

烫漂预处理结合不同干燥方式对刺梨活性物质及抗氧化活性的影响

王亚萍, 王艳丽, 周笑犁*

(贵阳学院食品科学与工程学院, 贵阳 550005)

摘要: **目的** 探究不同干燥方式结合烫漂预处理对刺梨中主要活性物质及抗氧化活性的影响。**方法** 以刺梨鲜果为对象, 首先对其烫漂预处理, 再分别采用微波干燥、热风干燥、真空冷冻干燥进行初加工, 再测定刺梨的褐变度及其中游离酚、结合酚、黄酮、维生素 C (vitamin C, VC)、多糖含量, 最后评价刺梨对 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐阳离子自由基清除能力、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除能力。**结果** 与热风干燥和微波干燥相比, 真空冷冻干燥条件下刺梨中游离酚[(139.26±2.94) mg/g]、多糖[(21.47±0.41) mg/g]和 VC [(18.87±0.86) mg/g]的含量相对较高; 但是烫漂处理显著降低了真空冷冻干燥中刺梨的结合酚和多糖含量, 还升高了刺梨的褐变度。而烫漂联合热风干燥、微波干燥处理, 不仅实现了刺梨的护色, 还显著减少了刺梨中 VC 的流失。**结论** 刺梨在真空冷冻干燥后品质最佳, 但应避免过多的预处理联合加工; 而相比工艺成本较高的真空冷冻干燥, 热风干燥和微波干燥辅以烫漂也能使刺梨产品达到较好的外观品质。该研究结果可为较高价值的刺梨初加工乃至精深加工提供参考。

关键词: 刺梨; 干燥方式; 烫漂; 活性物质; 抗氧化活性

Effects of blanching pretreatment combined with different drying methods on active substances and antioxidant activity of *Rosa roxburghii* Tratt

WANG Ya-Ping, WANG Yan-Li, ZHOU Xiao-Li*

(Food Science and Engineering College, Guiyang University, Guiyang 550005, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of different drying methods combined with blanching pretreatment on the main active substances and antioxidant activity in *Rosa roxburghii* Tratt. **Methods** The fresh fruit of *Rosa roxburghii* Tratt was first blanched and pretreated, followed by microwave drying, hot air drying, and vacuum freeze-drying for initial processing. The browning degree, free phenols, bound phenols, flavonoids, vitamin C (VC), and polysaccharide content of *Rosa roxburghii* Tratt were measured, the antioxidant activity of *Rosa roxburghii* Tratt was evaluated by 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt cation free radical scavenging ability and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl free radical scavenging ability. The fresh fruit of *Rosa roxburghii* Tratt

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060536)、贵州省科技计划项目重点项目(黔科合基础-ZK[2022]重点 005)、贵阳学院研究生科研基金项目(GYU-YJS[2022]-35)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (32060536), the Guizhou Province Science and Technology Plan Project Key Projects (ZK[2022]Key 005), and the Guiyang University Graduate Research Fund Project (GYU-YJS[2022]-35)

*通信作者: 周笑犁, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工副产物高值化利用研究。E-mail: lizi008009@126.com

*Corresponding author: ZHOU Xiao-Li, Ph.D, Professor, Guiyang University, No.103, Jianlongdong Road, Guiyang 550005, China. E-mail: lizi008009@126.com

was first blanched and pretreated, followed by microwave drying, hot air drying, and vacuum freeze-drying for initial processing. The browning degree, free phenols, bound phenols, flavonoids, vitamin C (VC), and polysaccharide content of *Rosa roxburghii* Tratt were measured, and the scavenging ability of *Rosa roxburghii* Tratt to 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt cation radical and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical was evaluated. **Results** Compared with hot air drying and microwave drying, the content of free phenols [(139.26±2.94) mg/g], polysaccharides [(21.47±0.41) mg/g], and VC [(18.87±0.86) mg/g] in *Rosa roxburghii* Tratt under vacuum freeze-drying conditions was relatively higher; the blanching pretreatment did not affect the antioxidant activity of *Rosa roxburghii* Tratt, however, blanching treatment significantly reduced the content of bound phenols and polysaccharides in *Rosa roxburghii* Tratt during vacuum freeze-drying, and also increased the browning degree of *Rosa roxburghii* Tratt. The combination of blanching, hot air drying, and microwave drying not only achieved the color protection of *Rosa roxburghii* Tratt, but also significantly reduced the loss of VC in *Rosa roxburghii* Tratt. **Conclusion** *Rosa roxburghii* Tratt has the best quality after vacuum freeze-drying, but excessive pretreatment combined processing should be avoided; compared to vacuum freeze-drying with higher process costs, hot air drying and microwave drying combined with blanching can also achieve better appearance quality of *Rosa roxburghii* Tratt products. The research results can provide reference for the initial processing and even deep processing of high-value *Rosa roxburghii* Tratt.

KEY WORDS: *Rosa roxburghii* Tratt; drying methods; blanching; active substances; antioxidant activity

0 引言

刺梨(*Rosa roxburghii* Tratt)系蔷薇科植物蔷薇属多年生落叶小灌木^[1], 主要分布在我国西南省份, 在贵州省分布尤为丰富。因此, 刺梨产业是贵州省大健康产业的重要组成部分, 也是贵州省十二个特色优势产业之一^[2]。刺梨作为一种药食两用的特色食用植物资源, 富含多糖、黄酮、有机酸、维生素C、多酚等功能活性成分, 具有抗氧化、抗动脉粥样硬化、解毒、抗炎等功效^[3]。但由于表面布满果刺、口感酸涩、适口性差等特点限制了其鲜销; 并且刺梨采收主要集中在8~9月, 该季节温度和相对湿度较高, 果实成熟期集中而导致鲜果易腐烂变质^[1], 2022年全省刺梨加工企业收购的刺梨鲜果采后平均腐烂率高达18%, 因此探索保留较高功效活性的刺梨鲜果的采后初加工技术具有重要的现实意义。

