

灰枣三蒸三晾前后功能成分及 抗氧化活性分析

谢艾迪^{1,2}, 赵怡^{1,2}, 唐远萍^{1,2}, 高娟娟^{1,2}, 黄蓉^{1,2}, 韩海霞^{1,2*}, 谢丹露^{1,2}

(1.新疆农业大学 食品科学与药学学院,新疆 乌鲁木齐 830052;2.新疆果品采后科学与技术重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:以不同等级(特级、一级、二级)若羌灰枣为原料,测定并比较其三蒸三晾加工处理前后主要功能成分(总黄酮、总多酚、总三萜、总糖和还原糖)和抗氧化活性(DPPH 自由基、ABTS⁺自由基清除能力及总还原能力)。结果显示,特级、一级、二级灰枣经三蒸三晾加工处理后,总黄酮、总三萜、还原糖含量均增加,总多酚、总糖含量降低,其中一级、二级灰枣总黄酮含量显著增加,增加率为 32.62%、26.10%,一级灰枣总三萜、还原糖含量显著增加,增加率分别为 14.76%、84.35%,而一级灰枣总多酚和总糖含量均降低,二者降低率分别为 7.0%、26.92%。3 个等级灰枣经三蒸三晾加工处理后,特级、一级、二级灰枣对 DPPH 自由基清除能力均增强,尤其是一级灰枣的清除能力增强最多,一级灰枣对 ABTS⁺自由基清除能力最强,一级、二级灰枣的总还原能力较强。

关键词:不同等级;若羌灰枣;三蒸三晾;功能成分;抗氧化

Analysis of Functional Components and Antioxidant Activities of Ruoqiang Grey Jujube after Three Times of Steaming and Drying

XIE Aidi^{1,2}, ZHAO Yi^{1,2}, TANG Yuanping^{1,2}, GAO Juanjuan^{1,2}, HUANG Rong^{1,2},
HAN Haixia^{1,2*}, XIE Danlu^{1,2}

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of Post-harvest Science and Technology of Fruit, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: The content of main functional components (total flavonoids, total polyphenols, total triterpenoids, total sugars, and reducing sugars) and antioxidant activities (DPPH free radical scavenging ability, ABTS⁺ free radical scavenging ability, and total reducing power) of different grades (special grade, grade 1, grade 2) of Ruoqiang grey jujube before and after three times of steaming and drying were determined and compared. The results showed that after three times of steaming and drying, the content of total flavonoids, total triterpenoids, and reducing sugars was increased, while that of total polyphenols and total sugars was decreased. The total flavonoids of grade 1 and grade 2 grey jujube were increased by 32.62% and 26.10%. In grade 1 grey jujube, the total triterpenoids and reducing sugars were increased by 14.76% and 84.35%, respectively, while the total polyphenols and total sugars were decreased by 7.0% and 26.92%, respectively. After three times of steaming and drying, the DPPH free radical scavenging ability of all the three grades of grey jujube was enhanced. Particularly, grade 1 grey jujube showed the most enhanced DPPH free radical scavenging ability and the strongest ABTS⁺ free radical scavenging ability. Grey jujube of both grades 1 and 2 demonstrated strong total reducing power.

Key words: different grades; Ruoqiang grey jujube; three times of steaming and drying; functional component; antioxidation

基金项目:中央引导地方科技发展专项资金项目(ZYYD2023B08);新疆维吾尔自治区大学生创新项目(S202210758089)

作者简介:谢艾迪(2000—),女(汉),硕士研究生在读,研究方向:食品科学与工程。

*通信作者:韩海霞(1979—),副教授,博士,研究方向:食品药品安全性评价、体内药物代谢与转运。

引文格式:

谢艾迪,赵怡,唐远萍,等.灰枣三蒸三晾前后功能成分及抗氧化活性分析[J].食品研究与开发,2024,45(5):36-43.

XIE Aidi, ZHAO Yi, TANG Yuanping, et al. Analysis of Functional Components and Antioxidant Activities of Ruoqiang Grey Jujube after Three Times of Steaming and Drying[J]. Food Research and Development, 2024, 45(5): 36-43.

若羌灰枣又称若羌香枣、楼兰枣,是红枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)的一种,为鼠李科枣属植物果实^[1],其果实呈长倒卵形,核小,且果肉厚,相较于其他品种的红枣,味更甜。灰枣含有糖、纤维素、人体必需氨基酸及钙、磷、铁等多种微量元素^[2],被人们美赞为“矿物质元素库”和“维生素丸”,同时具有多酚、三萜酸、黄酮和环磷酸腺苷(cyclic adenosine monophosphate, cAMP)等多种生理活性物质^[3],具有良好的抗氧化、抗炎、降血糖、增强免疫力等作用^[4]。

新疆是我国红枣主要产区之一,主要种植灰枣、骏枣及哈密大枣等品种^[5]。刘杰超等^[6]通过对不同品种新疆红枣的营养成分进行分析,发现灰枣的总酚、总黄酮、总糖及还原糖含量较高。同一品种的红枣可能会由于土壤、气候及种植条件等各种因素的影响,使其大小、颜色、糖度等品质产生一定的差异,如今红枣大多都经过干制加工和分级后进入市场。分级是红枣加工的重要环节,若红枣不经过分级处理便直接上市流通,其商品价值会明显降低^[7]。

