

李勋兰, 魏召新, 彭芳芳, 等. 真空冷冻干燥与热风干燥对桑果品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(1): 169-174.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.01.022

真空冷冻干燥与热风干燥对桑果品质的影响

李勋兰, 魏召新, 彭芳芳, 尹旭敏, 韩国辉
(重庆市农业科学院果树研究所, 重庆 401329)

摘要: 研究真空冷冻干燥与热风干燥对不同果桑品种果实品质的影响, 为果桑综合开发利用提供依据。以果桑品种大十、台湾 72C002 和白玉王为研究对象, 分析测定热风干燥和真空冷冻干燥后果实中总酸含量、总黄酮含量、总酚含量、花色苷含量及 16 种氨基酸含量等品质指标的差异和变化, 并利用因子分析法对不同品种果实干燥处理前后果实品质进行综合评价。结果显示: 3 个品种鲜果中总酸含量、总黄酮含量、总酚含量、花色苷含量及总氨基酸含量皆存在显著差异, 其中大十果实中总黄酮含量、总酚含量和花色苷含量最高。3 个品种果实中花色苷含量、总黄酮含量和总酚含量在真空冷冻干燥处理后皆显著高于热风干燥处理。2 种干燥处理对桑果品质指标影响差异由大到小皆为: 花色苷>总黄酮>总酚>总酸>总氨基酸。大十和台湾 72C002 桑果在 2 种干燥处理后果实综合品质由高到低均为鲜果>真空冷冻干燥>热风干燥, 白玉王桑果在 2 种干燥方式间综合品质差异较小。说明不同干燥方式对果实的营养成分, 特别是活性物质含量影响差异较大, 且影响程度与品种相关, 总体上, 真空冷冻干燥更利于保持果实原有品质。

关键词: 果桑; 干燥处理; 营养品质; 氨基酸

中图分类号: S663 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)01-0169-06

Effects vacuum freezing drying and hot air drying on qualities of mulberry fruit

LI Xun-lan, WEI Zhao-xin, PENG Fang-fang, YIN Xu-min, HAN Guo-hui

(Institute of pomology, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China)

Abstract: The effects of hot air drying and vacuum freeze drying on fruit quality of different mulberry varieties were studied to provide the basis for the comprehensive development and utilization of fruit mulberry. The fruits of Dashi, Taiwan 72C002 and Baiyuwang were taken as the research objects to detect the differences and changes of quality indices such as total acids content, total flavonoids content, total phenols content, anthocyanin content and 16 kinds of amino acids in fruits after treated by hot air drying and vacuum freeze drying. Factor analysis was applied to comprehensively evaluate the qualities of different fruits before and after drying. The results showed that there were significant differences in total acids content, total flavonoids content, total phenols content, anthocyanin content and total amino acids content between the fresh

fruits of three varieties. The fruits of Dashi had the highest content of total flavonoids, total phenols and anthocyanin. The content of anthocyanin, total flavonoids and total phenols in mulberry fruits of three varieties treated with vacuum freeze drying were significantly higher than those treated with hot air drying. The difference in the effects of the two drying treatments on the quality of mulberry fruits was as follows: anthocyanins > total flavonoids > total phenols > total acids > total amino acids. The ranking of comprehensive quality of the fruits of Dashi and Taiwan

收稿日期: 2020-07-02

基金项目: 重庆市科研机构绩效激励引导专项 (cstc2018jxjl0118); 重庆市农业科学院青年创新团队项目 (NKY-2019QC08); 重庆市技术创新与应用发展专项 (cstc2019jcsx-msxmX037-1); 重庆市农发资金-良种创新重大项目 (NKY-2016AA002); 农业与发展基础项目 (NKY-2020AC005)

作者简介: 李勋兰 (1988-), 女, 重庆人, 助理研究员, 硕士, 主要从事果实品质评价与果树信息化研究。(E-mail) lixunlan2009@126.com

通讯作者: 韩国辉, (E-mail) 710656048@qq.com

72C002 after two drying treatments were both fresh > vacuum freeze drying > hot air drying. The difference of comprehensive quality of Baiyuwang between the two drying methods was small. The results demonstrate that different drying methods show great differences in influencing nutrient content of fruits, especially in the content of active substances. The influence degree of different drying methods on nutrients is related to varieties. In general, vacuum freeze-drying is more conducive in maintaining the original quality of the fruits.

