

超高压处理对豆乳总多酚、类黄酮含量及其抗氧化性的影响

陈 凡,马善丽,许 颖,马永昆

(江苏大学 食品与生物工程学院,江苏 镇江 212013)

摘 要:研究了豆乳经超高压处理后,其总多酚、类黄酮含量的变化,并用 DPPH 法、FRAP 法分析了上述处理对豆乳体外抗氧化活性的影响。结果表明:200 MPa 处理对豆乳中总多酚无显著影响($P > 0.05$),300、400、500 MPa 处理后的总多酚则显著增加($P < 0.05$),加热处理后显著下降($P < 0.05$)。400、500 MPa 和加热处理豆乳的类黄酮含量、DPPH·清除率、铁还原能力显著提高($P < 0.05$)。400 MPa、10 min 处理的豆乳较佳,其总多酚、类黄酮含量分别为 2.51 和 0.48 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,DPPH·清除率达到 79.6%,铁还原能力吸光度值为 0.83。

关键词:超高压;豆乳;总多酚;类黄酮;抗氧化活性

中图分类号:TS214.2

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2011)02-0310-04

Effects of High Pressure Processing on Total Phenolic, Flavonoid Content and Antioxidant Activity of Soymilk

CHEN Fan, MA Shan-li, XU Ying, MA Yong-kun

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China)

Abstract: The effect of high pressure processing (HPP) on levels of total phenolic, flavonoid content and the in vitro antioxidant activity of soymilk was studied. The antioxidant activity of soymilk was evaluated by DPPH free radical scavenging activity and ferric reducing antioxidant power (FRAP). Results showed that the total phenolic content had no significant differences after 200 MPa treatment ($P > 0.05$), the significant increases were observed after 300, 400, 500 MPa ($P < 0.05$) treatments, whereas thermal treatment significantly reduced the level ($P < 0.05$). In addition, the flavonoid content, DPPH and FRAP values were significantly higher than that of unprocessed soymilk after 400, 500 MPa treatments and thermal treatment. The optimal treatment condition of soymilk was 400 MPa, 10 min and its total phenolic and flavonoid content values were 2.51 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and 0.48 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively, the DPPH free radical scavenging activity was 79.6% and the FRAP value was 0.83.

Key words: High pressure processing; Soymilk; Total phenolic; Flavonoid; Antioxidant activity

豆乳是我国最常消费的豆制品,加热处理可抑制豆乳中的脂肪氧合酶、胰蛋白酶抑制剂等抗营养因子的活性^[1-2],但加热处理易造成豆乳中营养物质损失及感官品质和物理特性的变化^[3],如维生素 E、多酚类物质降解及产生异味。采用超高压加工技术可在常温甚至更低温度下对食品进行杀菌灭酶,并改善其感官、营养和功能品质^[4]。Tangwongchai 等研究发现超高压处理能钝化豆乳中的脂肪氧合酶,改善其风味^[5];Vander 等研究发现超高压处理可以破坏大豆中胰蛋白酶抑制剂,使豆乳中的营养成分更容易被人体吸收^[6];Stephanie 等研究发现豆乳经高压处理后其大豆类黄酮含量无明显变化^[7]。目前,国外有关超高压处理对豆乳中的总多酚、类黄酮及其抗氧化活性的影响研究报道较

少,国内尚未见报道。该试验研究了超高压处理对豆乳中总多酚、类黄酮含量的变化以及豆乳抗氧化活性的影响,以期利用超高压技术加工豆乳提供理论依据和应用基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料和仪器

供试大豆品种为黑农 48(东北产);福林酚试剂(上海荔达生物科技有限公司);DPPH(1,1-二苯基苦基苯肼,美国 sigma 公司);其它试剂均为分析纯(国药集团)。HR2826 型飞利浦榨汁机(珠海飞利浦家用电器有限公司);TGL-20M 高速冷冻离心机(湘仪离心机高速台式冷冻离心机厂);3 L、800 MPa 智能化超高压设备(江苏大学与包头科发

