DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2026.16.004

石榴皮多酚提取物对石榴果汁品质的影响

阮佳仪[1],傅婧茹[1],张永[2],臧佳辰[1*]
(1. 中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083;2. 喀什慕峰就业有限责任公司,新疆 喀什 844000)

摘　要:该研究通过复合酶解结合超声辅助提取法制备石榴皮多酚提取物(pomegranate peel extract,PPE),并将其以不同添加量添加于石榴果汁中,在37 ℃下贮藏10 d,定期测定其糖度、pH值、色泽、透光率、菌落总数、总酚含量及1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl,DPPH)自由基清除率,探究石榴皮多酚提取物对石榴果汁品质及贮藏稳定性的影响。结果表明,PPE的添加显著提高了石榴果汁的糖度、pH值和总酚含量,且总酚含量随PPE添加量的增加而明显增加,最高达到769.95 mg GAE/100 mL,当PPE添加量为4.8 g时,DPPH自由基清除率达到89.53%。此外,所有PPE处理的果汁在贮藏期间菌落总数均未检出。综上,石榴皮多酚提取物能显著改善石榴果汁的品质,并延长其货架期。

关键词:石榴皮提取物;石榴多酚;果汁饮料;资源利用;深加工产品

Impact of Pomegranate Peel Polyphenol Extract on Quality of Pomegranate Juice

RUAN Jiayi[1],FU Jingru[1],ZHANG Yong[2],ZANG Jiachen[1*]
(1. College of Food Science and Nutritional Engineering,China Agricultural University,Beijing 100083,China;2. Kashgar Mufeng Employment Co.,Ltd.,Kashgar 844000,Xinjiang,China)

Abstract: This study prepared pomegranate peel extract (PPE) using a combined enzymatic hydrolysis and ultrasound-assisted extraction method. The PPE was then added to pomegranate juice at varying concentrations. The juice samples were stored at 37 ℃ for 10 d,during which regular measurements were taken for soluble solids content,pH value,color,transmittance,total viable count,total phenolic content,and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity. This study aimed to investigate the effects of PPE on the quality and storage stability of pomegranate juice. The experimental results showed that PPE addition significantly increased the sugar content,pH value,and total phenolic content of pomegranate juice. The total phenolic content increased significantly with the increase in PPE addition,reaching a maximum of 769.95 mg GAE/100 mL. When 4.8 g PPE was added,the DPPH radical scavenging rate reached 89.53%. Moreover,no aerobic plate count was detected in any of the PPE-treated juices during storage. These results demonstrated that PPE could significantly improve the quality of pomegranate juice and potentially extend its shelf life.

Key words: pomegranate peel extract; pomegranate polyphenol; juice; resource utilization; deep-processed product

引文格式:
阮佳仪,傅婧茹,张永,等. 石榴皮多酚提取物对石榴果汁品质的影响[J]. 食品研究与开发,2026,47(16):25-30,59.
RUAN Jiayi,FU Jingru,ZHANG Yong,et al. Impact of Pomegranate Peel Polyphenol Extract on Quality of Pomegranate Juice[J]. Food Research and Development,2026,47(16):25-30,59.

石榴(*Punica granatum* L.)为石榴科石榴属植物,其果实为多籽型浆果。石榴果实酸甜适口,深受消费者喜爱。石榴果肉不仅富含多种人体必需氨基酸、维生素、纤维素和矿物质等营养成分,还具有多种生理活

基金项目:新疆维吾尔自治区乡村振兴产业发展科技行动项目(2022NC142)
作者简介:阮佳仪(2002—),女(汉),本科在读,研究方向:食品科学。
*通信作者:臧佳辰(1988—),女(汉),副教授,博士,研究方向:食品化学。

性功效[1]。我国石榴种质资源丰富，目前已形成陕西、安徽、山东、四川、新疆、河南、云南七大产区，全国种植面积大约为 8 万 hm^2，年产量大约 100 万 t，种植规模及产量均居世界首位[2]。

我国消费的石榴中 80% 用于鲜食，深加工产品较少[3]，但是由于国内消费水平的升级，石榴深加工的产品需求快速增长，促进石榴综合产业的迅速发展。自 20 世纪 90 年代以来，石榴的应用价值逐渐获得广泛关注，以石榴为原料的果汁类制品相继被开发，该类产品具备多种生理保健功效[4]。进入 21 世纪，随着消费水平的进一步提升和消费者健康意识的增强，以天然石榴汁为代表的纯天然果汁市场迎来广阔前景。目前，我国已经有超过十家规模化石榴加工企业，年加工鲜果超过 10 万 t，生产浓缩石榴汁 5 000 t 以上[5]，石榴汁产量较大。尽管如此，天然石榴汁易发生氧化变色、沉淀、营养成分流失及香气成分逸散等问题，难以满足消费市场的需求[6]。解决石榴汁品质稳定性的问题，依然是提升石榴深加工产品市场竞争力的关键。

