

高压均质对桑葚汁中抗氧化成分与抗氧化活性的影响

决登伟, 桑雪莲*

中国热带农业科学院南亚热带作物研究所 广东湛江 524091
农业部热带果树生物学重点实验室

摘要 以新鲜桑葚汁为原料, 分析高压均质处理对桑葚汁中抗氧化成分(总酚、总黄酮、花色苷)及其抗氧化活性的影响。结果表明, 随着高压均质处理压力的增加, 与桑葚原汁相比, 其总酚、总黄酮和花色苷含量均降低, 且经过 160 MPa 均质处理后降低得最为显著($p < 0.05$), 分别减少了 39.91%、27.35%、24.41%。经过不同压力均质处理后的桑葚汁的 ABTS、DPPH 自由基清除能力和 FRAP 抗氧化活性与桑葚原汁相比均下降, 且随着处理压力的增加, 桑葚汁的 ABTS、DPPH 自由基清除能力和 FRAP 抗氧化活性逐渐降低, 说明高压均质处理对桑葚汁中抗氧化成分造成了一定降解, 进而影响其抗氧化能力。

关键词 桑葚汁; 高压均质; 总酚; 总黄酮; 花色苷; 抗氧化活性

中图分类号 S663

文献标识码 A

Effects of High-pressure Homogenization Treatment on the Total Antioxidants Content and the Antioxidant Activity of Mulberry Juice

JUE Dengwei, SANG Xuelian*

South Subtropical Crops Research Institute, CATAS/Key Laboratory of Tropical Fruit Biology,
Ministry of Agriculture, Zhanjiang, Guangdong 524091, China

Abstract The effect of high-pressure homogenization treatment on the total antioxidants content (polyphenol, flavonoids, anthocyanin) and the antioxidant activity of fresh mulberry juice were studied. The research results indicated that the total polyphenol, the flavonoids and the anthocyanin content were decreased compared to the raw mulberry juice after high-pressure homogenization treatment. Under the pressure of 160 MPa, they were the most significant, which were decreased by 39.91%, 27.35%, 24.41%, respectively. The antioxidant activity of mulberry juice decreased after the different high-pressure homogenization pressure treatment compared to the raw mulberry juice by ABTS, DPPH radical scavenging method and ferric reducing antioxidant power assay, and with the increase of high-pressure homogenization pressure, the ABTS, DPPH radical scavenging ability and FRAP antioxidant activity of mulberry juice were gradually reduced. It is shown that the antioxidant composition of mulberry juice is degraded by high-pressure homogenization, so its antioxidant capacity is affected.

Key words Mulberry juice; high-pressure homogenization; total polyphenol; flavonoids; anthocyanin; antioxidant activity

doi 10.3969/j.issn.1000-2561.2017.12.011

桑葚(*Fructus Mori*)别名桑椹、桑果、桑枣等, 为桑科桑属植物^[1]。桑葚营养价值丰富, 富含花色苷、类黄酮、鞣酸、苹果酸、亚油酸、多种维生素、人体必需氨基酸及锌、钾、镁、磷等元素, 中国卫生部把桑葚列为“药食兼用”的农产品之一^[2-4]。同时, 由于桑葚中含有大量的花色苷、黄酮等多酚类活性物质, 具有增强免疫力、抗衰老、降低血糖血脂、抗肿瘤、抗突变等多种药理作用^[3-7]。

桑葚属于热敏性水果, 其果实成熟期短, 极易腐坏, 不耐储运和贮存, 采后损失现象非常严重。因此, 发展桑葚的深加工对桑葚产业的发展具有重

要的意义, 桑葚汁作为一种天然富含多种功能成分的健康饮品, 越来越受到消费者的喜爱。然而, 压榨果汁中含有少量的纤维、果胶等大分子物质, 储藏过程中极不稳定, 容易产生沉淀而影响果汁的货架期和品质, 因此果汁生产中均质处理是不可缺少的, 这样既可以改善果汁的口感, 又可增加产品的储藏稳定性和货架期。