目前,国内外对红枣的加工技术进行了大量的研究,干制枣更易于保存^[8]。为提高红枣的甜度和口感,人们日常食用红枣时,会将其蒸制后食用^[9]。郭盛等^[10]探讨发现蒸制后的大枣中葡萄糖和果糖及核苷类成分含量增加,三萜类化合物含量显著增加。将红枣经三蒸三晾后食用,不仅可促进糖类、维生素等营养物质的吸收,还能改善食欲不振、气血不足、脾胃虚弱等症状。范爱国等^[11]研究红枣三蒸三晾加工工艺,经过三蒸三晾处理的红枣营养美味,药用价值更高。刘世军等^[12]发现经过三蒸三晾的红枣会使红枣中的环磷酸腺苷含量增加,因环磷酸腺苷具有良好的镇静、催眠和降压的作用,三蒸三晾后的红枣其改善睡眠的效果可能也会增强。因此,本试验以特级、一级、二级若羌灰枣为研究对象,将其分别经三蒸三晾处理,测定并比较三蒸三晾处理前后总黄酮、总多酚、总三萜、总糖和还原糖含量的变化及抗氧化活性,为不同等级灰枣的加工方式及消费者科学合理的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

灰枣(特级、一级、二级):新疆乌鲁木齐新北园春干果市场,产地为巴音郭楞蒙古自治州若羌县,由新疆农业大学食品科学与药学院韩海霞副教授鉴定;1,1

二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl free radical, DPPH)(纯度>97%)、2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS](纯度>98%)、芦丁标准品(纯度>98.65%)、没食子酸标准品(纯度>99%)、福林酚(纯度>99%):上海麦克林生化科技股份有限公司;无水乙醇(分析纯,纯度≥99.7%):天津市致远化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

电子分析天平(AL204-IC型):梅特勒-托利多仪器有限公司;数控超声波清洗仪(KQ-250DE型):昆山市超声仪器有限公司;紫外可见分光光度计(T6新世纪型):北京普析通用仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 不同等级灰枣样品前处理

干制:取同一批次特级、一级、二级灰枣洗净,去核,切片,干燥。

三蒸三晾:取同一批次特级、一级、二级灰枣洗净,去核,切片。第一次蒸晾,将果肉放于锅内100℃隔水蒸制30 min,取出于室温放置2~3 h,重复两次,干燥。

1.3.2 不同等级灰枣提取液制备

分别取三蒸三晾前后的特级、一级、二级灰枣各20.00 g,加适量蒸馏水,于研钵中研磨成泥状,将枣泥收集,冷藏备用。

1.3.2.1 水提取液

取三蒸三晾前后的特级、一级、二级灰枣枣泥各3.00 g与3 mol/L盐酸溶液按1:40(g/mL)混合,80℃水浴加热1 h后,冷却,3 000 r/min离心10 min,收集上清液,用以测定总糖含量,4℃冷藏备用。

取三蒸三晾前后的特级、一级、二级灰枣枣泥3.00 g与蒸馏水按1:40(g/mL)比例混合,80℃水浴1 h,冷却,3 000 r/min离心10 min,收集上清液,用以测定可溶性糖含量,4℃冷藏备用。

1.3.2.2 乙醇提取液

取三蒸三晾前后的特级、一级、二级灰枣枣泥3.00 g与加入75%(体积比)乙醇按1:40(g/mL)比例混合于锥形瓶中,称重记录 W_1 ,浸泡1 h,60℃下超声辅助提取40 min,擦干瓶底水分,再称重,加75%(体积比)乙醇补齐至 W_1 ,过滤,滤液4 000 r/min离心10 min,收集上清液,用以测定总黄酮、总多酚和总三萜含量及抗氧化活性,4℃冷藏备用。

1.3.3 不同等级灰枣总黄酮含量测定

1.3.3.1 芦丁对照品工作曲线

芦丁对照品工作曲线参照文献[13]的方法制作。

1.3.3.2 供试品中总黄酮含量测定

准确移取 2.00 mL 供试品溶液,平行 3 份,同

1.3.3.1 方法显色,于 510 nm 处测得吸光度,带入回归方程,并计算含量。总黄酮含量按公式(1)计算。

$$\omega_1 = \frac{C_1 \times V \times D_1}{M \times 1000} \quad (1)$$

式中: ω_1 为总黄酮含量,mg/g; C_1 为样品中总黄酮的浓度, $\mu\text{g/mL}$; M 为样品质量,g; V 为提取液体积,mL; D_1 为稀释倍数。

1.3.4 不同等级灰枣总多酚含量测定

1.3.4.1 没食子酸对照品工作曲线

没食子酸对照品工作曲线参照文献[13]的方法制作。

1.3.4.2 供试品中总多酚含量测定

准确移取 2.00 mL 供试品溶液,平行 3 份,同

1.3.4.1 方法显色,于 765 nm 处测得吸光度,带入回归方程,并计算含量。总多酚含量按公式(2)计算。

$$\omega_2 = \frac{C_2 \times V \times D_2}{M \times 1000} \quad (2)$$

式中: ω_2 为总多酚含量,mg/g; C_2 为样品中总多酚的浓度, $\mu\text{g/mL}$; M 为样品质量,g; V 为提取液体积,mL; D_2 为稀释倍数。

1.3.5 不同等级灰枣总三萜含量测定

1.3.5.1 齐墩果酸对照品工作曲线

齐墩果酸对照品工作曲线参照文献[9]的方法制作。

1.3.5.2 供试品中总三萜含量测定

准确移取 2.00 mL 供试品溶液,平行 3 份,同

1.3.5.1 方法显色,于 560 nm 处测得吸光度,带入回归方程,并计算含量。总三萜含量按公式(3)计算。

$$\omega_3 = \frac{C_3 \times V \times D_3}{M \times 1000} \quad (3)$$

式中: ω_3 为总三萜含量,mg/g; C_3 为样品中总三萜的浓度, $\mu\text{g/mL}$; M 为样品质量,g; V 为提取液体积,mL; D_3 为稀释倍数。