目前, 对刺梨的初加工技术主要采用干燥将其脱水制成干果来延长贮藏期, 但是由于刺梨中含有氧化酶、多酚等物质, 在干燥过程中极易发生氧化反应, 影响其外观品质, 因此在干燥前有必要对刺梨进行护色预处理。烫漂预处理不仅可以提高细胞膜的通透性, 改变物料的组织结构, 在钝化酶的活性、稳定色泽、减少微生物数量以及增加生物活性成分提取率等方面也发挥着重要作用, 而且操作简单易工业化^[4-5]。邴佩娟^[6]发现干燥前烫漂预处理可以明显减少长裂苦苣菜酚类抗氧化活性物质的损失, 且烫漂后冻干样品的总酚和总黄酮含量最高。任旭等^[7]发现热水烫漂比蒸汽烫漂、微波烫漂更有利于抑制苹果的褐变以及提高抗氧化活性, 说明烫漂预处理还与干燥过程也有着密切的关系。果蔬加工中常用的干燥方式有微波干燥、热风干燥、真空冷冻干燥等,

它们对不同果蔬生物活性成分的影响不同^[8]。如超低温真空冷冻干燥可以有效提高金刺梨中维生素C(vitamin C, VC)的保留率^[9]; 40℃减压干燥和冷冻干燥分别降低了刺梨总多酚24.38%和23.96%, 而在烘干条件下下降率高达33.57%^[10]。在探究采用冷冻干燥、微波干燥、热风干燥3种干燥方式对甘薯叶抗氧化能力影响的研究中, 甘薯叶的抗氧化能力表现为冷冻干燥>微波干燥>热风干燥^[11]。

综上所述, 干燥方式以及烫漂预处理对果品品质均存在一定影响, 且干制过程中发生的褐变现象影响了刺梨干制品的外观色泽与品质, 所以在干燥之前有必要采取预处理以更好地保证产品品质。因此, 不同干燥方式对刺梨中活性成分的影响亟待研究, 尤其辅以烫漂联合处理。本研究以刺梨鲜果为原料, 综合采用微波干燥、热风干燥、真空冷冻干燥结合烫漂预处理对其进行初加工, 比较分析几种干燥方式与烫漂预处理联合对刺梨褐变度、活性物质以及抗氧化活性的影响, 探究不同预处理对刺梨品质的影响, 以期为高品质刺梨初加工产业生产技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

刺梨: 2022年9月采自贵州布依族苗族自治州龙里县谷脚镇刺梨种植基地。

芦丁标准品(纯度>98%)、没食子酸(纯度>98%)、L(+)-抗坏血酸标准品(纯度>99.7%)、甲醇、无水乙醇、碳酸钠、福林酚(Folin-Ciocalteu)、氢氧化钠、盐酸、亚硝酸钠、硝酸铝、偏磷酸、无水乙醇、无水葡萄糖、苯酚、硫酸、

草酸、2,6-二氯酚、碳酸氢钠、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS](分析纯)(国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器设备

xMark 酶标仪[安诺伦(北京)生物科技有限公司]; RE100-Pro 数控旋转蒸发仪[大龙兴创实验仪器(北京)股份有限公司]; SCIENT2-18N 真空冷冻干燥机(宁波新芝生物科技股份有限公司); YL500 粉碎机(金坛区水北友联仪器厂); KQ-400KDE 超声机(昆山市超声仪器有限公司); PHB-4 便携式 pH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司); TGL-16A 高速台式离心机(湖南平凡科技有限公司); DHG-215013 电热鼓风干燥箱(郑州生元仪器有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

热风干燥: 参考向卓亚等^[1]热风干燥条件, 刺梨鲜果切片 4~6 mm 厚, 使用电热鼓风干燥箱设备, 60°C 热风干燥, 刺梨质量达到恒重时为干燥终点, 干燥时间约 48 h。

烫漂-热风干燥: 刺梨鲜果经过热水烫漂 3 min 后, 切成 4~6 mm 厚的鲜果片, 对刺梨采用上述热风干燥处理, 干燥时间约 48 h。

冷冻干燥: 参考常秋等^[12]方法, 刺梨鲜果统一切成 4~6 mm 厚的鲜果片, 置于低温冰箱实施快速冷冻处理, 确保冷阱温度降低到-50°C 左右, 将预冻完成的刺梨果块转移至冻干仓区域干燥, 直到冻干为恒重结束, 干燥时间约 24 h。

烫漂-冷冻干燥: 刺梨鲜果经过热水烫漂 3 min 后, 切成 4~6 mm 厚的鲜果片, 再采用上述真空冷冻干燥处理, 干燥时间约 24 h。

微波干燥: 刺梨鲜果切成 4~6 mm 厚的鲜果片, 采用真空微波干燥, 刺梨质量达到恒重时为干燥终点, 干燥时间约 2 h。

烫漂-微波干燥: 刺梨鲜果经过热水烫漂 3 min 后, 切成 4~6 mm 厚的鲜果片, 采用上述微波干燥处理, 干燥时间约 2 h。

分别收集不同处理干燥后的刺梨, 粉碎后过 60 目筛密封冷冻保存, 备用。

1.3.2 褐变度测定

参考罗昱^[13]的方法, 取 1.00 g 刺梨粉, 用 50 mL 70% 乙醇 40°C 超声提取 60 min 后, 4000 r/min 离心 15 min, 残渣再重复提取 1 次, 收集上清液, 得刺梨醇提取待测液, 在 420 nm 波长处测吸光度, 表征刺梨褐变度。