Key words: mulberry; drying treatment; nutritional quality; amino acids

果桑,是桑科(Moraceae)桑属(*Morus* L.)植物。果桑的果实桑果(桑葚)除含有丰富的活性蛋白、有机酸、矿物质、氨基酸外,还富含花色苷、白藜芦醇、多糖等功能性成分,是卫生部首批药食两用农产品之一,果肉柔嫩多汁,美味可口,深受广大消费者喜爱^[1-3]。近几年,中国果桑产业发展较快,种植面积和产量不断增加。但是,由于果桑成熟期多集中在4-5月,采摘期及挂果期极短,且桑果极不耐储运^[4]。因此,桑果除少量以鲜果形式销售外,大部分需进行加工处理,以加工产品的形式销售。目前,干燥处理是桑果主要加工形式之一,能极大地解决桑果不耐贮藏问题。自然晾干、热风干燥、烤炉加热干燥是目前各果桑主产区获得桑葚干制品的主要方法,真空冷冻干燥法可较好地保留桑葚的外观品质且加工品口感较好,但由于成本较高,应用还比较少。不同的干燥加工方法会导致桑果营养成分发生变化,大多数研究关注干燥对桑果生物活性成分含量的影响以及桑果加工工艺和参数^[5-8],桑果富含氨基酸,但相关研究较少分析干燥处理对桑果氨基酸含量的影响。不同品种的桑果营养成分和含量有差异,其加工性能也不同,但关于干燥处理对不同果桑品种的桑果品质影响的研究较少。

本研究以主栽品种大十、白玉王以及加工潜力大的台湾 72C002 的桑果为研究对象,采用热风干燥和真空冷冻干燥对 3 个果桑品种的桑果进行处理,分析比较桑果总酚、总黄酮、总花色苷、氨基酸等品质指标的变化情况,分析 2 种干燥方式对桑果常规品质指标和氨基酸含量的影响,同时分析 2 种干燥方式对不同果桑品种的桑果品质影响的差异,为不同果桑品种的桑果保存和加工提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试桑果均采自重庆市农业科学院果桑资源保存圃,品种为大十(*Morus atropurpurea* R.)、白玉王

(*Morus alba* L.)和台湾 72C002(*Morus alba* L.)。选取形状和大小均匀相近、健康、无损伤的八成熟果实,采集后立即带回实验室备用。

试剂药品:无水乙醇、福林酚试剂、碳酸钠、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、盐酸、磷酸氢二钠、苯酚、柠檬酸钠均为国产分析纯,芦丁、没食子酸、氨基酸等标准品均为美国 Sigma 公司产品。

1.2 仪器与设备

DHG-9070 电热恒温鼓风干燥箱,购自上海三发科学仪器有限公司;UV-7502C 紫外可见近红外分光光度计,购自上海佑科仪器有限公司;TGL20MW 台式高速冷冻离心机,购自湖南赫西仪器装备有限公司;HHS-4S 电子恒温水浴锅,购自上海宜昌仪器纱筛厂;LGJ-200F 真空冷冻干燥机,购自北京松源华兴科技有限公司;L-8900 型氨基酸自动分析仪,购自日本日立公司。

1.3 试验方法

1.3.1 干燥工艺 预处理:挑选完好无损伤的新鲜桑果,除梗后清洗,在通风室内晾干表面水分,分别取样用于热风干燥和真空冷冻干燥。

热风干燥:桑果均匀平铺于托盘,预处理温度为 25℃,干燥温度为 45℃,干燥时间为 48 h。

真空冷冻干燥:桑果平铺于托盘,在-30℃恒温冰箱中预冻 24 h,然后放入真空冷冻干燥机中干燥,冷阱温度为-80℃,真空度 10 Mpa 以下,真空冷冻 48 h。