1.3.6 不同等级灰枣总糖及还原糖含量测定

1.3.6.1 葡萄糖对照品工作曲线

葡萄糖对照品工作曲线参照文献[14]的方法制作。

1.3.6.2 供试品中总糖及还原糖含量测定

准确移取 2.00 mL 供试品溶液,平行 3 份,同

1.3.6.1 方法显色,于 620 nm 处测得吸光度,带入回归方程,并计算含量。总糖、可溶性糖含量按公式(4)、(5)计算,还原糖含量为总糖和可溶性糖含量的差值。

$$\omega_4 = \frac{C_4 \times V \times D_4}{M \times 1000} \quad (4)$$

式中: ω_4 为总糖含量,mg/g; C_4 为样品中总糖的浓度, $\mu\text{g/mL}$; M 为样品质量,g; V 为提取液体积,mL; D_4

为稀释倍数。

$$\omega_5 = \frac{C_5 \times V \times D_5}{M \times 1000} \quad (5)$$

式中: ω_5 为可溶性糖含量,mg/g; C_5 为样品中可溶性糖的浓度, $\mu\text{g/mL}$; M 为样品质量,g; V 为提取液体积,mL; D_5 为稀释倍数。

1.3.7 不同等级灰枣抗氧化活性的测定

1.3.7.1 DPPH 自由基清除能力的测定

将三蒸三晾前后的特级、一级、二级灰枣供试品溶液制成质量浓度为 5、10、15、20、25、30 mg/mL 的待测样品溶液,以 V_c 为阳性对照,参照文献[15]的方法于 517 nm 处测定吸光度,按公式(6)计算 DPPH 自由基清除率。

$$W_1 = 1 - \left(\frac{A_1 - A_2}{A_0} \right) \times 100 \quad (6)$$

式中: W_1 为 DPPH 自由基清除率,%; A_1 为 2.00 mL 待测液+2.00 mL DPPH 乙醇溶液的吸光度; A_2 为 2.00 mL 待测液+2.00 mL 无水乙醇的吸光度; A_0 为 2.00 mL DPPH+2.00 mL 75% 乙醇溶液的吸光度。

1.3.7.2 ABTS⁺自由基清除能力测定

将三蒸三晾前后的特级、一级、二级灰枣供试品溶液制成质量浓度 5、10、15、20、25、30 mg/mL 的待测样品溶液,以 V_c 为阳性对照,参照文献[15]的方法于 734 nm 处测定吸光度,按公式(7)计算 ABTS⁺自由基清除率。

$$W_2 = 1 - \left(\frac{A_1 - A_2}{A_0} \right) \times 100 \quad (7)$$

式中: W_2 为 ABTS⁺自由基清除率,%; A_1 为 0.80 mL 样品液+3.20 mL ABTS 溶液混合液的吸光度; A_2 为 0.80 mL 样品液+3.20 mL 蒸馏水的吸光度; A_0 为 0.80 mL 蒸馏水+3.20 mL ABTS 溶液混合液的吸光度。

1.3.7.3 总还原能力的测定

将三蒸三晾前后的特级、一级、二级灰枣供试品溶液制成质量浓度为 5、10、15、20、25、30 mg/mL 的待测样品溶液,以 V_c 作为阳性对照,参照文献[16]的方法于 700 nm 处测定吸光度。

1.4 数据处理

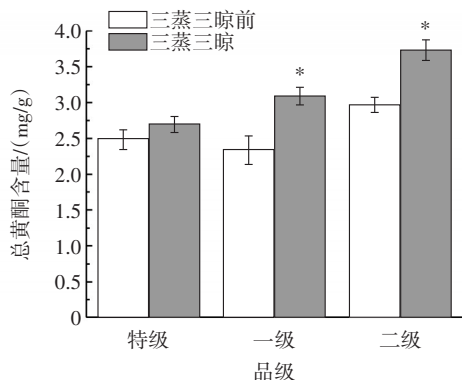
运用 SPSS 19.0 对试验数据进行单因素方差分析(One-way analysis of variance, One-way ANOVA),图表采用 GraphPad Prism 5.0 绘制,结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 总黄酮含量的测定

图 1 为不同等级灰枣经三蒸三晾处理前后总黄酮含量测定结果。

由图 1 可知,三蒸三晾处理前,特级、一级、二级灰枣总黄酮含量分别为(2.48 $\pm$ 0.60)、(2.33 $\pm$ 0.16)、(2.95 $\pm$ 0.08) mg/g,经三蒸三晾后总黄酮含量分别为(2.69 $\pm$ 0.09)、(3.09 $\pm$ 0.09)、(3.72 $\pm$ 0.12) mg/g,表明特级、一级、



*表示与三蒸三晾前灰枣相比,差异显著($P < 0.05$)。

图1 总黄酮含量比较

Fig.1 Comparison of total flavonoid content

二级灰枣三蒸三晾后总黄酮含量均升高,分别增加了8.47%、32.62%、26.10%,尤其一级、二级灰枣总黄酮显著升高($P < 0.05$)。本试验中特级、一级、二级灰枣经三蒸三晾处理后总黄酮含量增加,可能是因为高温破坏细胞壁,使总黄酮更多地溶解出来,从而使测得的总黄酮含量增加;马敏敏等^[17]试验结果表明,蒸制后的三七总黄酮含量高于生三七,其总黄酮含量会随着蒸制时间的延长先升高后降低,在蒸制 90 min 后达到最高值,与本试验结果一致。然而当某些黄酮随蒸汽冷凝时溶解出来,或者高温使黄酮结构降解,也会造成总黄酮量的损失^[18]。