1.3.3 刺梨生物活性物质测定

(1) 多酚提取测定

参考王慧竹^[14]的方法, 称取 1.00 g 刺梨粉, 用 25 mL 70% 乙醇 40°C 超声提取 60 min 后, 6000 r/min 离心 10 min,

收集上清液, 残渣再重复提取 1 次, 合并上清液, 定容至 50 mL, 即为游离酚待测液, 保存备用。然后残渣经 50°C 干燥至恒重后, 准确称取 1.0 g 残渣, 加 40 mL 2 mol/L NaOH 进行超声提取(40°C, 300 W)处理 60 min, 然后加入 6 mol/L HCl 调节 pH 至 2.0, 最后 4500 r/min 离心 5 min, 上清液用乙酸乙酯按 1:2 体积混合萃取两次, 旋转蒸发仪 45°C 避光蒸干后再用 70% 乙醇溶解得到结合酚待测液, 保存备用。

多酚含量采用福林-酚法^[15-16]测定, 准确称取没食子酸对照品 5.0 mg 加水溶解, 后于 50 mL 容量瓶中定容至刻度, 得 0.1 mg/mL 对照品溶液。分别吸取 0.3、0.6、0.9、1.2、1.5 mL 没食子酸对照品溶液, 置于 25 mL 容量瓶中定容, 分别取不同浓度对照品溶液 200 μ L 加入 Folin-Ciocalteu 试剂 200 μ L, 摇匀, 静置 2 min 后加入 7% 碳酸钠溶液 2 mL, 暗反应 1 h, 765 nm 处测定吸光度。以没食子酸为对照品, 以溶液质量浓度值为横坐标, 吸光度值为纵坐标, 得线性回归方程为 $Y_1=6.0828X_1+0.0654$, $r^2=0.9927$ 。

(2) 黄酮提取测定

黄酮含量采用 NaNO_2 - $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ -NaOH 显色法进行测定^[17]。以芦丁作为对照品: 准确称取 10 mg 芦丁标准品, 50 mL 容量瓶定容, 得到 0.2 mg/mL 芦丁标准溶液, 分别取 0、1、2、3、4、5 mL 芦丁标准溶液, 至于 10 mL 容量瓶中定容, 得标准液, 准确吸取不同浓度对照品溶液 1.0 mL 于 10 mL 容量瓶中, 加 50 mg/mL NaNO_2 溶液 0.3 mL, 摇匀, 放置 6 min, 加 100 mg/mL $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液 0.3 mL, 摇匀, 放置 6 min, 加 40 mg/mL NaOH 溶液 4.0 mL, 用 60% 乙醇定容, 摇匀, 静置 10 min, 于 510 nm 波长处测定吸光度值。以芦丁标准溶液质量浓度为横坐标, 吸光度值为纵坐标, 得到线性回归方程为 $Y_2=4.5715X_2+0.09$, $r^2=0.9948$ 。

(3) 多糖提取测定

多糖采用热水浸提法提取^[18], 准确称取 1.0 g 刺梨粉, 在料液比 1:50、水提温度 75°C 条件下, 加热浸提 1 h 后进行离心, 上清液转移至 50 mL 容量瓶, 吸取 1.0 mL 样液稀释 5 倍得待测液。

多糖测定参考杨秀英等^[19]的测定方法, 采用硫酸蒽酮法测定。无水葡萄糖为对照品: 精密称取在 105°C 干燥至恒重的葡萄糖 100.00 mg, 加蒸馏水 100 mL 配制质量浓度为 1 mg/mL 的葡萄糖标准溶液, 精密吸取标准溶液 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mL 于 250 mL 容量瓶中, 加蒸馏水定容摇匀, 再分别吸取各浓度葡萄糖溶液 1 mL, 加入 5 mL 蒽酮-浓硫酸试剂, 立即放入冰水浴, 摇匀至沸水中煮 10 min, 取自来水冲洗 2 min, 冷却静置 10 min 后于 624 nm 处开始测定, 以蒸馏水作为空白对照, 以葡萄糖标准溶液质量浓度为横坐标, 吸光度值为纵坐标, 得到线性回归方程为 $Y_3=0.01987X_3-0.0057$, $r^2=0.9970$ 。

(4) VC 含量测定

VC 测定参考 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进行测定,准确称取样品 0.5 g 加入 5 g 偏磷酸快速匀浆,偏磷酸定容至 50 mL,得待测样液,滴定时取 100 μ L 样液,偏磷酸定容至 10 mL 测定。

1.3.4 刺梨体外抗氧化活性测定

(1) DPPH 自由基清除能力测定

准确吸取刺梨醇提取物各 100 μ L 于 96 孔板中,各加入 100 μ L DPPH 工作液,充分混匀后室温孵育 30 min。溶液充分混合后,室温下避光放置 40 min,以无水乙醇作空白对照液。在 517 nm 处测定吸光度,每个样品测定 3 次,取平均值。按公式(1)计算 DPPH 自由基的清除率:

$$E_D/\% = 1 - \frac{(A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

其中, E_D : DPPH 自由基清除率,%; A_1 : 样品液与 DPPH 溶液混匀后的吸光度值; A_2 : 样品液的吸光度值; A_0 : DPPH 溶液的吸光度值^[20]。