石榴皮约占石榴果实总质量的 50%[7]，是石榴食品加工过程中的主要副产物之一，该副产物除少量加以利用外，其余大多直接废弃，造成了极大的资源浪费和潜在的环境污染[8]。石榴皮含多种活性物质，例如酚类、类黄酮、复合多糖、可水解单宁、原花青素等[9]。其中石榴皮多酚占石榴皮干重的 10%~20%[10]，包括安石榴苷、鞣花酸、没食子酸、儿茶素、绿原酸等[11]。石榴皮提取物较高的功能活性与其富含多酚类物质直接相关[11]，多酚类物质能在一定程度上减少自由基导致的生物大分子损伤，具有良好的抗氧化、抗菌、抗癌、改善心血管疾病和肠胃功能等作用[12-13]。石榴皮提取物中酚类化合物占石榴抗氧化活性成分的 92%[14]。因此在食品、化妆品等领域均有较大的开发潜力。石榴皮中的多酚类化合物属于天然植物多酚，有助于以石榴皮提取物为保鲜剂的新型食用薄膜的开发，可广泛用于果蔬、水产品、肉类等食品的保鲜包装，满足现代消费者对于绿色、健康、安全的饮食需求[15-16]。

研究表明，石榴皮中鞣花酸可以抑制多酚氧化酶的活性，推断石榴皮提取物可能有助于控制石榴果汁在贮藏过程中的酶促褐变[17]。关于石榴皮提取物在食品中的应用鲜见研究，因此本研究根据预试验结果，采用复合酶解结合超声辅助提取法提取石榴皮多酚，将石榴皮多酚提取物（pomegranate peel extract，PPE）应用于石榴果汁的加工，对石榴果汁的糖度、酸度、颜色、菌落总数、总酚含量和 1，1-二苯基-2-三硝基苯肼（1，1-diphenyl-2-picrylhydrazyl，DPPH）自由基清除率进行分析，以期为石榴皮多酚的应用提供理论依据，同时解决石榴果汁品质上的问题，有助于提高石榴的综合价值，创造更高的生产效益，实现产业增收。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

会理突尼斯软籽石榴：市售，4 ℃冷藏保存；白砂糖：天津中康华盛食品有限公司；维生素 C：石药控股集团有限公司；纤维素酶（3 U/mg）、果胶酶（40 U/mg）（均为分析纯）：北京索莱宝科技有限公司；福林-酚（分析纯）：美国 Sigma 公司；DPPH（分析纯）：上海阿拉丁生化科技股份有限公司；无水碳酸钠、无水乙醇、没食子酸（gallic acid，GA）（均为分析纯）：北京化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

BY-R20 型医用离心机：北京白洋医疗器械有限公司；LE438 型 FiveEasy Plus™ pH 计：梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；HWS 型恒温恒湿培养箱：宁波市科技园区新江南仪器有限公司；SC-10 型色差仪：广东三恩时科技有限公司；PAL-1 型便携式数显折光仪：日本 ATAGO 公司；Microfuge® 16 型台式微量离心机：美国贝克曼库尔特有限公司；Cary-50 型紫外可见分光光度计：美国瓦里安公司；HW.W21.600C 型电热恒温水浴锅：北京长风仪器仪表公司。

1.3 试验方法

1.3.1 石榴果汁的工艺流程

原料→清洗→去皮→护色→榨汁→过滤→调配→均质→杀菌→成品。

1.3.2 操作要点

选用无病虫害、无腐烂、无霉变、充分成熟的石榴，清洗干净后，用刀将石榴皮划开，剥开去皮、除白色隔膜取籽，用 1.0 g/L 的维生素 C 溶液浸泡 15 min 护色，石榴籽用纱布包住，榨汁。

1.3.3 石榴皮多酚提取物的制备

将石榴皮清洗、烘干后粉碎，过 40 目筛，准确称取 1.00 g 石榴皮粉末，按 1∶30（g/mL）的料液比加入质量浓度为 0.2 mg/mL 的纤维素酶与果胶酶复合酶溶液，混匀后于 40 ℃水浴中酶解 40 min，随后在 3 000 r/min 下离心 10 min，收集上清液并于 95 ℃加热 10 min 灭酶。向沉淀中加入 20 mL 体积分数为 50% 的乙醇溶液，混匀后，在超声功率 100 W、温度 60 ℃条件下提取 15 min，再次于 3 000 r/min 下离心 10 min，收集上清液并与酶解上清液合并，得到石榴皮多酚提取物。

1.3.4 石榴皮多酚提取物对石榴果汁品质的影响

将石榴果汁随机分成 5 个处理组，每组为 30 mL。对照组不添加 PPE；处理组分别添加 1.2、2.4、3.6、4.8 g PPE，巴氏杀菌（70 ℃，6 min）后置于 37 ℃恒温恒湿培养箱贮藏，在第 0、2、4、6、8、10 天分别测定各项理化指标。