2.2 总多酚含量的测定

图2为不同等级灰枣经三蒸三晾处理后总多酚含量测定结果。

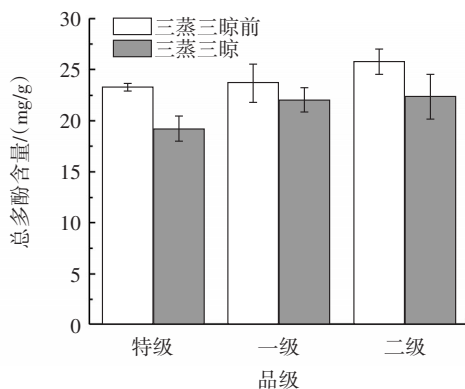


图2 总多酚含量比较

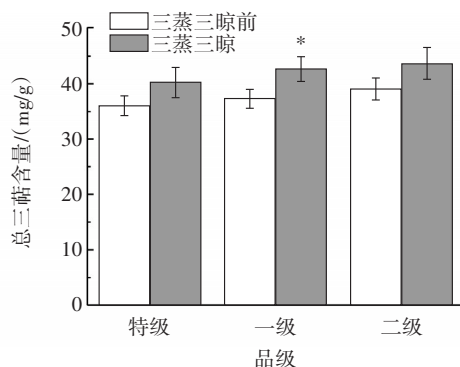
Fig.2 Comparison of total polyphenol content

由图2可知,三蒸三晾处理前,特级、一级、二级灰枣总多酚含量分别为 (23.10 ± 0.29) 、 (23.51 ± 2.40) 、 (25.64 ± 0.97) mg/g,经三蒸三晾后总多酚含量分别 (19.03 ± 2.64) 、 (21.87 ± 2.65) 、 (22.22 ± 1.79) mg/g,表明特级、一级、二级灰枣三蒸三晾后总多酚含量均降低,分别降低了19.62%、7.0%、13.34%。本试验中特级、一级、二级灰枣经三蒸三晾处理后总多酚含量有不同程

度的下降,分析其原因可能是多酚结构中酚羟基在蒸制高温下不稳定所致,马占倩^[19]试验结果表明,稻花香和灿米经过蒸制后其所含的游离酚、结合酚及总酚均会显著降低,与本试验结果一致。张玲艳等^[20]研究得出蒸、煮两种加工方式会显著影响小米中的总酚含量,而由于水分活度及溶氧浓度因素影响,煮小米的总酚含量降低幅度比蒸小米低,因此后期试验也可考虑使用煮制方式以更好地保留总多酚含量。

2.3 总三萜含量的测定

图3为不同等级灰枣经三蒸三晾处理后总三萜含量测定结果。



*表示与三蒸三晾前灰枣相比,差异显著($P < 0.05$)。

图3 总三萜含量比较

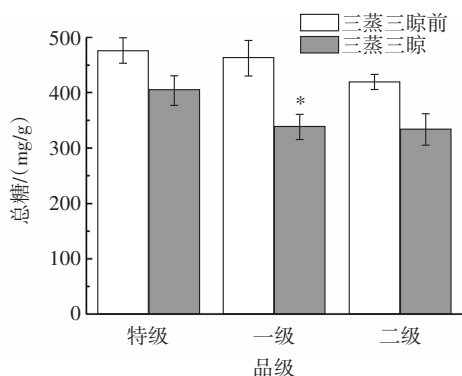
Fig.3 Comparison of total triterpenoid content

由图3可知,三蒸三晾处理前,特级、一级、二级灰枣总三萜含量分别为 (35.83 ± 1.41) 、 (37.07 ± 1.35) 、 (38.73 ± 1.61) mg/g,经三蒸三晾后总三萜含量分别为 (40.01 ± 2.30) 、 (42.54 ± 1.82) 、 (43.57 ± 2.27) mg/g,表明特级、一级、二级灰枣三蒸三晾后总三萜含量均升高,分别增加了11.67%、14.76%、12.50%,尤其一级灰枣总三萜显著升高($P < 0.05$)。付亚玲^[21]通过研究红枣在黑化的0~180 h中,其三萜酸含量随着黑化时间的延长而增加,在72 h时含量达到最高值。邱小燕等^[22]发现总三萜含量随茯苓蒸制时间的延长呈先增加后减少的趋势,在180 min时达到最高值。张娜等^[9]研究发现红枣经蒸制一段时间后总三萜含量上升,这可能是因为不同植物中所含三萜酸的前体物质的量不一样,在高温加工过程中前体物质转化得到的三萜酸量也不一样,但是可能因为高温蒸制时间过久又使三萜酸继续降解,继而导致三萜酸含量降低。蔡天娇^[23]研究发现当提取温度从30℃升至40℃时,红枣三萜酸含量最高,当温度继续上升时,红枣三萜酸含量持续下降。本试验中将特级、一级、二级灰枣经三蒸三晾方法处理后总三萜含量增加,表明三蒸三晾既增加了红枣三萜酸的含量,又使其在合理的蒸制时间里得到有效保护。