(2) ABTS 阳离子自由基清除能力测定

参考杨笙^[21]的方法,准确吸取刺梨醇提取物各 100 μ L 于 96 孔板中,各加入 100 μ L ABTS 工作液,溶液混合均匀后室温孵育 30 min,以无水乙醇为空白对照液,在 734 nm 波长处测定其吸光度值,每个样品测定 3 次,取平均值。按照公式(2)计算 ABTS 阳离子自由基清除率:

$$E_A/\% = 1 - \frac{(E_1 - E_2)}{E_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: E_A : ABTS 阳离子自由基清除率,%; E_1 : 样品液与 ABTS 阳离子自由基溶液混合后的吸光度值; E_2 : 样品液的吸光度值; E_0 : ABTS 阳离子自由基溶液的吸光度值。

1.4 数据处理

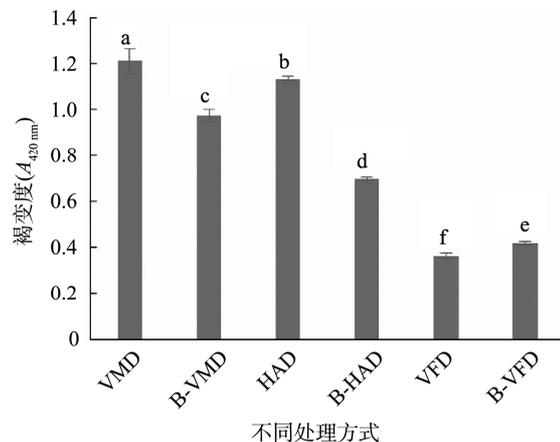
每个处理做 3 次重复实验,所有实验结果以平均值 \pm 标准偏差表示。利用 SPSS Statistics 23.0 统计软件分析实验数据。并用 Duncan's 法进行多重比较,以 $P < 0.05$ 表示差异或相关性显著。

2 结果与分析

2.1 不同处理方式对刺梨褐变度的影响

不同处理方式对刺梨褐变度的影响结果见图 1,烫漂预处理显著降低了热风干燥和微波干燥过程中刺梨的褐变程度,说明热水烫漂预处理较显著地抑制了刺梨中多酚氧化酶的活性,从而有效抑制了刺梨发生褐变。相似的,烫漂预处理百合能有效改善热风干燥后的色泽,从而实现百合的护色^[4]。本研究中,相比于热风干燥和微波干燥这种高温有氧的处理方式,刺梨真空冷冻前进行烫漂预处理反而增加刺梨的褐变度,可能是同样的烫漂条件并不适于冷冻干燥,反而造成了烫漂后刺梨出现一定程度的褐变。

不同干燥方式使刺梨的褐变度存在明显差异,其中冷冻干燥处理对刺梨褐变度的影响最小,热风干燥的干燥温度较高且干燥时间较长,样品长期暴露在热、有氧环境,而微波干燥通过微波振荡令其内外部同时加热,虽然使刺梨所需干燥时间急剧缩短,但由于微波干燥温度较高,也极易造成产品褐变^[22],所以在热风干燥、微波干燥条件下所得刺梨褐变程度较高。高炜等^[23]比较了冷冻干燥、热风干燥、红外干燥及真空干燥技术对柠檬片褐变程度影响,得出冷冻干燥条件下柠檬片的褐变值最小,低温真空的干燥条件对酶促褐变和非酶促褐变都有抑制作用,色素损失程度较低^[24-25],其研究结果与本研究一致。



注: VMD: 微波干燥; B-VMD 烫漂后微波干燥; HAD: 热风干燥; B-HAD: 烫漂后热风干燥; VFD: 冷冻干燥; B-VFD: 烫漂后冷冻干燥; 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同。

图 1 不同处理方式对刺梨褐变度的影响

Fig.1 Effects of different treatments on browning degrees of *Rosa roxburghii* Tratt

2.2 不同处理方式对刺梨中多酚含量的影响

如图 2A 所示,烫漂对刺梨游离酚含量的影响差异不显著($P > 0.05$),说明烫漂预处理对游离酚含量影响不大。但不同的干燥方式却明显影响着刺梨游离酚的含量,其含量在 102.9~139.3 mg/g 之间。其中热风干燥和微波干燥条件下的游离酚含量显著低于真空冷冻干燥 [(139.26 \pm 2.94) mg/g] ($P < 0.05$),这有可能是因为这两种干燥方式在高温条件下进行,游离酚不稳定,易被降解,使得其含量降低,并且在热风干燥中,干燥时间较长,所以造成多酚含量损失较大。

不同干燥方式对刺梨中结合酚含量的影响如图 2B 所示,烫漂显著降低了微波干燥和真空冷冻干燥后刺梨中结合酚的含量,而对热风干燥下刺梨结合酚含量的影响差异不显著,可能是由于热风干燥后,多酚氧化酶的失活以及结构的转变,从而促进了不可提取的酚类化合物释放^[26]。

2.3 不同处理方式对刺梨中黄酮含量的影响

不同处理方式所得刺梨中的黄酮含量结果见图 3,烫漂预处理条件均未造成不同干燥后刺梨中黄酮的损失,可

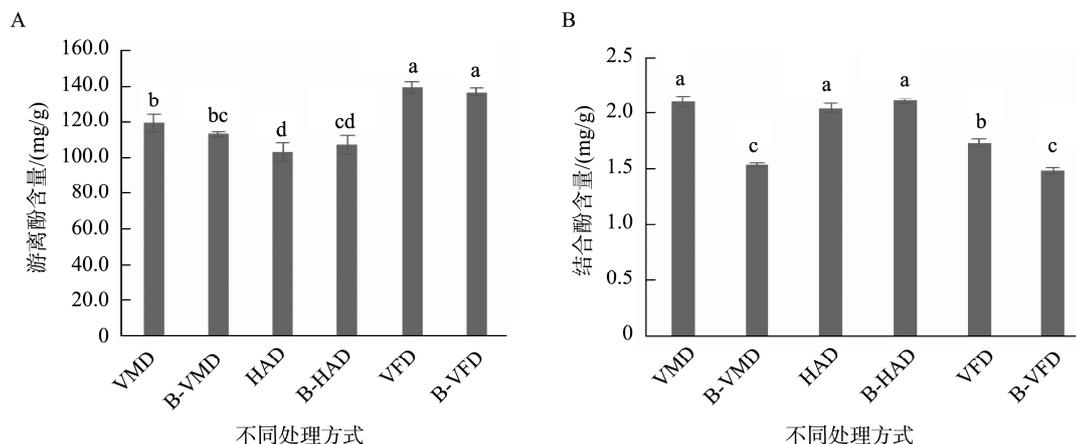


图 2 不同处理方式对刺梨中多酚含量的影响

Fig.2 Effects of different treatments on polyphenol content in *Rosa roxburghii* Tratt

