starch	还原糖 Reducing sugar	粗纤维 Crude fiber	灰分 Ash
真空冷冻干燥 Vacuum freeze drying	5.08±0.02 a	1.13±0.03 a	17.71±0.29 b	38.48±0.12 c	4.00±0.03 b	2.18±0.03 b
热风干燥（50℃） Hot air drying (50℃)	4.72±0.00 b	0.54±0.01 c	19.01±0.79 a	49.99±0.69 b	4.30±0.00 a	2.35±0.04 a
热风干燥（60℃） Hot air drying (60℃)	2.48±0.10 c	0.48±0.02 d	17.17±0.91 b	54.70±0.49 a	2.91±0.02 d	1.70±0.02 c
热风干燥（70℃） Hot air drying (70℃)	2.56±0.19 c	0.75±0.01 b	16.78±0.56 b	55.72±0.04 a	3.55±0.02 c	1.67±0.01 c

注：同列数值不同字母表示差异显著水平达0.05。表4~6同。

Note: Data followed different small letters within column indicate significant different at 0.05 levels. The same as table 4-6.

物质营养中的最主要营养成分，不同干燥方式的还原含量范围为 38.48%~55.72%，其含量随着温度的升高而升高，70℃ 热风干燥还原糖含量最高，真空冷冻干燥含量最低。

2.3 不同干燥方式对嘉宝果糖、葡萄糖及蔗糖的影响

4 种干燥方式中，仅真空冷冻干燥样品中检测到蔗糖。50℃ 热风干燥样品中的果糖、葡萄糖含量最低，两种单糖含量随着热风温度的升高而升高，70℃ 热风干燥样品含量最高。不同干燥处理样品的果糖、葡萄糖含量大小规律一致，均为 70℃ 热风干

燥>60℃ 热风干燥>真空冷冻干燥>50℃ 热风干燥（表 4）。

2.4 不同干燥方式对嘉宝果水分含量、维生素 C、硒及总多酚的影响

表 5 显示，4 种干燥方式所得嘉宝果水分含量由大到小依次为：50℃ 热风干燥>60℃ 热风干燥>70℃ 热风干燥>真空冷冻干燥，60℃ 热风干燥与 70℃ 热风干燥不存在显著差异，但其它处理间均存在显著差异。真空冷冻干燥嘉宝果水分含量 5.92%，显著低于热风干燥，脱水较完全。50℃ 热风干燥水分含量 18.66%，脱水效果差。

表 4 不同干燥方式嘉宝果果糖、葡萄糖及蔗糖含量
Table 4 Contents of fructose, glucose, and sucrose of jabuticaba dried by different methods, % dry basis (单位：%，以干基计)

干燥方式 Drying method	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose
真空冷冻干燥 Vacuum freeze drying	5.38±0.21 b	8.84±0.40 c	2.40±0.06
热风干燥（50℃） Hot air drying (50℃)	1.39±0.02 c	2.48±0.04 d	—
热风干燥（60℃） Hot air drying (60℃)	5.44±0.31 b	10.43±0.63 b	—
热风干燥（70℃） Hot air drying (70℃)	5.92±0.09 a	11.53±0.07 a	—

表 5 不同干燥方式嘉宝果水分、维生素 C、硒及总多酚含量
Table 5 Content of water, vitamin C, selenium and total polyphenols of jabuticaba dried by different drying methods (单位以干基计)

干燥方式 Drying method	水分含量 Water content /%	维生素 Vitamin C / (mg·hg ⁻¹)	硒 Selenium / (mg·kg ⁻¹)	总多酚 Total polyphenols / (mg·g ⁻¹)
真空冷冻干燥 Vacuum freeze drying	5.92±0.01 c	105.20±0.83 a	0.014 2±0.000 1 d	86.55±3.76 a
热风干燥（50℃） Hot air drying (50℃)	18.66±0.01 a	79.12±0.60 b	0.040 7±0.000 7 a	57.24±3.08 b
热风干燥（60℃） Hot air drying (60℃)	12.74±0.01 b	62.03±0.17 c	0.027 8±0.000 8 b	43.66±2.67 c
热风干燥（70℃） Hot air drying (70℃)	12.31±0.01 b	52.12±0.32 d	0.020 3±0.000 2 c	37.93±3.24 d