高压均质技术作为一种新兴的物理非热加工技术^[8-9], 具有短时、快速、高效的特点。该技术通过将物料的料液在挤压、强冲击与失压膨胀的三重作用下使物料细化, 从而使物料能更均匀的相互混

收稿日期 2017-08-02

修回日期 2017-10-13

基金项目 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金(No. 1630062017018)。

作者简介 决登伟(1986—), 男, 助理研究员; 研究方向: 热带农副产品精深加工。*通讯作者(Corresponding author): 桑雪莲(SANG Xuelian), E-mail: 75740770@qq.com。

合,从而使整个产品体系更加稳定^[10]。目前,该技术已经广泛的应用于饮料加工,但加工过程会对食品品质产生一定的影响。李俊芳^[11]研究超高压杀菌处理桑葚发酵饮料发现,超高压杀菌处理对其总酚含量变化不存在差异显著性;Chen 等^[12]研究高压均质和热处理芦笋汁发现,高压均质处理比热处理可以较好的保持芦笋汁中的抗氧化物质含量和抗氧化活性;Ferrari 等^[13]研究发现利用 400 MPa 静高压处理石榴汁可以提高其总酚含量。

目前,国内外关于高压均质处理对果汁中生物活性物质影响的研究报道已经很多,但关于高压均质处理对桑葚汁中生物活性物质的影响的研究却很少,本研究主要对高压均质处理对桑葚汁中总酚、总黄酮、花色苷含量及其抗氧化活性的影响进行相关研究,以期对桑葚汁生产加工过程中的均质工序提供一定的参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 原料与试剂 桑葚由中国热带农业科学院南亚热带作物研究所桑蚕基地提供;没食子酸、DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯胍)、芦丁、生育酚标准品等试剂购买于阿拉丁化学试剂有限公司;福林酚、碳酸钠、ABTS(2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐)、TPTZ(2,4,6-三吡啶基三嗪)、氯化铁、过硫酸钾、亚硝酸钠、氯化铝、氢氧化钠、无水乙醇、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠均为分析纯购买于国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备 SE03.0V 型碟式离心机(意大利斯脱尔公司);APV-2000 高压破碎仪(德国 APV 公司);10-1000 μL 手动可调量程单道移液器(德国 Eppendorf 公司);ST40 高速冷冻离心机(赛默飞世尔科技(中国)有限公司);UV2700 型紫外-可见分光光度计(岛津企业管理(中国)有限公司);S210 Seven Compact pH 计(梅特勒-托利多国际股份有限公司)。

1.2 方 法

1.2.1 样品的制备 将桑葚鲜果在流动水中清洗、去萼、打浆、纱布过滤去除果渣,滤液采用碟式离心机进行澄清处理,冷藏于 4 $^{\circ}\text{C}$ 下备用。果汁饮料通常的均质压力在 50-80 MPa,但不同的水果种类因其所含的物质不同,所需的压力也各不相同,本试验将澄清后的桑葚汁用 APV-2000 高压破碎仪分别在 20、40、80、120、160 MPa 压力下均质处理 3 次,收集处理后的桑葚汁贮藏于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中,备

用。

1.2.2 桑葚汁中总酚含量的测定 没食子酸标准曲线的绘制:参照总酚测定国家标准(GB/T 8313-2008)和郑欣等^[14]报道的方法略作修改。修改如下:精密称取 0.100 0 g 没食子酸,用 10.00 mL 无水乙醇溶解,用去离子水定容至 100 mL,备用。分别移取上述溶液 1.00、0.50、0.20、0.10、0.05 mL 到 10 mL 容量瓶中,用去离子水定容。从上述不同浓度的标准溶液中分别移取 0.20 mL 加到 10.00 mL 比色管中,再分别加入 1.00 mL 福林酚试剂(0.1 N)和 0.80 mL 去离子水,混匀,室温下静置 5 min,然后加入 1.00 mL 碳酸钠溶液(7.5%),混匀。将上述溶液室温下避光反应 1 h 后,以去离子水为空白参比,在 760 nm 波长处测定吸光度。以没食子酸质量浓度为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线。