能是由于多重影响共同作用的结果,虽然烫漂预处理中高温条件会造成黄酮类物质的转化和部分降解,但高温条件也会抑制刺梨中黄酮降解相关酶的活性^[27]。

由图 3 可知,3 种干燥条件下,刺梨中黄酮含量无明显差异,真空冷冻干燥条件下刺梨中黄酮含量最高[(1.42±0.15) mg/g],是由于真空冷冻干燥条件为低温真空,抑制了黄酮的氧化过程,有效地防止了黄酮的降解。孙红艳等^[28]的相关研究中也表明,与阴干和恒温鼓风干燥相比,冷冻干燥不破坏刺梨果实有效成分,而有利于刺梨黄酮保留,因此冻干刺梨的黄酮含量最高,其次是烘烤,阴干后的含量最低。本研究中探索的 3 种干燥方式中,也是真空冷冻干燥条件下刺梨中黄酮含量最高,与其研究一致。

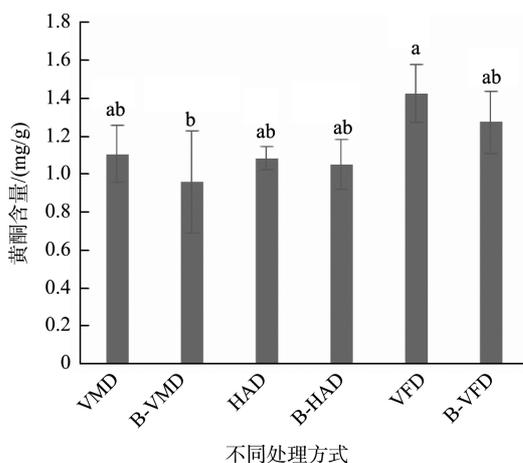


图 3 不同处理方式对刺梨中黄酮含量的影响

Fig.3 Effects of different treatments on flavonoids content in *Rosa roxburghii* Tratt

2.4 不同处理方式对刺梨中多糖含量的影响

不同干燥方式所得刺梨中的多糖含量结果见图 4, 烫漂预处理降低了热风干燥和真空冷冻干燥的刺梨多糖含量,

可能是由于烫漂预处理造成刺梨组织软化疏松,多糖物质溶解在水中导致多糖含量降低,与张倩^[29]研究中提到的烫漂预处理导致铁皮石斛中多糖损失原因的分析一致。但相比烫漂后其他两种干燥方式,刺梨烫漂后微波干燥耗时缩短,有利于刺梨多糖的保留^[30],所以烫漂后微波干燥对刺梨多糖含量无明显影响。

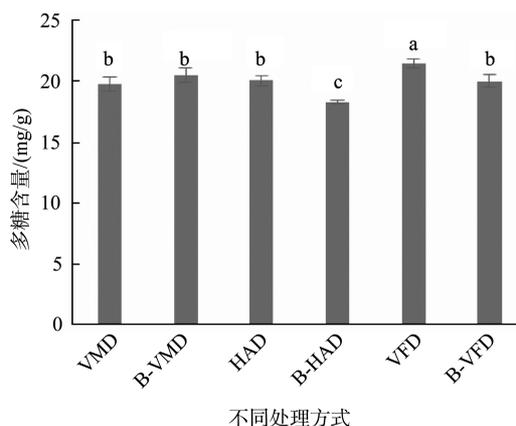


图 4 不同处理方式对刺梨中多糖含量的影响

Fig.4 Effects of different treatments on polysaccharide content in *Rosa roxburghii* Tratt

几种干燥方式中刺梨多糖的含量范围在 18.3~21.5 mg/g 之间,其中真空冷冻干燥条件下刺梨中的多糖含量最高,为(21.47±0.41) mg/g,热风干燥和微波干燥中刺梨的多糖含量相对较低,可能与干燥条件中的温度相关。林锦铭等^[31]在探究烘干温度对铁皮石斛叶多糖得率的研究中得出,随着烘干温度上升,铁皮石斛叶多糖含量减少。那么真空冷冻干燥中较低的温度则有利于保持刺梨的组织结构,水分在真空状态下升华,对组织破坏较小,材料收缩现象不明显,同时水分升华后组织内部产生一定的空隙,形成多孔状结构,从而在提取时促进刺梨中多糖的

溶出,提高了多糖的得率。

2.5 不同处理方式对刺梨中 VC 含量的影响

由图 5 可知,在微波干燥和热风干燥过程中烫漂预处理显著保留了刺梨中 VC 的含量($P < 0.05$),可能是由于烫漂预处理中高温条件钝化了刺梨中与 VC 降解相关的酶活。真空低温的条件可以使 VC 降解的相关酶活抑制,较好保留刺梨中的 VC^[32],所以烫漂对真空冷冻干燥中刺梨的 VC 含量无明显影响。