1）糖度：采用便携式数显折光仪测定果汁糖度。

2）pH 值：采用 pH 计测定果汁 pH 值。

3)色泽:采用色差仪测定 L^*值(亮度)、a^*值(红绿色度)、b^*值(黄蓝色度)。

4)透光率:采用紫外可见分光光度计在 520 nm 下测定吸光度(A)并按以下公式计算透光率(T,%)。

$$T = 10^{-A} \times 100$$

5)菌落总数:参照 GB/T 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》中的方法进行测定。

6)总酚含量:参照周帆等[18]的测定方法并稍作修改。采用福林-乔卡尔特法测定,称取 0.001 0 g 没食子酸,加入蒸馏水定容至 10 mL,配制成 0.1 mg/mL 的没食子酸标准液。分别取 0、10、20、30、40、50 μL 标准液,加蒸馏水至 200 μL,加入福林-酚试剂 200 μL,再加入 600 μL 15% Na_2CO_3 溶液,混匀,避光下反应 30 min,760 nm 下测定吸光度。将样品提取液先用蒸馏水稀释 10 倍后,量取 5 μL,加入 195 μL 蒸馏水,再加入 200 μL 福林-酚试剂,再加入 600 μL 15% 的 Na_2CO_3 溶液,混匀后,避光反应 30 min。以标准曲线的空白对照作为样品溶液的空白对照,测定 760 nm 下样品溶液的吸光度。每个样品平行测定 3 次,取平均值,用标准曲线的回归方程计算提取液中的总酚含量,以没食子酸当量(gallic acid equivalent,GAE)计。总酚含量(F,mg GAE/100 mL)计算公式如下。

$$F = \frac{x}{V} \times 100$$

式中:x 为提取液中酚类物质含量,mg GAE;V 为溶液体积,mL。

7)DPPH 自由基清除率:用无水乙醇将石榴汁稀释至原浓度的 1/100,取 500 μL 稀释后的样品溶液,加入 500 μL 0.1 mmol/L 的 DPPH 溶液混匀后,避光静置 30 min,于 517 nm 下测定各溶液的吸光度,记为 A_i;以相同体积的无水乙醇代替 DPPH 溶液作为空白,测定吸光度记为 A_0;相同体积无水乙醇代替样品溶液作为对照,测定吸光度记为 A_1。所有样品平行测定 3 次,取平均值[19]。按以下公式计算 DPPH 自由基清除率(D,%)。

$$D = \frac{A_1 - \left(A_i - A_0\right)}{A_1} \times 100$$

式中:A_1 为对照组吸光度;A_i 为样品溶液的吸光度;A_0 为空白组的吸光度。

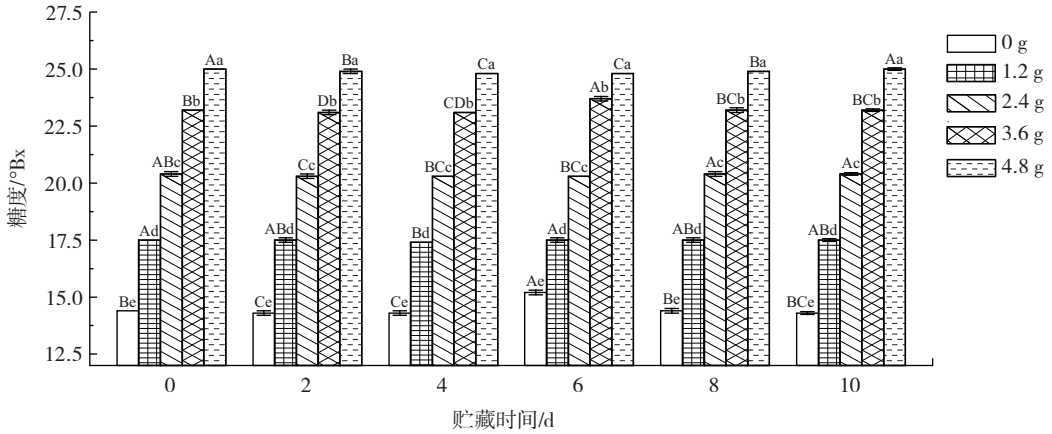
1.4 数据处理

采用 Excel 2016 对数据进行收集整理和初步分析。采用 SPSS 26.0 软件进行数据统计处理,用单因素方差分析检验进行方差分析和显著性分析,处理组之间的差异显著性采用 Duncan′s 法进行多重比较,结果以平均值±标准差形式表示,用 Origin 2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 石榴皮多酚提取物对石榴果汁糖度的影响

不同 PPE 添加量下糖度随贮藏时间的变化见图 1。



不同小写字母表示相同贮藏时间不同处理组之间差异显著(P<0.05);不同大写字母表示不同贮藏时间同一处理组之间差异显著(P<0.05)。

图 1 不同 PPE 添加量下糖度随贮藏时间的变化

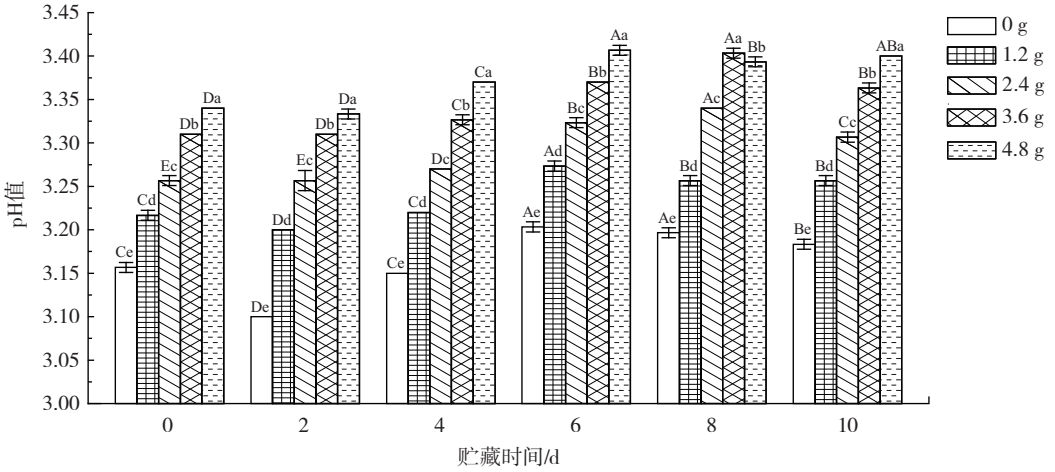
Fig.1 Changes in sugar content with storage time under different PPE additions