桑葚汁样品测定:准确吸取 0.10 mL 经不同均质压力处理的桑葚汁于 25 mL 容量瓶中,用去离子水定容。准确吸取 0.20 mL 上述稀释溶液于 10.00 mL 比色管中,按上述方法操作,在 760 nm 处测定吸光值,并根据标准曲线计算桑葚汁中总酚的含量(以没食子酸计)。

1.2.3 桑葚汁中花色苷含量的测定 参照柳青等^[15]和霍琳琳等^[16]的测定方法,采用 pH 示差法,并略作修改。取上述制备的桑葚汁用蒸馏水稀释 100 倍,然后取稀释液在 400~700 nm 范围内扫描,确定花色苷的最大吸收波长,然后按照其花色苷的测定方法进行测定。

1.2.4 桑葚汁中总黄酮的测定 芦丁标准曲线的绘制:参照总黄酮测定的农业标准(NY/T 2010-2011)和冯瀚报道的方法^[17]略作修改。修改如下:精密称取 0.100 0 g 三水芦丁,用 30% 无水乙醇溶解并定容至 50 mL,备用。分别移取上述溶液 5.00、2.50、1.25、0.60、0.30 mL 到 10 mL 容量瓶中,用去 30% 无水乙醇定容。从上述不同浓度的标准溶液中分别移取 0.30 mL 加到 10.00 mL 比色管中,再分别加入 3.40 mL 30% 无水乙醇和 0.15 mL 0.50 mol/L NaNO_2 溶液,混匀,然后再加入 0.15 mL 0.30 mol/L AlCl_3 溶液,摇匀,室温下静置 5 min,最后加入 1.00 mL 1.00 mol/L NaOH 溶液,摇匀,以 30% 无水乙醇为空白参比,在 506 nm 波长处测定吸光度。以芦丁质量浓度为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线。

桑葚汁样品测定:准确吸取 0.10 mL 经不同均质压力处理的桑葚汁于 25 mL 容量瓶中,用去离子水定容。准确吸取 0.30 mL 上述稀释溶液于 10.00 mL

比色管中,按上述方法操作,在 506 nm 处测定吸光值,并根据标准曲线计算桑葚汁中总黄酮的含量(以芦丁计)。

1.2.5 桑葚汁抗氧化活性的测定

(1)铁离子还原能力(FRAP法)。参照 Xu 等^[17]报道的方法测定经不同压力均质处理后桑葚汁的总抗氧化能力,以 mmol/L V_E 当量表示。

(2)对 ABTS⁺自由基的清除能力。参照李奕星等^[18]报道的方法测定,并略做修改,修改如下:

样品测定:取 0.20 mL 经不同压力均质处理后桑葚汁,加入 4.00 mL ABTS⁺自由基工作液,室温下静置反应 30 min,在 734 nm 下测定其吸光值,以不加桑葚汁的试样为空白,用无水乙醇调零。按下列公式计算样品对 ABTS⁺自由基的清除率 [ABTS⁺自由基清除率=($A_{\text{空白}}-A_{\text{样品}}$)/ $A_{\text{空白}} \times 100\%$]。

(3)对 DPPH 自由基的清除能力。参照李奕星等^[18]报道的方法测定,并略做修改,修改如下:

样品测定:取 0.10 mL 经不同压力均质处理后桑葚汁,加入 2.90 mL 0.20 mmol/L DPPH 工作液,摇匀,室温下静置反应 30 min,在 517 nm 下测定其吸光值,以不加桑葚汁的试样为空白,用无水乙醇作参比。按下列公式计算样品对 DPPH 自由基的清除率 [DPPH 自由基清除率=($A_{\text{空白}}-A_{\text{样品}}$)/ $A_{\text{空白}} \times 100\%$]。

1.3 统计分析

所有试验重复进行 3 次,实验数据采用 SPSS 17.0 软件进行分析,结果表示为均值±标准偏差,作图采用 Origin 8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 高压均质对桑葚汁中总酚含量的影响