2.4 总糖及还原糖含量的测定

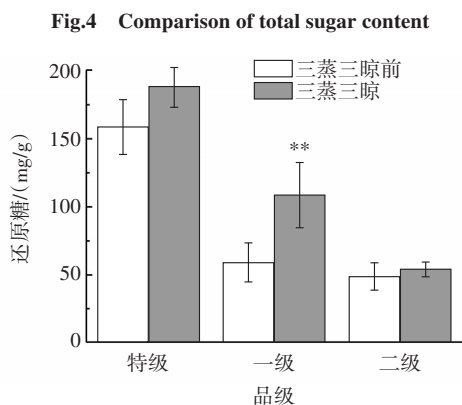
图4及图5为不同等级灰枣经三蒸三晾处理后总

糖和还原糖含量测定结果。



*表示与三蒸三晾前灰枣相比差异显著($P<0.05$)。

图4 总糖含量比较



**表示与三蒸三晾前灰枣相比,差异极显著($P<0.01$)。

图5 还原糖含量比较

Fig.5 Comparison of reducing sugar content

由图4可知,三蒸三晾处理前,特级、一级、二级灰枣总糖含量分别为 (475.46 ± 18.76) 、 (462.29 ± 26.38) 、 (419.82 ± 11.44) mg/g,经三蒸三晾后总糖含量分别为 (403.85 ± 26.17) 、 (337.84 ± 17.75) 、 (333.72 ± 67.65) mg/g,表明特级、一级、二级灰枣三蒸三晾后总糖含量均降低,分别降低了15.06%、26.92%、20.51%,尤其一级灰枣总糖含量显著降低。由图5可知,三蒸三晾处理前,特级、一级、二级灰枣还原糖含量分别为 (158.68 ± 32.75) 、 (58.93 ± 11.41) 、 (48.72 ± 8.12) mg/g,经三蒸三晾后还原糖含量分别为 (188.15 ± 14.32) 、 (108.64 ± 19.57) 、 (53.83 ± 5.43) mg/g,表明特级、一级、二级灰枣经三蒸三晾后还原糖含量均升高,分别增加了18.57%、84.35%、10.48%,尤其一级灰枣还原糖含量极显著升高($P<0.01$)。Sun等^[24]通过控制温度和湿度将红枣高温熟化后,与原红枣相比,其还原糖含量升高了29.79%。

研究发现中药材经蒸制处理以后,其中总糖含量有减有增,但多数情况下会随着蒸制时间、温度和次数骤减,这可能是因为高温条件使得多糖降解为小分子单糖、寡糖或者非糖类物质5-羟甲基糠醛,从而使其含量降低^[25-26]。有研究表明,黄精多糖会随蒸制次数和

时间的延长而降低^[27]。

2.5 不同等级灰枣抗氧化活性比较

2.5.1 对DPPH自由基的清除能力

DPPH自由基是一种稳定的以氮为中心的自由基,其结构中心有一个含孤对电子的氮原子,当这个单电子中心被样品中孤对电子所配对时,使溶液紫色变浅,样品物质的抗氧化能力越高其颜色褪色越明显^[28]。三蒸三晾处理前后不同等级的灰枣对DPPH自由基清除能力的影响如图6所示。

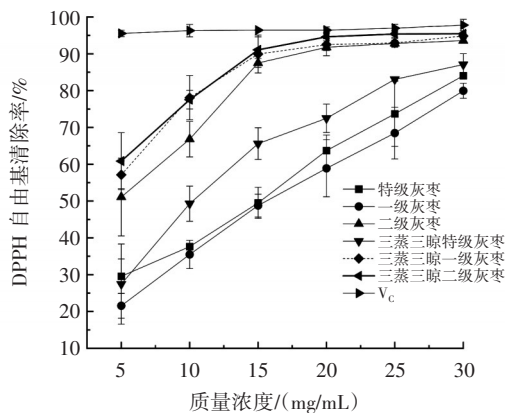


图6 三蒸三晾处理前后不同等级的灰枣对DPPH自由基的清除能力

Fig.6 Scavenging ability of different grades of Ruoqiang grey jujube on DPPH free radicals before and after three times of steaming and cooling

由图6可知,特级、一级、二级灰枣经三蒸三晾处理以后,对DPPH自由基的清除能力在质量浓度为5~30 mg/mL时均随浓度的增加而增加,尤其质量浓度范围为5~15 mg/mL时,一级、二级灰枣对DPPH自由基的清除速率呈线性增加;三者在30 mg/mL时清除率达到最大,分别为87.08%、94.86%、95.47%,而三蒸三晾处理前,其最大清除率分别为84.05%、79.96%、93.57%,由此可见,三蒸三晾处理前后对一级灰枣的DPPH自由基最大清除率有明显影响。然而特级、一级、二级灰枣在质量浓度范围为5~30 mg/mL时对DPPH自由基清除能力 IC_{50} 分别为12.63、14.48、5.15 mg/mL,经三蒸三晾处理后的 IC_{50} 分别为9.84、4.17、3.86 mg/mL,可见三蒸三晾处理后特级、一级、二级灰枣对DPPH自由基清除能力均增强,尤其是一级灰枣的清除能力增强最强,其次是特级和二级灰枣。研究表明很多天然成分具有清除DPPH自由基的能力,其含量的多少也会影响DPPH自由基清除能力^[29],本试验中测得灰枣经三蒸三晾处理后,二级灰枣中总黄酮及一级灰枣总三萜含量显著增加,余佳浩等^[30]试验结果表明,山药蒸制15 min后其总黄酮含量增加,DPPH自由基清除能力也增加,而且鉴于有研究表明总三萜具有较强的抗氧化活性^[31],推测灰枣中与清除DPPH自由基能力相关

的成分可能是总黄酮和总三萜,但其原因有待进一步研究。

2.5.2 对 ABTS⁺自由基的清除能力

ABTS⁺自由基由于氧化剂存在,被氧化会生成稳定的蓝绿色阳离子自由基,而受抗氧化剂的影响,ABTS⁺自由基工作液会使样品溶液褪色,其原理可以比较清除 ABTS⁺自由基的能力强弱^[28]。三蒸三晾处理前后不同等级的灰枣对 ABTS⁺自由基的清除能力如图 7 所示。