1.3.2 测定指标与方法 总酸含量采用 GB/T 12456-2008《食品中总酸的测定》^[9]中的方法测定。

花色苷含量参考 pH 示差法测定^[10]:称取样本 0.500 g 加入 10 ml 酸化乙醇(95%乙醇和 1%浓盐酸,乙醇与盐酸体积比为 60:40)超声提取 1 h,8 000 r/min 离心 2 min,吸取 2 ml 上清液,分别加入 pH 1.0 和 PH 4.5 的缓冲液并定容至 25 ml。静置 15 min,在 520 nm 和 700 nm 处测定吸光值。

总酚和总黄酮含量测定:称取样本 1.000 g 加入 30 ml 60%乙醇,超声提取 10 min,8 000 r/min 离

心 2 min,吸取上清液用于总酚和总黄酮测定。总酚参考福林酚法^[11]测定,吸取 5 ml 上清液加入 60% 乙醇定容至 25 ml 作为待测液,吸取 2 ml 待测液,加入 6 ml 福林酚试剂,摇匀,避光 5 min 加入 6 ml 10% Na_2CO_3 ,加水定容至 25 ml,40 ℃ 水浴 1 h,静置冷却 20 min,765 nm 下测定吸光值,以没食子酸标准品制作标准曲线。总黄酮参考亚硝酸钠-硝酸铝法^[12],吸取上清液 5 ml,加入 5% NaNO_2 溶液 2 ml,摇匀,5 min 后加入 2 ml 10% $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液,摇匀,6 min 后加入 20 ml 1 mol/L NaOH ,用 30% 的乙醇定容至 25 ml,静置 15 min,在 510 nm 处测定吸光度,以芦丁标准品制作标准曲线。

氨基酸含量采用 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》^[13] 中的方法测定。

1.4 数据分析

所有指标测定设置 3 个重复,均用均值±标准差表示。所用样品营养成分含量皆以鲜质量计算。干燥处理样品干燥前后皆称质量,样品鲜质量与干质量比值即为水分系数,将按干质量计算的成分含量除以水

分系数即获得以鲜质量计算的各营养成分含量^[14]。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式对桑果常规品质指标的影响

从表 1 可以看出,鲜果中总酸、总酚、总黄酮及花色苷含量在不同品种间皆存在显著差异,除台湾 72C002 中总酸含量最高外,鲜果中总酚、总黄酮及花色苷含量由高到低均为:大十>台湾 72C002>白玉王。白玉王为白色果桑品种,果实中不含花色苷。3 个品种果实总酸含量在干燥处理后皆显著低于鲜果,但在 2 种干燥方式间无显著性差异。大十和台湾 72C002 果实中总酚、总黄酮和花色苷含量在真空冷冻干燥处理下皆显著高于热风干燥处理,且冷冻真空干燥处理下大十果实中总酚和花色苷含量保留率达 95% 以上,台湾 72C002 果实总酚、总黄酮保留率均达 85% 以上,花色苷保留率达 66%。白玉王总酸和总酚含量在 2 种干燥处理间差异不显著,真空冷冻干燥处理下总黄酮含量显著高于热风干燥处理,保留率达 72.34%。

表 1 不同干燥方式下桑果中总酸、总酚、总黄酮和花色苷含量

Table 1 Contents of total acids, total phenols, total flavonoids and anthocyanin of mulberry fruits using different drying methods