嘉宝果经过不同方式的干燥后, 维生素 C、硒及总多酚含量均存在显著差异。真空冷冻干燥样品中的维生素 C 和总多酚含量均显著高于 3 种热风干燥, 随着干燥温度的上升, 维生素 C 和总多酚含量显著下降, 70℃ 热风干燥样品维生素 C 含量约是真空冷冻干燥的 50%, 总多酚含量不足真空冷冻干燥的 50%。50℃ 热风干燥样品硒含量最高, 显著高于其他 3 种干燥方式, 且随着热风干燥温度的上升显著下降, 真空冷冻干燥样品硒含量最低, 仅 0.014 2 mg·kg⁻¹。

2.5 不同干燥方式对嘉宝果氨基酸组成的影响

表 6 显示, 50℃ 热风干燥样品氨基酸总量最高, 显著高于其它 3 种干燥方式, 真空冷冻干燥次之, 60℃ 热风干燥与 70℃ 热风干燥氨基酸总量无显著差异。50℃ 热风干燥样品 17 种氨基酸含量均显著高于 60℃ 和 70℃ 热风干燥, 10 种氨基酸(缬草氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、胱氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸)显著高于真空冷冻干燥, 7 种氨基酸(苏氨酸、亮氨酸、天门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸)与真空冷

表 6 不同干燥方式嘉宝果氨基酸组成
Table 6 Amino acid composition of jabuticaba dried by different methods (单位: %, 以干基计)

氨基酸 Amino acid	真空冷冻干燥 Vacuum freeze drying	热风干燥 (50℃) Hot air drying (50℃)	热风干燥 (60℃) Hot air drying (60℃)	热风干燥 (70℃) Hot air drying (70℃)
必需氨基酸 Essential amino acid				
苏氨酸 Threonine	0.177±0.004 a	0.181±0.004 a	0.094±0.001 b	0.092±0.002 b
缬草氨酸 Valine	0.207±0.004 b	0.237±0.004 a	0.123±0.001 c	0.125±0.004 c
甲硫氨酸 Methionine	0.040±0.011 b	0.075±0.001 a	0.025±0.004 c	0.023±0.001 c
异亮氨酸 Isoleucine	0.144±0.003 b	0.162±0.005 a	0.097±0.002 c	0.065±0.001 d
亮氨酸 Leucine	0.343±0.058 a	0.296±0.009 a	0.113±0.003 b	0.130±0.002 b
苯丙氨酸 Phenylalanine	0.223±0.006 b	0.247±0.004 a	0.080±0.004 d	0.091±0.003 c
赖氨酸 Lysine	0.292±0.005 b	0.332±0.011 a	0.125±0.006 c	0.116±0.003 c
非必需氨基酸 Nonessential amino acid				
天门冬氨酸 Aspartic acid	0.422±0.002 a	0.432±0.006 a	0.221±0.001 b	0.204±0.003 c
丝氨酸 Serine	0.206±0.007 a	0.211±0.004 a	0.096±0.005 b	0.104±0.004 b
谷氨酸 Glutamic acid	0.532±0.022 a	0.514±0.006 a	0.245±0.009 b	0.247±0.006 b
甘氨酸 Glycine	0.218±0.003 a	0.241±0.010 a	0.141±0.002 b	0.112±0.002 c
丙氨酸 Alanine	0.252±0.007 a	0.251±0.004 a	0.165±0.002 b	0.145±0.004 c
胱氨酸 Cystine	0.054±0.005 b	0.076±0.003 a	0.032±0.001 d	0.046±0.003 c
酪氨酸 Tyrosine	0.123±0.006 b	0.152±0.003 a	0.044±0.002 c	0.019±0.002 d
组氨酸 Histidine	0.143±0.003 b	0.157±0.004 a	0.065±0.001 c	0.047±0.002 d
精氨酸 Arginine	0.251±0.004 b	0.287±0.014 a	0.115±0.002 c	0.118±0.003 c
脯氨酸 Proline	0.212±0.007 b	0.233±0.009 a	0.079±0.003 d	0.133±0.005 c
必需氨基酸总量 Essential amino acid, EAA	1.426±0.076 b	1.530±0.015 a	0.657±0.011 c	0.642±0.009 c
非必需氨基酸总量 Nonessential amino acid, NEAA	2.414±0.021 b	2.553±0.011 a	1.202±0.016 c	1.175±0.013 c
氨基酸总量 Total amino acids, TAA	3.840±0.094 b	4.083±0.019 a	1.859±0.027 c	1.817±0.014 c
必需氨基酸/氨基酸总量 (EAA/TAA)	0.37±0.01 a	0.37±0.00 a	0.35±0.00 b	0.35±0.00 b
必需氨基酸/非必需氨基酸总量 (EAA/NEAA)	0.59±0.03 a	0.60±0.01 a	0.55±0.00 b	0.55±0.01 b