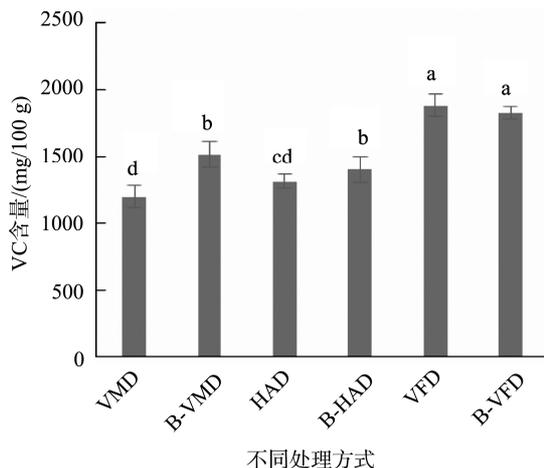


图 5 不同处理方式对刺梨中 VC 含量的影响

Fig.5 Effects of different treatments on VC content in *Rosa roxburghii* Tratt

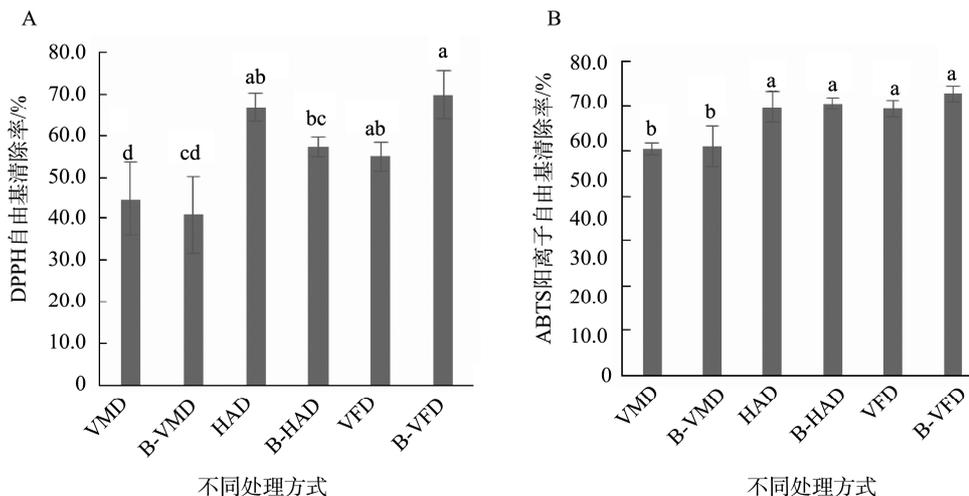


图 6 不同处理方式对抗氧化活性的影响

Fig.6 Effects of different treatments on antioxidant activity

3 结论

本研究探究了烫漂预处理结合不同干燥方式对刺梨中活性成分的影响,结果表明不同处理方式对刺梨褐变

与真空冷冻干燥条件相比,热风干燥和微波干燥中高温和有氧的干燥条件,导致 VC 的降解,从而降低刺梨中 VC 的含量。真空冷冻干燥的刺梨 VC 含量 $[(18.87 \pm 0.86) \text{ mg/g}]$ 显著高于其他处理方式($P < 0.05$)。

2.6 不同处理方式对抗氧化活性的影响

干燥方式对抗氧化活性的影响如图 6 所示,烫漂预处理对刺梨 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基的清除能力无明显影响,除真空冷冻干燥外,热风干燥处理对 DPPH 的清除率也较高,可能与刺梨醇提取液中多酚和黄酮含量相关,该干燥条件下刺梨中结合酚与黄酮含量较高,也可能与多酚对不同干燥方式处理的响应机制有关。杜笑等^[33]在探究干燥方式对猴头菌子实体多酚提取效果及其抗氧化活性的研究中,提出多酚的得率可能与不同干燥方式对多酚的响应机制有关,其研究发现相比真空冷冻干燥和红外远辐射,热风干燥条件下游离酚的得率最低,但是游离酚对 DPPH 自由基的清除率和总抗氧化能力均以热风处理组最佳,与之相似的本研究中热风干燥条件下刺梨中游离酚含量最低,但对 DPPH 自由基的清除率也较好。

研究结果表明不同干燥方式所得刺梨醇提取物对 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基都具有一定清除能力,不同的干燥条件会对刺梨中活性物质造成不同程度的影响,微波干燥处理组的抗氧化活性能力均显著低于其他两种干燥方式,而经冷冻干燥处理后的刺梨醇提取物对两种自由基清除率较好,可能与该干燥方式下较好地保留刺梨中的多酚和黄酮相关。

度、活性物质以及对 DPPH 自由基和 ABTS 阳离子自由基清除能力均存在一定的差异。刺梨的游离多酚、多糖、VC 含量在真空冷冻干燥条件下显著高于其他干燥方式,并且具有较好的抗氧化能力,说明在保留刺梨的活性成分方面,

真空冷冻干燥是良好的加工选择。但该干燥方式存在干燥周期长、成本与能耗较高的缺点,且真空冷冻干燥处理中应避免过多的预处理联合加工,该干燥条件下烫漂预处理造成了刺梨中结合酚、黄酮和多糖的损失以及褐变度增加。而微波干燥、热风干燥辅以烫漂预处理则有效保留了刺梨中 VC 含量,并减少了刺梨的褐变程度,且对刺梨的游离酚、黄酮及抗氧化活性未造成明显影响,表明适宜的烫漂预处理能最大化地保留原料的细胞组织结构,因此在有氧干燥过程中,更推荐采用烫漂预处理对刺梨进行加工,但加工过程中的烫漂工艺条件仍有待进一步探索。