品种	处理方式	总酸含量 (%)	总酚含量 (mg/g)	总黄酮含量 (mg/g)	花色苷含量 (mg/g)
大十	鲜果	0.19±0.03b	4.00±0.06a	2.34±0.06a	2.73±0.06a
	真空冷冻干燥	0.12±0cd	3.92±0.23a	1.61±0.08b	2.62±0.08a
	热风干燥	0.13±0d	3.41±0.06b	1.01±0.11c	0.62±0.03d
台湾 72C002	鲜果	0.34±0.03a	2.89±0.03c	1.54±0.02b	1.81±0.03b
	真空冷冻干燥	0.11±0cde	2.49±0.05d	1.51±0.09b	1.20±0.14c
	热风干燥	0.10±0de	1.93±0.06e	0.91±0.03c	0.22±0.01e
白玉王	鲜果	0.16±0.02bc	1.27±0.03f	0.47±0.01d	0f
	真空冷冻干燥	0.06±0e	0.69±0.02g	0.34±0.05b	0f
	热风干燥	0.11±0.01cde	0.95±0.09g	0.25±0.04c	0f

同一列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同干燥方式对桑果氨基酸含量的影响

从表 2 可以看出,3 个品种鲜果中 16 种氨基酸总含量存在显著差异,氨基酸总含量由高到低为:白玉王>台湾 72C002>大十。3 个品种鲜果中皆以药用氨基酸为主,占 16 种氨基酸总量的 67% 左右,7 种必需氨基酸占 16 种氨基酸总量的 30% 左右,且药用氨基酸及 7 种必需氨基酸总含量占比在 3 个品种间无显著差异。药用氨基酸中天冬氨酸和谷氨酸在 16 种氨基酸中含量最高。白玉王鲜果中苏氨酸、丝

氨酸、丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸以及蛋氨酸含量皆显著高于其他 2 个品种;大十鲜果中除谷氨酸、精氨酸、脯氨酸和蛋氨酸外,其他 12 种氨基酸含量显著低于其他 2 个品种。热风干燥及真空冷冻干燥处理后果实氨基酸组成与鲜果相似,药用氨基酸含量为 16 种氨基酸总量的 63%~67%,7 种必需氨基酸占 16 种氨基酸总量的 28% 左右。不同氨基酸保留率有较大差异,3 个品种在 2 种干燥方式下谷氨酸、甘氨酸、丝氨酸、丙氨酸、缬氨酸、异

亮氨酸和亮氨酸保留率都较高,保留率为74%~98%,蛋氨酸保留率较低(51%~82%)。从氨基酸总量变化来看,3个品种在2种干燥处理后氨基酸总含量显著低于鲜果,且在干燥处理间氨基酸总含量有显著差异。大十氨基酸总含量在热风干燥处理

后保留率达89%,高于真空冷冻干燥处理;台湾72C002在真空冷冻干燥处理后氨基酸总含量保留率达89%,高于热风干燥处理;白玉王在热风干燥处理后氨基酸总含量与鲜果差异较小,保留率达90%,高于真空冷冻干燥处理。

表2 不同干燥方式处理后桑果氨基酸含量(mg/g)

Table 2 Contents of amino acids of mulberry fruits after treating with in different drying methods (mg/g)