冻干燥无显著差异。从 60℃ 热风干燥到 70℃ 热风干燥, 6 种氨基酸(异亮氨酸、天门冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、酪氨酸、组氨酸)含量显著下降, 4 种氨基酸(亮氨酸、苯丙氨酸、胱氨酸、脯氨酸)含量显著上升。真空冷冻干燥和 50℃ 热风干燥必需氨基酸占氨基酸总量的百分比(EAA/TAA 值)均为 0.37, 虽低于 FAO/WHO 提出的理想蛋白标准(0.40), 但显著优于 60℃ 和 70℃ 热风干燥(0.35, 0.35)。50℃ 热风干燥必需氨基酸与非必需氨基酸之比(EAA/NEAA)为 0.60, 已达到 FAO/WHO 的理想模式(0.60), 真空冷冻干燥 EAA/NEAA 为 0.59, 接近 FAO/WHO 的理想模式, 而 60℃ 和 70℃ 热风干燥的 EAA/NEAA 均为 0.55。

3 讨论与结论

真空冷冻干燥与热风干燥嘉宝果样品在感官品质上差异明显, 这与干燥原理、温度、干燥环境氧气含量、时间等均有密切关系。真空冷冻干燥样品的形状和质地优于热风干燥, 这与干燥原理息息相关。真空冷冻干燥是在物料水分为固体状态下去除水分, 而热风干燥则是在物料水分为液体状态下去除水分。真空冷冻干燥将含水物料冻结后, 置于真空之下, 并供给一定的热量, 使物料中的从冰晶状态下直接升华, 升华后的原料冰晶在物料会留下很多空穴, 能形成较均匀的多孔结构, 果实收缩小, 较好保持果实原有形状, 质地疏松, 口感酥脆, 在运输和包装过程中容易形成粉末^[26]。热风干燥的过程是由表及里进行的, 在干燥过程中存在着湿度梯度和温度梯度, 两种梯度的方向相反, 故干燥速度较慢、干燥时间长, 破坏了产品的组织结构, 造成物料内部组织结构塌陷^[27], 干燥时表面快速升温, 细胞收缩, 导致果皮硬化, 因而形成表皮起皱、干瘪坚硬等外观现象。

真空冷冻干燥嘉宝果不仅在质地、形状上明显优于热风干燥, 在果实的色泽上也具有明显优势。这是由于真空冷冻干燥过程中大部分时间处于低温和缺氧状态, 使嘉宝果内部几乎不发生美拉德反应, 从而保证了较好的色泽。经热风干燥的产品色泽较暗, 这与热风干燥常压状态、时间长、干燥温度高有关, 常压下操作时间越长, 干燥温度越高, 产品的褐变越严重^[26]。热风干燥的嘉宝果香味较真空冷冻干燥更浓、甜度更高, 可能是因为在加热升温的过程中存在糖分以及香气成分的转化, 使还原糖含量升高及香味物质的组成发生了变化。