参考文献

- [1] 向卓亚, 夏陈, 邓俊琳, 等. 热风干燥法对刺梨果活性成分影响的研究[J]. 中国食物与营养, 2021, 27(5): 9-12.
XIANG ZY, XIA C, DENG JL, *et al.* Effect of hot air drying on bioactive substance in *Rosa roxburghii* [J]. Food Nutr China, 2021, 27(5): 9-12.
- [2] 杨方红, 杨邦祝, 魏怡冰, 等. 贵州刺梨产业发展概述[J]. 中国食品学报, 2022, (14): 130-132.
YANG FH, YANG BZ, WEI YB, *et al.* Overview of Guizhou Roxburgh pear industry development [J]. Chin Inst Food Sci Technol, 2022, (14): 130-132.
- [3] 李岷, 任廷远. 刺梨功能活性成分及生理作用的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(11): 84-92.
LI B, RENG TY. Research progress on functional active components and physiological effects of *Rosa roxburghii* Tratt [J]. Guizhou Agric Sci, 2022, 50(11): 84-92.
- [4] 杨培. 基于烫漂预处理的百合干燥工艺研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
YANG P. Study on lily bulb drying based on blanching pretreatment process optimization [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2022.
- [5] 彭昱竹, 王晓芸, 丁筑红, 等. 烫漂结合氯化钙对糟辣椒钙盐保脆辅助增效作用研究[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(4): 39-45, 72.
PENG YZ, WANG XY, DING ZH, *et al.* Study on the synergistic effect of blanching combined with sodium chloride on calcium salt to preserve the brittleness of fermented chilies [J]. Food Ferment Ind, 2022, 58(4): 39-45, 72.
- [6] 郗佩娟. 采收期和干燥方式对长裂苦苣菜中酚类物质和抗氧化活性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
XI PJ. Effects of collecting stages and drying methods on the phenolic compounds and antioxidant activities of *Sonchus brachyotus* DC [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2016.
- [7] 任旭, 谢蔓莉, 叶发银, 等. 烫漂方式对苹果脆片褐变和多酚及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(1): 161-168.
RENG X, XIE ML, YE FY, *et al.* Effects of blanching treatments on browning polyphenol composition and antioxidant activity of apple slices [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(1): 161-168.
- [8] 李桂珍, 谷瑶, 杨漓, 等. 油茶果干燥方式对油茶籽活性成分的影响[J]. 广西林业科学, 2022, 51(5): 686-690.
LI GZ, GU Y, YANG L, *et al.* Effects of drying methods on the active components of *Camellia oleifera* seeds [J]. Guangxi Forest Sci, 2022, 51(5): 686-690.
- [9] 裴彦军, 程琨. 超低温真空冷冻干燥法在金刺梨产品加工中的应用[J]. 农产品加工, 2016, (14): 27-29.
PEI YJ, CHENG K. The application of ultra-low temperature vacuum freeze-drying method on processing prickly pear [J]. Farm Prod Process, 2016, (14): 27-29.
- [10] 刘丹, 江帆, 丁小艳, 等. 黔产刺梨果中总多酚的含量测定及其干燥方式考察[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(23): 20-23.
LIU D, JIANG F, DING XY, *et al.* Determination of total polyphenols from *Rosa roxburghii* fruit in Guizhou and investigation its drying methods [J]. Chin J Exp Tradit Med, 2016, 22(23): 20-23.
- [11] 蔡沙, 施建斌, 隋勇, 等. 不同干燥方式对甘薯叶理化特性和抗氧化能力的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(11): 78-86.
CAI S, SHI JB, SUI Y, *et al.* Effects of different drying methods on physicochemical properties and antioxidant capacity of sweet potato leaves [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(11): 78-86.
- [12] 常秋, 黄易安, 张明豪, 等. 刺梨鲜果块真空冷冻干燥工艺的分析[J]. 食品安全导刊, 2021, 323(30): 114-116.
CHANG Q, HUANG YAN, ZHANG MH, *et al.* Analysis of vacuum freeze-drying process of *Rosa roxburghii* Tratt fresh fruit block [J]. Chin Food Saf Magaz, 2021, 323(30): 114-116.
- [13] 罗昱. 刺梨果汁褐变与风味调控研究[D]. 贵州: 贵州大学, 2015.
LUO Y. Study on browning and flavor regulation of *Rosa roxburghii* juice [D]. Guizhou: Guizhou University, 2015.
- [14] 王慧竹. 刺梨有效成分分析及其体外生物活性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
WANG HZ. Analysis of effective composition in *Rosa roxburghii* Tratt and its bioactivity *in vitro* [D]. Changchun: Jilin University, 2018.
- [15] 刘丹, 江帆, 赵丽, 等. 响应面法优化刺梨果总多酚提取工艺[J]. 食品安全导刊, 2022, (25): 152-156.
LIU D, JIANG F, ZHAO L, *et al.* Optimization of extraction technology of total polyphenols from *Rosa roxburghii* fruit by response surface methodology [J]. Chin Food Saf Magaz, 2022, (25): 152-156.
- [16] 汪瑞敏, 吴箫, 刘丹丹, 等. 不同水解方法对刺梨渣多酚含量及活性的影响[J]. 中国酿造, 2022, 41(1): 155-160.
WANG RM, WU X, LIU DD, *et al.* Effects of different hydrolysis methods on the contents and activity of polyphenol in *Rosa roxburghii* Tratt pomace [J]. China Brew, 2022, 41(1): 155-160.
- [17] 孙雪皎, 史琳, 张旋, 等. 沙棘汁总黄酮测定方法的对比分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2019, 50(1): 120-127.
SUN XJ, SHI L, ZHANG X, *et al.* Comparison on determining methods for the total flavonoids in sea buckthorn juice [J]. J Shenyang Agric Univ, 2019, 50(1): 120-127.
- [18] 黄远东, 曾丽, 云江, 等. 水浸法提取刺梨中多糖[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 2014, 35(2): 65-68.
HUANG YD, ZENG L, YUN J, *et al.* Study on water extraction of