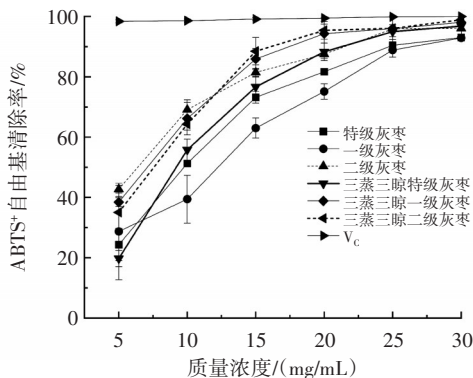


图 7 三蒸三晾处理前后不同等级的灰枣对 ABTS⁺自由基的清除能力

Fig.7 Scavenging ability of different grades of Ruoqiang grey jujube on ABTS⁺ free radicals before and after three times of steaming and cooling

由图 7 可知,特级、一级、二级灰枣经三蒸三晾处理以后,对 ABTS⁺自由基的清除能力在质量浓度为 5~30 mg/mL 时均随浓度的增加而增加,尤其在 5~20 mg/mL 时,三者对 ABTS⁺自由基的清除速率呈线性增加;在浓度范围为 20~30 mg/mL 时,清除率基本趋于稳定,在 30 mg/mL 时清除率达到最大,分别为 96.84%、98.06%、98.92%,而三蒸三晾处理前,特级、一级、二级灰枣对 ABTS⁺自由基清除率分别为 93.03%、92.89%、96.04%,由此可见,三蒸三晾处理前后不同等级灰枣对 ABTS⁺自由基最大清除率没有影响,然而特级、一级、二级灰枣在浓度范围为 5~30 mg/mL 时对 ABTS⁺自由基清除能力 IC₅₀ 分别为 9.26、10.59、6.06 mg/mL,经三蒸三晾

处理后的 IC₅₀ 值分别为 9.01、6.54、6.88 mg/mL,经比较可知一级灰枣经三蒸三晾处理后对 ABTS⁺自由基清除能力增强最多,特级和二级灰枣不显著,而在本试验中测得当灰枣经三蒸三晾处理后,一级灰枣总三萜含量明显增加,鉴于有研究表明总三萜具有较强的抗氧化活性^[31],推测灰枣中与清除 ABTS⁺自由基能力相关的成分可能是总三萜,但其原因有待进一步研究。

2.5.3 总还原能力

三蒸三晾处理前后不同等级的灰枣总还原能力如图 8 所示。

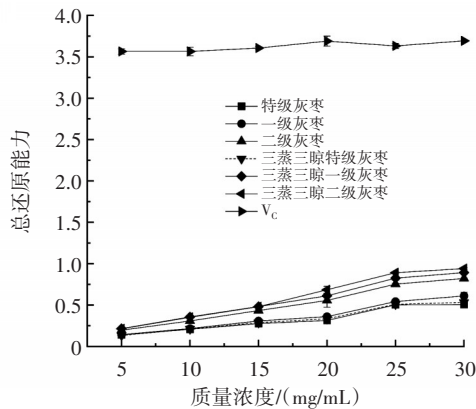


图 8 总还原能力

Fig.8 Total reducing power

由图 8 可知,特级、一级、二级灰枣经三蒸三晾处理以后,总还原能力在质量浓度为 5~30 mg/mL 时均随浓度的增加而增加,尤其一级、二级灰枣总还原能力比处理前强。宋亚茹^[32]通过研究发现黑化后的红枣其总还原能力比原红枣的高出 3.58 倍。天然产物总还原能力与总黄酮、总多酚和总三萜呈正相关^[29,33],本试验中不同等级灰枣经三蒸三晾处理以后,一级灰枣中总三萜含量和二级灰枣中总黄酮含量明显增多,推测其中总三萜、总黄酮对其总还原能力具有较大贡献,其原因有待进一步研究。

2.6 相关性分析

不同等级灰枣中总黄酮、总多酚、总三萜、总糖及还原糖含量与抗氧化活性相关性分析如表 1 所示。

表 1 不同等级灰枣中总黄酮、总多酚、总三萜、总糖及还原糖含量与抗氧化活性相关性分析

Table 1 Correlations of antioxidant activity and content of total flavonoids, total polyphenols, total triterpenoids, total sugars, and reducing sugars in different grades of grey Jujube

项目	总黄酮	总多酚	总三萜	总糖	还原糖	DPPH·清除能力	ABTS ⁺ ·清除能力	总还原能力
总黄酮	1	-0.053	0.616**	-0.756**	-0.443	0.689**	0.729**	0.764**
总多酚		1	-0.288	0.276	-0.447	0.126	-0.192	0.145
总三萜			1	-0.673**	-0.136	0.649**	0.803**	0.678
总糖				1	0.226	-0.703**	-0.728**	-0.691**
还原糖					1	-0.351	0.005	-0.567*
DPPH·清除能力						1	0.820**	0.866*
ABTS ⁺ ·清除能力							1	0.764**
总还原能力								1

注: *为相关性显著($P<0.05$), **为相关性极显著($P<0.01$)。

由表1可知,不同等级灰枣对DPPH自由基清除能力的强弱与总黄酮含量和总三萜含量相关性极显著($P<0.01$),与总多酚含量相关性较小;对ABTS⁺自由基清除能力的强弱与总黄酮含量和总三萜含量相关性极显著($P<0.01$)。不同等级灰枣中总糖含量与各抗氧化活性之间均呈负相关,且相关性极显著($P<0.01$);还原糖含量与总还原能力之间呈负相关,相关性显著($P<0.05$)。这表明总黄酮及总三萜在不同等级灰枣的抗氧化能力发挥这重要的作用。本试验与刘野婷等^[34]研究结果一致。