不同干燥方式下蛋白质含量、氨基酸总量、各

氨基酸含量、必需氨基酸占比都存在明显差异, 这是由于干燥过程中蛋白质降解、美拉德反应共同作用的结果^[28]。蛋白质在低温下不易降解且美拉德反应被抑制, 故真空冷冻干燥嘉宝果蛋白质含量最高, 显著高于热风干燥。随着热风干燥温度升高, 蛋白质降解与美拉德反应速率加快, 因而 60℃ 与 70℃ 热风干燥蛋白质含量显著低于 50℃ 热风干燥。50℃ 热风干燥氨基酸总量最高, 一方面可能因蛋白质的降解(与真空冷冻干燥对比而言), 另一方面 50℃ 时美拉德反应速率还较低(相对 60℃、70℃ 热风干燥而言), 而温度越高(60℃、70℃), 美拉德反应速率越高, 因而 60℃ 与 70℃ 热风干燥样品的氨基酸远低于 50℃ 热风干燥及真空冷冻干燥。

热风干燥嘉宝果还原糖显著高于真空冷冻干燥, 可能是高温有利于淀粉分解为还原糖^[29-30]。3 种温度的热风干燥淀粉含量随着温度升高而下降, 而还原糖含量随着温度的升高而升高, 这由于升温过程中淀粉酶活性提高, 使淀粉降解为糖^[26]。

维生素 C 性质不稳定, 对光、热和空气敏感, 易被氧化^[31]。本研究结果表明真空冷冻干燥比其它干燥方式更有利于维生素 C 的保持, 与杨梅^[32]、西兰花^[33]、甘薯^[26] 研究结果一致。真空冷冻干燥嘉宝果维生素 C 含量最高, 且随着热风干燥温度的升高而降低。说明在干燥过程中氧气和温度是影响维生素 C 稳定性的主要因素, 真空冷冻干燥过程的低氧和低氧环境有利于维生素 C 的保持^[33]。热风干燥属高温和长时间接触空气的干燥, 对维生素 C 的破坏大, 因而保留率低。

嘉宝果属于珍稀水果, 果实价格昂贵, 具有良好的保健功效, 嘉宝果多酚类物质可能是其具有显著降血糖、抗氧化功效的重要功能性成分^[4]。为充分挖掘嘉宝果功能性成分, 为相关功能性食品开发提供特色原料资源, 对嘉宝果采后脱水加工是关键环节。本试验结果显示, 真空冷冻干燥工艺能最大限度保存果实的功能性成分, 总多酚含量达到 86.55 mg·g⁻¹, 比 50℃ 热风干燥的高 1.5 倍、比 60℃ 热风干燥的高 2 倍, 是 4 种干燥方式中最理想的脱水工艺。

综合考虑 4 种干燥方式干燥产品的感官品质、营养成分和功能成分特性, 真空冷冻干燥能够最好地保持色泽、形状、质地、蛋白质、脂肪、维生素 C、总多酚, 且能达到最好的脱水效果, 也能较好地保存粗纤维、淀粉、氨基酸、灰分等营养成分, 对于产品品质而言是一种理想的干燥方式。从工业化利用角度考虑, 由于真空冷冻干燥设备投入大、加

工过程耗时长、能耗大、成本高,对农产品加工来说是明显的缺陷。因此今后有必要进一步探索低温真空脱水、常温热泵脱水等新兴脱水技术在嘉宝果上的应用,综合考虑脱水品质及加工成本,为嘉宝果采后加工提供更加实用的产业化工艺。

参考文献:

- [1] 唐丽,袁婷婷,钟秋平.嘉宝果营养成分分析[J].*经济林研究*,2014,32(2):120-124.
TANG L, YUAN T T, ZHONG Q P. Analysis of nutritional components in *Myrciaria cauliflora* [J]. *Nonwood Forest Research*, 2014, 32(2): 120-124. (in Chinese)
- [2] 邱珊莲,林宝妹,张少平,等.嘉宝果果实不同部位营养成分分析[J].*福建农业科技*,2018,49(1):1-3.
QIU S L, LIN B M, ZHANG S P, et al. Analysis of nutritional composition in different fractions of jaboticaba fruit [J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2018, 49(1): 1-3. (in Chinese)
- [3] LEITE-LEGATTI A V, BATISTA Â G, DRAGANO N R V, et al. Jaboticaba peel: Antioxidant compounds, antiproliferative and antimutagenic activities [J]. *Food Research International*, 2012, 49(1): 596-603.
- [4] 邱珊莲,林宝妹,洪佳敏,等.树葡萄植株不同部位醇提物抗氧化及抑制 α -葡萄糖苷酶活性的比较研究[J].*果树学报*,2018,35(3):311-318.
QIU S L, LIN B M, HONG J M, et al. Comparative study of antioxidative activity and α -glucosidase inhibitory activity of ethanol extracts from different parts of jaboticaba plant [J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35(3): 311-318. (in Chinese)
- [5] POPENOE W. Manual of tropical and subtropical fruits[M]. Macmillan, New York, 1974: 474.
- [6] 邱珊莲,张帅,张少平,等.嘉宝果加工研究进展[J].*福建农业科技*,2018,49(8):67-70.
QIU S L, ZHANG S, ZHANG S P, et al. Research advance on the processing of jaboticaba [J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2018, 49(8): 67-70. (in Chinese)
- [7] 张江宁,杨春,丁卫英.不同干燥方式对红枣品质的影响[J].*北方园艺*,2016(14):139-143.
ZHANG J N, YANG C, DING W Y. Effect of different drying methods on the quality properties of jujube [J]. *Northern Horticulture*, 2016(14): 139-143. (in Chinese)
- [8] 李建芳,豆成林,王荣荣.不同干燥方式对木耳菜品质特性的影响研究[J].*食品研究与开发*,2012,33(09):61-63.
LI J F, DOU C L, WANG R R. Effects of drying methods on quality of *Gynura cusimbua* [J]. *Food Research and Development*, 2012, 33(09): 61-63. (in Chinese)
- [9] 张玉荣,周显青,刘通.玉米热风 and 真空干燥特性与干燥模型分析[J].*河南工业大学学报(自然科学版)*,2010,31(2):9-14.
ZHANG Y R, ZHOU X Q, LIU T. Analysis of drying characteristics and drying model of maize under hot air and vacuum conditions [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2010, 31(2): 9-14. (in Chinese)
- [10] 邵春风.感官评价在食品中的研究进展[J].*肉类工业*,2006(6):35-37.
SHAO C F. Development of study on sensory evaluation in food [J]. *Meat Industry*, 2006(6): 35-37. (in Chinese)
- [11] 郭奇慧,白雪,生庆海,等.感官品评方法在再制奶酪中的应用[J].*食品工业*,2010(4):34-35.
GUO Q H, BAI X, SHENG Q H, et al. The application of sensory scoring for remanufacturing cheese [J]. *Food Industry*, 2010(4): 34-35. (in Chinese)
- [12] 徐晓飞,向莹,张小爽,等.不同干燥方式对香菇品质的影响[J].*食品工业科技*,2012,33(17):259-262.
XU X F, XIANG Y, ZHANG X S. Effect of different drying methods on quality of mushroom [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(17): 259-262. (in Chinese)
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China China Food and Drug Administration. National Food Safety Standards Determination of protein in foods: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准食品中脂肪的测定:GB 5009.6-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China China Food and Drug Administration. National Food Safety Standards Determination of fat in foods: GB 5009.6-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准食品中淀粉的测定:GB 5009.9-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China China Food and Drug Administration. National Food Safety Standards Determination of starch in foods: GB 5009.9-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中还原糖的测定:GB 5009.7-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standards Determination of reducing sugar in foods: GB 5009.7-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会.植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10-2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
Ministry of Health of the People's Republic of China Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude fiber in plant foods: GB/T 5009.10-2003[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食