- polysaccharides from *Roxburgh rose* [J]. *J Jishou Univ (Nat Sci Ed)*, 2014, 35(2): 65–68.
- [19] 杨秀英, 王书林. 蒽酮-硫酸比色法测定枇杷叶中可溶性多糖的含量[J]. 亚太传统医药, 2008, (8): 26–27.
- YANG XY, WANG SL. Determination of soluble polysaccharide content in loquat leaves by anthrone-sulfuric acid colorimetry [J]. *Asia-Pac Tradit Med*, 2008, (8): 26–27.
- [20] 熊威. 无刺刺梨的抗氧化物质含量及其抗氧化活性[J]. 农技服务, 2023, 40(5): 47–50.
- XIONG W. Antioxidant substance content and antioxidant activity of *Rosa roxburghii* Tratt [J]. *Agrotech Serv*, 2023, 40(5): 47–50.
- [21] 杨笙. 刺梨多酚提取物的抗氧化评价及机制研究[D]. 贵州: 贵州大学, 2022.
- YANG S. Antioxidant evaluation and mechanism of polyphenol extract from *Rosa roxburghii* Tratt [D]. Guizhou: Guizhou University, 2022.
- [22] 黄欢. 基于 ADPIC 的春笋烫漂与干燥特性及神经网络模型拟合[D]. 成都: 四川农业大学, 2022.
- HUANG H. Blanching and drying characteristics of spring bamboo shoots based on ADPIC and neural network model fitting [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2022.
- [23] 高炜, 丁胜华, 王蓉蓉, 等. 不同干燥方式对柠檬片品质的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(2): 114–119.
- GAO W, DING SH, WANG RR, *et al.* Effects of drying methods on the quality of lemon piece [J]. *Food Technol*, 2017, 42(2): 114–119.
- [24] 林笑娟, 周丹蓉, 吴如健, 等. 不同干燥方式对橄榄果粉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(7): 90–97.
- LIN YJ, ZHOU DR, WU RJ, *et al.* Effects of different drying methods on the quality of olive fruit powder [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(7): 90–97.
- [25] 邓媛元, 汤琴, 张瑞芬, 等. 不同干燥方式对苦瓜营养与品质特性的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(2): 362–371.
- DENG YY, TANG Q, ZHANG RF, *et al.* Effects of different drying methods on the nutritional and quality characteristics of bitter melon [J]. *Sci Agric Sin*, 2017, 50(2): 362–371.
- [26] 张倩茹, 尹蓉, 王贤萍. 热风干燥与真空冷冻干燥对果蔬酚类物质含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(16): 106–108.
- ZHANG QR, YIN R, WANG XP. Effect of hot air drying and vacuum freeze drying on the content of phenolic compounds in fruit and vegetable powder [J]. *Anhui Agric Sci*, 2017, 45(16): 106–108.
- [27] 李程勋, 徐晓俞, 李爱萍. 不同干燥温度对玫瑰花茶外观和总黄酮含量的影响[J]. 食品工业, 2022, 43(9): 44–46.
- LI CX, XU XY, LI AIP, *et al.* Effects of different drying processes on apparent and total flavonoids in rose tea [J]. *Food Ind*, 2022, 43(9): 44–46.
- [28] 孙红艳, 戚晓阳, 王国辉, 等. 不同处理对刺梨黄酮含量及其抑菌活性的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(5): 1–4.
- SUN HY, QI XY, WANG GH, *et al.* Influence of different treatment on the total flavonoid content and its antibacterial activity in the fruits of *Rosa roxburghii* Tratt [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(5): 1–4.
- [29] 张倩. 不同预处理对铁皮石斛热风干燥过程及品质的影响[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2022.
- ZHANG Q. Effects of different pretreatment on hot air drying process and quality of dendrobium [D]. Wuhu: Anhui University of Technology, 2022.
- [30] 戈永慧, 张慧, 彭菁, 等. 热蒸汽烫漂联合热风微波耦合干燥香菇的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 59–64, 71.
- GE YH, ZHANG H, PENG Q, *et al.* Optimization of the technology of hot steam blanching coupled with hot air-microwave combined drying process of shiitakes [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(13): 59–64, 71.
- [31] 林锦铭, 肖小茵, 李俊健, 等. 烘干温度对铁皮石斛叶多糖抗氧化活性影响的研究[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(4): 28–31.
- LIN JM, XIAO XY, LI JJ, *et al.* Effect of drying temperature on antioxidant activity of polysaccharides from *Dendrobium candidum* [J]. *Cere Food Ind*, 2020, 27(4): 28–31.
- [32] 吴海燕, 施晓玲, 袁秋梅. 烫漂过程中芥菜过氧化物酶失活动力学模型研究[J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 67–73.
- WU HY, SHI XL, YUAN QM. Study on the kinetic model of peroxidase inactivation in shepherd's purse during blanching process [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023, 44(5): 67–73.
- [33] 杜笑, 郭杨昇, 常明昌, 等. 不同干燥方式对猴头菌子实体多酚提取效果及其抗氧化活性的影响[J]. 食用菌学报, 2022, 29(2): 65–72.
- DU X, GUO YB, CHANG MC, *et al.* Different drying methods affected extraction and antioxidant activity of polyphenols in *Hericium erinaceus* fruiting bodies [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2022, 29(2): 65–72.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



王亚萍, 硕士研究生, 主要研究方向为药食资源研究与开发。
E-mail: 3172587270@qq.com

周笑犁, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工副产物高值化利用研究。
E-mail: lizi008009@126.com