由图 1 可知,添加一定量的石榴皮多酚提取物可以显著提高石榴汁的糖度,PPE 添加量越大,糖度越高。且对照组(0 g)与各 PPE 处理组在贮藏结束之后所测得的糖度与 0 d 所测得的糖度无显著性差异(P>0.05)。石榴皮多酚提取物是多种多酚羟基化合物的总和,其中鞣质含量较高,包括安石榴林、安石榴苷等。此类化合物的羟基可与水分子形成氢键,从而使酚类化合物具有水溶性[20],因此随着石榴皮多酚提取物添加量的增大,糖度升高。将石榴皮多酚提取物加入到石榴果汁中后,石榴皮多酚提取物有助于保护果汁中其他易于氧化的成分,多酚类物质也可与其他抗氧化分子产生相互保护作用[21],以提高总体的抗氧化能力,从而维持了果汁的整体稳定性。同时,多酚本身在适宜的温度条件下具有良好的稳定性,这使得它们能在

较长时间内保持其化学性质[22],从而持续保护果汁成分不受氧化破坏。

2.2 石榴皮多酚提取物对石榴果汁 pH 值的影响

不同 PPE 添加量下 pH 值随贮藏时间的变化见图 2。



不同小写字母表示相同贮藏时间不同处理组之间差异显著(P<0.05);不同大写字母表示不同贮藏时间同一处理组之间差异显著(P<0.05)。

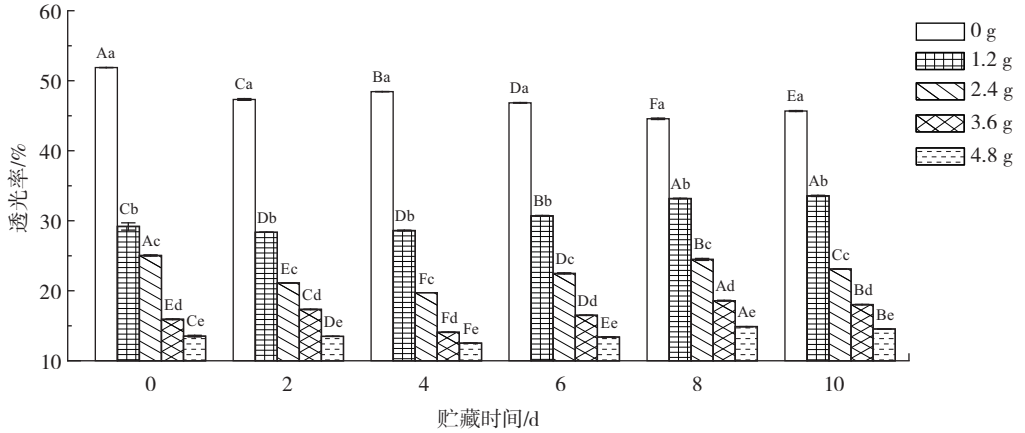
图 2 不同 PPE 添加量下 pH 值随贮藏时间的变化

Fig.2 Changes in pH with storage time under different PPE additions

由图 2 可知,添加一定量的石榴皮多酚提取物可以显著提高石榴汁的 pH 值,在贮藏第 2 天,对照组与各 PPE 处理组的 pH 值均较低。总体上,各 PPE 处理组的 pH 值均小于 3.45。研究表明,石榴皮多酚提取物的主要成分——安石榴苷在 pH 值为 2~4 的酸性环境中和低于 40 ℃的条件下稳定性良好,可能原因是酚羟基不易发生解离和自由基反应[23],整体上,低 pH 值环境可以有效保持石榴汁色泽。

2.3 石榴皮多酚提取物对石榴果汁透光率的影响

不同 PPE 添加量下透光率随贮藏时间的变化见图 3。



不同小写字母表示相同贮藏时间不同处理组之间差异显著(P<0.05);不同大写字母表示不同贮藏时间同一处理组之间差异显著(P<0.05)。

图 3 不同 PPE 添加量下透光率随贮藏时间的变化

Fig.3 Changes in light transmittance with storage time under different PPE additions

由图 3 可知,添加石榴皮多酚提取物显著降低果汁的透光率,且添加量越高,透光率越低。其原因可能与 PPE 本身的颜色及其对果汁胶体体系的影响有关。一方面,PPE 呈棕黄色,随着添加量增加,果汁中色素样物质及酚类化合物含量升高,导致样品在 520 nm 处的吸光度增加,从而使透光率降低。另一方面,PPE 中富含的多酚类物质可与果汁中的蛋白质、果胶及纤维素等大分子通过氢键、疏水作用等形成胶体复合物或不溶性沉淀,增加体系中悬浮颗粒含量和光散射程度[25],因此表现为透光率下降。对照组在贮藏结束之后所测得的透光率显著小于 0 d 的透光率(P<0.05),PPE 添加量为 1.2 g 的处理组在 10 d 的透光率显著大于 0 d 的透光率(P<0.05)。研究表明,植物多酚与纤维素、多酚、蛋白质等形成的化合物可以稳定食物的状态和有效抑制微生物的生长繁殖。在一定时间内,加入石榴皮多酚可以对果汁进行保鲜,稳定果汁体系。