氨基酸	大十			台湾 72C002			白玉王		
	鲜果	真空冷冻干燥	热风干燥	鲜果	真空冷冻干燥	热风干燥	鲜果	真空冷冻干燥	热风干燥
天门冬氨酸 [*]	1.68±0.12a	1.21±0.14b	1.57±0.25c	2.00±0.08a	1.88±0.13a	1.31±0.02b	2.83±0.09a	2.23±0.16b	2.77±0.16a
苏氨酸 [#]	0.40±0.03cd	0.36±0.02d	0.36±0.01d	0.48±0.05b	0.38±0.01cd	0.35±0.03d	0.58±0.0a	0.39±0.01cd	0.42±0.01c
丝氨酸	0.52±0.02de	0.47±0.01e	0.51±0.03de	0.64±0.03c	0.54±0.03d	0.48±0.03e	0.79±0.02a	0.65±0.02c	0.72±0.01b
谷氨酸 [*]	1.87±0.26a	1.61±0.09a	1.71±0.11a	1.8±0.08a	1.74±0.08a	1.33±0.11b	1.87±0.12a	1.71±0.07a	1.66±0.05a
甘氨酸 [*]	0.36±0.02c	0.3±0.01d	0.33±0.02c	0.47±0.0a	0.42±0.01b	0.41±0.02b	0.50±0.03a	0.41±0.01b	0.47±0.01a
丙氨酸	0.43±0.02f	0.35±0.01g	0.41±0.03f	0.57±0.02d	0.49±0.02e	0.44±0.01f	0.80±0.03a	0.71±0.03c	0.76±0.02b
缬氨酸 [#]	0.45±0.03c	0.40±0.01d	0.42±0.02cd	0.50±0.03b	0.46±0.01c	0.42±0.02cd	0.56±0.02a	0.44±0.01cd	0.52±0.01ab
异亮氨酸 ^{**}	0.29±0.02e	0.26±0.01f	0.28±0.02ef	0.37±0.01bc	0.35±0.01cd	0.33±0.01d	0.45±0.01a	0.33±0.01d	0.40±0.01b
亮氨酸 ^{**}	0.54±0.03de	0.47±0.01f	0.50±0.03ef	0.64±0.01bc	0.59±0.01cd	0.55±0.02d	0.71±0.03a	0.60±0.02c	0.67±0.01b
酪氨酸	0.31±0.01cd	0.16±0.01e	0.19±0.02e	0.41±0.01ab	0.29±0.03d	0.30±0.02cd	0.44±0.01a	0.34±0.01c	0.38±0.01b
苯丙氨酸 ^{**}	0.41±0.02d	0.29±0.0f	0.33±0.02e	0.52±0.02bc	0.44±0.02d	0.43±0.0d	0.56±0.01a	0.50±0.01c	0.54±0.02ab
赖氨酸 ^{**}	0.45±0.03b	0.37±0.01cd	0.34±0.01d	0.52±0.0a	0.44±0.01b	0.38±0.01cd	0.51±0.03a	0.39±0.01c	0.36±0.0cd
组氨酸	0.23±0.01bcd	0.20±0.01e	0.25±0.02ab	0.26±0.0a	0.23±0.01cd	0.18±0.01e	0.26±0.0a	0.21±0.01de	0.24±0.01abc
精氨酸 [*]	0.62±0.05ab	0.34±0.01e	0.45±0.04d	0.57±0.06bc	0.57±0.02bc	0.49±0.03cd	0.67±0.02a	0.62±0.02ab	0.57±0.03bc
脯氨酸	0.37±0.07ab	0.26±0.01ab	0.37±0.02ab	0.38±0.04ab	0.34±0.02ab	0.31±0.03ab	0.42±0.02a	0.37±0.01b	0.37±0.03ab
蛋氨酸 [#]	0.17±0.01b	0.10±0.02d	0.12±0.01cd	0.19±0.02b	0.10±0.0d	0.10±0.01d	0.22±0.0a	0.13±0.0c	0.18±0.01b
氨基酸总量	9.10±0.53e	7.14±0.20g	8.15±0.37f	10.31±0.13c	9.26±0.34de	7.84±0.29f	12.17±0.16a	9.90±0.44cd	11.04±0.18b

同一列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$);标^{*}为必需氨基酸;标[#]为药用氨基酸。

总体上,除白玉王桑果在热风干燥处理后总酚含量保留率高于真空冷冻干燥处理外,在真空冷冻处理后3个品种桑果中总酚、总黄酮、花色苷保留率皆高于热风干燥处理,但这2种干燥方式对不同品质指标含量影响具有差异,影响的差异由大到小为:花色苷>总黄酮>总酚>总酸>总氨基酸。

2.3 不同干燥处理后桑果营养品质综合评价

为评价不同干燥方式下3个品种桑果的综合品质,采用因子分析进行综合评价^[15]。前2个因子的累计贡献率达92.09%,保留了原始数据的绝大部分信息,因此提取前2个因子计算因子得分。从表3可以看出,3个果桑品种鲜果的营养品质综合得分由高到低为:大十>台湾72C002>白玉王;不同干燥处理后大十和台湾72C002果实营养品质由高到低均为:鲜果>真空冷冻干燥>热风干燥;不同干燥处理后白玉王