3 结论

特级、一级、二级灰枣经三蒸三晾处理后,其总黄酮、总三萜和还原糖含量均增加,总多酚、总糖含量下降,特级、一级、二级灰枣对DPPH自由基清除能力均增强,尤其是一级灰枣的清除能力明显增强,一级灰枣对ABTS⁺自由基清除能力最强,一级、二级灰枣的总还原能力较强。由此可见,不同等级灰枣经三蒸三晾处理后其主要功能成分和抗氧化活性受到不同影响。

参考文献:

- [1] SHAHRAJABIAN M H, KHOSHKHARAM M, ZANDI P, et al. Jujube, a super-fruit in traditional Chinese medicine, heading for modern pharmacological science[J]. Journal of Medicinal Plants Studies, 2019, 7(4): 173-178.
- [2] ZHANG Q, WANG L L, WANG Z T, et al. Variations of the nutritional composition of jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.) during maturation stages[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 1066-1081.
- [3] LU Y, BAO T, MO J L, et al. Research advances in bioactive components and health benefits of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit[J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2021, 22(6): 431-449.
- [4] CHEN J P, TSIM K W K. A review of edible jujube, the *Ziziphus jujuba* fruit: A health food supplement for *Anemia* prevalence[J]. Frontiers in Pharmacology, 2020, 11: 593655.
- [5] YAN M, WANG Y, WATHARKAR R B, et al. Physicochemical and antioxidant activity of fruit harvested from eight jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars at different development stages[J]. Scientific Reports, 2022, 12: 2272.
- [6] 刘杰超, 刘慧, 吕真真, 等. 不同新疆红枣营养成分比较分析[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(4): 31-35.
LIU Jiechao, LIU Hui, LYU Zhenzhen, et al. Comparison of nutritional composition of jujube from Xinjiang Province[J]. Food and Nutrition in China, 2018, 24(4): 31-35.
- [7] 吴明清, 李传峰, 罗华平, 等. 不同等级新疆骏枣物理特征及其对分级结果的影响[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 324-330.
WU Mingqing, LI Chuanfeng, LUO Huaping, et al. Physical characteristics of red jujube in different grades and its influence on classification results[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 324-330.
- [8] RASHWAN A K, KARIM N, SHISHIR M R I, et al. Jujube fruit: A potential nutritious fruit for the development of functional food products[J]. Journal of Functional Foods, 2020, 75: 104205.
- [9] 张娜, 雷芳, 马娇, 等. 蒸制对红枣主要活性成分的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(1): 138-141.
- [10] 郭盛, 段金彪, 钱大玮, 等. 大枣加工过程中化学成分变化及不同加工规格大枣药用品质比较研究[C]//南京, 海峡两岸暨CSNR全国第十届中药及天然药物资源学术研讨会论文集, 2012: 416.
GUO Sheng, DUAN Jin'ao, QIAN Dawei, et al. Dynamic of chemical components from *Ziziphus jujuba* during different processing and quality comparison with different specification[C]//Nanjing, Proceedings of the 10th Cross-Strait and CSNR National Symposium on Traditional Chinese Medicine and Natural Medicine Resources, 2012: 416.
- [11] 范爱国, 吕丽敏. 一种红枣加工工艺: CN111758877A[P]. 2020-10-13.
FAN Aiguo, LYU Limin. The invention relates to red date processing technology: CN111758877A[P]. 2020-10-13.
- [12] 刘世军, 王林, 唐志书, 等. 不同炮制方法对大枣中环磷酸腺苷含量的影响[J]. 吉林中医药, 2018, 38(6): 703-706.
LIU Shijun, WANG Lin, TANG Zhishu, et al. Effects of different processing methods on the content of cAMP in *Ziziphus jujuba*[J]. Jilin Journal of Chinese Medicine, 2018, 38(6): 703-706.
- [13] 陈叶, 思梦秋, 张佳佳, 等. 枣叶和酸枣叶的总酚、总黄酮以及抗氧化能力含量测定[J]. 精细与专用化学品, 2021, 29(8): 18-22.
CHEN Ye, SI Mengqiu, ZHANG Jiajia, et al. Determination of total phenols, total flavonoids and antioxidant capacity in 16 jujube leaves and sour jujube leaves[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2021, 29(8): 18-22.
- [14] LAKHO A B J. Effects of pectin on the reducing and non-reducing sugar and total sugar percentage of date jam[J]. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 2017, 7(3): 84-87.
- [15] LI X C, LIN J, GAO Y X, et al. Antioxidant activity and mechanism of *Rhizoma Cimicifugae*[J]. Chemistry Central Journal, 2012, 6(1): 140.
- [16] KIM J W, JEON Y, LEE J H, et al. Effect of far-infrared irradiation and heat treatment on the antioxidant activity of extracts from *Citrus pomace*[J]. Applied Biological Chemistry, 2006, 49: 60-64.
- [17] 马敏敏, 朱婉萍, 万晓青. 不同蒸制时间对三七总黄酮和多糖含量的影响[J]. 浙江中医杂志, 2022, 57(6): 463-464.
MA Minmin, ZHU Wanping, WAN Xiaoqing. Effects of different steaming time on the contents of total flavonoids and polysaccharides in *Panax notoginseng*[J]. Zhejiang Journal of Traditional Chinese Medicine, 2022, 57(6): 463-464.
- [18] 宗倩妮. 瓜蒌及其蒸制品的功效差异及关联物质基础的研究[D]. 芜湖: 皖南医学院, 2018.
ZONG Qianni. Study on the efficacy difference and related substance base of *trichosanthis fructus* and its steamed products[D]. Wuhu: Wannan Medical College, 2018.
- [19] 马占倩. 蒸制和煮制对不同加工精度稻米酚类物质的影响研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2019.
MA Zhanqian. Effects of cooking and steaming on phenolic substances in rice with different processing accuracy[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2019.
- [20] 张玲艳, 李洁莹, 韩飞, 等. 蒸煮对小米营养成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 113-117.
ZHANG Lingyan, LI Jieying, HAN Fei, et al. Effects of steaming and boiling on the nutrients and antioxidant activity of millet[J]. Food Science, 2017, 38(24): 113-117.
- [21] 付亚玲. 黑枣三萜酸的提取、分离纯化及抗氧化活性研究[D].