2.4 石榴皮多酚提取物对石榴果汁颜色的影响

PPE 对石榴果汁色泽的影响见表 1。

表1 PPE对石榴果汁色泽的影响

Table 1 Effect of PPE on color of pomegranate juice

贮藏时间/d	PPE添加量/g	L^*值	a^*值	b^*值
0	0	33.96±1.93^{Aa}	5.65±2.09^{Aa}	0.61±0.48^{ABa}
	1.2	29.24±0.13^{Bb}	1.56±0.04^{ABb}	0.33±0.03^{Da}
	2.4	29.04±0.14^{Bb}	1.27±0.03^{Bb}	0.23±0.02^{Da}
	3.6	29.19±0.08^{BCb}	1.17±0.01^{Ab}	0.58±0.03^{Ba}
	4.8	28.82±0.30^{BCb}	1.07±0.03^{Ab}	0.37±0.10^{Da}
2	0	29.13±0.23^{Ba}	2.61±0.22^{Ba}	0.35±0.07^{Bb}
	1.2	28.49±0.05^{Cb}	1.94±0.54^{Ab}	0.20±0.04^{Dc}
	2.4	29.12±0.41^{Ba}	1.25±0.08^{Bc}	0.27±0.09^{Dbc}
	3.6	28.67±0.14^{Db}	0.95±0.04^{Bc}	0.36±0.07^{Cb}
	4.8	28.58±0.16^{CDb}	1.02±0.07^{ABc}	0.60±0.04^{Ca}
4	0	29.16±0.15^{Ba}	2.50±0.18^{Ba}	0.70±0.10^{ABb}
	1.2	28.67±0.21^{Cb}	1.56±0.06^{ABb}	0.52±0.02^{Cc}
	2.4	28.18±0.04^{Cc}	1.38±0.05^{Ac}	0.70±0.08^{Cb}
	3.6	28.60±0.05^{Db}	1.03±0.03^{Bd}	0.53±0.09^{BCc}
	4.8	28.29±0.06^{Dc}	1.00±0.03^{ABd}	0.84±0.07^{Ba}
6	0	28.77±0.11^{Bd}	2.68±0.04^{Ba}	0.90±0.06^{Aa}
	1.2	29.36±0.21^{ABc}	1.63±0.03^{ABb}	0.68±0.03^{Bc}
	2.4	30.07±0.28^{Ab}	1.41±0.03^{Ac}	0.79±0.04^{BCb}
	3.6	30.84±0.34^{Aa}	0.92±0.01^{Bc}	0.50±0.06^{BCd}
	4.8	28.98±0.16^{BCcd}	1.08±0.04^{Ad}	0.74±0.04^{BCbc}
8	0	29.22±0.22^{Bab}	2.10±0.01^{Ba}	0.45±0.04^{Bc}
	1.2	29.35±0.02^{ABa}	1.39±0.11^{Bb}	0.59±0.06^{BCb}
	2.4	28.99±0.12^{Bbc}	1.14±0.01^{Cc}	0.89±0.06^{Ba}
	3.6	28.84±0.19^{CDc}	0.96±0.12^{Bd}	0.60±0.10^{Bb}
	4.8	29.17±0.07^{Bab}	0.87±0.01^{Cd}	0.61±0.03^{Cb}
10	0	29.56±0.47^{Bab}	2.17±0.19^{Ba}	0.64±0.25^{ABb}
	1.2	29.67±0.43^{Aab}	1.40±0.13^{Bb}	0.97±0.16^{Aab}
	2.4	29.05±0.91^{Bb}	1.22±0.03^{Bbc}	1.16±0.12^{Aa}
	3.6	29.40±0.37^{Cab}	1.01±0.09^{Bcd}	0.90±0.19^{Aab}
	4.8	30.38±0.43^{Aa}	0.95±0.04^{BCd}	1.17±0.14^{Aa}

注：不同小写字母表示相同贮藏时间不同处理组之间差异显著（$P<0.05$）；不同大写字母表示不同贮藏时间同一处理组之间差异显著（$P<0.05$）。

由表1可知，贮藏第0天，各PPE处理组的L^*值均低于对照组，对照组L^*值与添加PPE组有显著性差异，这主要是PPE本身呈棕黄色所造成的，PPE处理组之间无显著性差异（$P>0.05$）。对照组L^*值从第0天的33.96降至第2天的29.13，但贮藏4 d内无显著性差异（$P>0.05$）。各PPE处理组在贮藏结束后相比第0天L^*值分别增加0.42、0.01、0.20、1.56，PPE添加量为1.2 g和4.8 g的处理组贮藏结束后相比第0天有显著变化（$P<0.05$），说明在石榴果汁中加入PPE可以有效控制L^*值的降低。