果实营养品质由高到低为:鲜果>热风干燥>真空冷冻干燥,但白玉王桑果在2种干燥方式下营养品质得分差异较小。

表3 不同干燥方式处理后桑果营养品质综合得分

Table 3 Comprehensive scores of nutritional quality of mulberry fruits after treating with different drying methods

品种	干燥方式	因子1得分	因子2得分	综合得分
大十	鲜果	1.37	0.50	1.03
	真空冷冻干燥	1.29	-0.87	0.63
	热风干燥	0.29	-0.67	0.02
台湾 72C002	鲜果	0.49	2.01	0.83
	真空冷冻干燥	0.23	-0.30	0.07
	热风干燥	-0.17	-1.03	-0.37
白玉王	鲜果	-1.19	0.93	-0.55
	真空冷冻干燥	-1.09	-0.69	-0.90
	热风干燥	-1.21	0.10	-0.78

3 讨论

本研究对3个果桑品种桑果4种基本营养成分以及16种氨基酸进行分析测定。白玉王桑果总酸含量最低,台湾72C002桑果总酸含量最高,大十桑果总酚、总黄酮和花色苷含量最高,该结果与已有研究结果^[16-18]基本一致。大十和台湾72C002果实中氨基酸含量低于白玉王,紫色果实品种果实中氨基酸总量低于白色果实品种,该结果与杨喆等^[19]和Jiang等^[20]研究结果一致。通过比较发现,不同品种间果实常规营养物质含量和氨基酸含量存在显著差异,说明,果实的营养品质与品种密切相关。

本研究采用热风干燥和真空冷冻干燥对3个果桑品种果实进行处理,从各营养物质含量变化来看,除真空冷冻干燥处理后大十果实总酚含量和花色苷含量以及台湾72C002果实总黄酮含量与鲜果无显著性差异外,3个品种果实在2种干燥方式处理后各营养物质含量皆显著低于鲜果,说明干燥处理会造成桑果营养物质不同程度损失。3个品种果实在热风干燥和真空冷冻干燥处理后总酚含量保留率相对于花色苷及总黄酮保留率都较高,这可能与所测得总酚中部分化合物具有热稳定性相关,该结果与叶磊等^[21]和Chen等^[22]研究结果一致。从2种干燥方式处理后桑果营养成分保留率来看,真空冷冻干燥后台湾72C002果实总酸含量、总酚含量、总黄酮含量、花色苷含量以及氨基酸总含量皆高于热风干燥处理,且真空冷冻干燥后果实综合品质高于热风干燥处理,说明真空冷冻干燥能较好地保持台湾72C002果实中的营养成分。大十果实在2种干燥方式处理间果实总酸含量和氨基酸含量无显著差异,但真空冷冻干燥后果实总酚含量、总黄酮含量及花色苷含量保留率明显高于热风干燥处理,且真空冷冻干燥处理后果实综合品质高于热风干燥处理,说明真空冷冻干燥能更好地保持大十桑果的营养成分。白玉王果实经热风干燥后果实总酸和总酚含量与真空冷冻干燥处理后无显著差异,总黄酮含量显著低于真空冷冻干燥处理,氨基酸总含量在热风干燥处理后却高于真空冷冻干燥处理,并且综合品质得分也高于真空冷冻干燥,这可能与白玉王桑果中不含花色苷有关。热风干燥处理下,花色苷、总黄酮和总酚相对于其他营养物质,损失率最高,这可能是因为酚类化合物含有酚羟基,化学性质活泼,具

有热不稳定性且易氧化。相对于真空冷冻干燥,在热风干燥过程中与大量的氧气接触,使得花色苷、总黄酮和总酚这3种生理活性物质大量降解,这也表明真空低温条件有利于桑果生理活性物质的保留^[23-25]。