桑葚中活性物质丰富,主要包括多酚、多糖、挥发油等多种化合物。多酚类物质具有抗肿瘤、抗

突变、抗衰老等药理作用^[3-7]。桑葚中的多酚类物质主要有芦丁、白藜芦醇和花色苷类化合物^[3-4]。通过没食子酸标准曲线的绘制,得出其线性回归方程为 $y=0.0067x+0.0094$ (x 为没食子酸含量 $\mu\text{g/mL}$, y 为吸光度, $R^2=0.9980$)。图 1 为高压均质处理对桑葚汁总酚含量的影响,可以看出,桑葚汁中总酚含量随着高压均质处理压力的增加而逐渐减少。桑葚原汁中总酚含量为 150.6 mg/100 g,当经过 20、40、80、120、160 MPa 压力处理后,桑葚汁中总酚含量分别为 149.7、143.8、132.5、120.3、90.5 mg/100 g,与桑葚原汁相比,其总酚含量分别降低了 0.60%、4.52%、12.02%、20.12%、39.91%。由方差分析知,经过 20 和 40 MPa 处理的桑葚汁与桑葚原汁中总酚含量不存在差异显著性 ($p>0.05$),而经过 80、120、160 MPa 处理对桑葚汁中总酚含量存在差异显著性 ($p<0.05$)。这可能是由于高压均质处理激活了桑葚原汁中多酚氧化酶和糖苷酶的活性,使桑葚汁中的部分多酚类物质降解^[19];另外,高压均质处理可能使得桑葚原汁溶解氧浓度升高,体系内的化学反应和物理反应速率加快,导致了多酚类物质的氧化分解^[20],进而使多酚的含量发生减少。然而,与李俊芳^[11]、Chen 等^[12]、Ferrari 等^[13]等研究结果存在一定的差异,这主要与原料的种类和品种存在较大的关系。

2.2 高压均质对桑葚汁中总黄酮含量的影响

桑葚中黄酮主要为芦丁和树皮素,芦丁有凉血止血,清肝泻火,具抗炎,抗病毒作用,在临床上可用于防治脑溢血、高血压、视网膜出血、急性出血肾炎、治疗慢性气管炎,对糖尿病型、白内障有较好的治疗^[3-5]。通过芦丁标准曲线的绘制,得出其线性回归方程为 $y=0.0007x+0.0091$ (x 为芦丁含量 $\mu\text{g/mL}$, y 为吸光度, $R^2=0.9997$)。图 2 为高压均质处理对桑葚汁总黄酮含量的影响,可以看出,

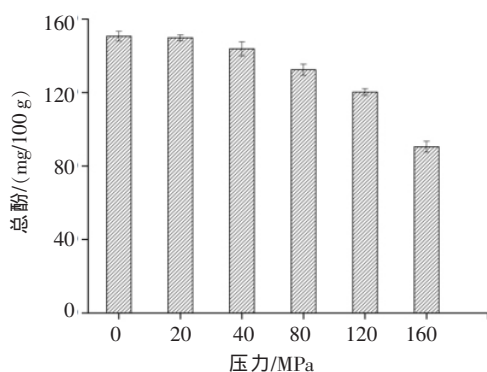


图1 高压均质处理对桑葚汁总酚含量的影响

Fig. 1 The effect of high-pressure homogenization treatment on the total polyphenol content of mulberry juice

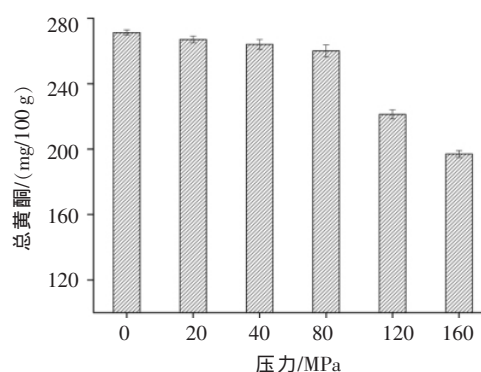


图2 高压均质处理对桑葚汁总黄酮含量的影响

Fig. 2 The effect of high-pressure homogenization treatment on the flavonoid content of mulberry juice