贮藏第0天，各PPE处理组的a^*值均低于对照组，对照组a^*值与添加PPE组差异显著（$P<0.05$），PPE处理组之间无显著性差异（$P>0.05$）。对照组的a^*值从第0天的5.65降至第2天的2.61，且贮藏2 d后a^*值无显著性差异（$P>0.05$）。而添加量为1.2 g的PPE处理组的a^*值在贮藏的10 d内无显著差异（$P>0.05$），说明在石榴果汁中加入少量PPE可以有效控制a^*值的降低。

贮藏第0天，各PPE处理组的b^*值均低于对照组但无显著性差异（$P>0.05$），说明短时间内，添加PPE对石榴果汁中的b^*值影响较小。

2.5 石榴皮多酚提取物对石榴果汁菌落总数的影响

对照组与PPE处理组均未检出。据研究，安石榴苷能够使菌膜中的蛋白质发生沉淀并抑制糖基转移酶的活性[21]，从而抑制大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的生长。石榴果汁中本身含有一定量的安石榴苷，而石榴皮提取物中安石榴苷含量更高[24]，因此经过巴氏杀菌的对照组与PPE处理组菌落总数均未检出。

2.6 石榴皮多酚提取物对石榴果汁DPPH自由基清除率影响

以没食子酸浓度为横坐标x，吸光度为纵坐标y，绘制标准曲线，结果见图4。

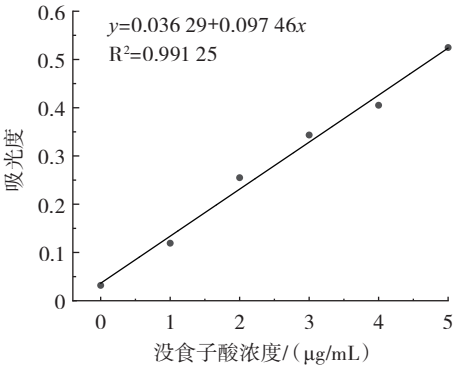


图4 总酚含量测定的标准曲线

Fig.4 Standard curve of total phenolic content determination

总酚含量与DPPH自由基清除率随PPE添加量的变化见图5。

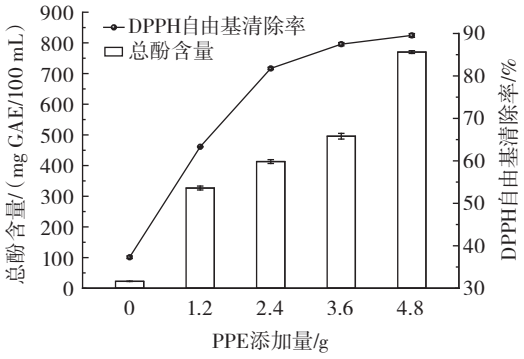


图5 总酚含量与DPPH自由基清除率随PPE添加量的变化

Fig.5 Changes in total phenolic content and DPPH free radical scavenging rate with PPE addition

由图5可知，随着PPE添加量的增加，石榴果汁

中的总酚含量与 DPPH 自由基清除率均呈上升趋势。DPPH 自由基清除率在一定程度上能体现物质体外抗氧化能力，添加 PPE 可明显提高果汁的抗氧化能力，但是当添加量达到一定水平后，DPPH 自由基清除率的增长速率明显趋缓。在一定范围内，DPPH 自由基清除率随着总酚含量的增加而升高，总酚含量达到一定量后，DPPH 自由基清除率增长率减小。当 PPE 添加量为 4.8 g 时，石榴果汁总酚含量达到 769.95 mg GAE/100 mL，DPPH 自由基清除率达到 89.53%。因此，在石榴果汁中添加 PPE 可有效提高果汁的总酚含量，进而提高果汁的抗氧化作用。

3 结论

本研究表明，石榴皮多酚提取物的添加能显著改善石榴果汁的品质。随着添加量的增加，果汁的糖度、pH 值、色泽、总酚含量以及 DPPH 自由基清除率均增加，PPE 的添加明显提高了果汁的总酚含量和抗氧化能力，总酚含量随 PPE 添加量的增加而显著增加，最高达到 769.95 mg GAE/100 mL，当 PPE 添加量在 4.8 g 时，DPPH 自由基清除率达到 89.53%。PPE 处理的果汁在贮藏期间菌落总数得到有效控制，显示出良好的防腐抑菌效果。因此，利用石榴皮多酚提取物开发功能性果汁饮料，不仅为石榴皮的综合利用提供了新途径，同时也为食品饮料生产提供了增加产品附加值的新途径。

参考文献：

[1] 任增超, 张妍, 李景, 等 . 石榴皮中多酚成分提取工艺的研究[J]. 现代食品, 2021(7): 100-102.
REN Zengchao, ZHANG Yan, LI Jing, et al.Optimizing the extraction process of polyphenol in pomegranate peel[J]. Modern Food, 2021(7): 100-102.

[2] 张海峰, 白杰, 张英 . 我国石榴资源及其开发利用的研究进展[J]. 饮料工业, 2009, 12(8): 1-3.
ZHANG Haifeng, BAI Jie, ZHANG Ying. Advances in researches on exploitation and utilization of pomegranate resources in China [J]. The Beverage Industry, 2009, 12(8): 1-3.