可见,相同材料下真空冷冻干燥和热风干燥对果实的营养成分,特别是对活性物质含量影响差异较大,而果实营养成分和含量与品种密切相关,不同干燥方法对果实品质影响程度与品种也密切相关。总体上,真空冷冻干燥可较好地保留桑果营养成分。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 二部[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 332-334.
- [2] 何雪梅, 张晓琦, 王国才. 桑属植物的化学成分及药理活性综述[J]. 蚕业科学, 2014, 40(2): 328-338.
- [3] ERCISLI S, ORHAN E. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1380-1384.
- [4] 吕银, 陈祥平, 范小敏, 等. 几个果桑新品种的桑椹营养组分及含量分析[J]. 蚕业科学, 2015, 41(6): 1132-1136.
- [5] 付辉战, 胡腾根, 邹宇晓, 等. 新鲜桑椹采用真空微波干燥加工的特性及品质变化研究[J]. 蚕业科学, 2018, 44(3): 427-434.
- [6] OJHA P, SIGDEL A, KARKI R, et al. Physiochemical and bioactive characteristics of osmo-air dried mulberry fruit [J]. Nepalese Horticulture, 2017, 12: 27-32.
- [7] 李兆路, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 桑椹对流-红外联合干燥特性及品质变化研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 166-172.
- [8] 李丰廷, 邹波, 徐玉娟, 等. 真空冷冻与热风联合干燥对桑椹干品质的影响[J]. 广东农业科学, 2017, 44(11): 129-137.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局. 食品中总酸的测定: GB/T 12456-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-5.
- [10] GERASOPOULOS D, STAVROULAKIS G. Quality characteristics of four mulberry (*Morus* sp.) cultivars in the area of Chania, Greece [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997, 73(2): 261-264.
- [11] SLINKARD K, SINGLETON V L. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1977, 28(1): 49-55.
- [12] JIANG Y, NIE W J. Chemical properties in fruits of mulberry species from the Xinjiang province of China [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 460-466.
- [13] 国家食品药品监督管理总局. 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-12.
- [14] 农业部科技教育司. 农、畜、水产品污染监测技术规范: NY/T 398-2000[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 75.
- [15] 马庆华, 李永红, 梁丽松, 等. 冬枣优良单株果实品质的因子分

- 析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2491-2499.
- [16] 王香君, 吴劲轩, 夏川林, 等. 不同品种桑椹加工品质比较研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(3): 139-143.
- [17] CHEN H, CHEN J, YANG H, et al. Variation in total anthocyanin, phenolic contents, antioxidant enzyme and antioxidant capacity among different mulberry (*Morus* sp.) cultivars in China [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 213: 186-192.
- [18] 邓真华, 杜贤明, 彭晓虹, 等. 不同果桑品种品质分析与综合评价[J]. 中国南方果树, 2017, 46(4): 141-144.
- [19] 杨 喆, 陈秋生, 张 强, 等. 不同品种桑葚与桑叶中氨基酸含量差异研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(17): 4534-4538.
- [20] JIANG Y, DAI M, NIE W J, et al. Effects of the ethanol extract of black mulberry (*Morus nigra* L.) fruit on experimental atherosclerosis in rats [J]. Journal of Ethno Pharmacology, 2017, 200: 228-235.
- [21] 叶 磊, 郜海燕, 周拥军, 等. 热风干燥与真空冷冻干燥对桑葚果粉品质的影响比较[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(2): 155-159.
- [22] CHEN Q, LI Z, BI J, et al. Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 80: 178-184.
- [23] ZIELINSKA M, ZIELINSKA D, MARKOWSKI M. The effect of microwave-vacuum pretreatment on the drying kinetics, color and the content of bioactive compounds in osmo-microwave-vacuum dried cranberries (*Vaccinium macrocarpon*) [J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(3): 585-602.
- [24] ZIELINSKA M, MICHALSKA A. Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture [J]. Food Chemistry, 2016, 212: 671-680.
- [25] 游庭活, 温 露, 刘 凡, 等. 不同干燥方式及温度条件对桑椹干营养保健品质的影响[J]. 蚕业科学, 2015, 41(5): 921-927.

(责任编辑: 陈海霞)