桑葚汁中总黄酮含量随着高压均质处理压力的增加而逐渐降低，这可能与桑葚汁中含有的酶类有关。桑葚原汁中总黄酮含量为 271.3 mg/100 g，当经过 20、40、80、120、160 MPa 压力处理后，桑葚汁中总黄酮含量分别为 267.2、264.6、260.0、221.3、197.1 mg/100 g，与桑葚原汁相比，其总黄酮含量分别降低了 1.51%、2.47%、4.17%、18.43%、27.35%。由方差分析知，经过高压均质处理的桑葚汁与桑葚原汁中总黄酮含量存在差异显著性 ($p < 0.05$)。这与吴琼等^[20]对不同杀菌方法对桑葚汁中类黄酮含量的研究结果是一致的，即经过高压和超高压处理，桑葚汁中总黄酮含量减少。

2.3 高压均质对桑葚汁中花色苷含量的影响

花色苷是桑葚所含的重要生理活性物质之一，具有抗氧化、抗癌、神经保护、心脑血管保护和抑制体重增加等功效，但在桑葚加工与贮藏过程中，花色苷极不稳定，易发生降解^[21-22]。图 3 为高压均质处理对桑葚汁中花色苷含量的影响，可以看出，桑葚汁中花色苷含量随着高压均质压力的增加而逐渐减少，这与前面总酚和总黄酮含量的变化是相似的。桑葚原汁中花色苷含量为 91.24 mg/100 g，当经过 20、40、80、120、160 MPa 压力处理后，桑葚汁中花色苷含量分别为 86.53、82.89、74.23、70.21、68.97 mg/100 g，与桑葚原汁相比，其花色苷含量分别降低了 5.16%、9.15%、18.64%、23.05%、24.41%。可见，高压均质对桑葚汁中花色苷含量具有较大的影响，由方差分析知，经过高压均质处理的桑葚汁与桑葚原汁中花色苷含量存在差异显著性 ($p < 0.05$)。吴琼等^[20]采用超高压杀菌处理桑葚汁发现，与桑葚原汁相比，其花色苷含量降低；Corrales 等^[23]研究发现花色苷在超高压处理下与丙酮酸发生缩合反应，导致花色苷含量减少，且随着保压时间的延长花色苷含量减少越显著；

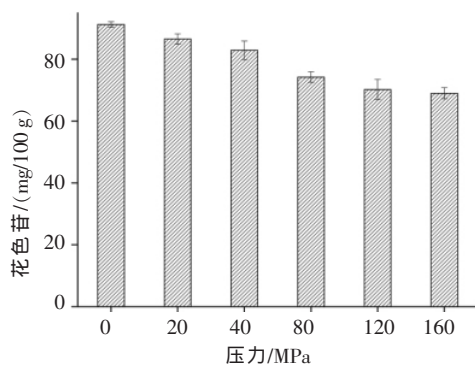


图3 高压均质处理对桑葚汁花色苷含量的影响
Fig. 3 The effect of high-pressure homogenization treatment on the Anthocyanin content of mulberry juice

Zabetakis 等^[24]研究发现经 400 MPa 处理后的草莓汁，在不同条件下贮藏，其花色苷的含量均比未处理样品的损失大，这是因为在此条件下草莓中的葡萄糖苷酶被激活，导致花色苷降解而被降低。

2.4 高压均质对桑葚汁抗氧化活性的影响

经不同压力处理后的桑葚汁对 ABTS 和 DPPH 自由基的清除能力如图 4 所示。可以看出，经过高压均质处理，桑葚汁对 ABTS 和 DPPH 自由基清除能力的变化趋势是相似的，且随着高压均质处理压力的增加，其对 ABTS 和 DPPH 自由基清除能力逐渐降低。桑葚原汁对 ABTS 和 DPPH 自由基的清除率分别为 86.71% 和 29.45%，但经过 20、40、80、120、160 MPa 压力均质处理后，其对 ABTS 自由基清除率分别下降了 10.22%、12.37%、16.50%、19.64%、31.23%，对 DPPH 自由基清除率分别下降了 20.44%、27.40%、29.58%、35.65%、46.08%，说明高压均质处理对桑葚汁抗氧化能力具有差异显著性。