[3] 闫攀峰 . 石榴产业链的创新与挑战——科技推动与环境适应[J]. 果农之友, 2023(11): 94-96.
YAN Panfeng. Innovation and challenge in the pomegranate industry chain: Technology promotion and environmental adaptation[J]. Fruit Growers′ Friend, 2023(11): 94-96.

[4] TÜRKYILMAZ M, HAMZAOĞLU F, ÖZKAN M. A new enzymatic clarification method for pomegranate juice: Removal of defects and improvement of quality by tannase, lactonase and papain[J]. Food and Bioproducts Processing, 2024, 147: 528-543.

[5] 杨彬彬 . 我国石榴浓缩汁的产业现状及发展趋势[J]. 陕西农业科学, 2009, 55(1): 94-96.
YANG Binbin. Present situation and development trend of pomegranate juice concentrate industry in China[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2009, 55(1): 94-96.

[6] 热娜古丽·克热木 . 加工中石榴汁营养成分及抗氧化活性的变化[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.
KERAM Ranagul. Changes of nutritional components and antioxidant activity of pomegranate juice during processing[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2012.

[7] KANDYLIS P, KOKKINOMAGOULOS E. Food applications and potential health benefits of pomegranate and its derivatives[J]. Foods, 2020, 9(2): 122-142.

[8] 杨筱静, 赵波, 那可, 等 . 石榴皮中多酚类物质的研究进展[J]. 中国医药工业杂志, 2013, 44(5): 509-514.
YANG Xiaojing, ZHAO Bo, NA Ke, et al. Research progress of pomegranate polyphenols in pomegranate peels[J]. Chinese Journal of Pharmaceuticals, 2013, 44(5): 509-514.

[9] PATHAK P D, MANDAVGANE S A, KULKARNI B D. Valorization of pomegranate peels: A biorefinery approach[J]. Waste and Biomass Valorization, 2017, 8(4): 1127-1137.

[10] 张宁, 曹明浩, 冶鹏辉, 等 . 石榴皮多酚提取方法、活性及其应用研究进展[J]. 现代食品, 2020(20): 41-45.
ZHANG Ning, CAO Minghao, YE Penghui, et al.Research progress on extraction methods, activities, and applications of polyphenols from pomegranate peel[J].Modern Food, 2020(20): 41-45.

[11] 李猛, 刘江涛, 魏婉倩, 等 . 石榴皮中多酚类物质的组成 提取及活性研究进展[J]. 农产品加工, 2022(23): 54-58.
LI Meng, LIU Jiangtao, WEI Wanqian, et al. Research progress on composition, extraction methods and activities of polyphenols in pomegranate peel[J]. Farm Products Processing, 2022(23): 54-58.

[12] 陆雪莹, 热依木古丽·阿布都拉, 李艳红, 等 . 新疆石榴皮总多酚有效部位的抗氧化、抗菌及抗肿瘤活性[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 26-30.
LU Xueying, ABDULLA rahima, LI Yanhong, et al. Bioactive potentials of total polyphenols from pomegranate peel grown in Xinjiang[J]. Food Science, 2012, 33(9): 26-30.

[13] MAGANGANA T P, MAKUNGA N P, FAWOLE O A, et al. Antioxidant, antimicrobial, and metabolomic characterization of blanched pomegranate peel extracts: Effect of cultivar[J]. Molecules, 2022, 27(9): 2979.

[14] ISMAIL T, SESTILI P, AKHTAR S. Pomegranate peel and fruit extracts: A review of potential anti-inflammatory and anti-infective effects[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 143(2): 397-405.

[15] NABEEL AHMAD H, YONG Y Y, WANG S C, et al. Development of novel carboxymethyl cellulose/gelatin - based edible films with pomegranate peel extract as antibacterial/antioxidant agents for beef preservation[J]. Food Chemistry, 2024, 443: 138511.

[16] ZHANG Z H, LI X J, SANG S Y, et al. Polyphenols as plant-based nutraceuticals: Health effects, encapsulation, nano - delivery, and application[J]. Foods, 2022, 11(15): 2189.

[17] LEE M K, HWANG Y H, RYU H, et al. Galla rhois water extract inhibits enzymatic browning in apple juice partly by binding to and inactivating polyphenol oxidase[J]. Food Chemistry, 2022, 383: 132277.

[18] 周帆, 季甲, 韦胜艳 . 溶剂—超声波法提取石榴皮中总多酚的工艺考察及体外清除 DPPH 自由基的研究[J]. 凯里学院学报, 2018, 36(6): 37-40.
ZHOU Fan, JI Jia, WEI Shengyan. Study on extraction of total polyphenols from pomegranate peel by solvent - ultrasonic method and clearance of DPPH free radicals *in vitro*[J]. Journal of Kaili University, 2018, 36(6): 37-40.

[19] 邓娜, 乔沈, 高芯, 等 . 响应面试验优化石榴皮多酚提取工艺及石榴不同部位多酚的抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 39-43.

（下转第59页）

YU Xiaoyu. Study on the application of enzymology of edible fungi [J]. Edible Fungi of China, 1990, 9(5): 15-16.

[17] MAKARENKOVA G, BALODE V, ZALA D, et al. Effect of pretreated colza straw on the growth and extracellular ligninolytic enzymes production by *Lentinula edodes* and *Ganoderma lucidum*[J]. Fermentation, 2021, 7(3): 157.