- 品中灰分的测定: GB 5009.4-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standards Determination of ash in foods: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定: GB 5009.8-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China China Food and Drug Administration. National Food Safety Standards Determination of fructose, glucose, sucrose, maltose and lactose in foods: GB 5009.8-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中水分的测定: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standards Determination of moisture in foods: GB 5009.3-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standards Determination of ascorbic acid in foods: GB 5009.86-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中硒的测定: GB 5009.93-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China China Food and Drug Administration. National Food Safety Standards Determination of selenium in foods: GB 5009.93-2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017. (in Chinese)
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定: GB 5009.124-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China China Food and Drug Administration. National Food Safety Standards Determination of amino acids in foods: GB 5009.124-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [24] XU J G, TIAN C R, HU Q P, et al. Dynamic changes in phenolic compounds and antioxidant activity in oats (*Avena nuda* L.) during steeping and germination [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2009, 57 (21): 10392-10398.
- [25] 刘禹, 段江莲, 李为琴, 张梅庆, 琚裕杰. 高粱米不同溶剂提取物的抗氧化活性研究 [J]. *中国粮油学报*, 2013, 28 (6): 36-39.
- LIU Y, DUAN J L, LI W Q, et al. Study on antioxidant activities of different solvent extracts from the sorghum rice [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2013, 28 (6): 36-39. (in Chinese)
- [26] 丁媛媛, 毕金峰, 木泰华, 等. 不同干燥方式对甘薯产品品质的影响 [J]. *食品科学*, 2011, 32 (16): 108-112.
- DING Y Y, BI J F, MU T H, et al. Effect of different drying methods on quality of sweet potato products [J]. *Food Science*, 2011, 32 (16): 108-112. (in Chinese)
- [27] 施明恒, 王馨. 快速干燥过程中多孔介质内部湿分迁移机理的研究 [J]. *工程热物理学报*, 2000, 21 (2): 216-219.
- SHI M H, WANG X. Investigation on moisture transfer mechanism in porous media during rapid drying process [J]. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2000, 21 (2): 216-219. (in Chinese)
- [28] 盛金凤, 李丽, 李昌宝, 等. 不同干燥方式对火龙果花品质特性的影响 [J]. *食品科技*, 2016, 41 (2): 98-103.
- SHENG J F, LI L, LI C B, et al. Effects of different drying methods on quality of pitaya flowers [J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41 (2): 98-103. (in Chinese)
- [29] 赖谱富, 李怡彬, 吴俐, 等. 不同干燥方式对葛渣营养和功能成分的影响 [J]. *福建农业学报*, 2018, 33 (10): 1108-1112.
- LAI P F, LI Y B, WU L, et al. Effects of different drying methods on the nutritional and bioactive components of Radix Puerariae residue [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33 (10): 1108-1112. (in Chinese)
- [30] 徐康, 杜金华. 干燥方法对黄秋葵抗氧化能力的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42 (5): 120-125.
- XU K, DU J H. Effects of drying methods on antioxidant capacities of okra fruit [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42 (5): 120-125. (in Chinese)
- [31] 朱庆珍. HPLC法测定枇杷和杨梅中维生素C的含量 [J]. *食品研究与开发*, 2010, 31 (5): 133-134.
- ZHU Q Z. Determination of vitam C in Loquat and Myrica rubra by High Performance Liquid Chromatography [J]. *Food Research and Development*, 2010, 31 (5): 133-134. (in Chinese)
- [32] 李伟, 郜海燕, 陈杭君, 等. 不同干燥方式对杨梅果粉品质的影响 [J]. *食品科学*, 2017, 38 (13): 77-82.
- LI W, GAO H Y, CHEN H J, et al. Effect of drying methods on quality characteristics of bayberry powder [J]. *Food Science*, 2017, 38 (13): 77-82. (in Chinese)
- [33] 杨华, 杨性民, 孙金才. 不同干燥方式对西兰花蔬菜粉品质的影响 [J]. *中国食品学报*, 2013, 13 (7): 152-158.
- YANG H, YANG X M, SUN J C. Effect of different drying methods on vegetable powder quality of the broccoli (*Brassica Oleracea*) [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13 (7): 152-158. (in Chinese)

(责任编辑: 翁志辉)