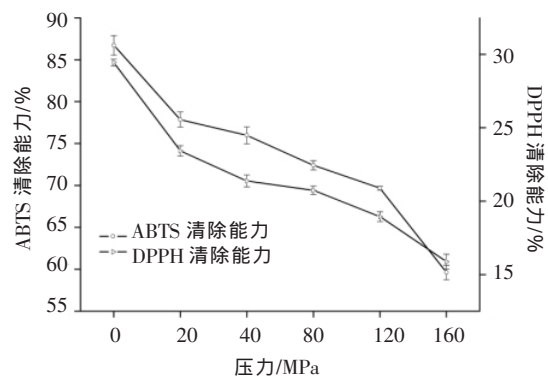


图4 高压均质处理对桑葚汁清除ABTS和DPPH自由基能力的影响
Fig. 4 The effect of high-pressure homogenization treatment on the ABTS and DPPH scavenging activity of mulberry juice

FRAP 法是用来反映样品的总抗氧化活性。从图 5 可以看出，随着高压均质处理压力的增加，桑葚汁对铁离子还原能力逐渐降低，桑葚原汁的总抗氧化能力为 40.37 mmol V_E 当量/L，但经过 20、40、80、120、160 MPa 压力均质处理后，其分别为 35.03、34.37、32.70、30.37、25.70 mmol V_E 当量/L，分别下降了 13.23%、14.86%、19.00%、24.77%、36.34%。这与 ABTS 和 DPPH 自由基清除能力的研究结果是相一致的。这些可能是高压均质后桑葚汁中总酚、总黄酮、花色苷等抗氧化成分发生氧化降解、水解等反应造成的，这与前面的研究结果是也相一致的，高压均质处理使桑葚汁中的抗氧化成分如总酚、花色苷和总黄酮的含量都发生一定程度的

降低，进而其抗氧化能力随之下降。吴琼等^[20]研究不同杀菌方法处理桑葚汁发现，与桑葚原汁相比，其抗氧化能力降低；李俶等^[25]研究也发现经动态高压微射流处理后，菠萝汁的总抗氧化能力减小。

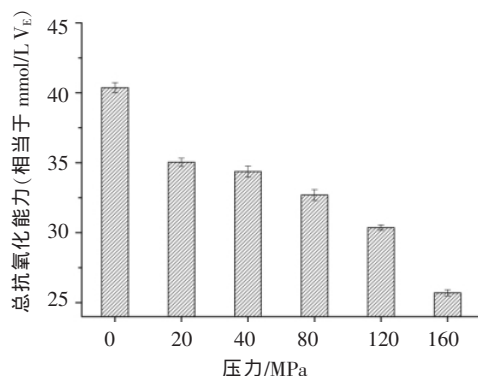


图5 高压均质处理对桑葚汁总抗氧化能力的影响

Fig. 5 The effect of high-pressure homogenization treatment on the antioxidant activity of mulberry juice

3 结论

本文研究了高压均质处理对桑葚汁中抗氧化物质含量的影响。研究表明，经过不同压力均质处理后，桑葚汁中总酚、总黄酮和花色苷含量均降低，且经过 160 MPa 均质处理后，桑葚汁中总酚、总黄酮和花色苷含量变化存在差异显著性 ($p < 0.05$)，其分别减少了 39.91%、27.35%、24.41%。

通过 3 种方法 (ABTS、DPPH、FRAP) 对桑葚汁的抗氧化活性进行综合评价，发现随着高压均质处理压力的增加，桑葚汁的 ABTS、DPPH 自由基清除能力和总抗氧化能力逐渐降低。这可能是高压均质处理后桑葚汁中总酚、总黄酮、花色苷等抗氧化成分发生氧化降解、水解等反应而降低，进而其抗氧化能力随之下降。