[18] 楚晓真, 崔杏春, 刘格, 等 . 不同配方培养料对香菇胞外酶活性、产量及品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(3): 110-114.
CHU Xiaozhen, CUI Xingchun, LIU Ge, et al. Effects of different formulations on extracellular enzyme activity yield and quality of *Lentinus edodes*[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2023, 36(3): 110-114.

[19] 段超, 贾峥嵘, 杨杰, 等 . 香菇补水时不同生长因子对出菇影响的比较试验[J]. 中国食用菌, 2018, 37(3): 34-37.
DUAN Chao, JIA Zhengrong, YANG Jie, et al. Effect of different growth factors on the growth of *Lentinus edodes* during the rehydration period[J]. Edible Fungi of China, 2018, 37(3): 34-37.

[20] COLLA I M, DE O FILHO O B Q, BERTÉLI M B D, et al. Carbon-to-nitrogen ratios on laccase and mushroom production of *Lentinus crinitus*[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2023, 20(4): 3941-3952.

[21] 张锁峰, 李青, 韩鹏远, 等 . 不同果木栽培基质对香菇产量及主要养分转化的影响[J]. 中国食用菌, 2018, 37(1): 25-28, 33.
ZHANG Suofeng, LI Qing, HAN Pengyuan, et al. Influence of different fruit cultivation medium on the yield and the main nutrient transformation of *Lentinula edodes*[J]. Edible Fungi of China, 2018, 37(1): 25-28, 33.

[22] 曹雪松, 王鑫淼, 王丽艳, 等 . 不同培养基配方对杏鲍菇产量和品质的影响[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(16): 37-38.
CAO Xuesong, WANG Xinmiao, WANG Liyan, et al. Effects of different medium formulas on the yield and quality of *Pleurotus eryngii* [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2021, 27(16): 37-38.

[23] 张小爽, 徐晓飞, 张丙青, 等 . 不同潮期香菇营养成分的比较研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(6): 691-694, 724.
ZHANG Xiaoshuang, XU Xiaofei, ZHANG Bingqing, et al. Comparison of nutrition components in mushroom in different batches [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(6): 691-694, 724.

[24] 赵雅婷, 李一寒, 高何昊, 等 . 不同干燥方式对香菇干燥特性及品质的影响[J]. 农产品加工, 2024(20): 26-30.
ZHAO Yating, LI Yihan, GAO Hehao, et al. Effects of different drying methods on drying characteristics and quality of shiitake mushrooms[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2024 (20): 26-30.

[25] 王娅, 姚利利, 王颉, 等 . 不同干燥方式对香菇品质影响的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(19): 38-41, 58.
WANG Ya, YAO Lili, WANG Jie, et al. Study on the effect of different drying methods on the quality of dried mushrooms[J]. Food Research and Development, 2019, 40(19): 38-41, 58.

加工编辑:王雪
收稿日期:2026-03-31

(上接第30页)

DENG Na, QIAO Shen, GAO Xin, et al. Optimization of extraction process of polyphenols from pomegranate peel by response surface methodology and antioxidant activity analysis of polyphenols in different parts of pomegranate fruit[J]. Food Science, 2016, 37(6): 39-43.

[20] 张佳浩, 李道明, 钟小荣, 等 . 石榴皮多酚的提取、制备及其应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(14): 204-211.
ZHANG Jiahao, LI Daoming, ZHONG Xiaorong, et al. Extraction, preparation, and application of pomegranate peel polyphenols: A review[J]. Food Research and Development, 2022, 43(14): 204-211.

[21] CIANCIOSI D, FORBES-HERNÁNDEZ T Y, REGOLO L, et al. The reciprocal interaction between polyphenols and other dietary compounds: Impact on bioavailability, antioxidant capacity and other physico-chemical and nutritional parameters[J]. Food Chemistry, 2022, 375: 131904.

[22] 牛若惠, 常占瑛, 热娜·吉恩斯, 等 . 石榴皮提取液中安石榴苷的稳定性研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(6): 95-101.
NIU Ruohui, CHANG Zhanying, JIENSI Rena, et al. Study on the stability of punicalagin in pomegranate peel extract[J]. China Food Additives, 2022, 33(6): 95-101.

[23] 郭松年, 徐驰, 刘兴华, 等 . 温度、pH 值和光照对石榴汁花色苷稳定性的影响[J]. 食品与发酵科技, 2009, 45(5): 29-31, 34.
GUO Songnian, XU Chi, LIU Xinghua, et al. Effects of temperature, pH and light on the stability of pomegranate anthocyanins[J]. Food and Fermentation Technology, 2009, 45(5): 29-31, 34.

[24] ALSATAF S, BAŞYIĞIT B, KARAASLAN M. Multivariate analyses of the antioxidant, antidiabetic, antimicrobial activity of pomegranate tissues with respect to pomegranate juice[J]. Waste and Biomass Valorization, 2021, 12(11): 5909-5921.

[25] 姜楠, 姚卫蓉, 高媛, 等 . 多酚复合材料的种类及应用研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 300-308.
JIANG Nan, YAO Weirong, GAO Yuan, et al. Recent progress in the types and applications of polyphenol-based composite materials [J]. Food Science, 2021, 42(13): 300-308.

责任编辑:张璐
收稿日期:2024-08-22