- 泰安: 山东农业大学, 2021.
- FU Yaling. Extraction, purification and antioxidant activity of triterpenic acids from blackened jujube(*Zizyphus jujuba* mill.)[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2021.
- [22] 邱小燕, 田玉桥, 肖深根, 等. 不同蒸制时间对茯苓和茯苓皮品质的影响[J]. 中国中医药科技, 2019, 26(6): 858-862.
- QIU Xiaoyan, TIAN Yuqiao, XIAO Shengen, et al. Effects of different steaming time on quality of Fuling (*Poria cocos*) and Fulingpi (*Poria peel*)[J]. Chinese Journal of Traditional Medical Science and Technology, 2019, 26(6): 858-862.
- [23] 蔡天娇. 红枣三萜酸提取纯化及其小鼠保肝作用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- CAI Tianjiao. Study of purification and hepatoprotective effect in mice of triterpenic acids in jujube[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017.
- [24] SUN X, GU D Y, FU Q B, et al. Content variations in compositions and volatile component in jujube fruits during the blacking process[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(4): 1387-1395.
- [25] LIU Z L, CHAO Z M, LIU Y Y, et al. Maillard reaction involved in the steaming process of the root of *Polygonum multiflorum*[J]. Planta Medica, 2009, 75(1): 84-88.
- [26] 曹延杰, 李飞, 谭鹏. 蒸制对中药多糖和 5-羟甲基糠醛含量影响的研究概况[C]//北京, 中华中医药学会中药炮制分会. 中华中医药学会中药炮制分会 2008 年学术研讨会论文集, 2008: 177-180.
- CAO Yanjie, LI Fei, TAN Peng. Research on the effect of steaming on the content of polysaccharide and 5-hydroxymethylfurfural in traditional Chinese medicine[C]//Beijing, Proceedings of the 2008 Symposium of the Chinese Association of Traditional Chinese Medicine Processing Branch, 2008: 177-180.
- [27] 高天宇, 胡静, 唐子惟, 等. 黄精四蒸炮制过程中多糖含量及可溶性成分的变化研究[J]. 成都中医药大学学报, 2022, 45(2): 64-68, 74.
- GAO Tianyu, HU Jing, TANG Ziwei, et al. Changes of polysaccharide content and soluble components during four steaming and processing of *Polygonatum*[J]. Journal of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, 2022, 45(2): 64-68, 74.
- [28] YOU Q H, YIN X L, ZHANG S N, et al. Extraction, purification, and antioxidant activities of polysaccharides from *Tricholoma mongolicum* Imai[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 99:1-10.
- [29] 陆子叶, 刘秀莹, 赵新元, 等. 植物黄酮类化合物分离提取纯化和生物活性研究进展[J]. 农产品加工, 2022(24): 75-79.
- LU Ziye, LIU Xiuying, ZHAO Xinyuan, et al. Study on separation, extraction, purification and biological activities of plant flavonoids[J]. Farm Products Processing, 2022(24): 75-79.
- [30] 余佳浩, 倪晓瑜, 黄秀彦, 等. 不同品种山药蒸制过程中淀粉消化率及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2022, 43(15): 52-60.
- YU Jiahao, NI Xiaoyu, HUANG Xiuyan, et al. Starch digestibility and antioxidant activity of different varieties of yam during steaming[J]. Food Science, 2022, 43(15): 52-60.
- [31] 陈楠, 吴潇霞, 白冰瑶, 等. 响应面法优化枣渣总三萜提取工艺及其抗氧化、抗增殖活性[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(10): 147-155.
- CHEN Nan, WU Xiaoxia, BAI Bingyao, et al. Optimization of extraction process of total triterpenoids from jujube residue by response surface methodology and the antioxidant and anti-proliferation activity[J]. Food Research and Development, 2022, 43(10): 147-155.
- [32] 宋亚茹. 黑化红枣品质形成及抗氧化特性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- SONG Yaru. Study on the quality formation of blackened jujube (*Zizyphus jujuba* mill.) and characteristics of antioxidant properties[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2022.
- [33] 王明辉, 张桂香, 任长博, 等. 萌芽处理对芝麻营养成分及抗氧化能力的影响[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(4): 855-862.
- WANG Minghui, ZHANG Guixiang, REN Changbo, et al. Effects of germination treatments on nutritional, functional components and antioxidant capacity of sesame[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2023, 45(4): 855-862.
- [34] 刘野婷, 白羽辛, 刘小康, 等. 红参不同部位抗氧化活性与还原糖、皂苷含量相关性分析[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(6): 1354-1356.
- LIU Yeting, BAI Yuxin, LIU Xiaokang, et al. Correlation analysis between antioxidant activity and reducing sugar and saponin content in different parts of red ginseng[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2021, 32(6): 1354-1356.

加工编辑: 张岩蔚
收稿日期: 2023-05-08