在实际生产加工过程中，为保护桑葚汁抗氧化活性，可以在达到均质效果的条件下适当降低高压均质处理的压力，以防止抗氧化成分 (总酚、总黄酮、花色苷) 的降解，以上研究结果将为桑葚汁的工业化生产加工过程提供一定的参考。

参考文献

[1] 冯瀚. 桑椹主要活性成分含量测定与抗氧化作用分析[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2015.
 [2] 曾俊. 桑葚的植物化学成分及其在食品加工中的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(7): 127-130.
 [3] 李冬香, 陈清西. 桑葚功能成份及其开发利用研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 293-297.
 [4] 李丽, 李昌宝, 邓海燕, 等. 广西桑葚果汁营养成分及抗氧化活性分析[J]. 南方农业学报, 2012, 43(9): 1378-1381.

[5] 吴祖芳, 翁佩芳. 桑椹的营养组分与功能特性分析[J]. 中国食品学报, 2005, 5(3): 102-107.
 [6] 马存兰. 新疆药桑抗氧化性成分的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2011.
 [7] 王磊. 药桑化学成分及生物活性研究[D]. 北京: 中国协和医科大学, 2008.
 [8] Bevilacqua A, Corbo M R, Sinigaglia M. Use of natural antimicrobials and high pressure homogenization to control the growth of *Saccharomyces bayanus* in apple juice[J]. Food Control, 2012, 24: 109-115.
 [9] Maresca P, Donsi F, Ferrari G. Application of a multi-pass high-pressure homogenization treatment for the pasteurization of fruit juices[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104: 364-372.
 [10] Liu W, Liu J, Xie M, et al. Characterization and high pressure microfluidization-induced activation of polyphenoloxidase from Chinese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(12): 5376-5380.
 [11] 李俊芳. 桑椹发酵饮料发酵工艺及超高压处理对其品质影响的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2016.
 [12] Chen X H, Qin W D, Ma L H, et al. Effect of high pressure processing and thermal treatment on physicochemical parameters, antioxidant activity and volatile compounds of green asparagus juice[J]. Food Science and Technology, 2015, 62: 927-933.
 [13] Ferrari G, Maresca P, Ciccarone R. The application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: pomegranate juice[J]. J Food Eng, 2010, 100(2): 245-253.
 [14] 郑欣, 余元善, 吴继军, 等. 不同乳酸菌在荔枝汁中的发酵特性研究[J]. 广州农业科学, 2013(7): 95-99.
 [15] 柳青, 赵晓燕, 张超, 等. 超高压处理对草莓汁贮藏期微生物及品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 11(14): 111-116.
 [16] 霍琳琳, 苏平, 吕英华. 分光光度法测定桑葚总花色苷含量的研究[J]. 酿酒, 2005, 32(4): 88-90.
 [17] Xu G H, Ye X Q, Chen J C, et al. Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract[J]. J Agric Food Chem, 2007, 55: 330-335.
 [18] 李奕星, 袁德保, 郑晓燕, 等. 诺丽果汁的抗氧化性研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(8): 1531-1534.
 [19] 曾庆梅, 潘见, 谢慧明, 等. 超高压处理对多酚氧化酶活性的影响[J]. 高压物理学报, 2004, 18(2): 144-148.
 [20] 吴琼, 冯卫敏, 蒋和体. 不同杀菌方式对桑葚原汁品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 144-149.
 [21] 李兆路, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 桑椹花色苷生理活性及加工稳定性研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(9): 395-398.
 [22] 曹少谦, 刘亮, 张超, 等. 桑葚花色苷的分离纯化及其热降解动力学研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(5): 54-61.
 [23] Corrales M, Butz P, Tauscher B. Anthocyanin condensation reactions under high hydrostatic pressure[J]. Food Chemistry, 2008, 110(3): 627-635.
 [24] Zabetakis I, Koulentianos A. The effects of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds[J]. Food Chemistry, 2007, 71: 51-55.
 [25] 李俶, 李倩, 徐金龙, 等. 动态高压微射流对菠萝汁维生素 C、总酚含量及其抗氧化性的影响[J]. 高压物理学报, 2013, 6(27): 936-940.

责任编辑：沈德发