收稿日期:2011-01-17

第一作者简介:陈凡(1987-),男,在读硕士,研究方向为植物蛋白。E-mail:sg041cf@163.com。

通讯作者:马永昆(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事食品非热加工、食品风味化学和食品发酵工程研究。E-mail:mayongkun@ujs.edu.cn。

机械公司共同研制);UV-1600 紫外可见分光光度计(北京瑞利分析仪器公司)。

1.2 试验设计

1.2.1 豆乳的制作工艺 大豆→挑选去杂→浸泡(0.5% NaHCO₃ 溶液,室温 8~10 h)→清洗→磨浆→胶磨→过滤(100 目筛)→鲜豆乳。

1.2.2 超高压处理条件 将制作好的鲜豆乳装于双层聚乙烯袋中密封,在 200、300、400 和 500 MPa 的压力下分别处理 5、10 min,处理温度 25℃,升压速率为 100 MPa·min⁻¹,降压时间为 2~5 s,后置 4℃ 冰箱冷藏待用。

1.2.3 总酚的提取 参照 Xu 的方法^[8]并略作改动。

1.2.4 总酚测定方法 参照 Singleton 和 Lamuela 的方法^[9]。样品中(以每 g 冻干粉计)总酚含量以没食子酸表示,没食子酸标准曲线浓度范围在 50~250 μg·mL⁻¹ ($R^2 = 0.9988$)。

1.2.5 类黄酮测定方法 参照 Heimler 的方法^[1]。样品中类黄酮含量以芦丁表示,芦丁标准曲线浓度范围在 10~50 μg·mL⁻¹ ($R^2 = 0.9976$)。

1.2.6 清除 DPPH 自由基能力的测定 参照 Jae 的方法^[10]。将各条件下处理的豆乳用蒸馏水稀释适宜的倍数,取待测液与等体积的 0.2 mmol·L⁻¹ DPPH 溶液加入到同一具塞试管中摇匀,10℃、10 000 r·min⁻¹ 条件下离心 15 min,室温避光静置 30 min,然后用无水乙醇作参比在 517 nm 处测其吸光度 A_i,同时测定 0.2 mmol·L⁻¹ DPPH 溶液与等体积无水乙醇混合液的吸光度 A_c 以及待测液与等体积无水乙醇混合液的吸光度 A_j。根据下列公式计算清除率: $A(\%) = (1 - \frac{A_i - A_j}{A_c}) \times 100$ 。

1.2.7 铁还原能力的测定 参照 Oyaizu 的方法^[11]。样品的还原能力以其吸光度值表示,吸光度值越大,还原能力越强。

1.3 数据分析

数据均测定 3 次,使用 Excel 2003 统计数据,利用 SPSS 14.0 软件中的 ANOVA 进行方差分析,用 Duncan's 新复极差法比较各水平间的显著性。

2 结果与分析

2.1 超高压处理对豆乳中总多酚、类黄酮含量的影响

超高压处理、热处理对豆乳中总多酚、类黄酮含量的影响,见表 1。与未处理豆乳相比,超高压处理的豆乳总多酚含量均有所增加,其中 200 MPa 处理后增加不显著 ($P > 0.05$);300、400、500 MPa 处

理后增加较显著 ($P < 0.05$)。其原因可能是豆乳经超高压处理后,细胞内的一些多酚类物质容易溶出,萃取率提高。400 MPa、10 min 处理的豆乳总多酚含量最高,为 2.51 mg·g⁻¹,增长率达到 39.4%。同一压力处理条件下,不同时间处理对豆乳中的总多酚含量的影响均不显著 ($P > 0.05$)。与未处理豆乳相比,豆乳经 100℃、20 min 加热处理后,其总多酚含量显著降低 ($P < 0.05$),下降率达到 10.5%,这与 Xu 等的研究结果一致,并认为其原因可能是高温导致豆乳中的一些多酚类物质发生了降解反应^[12]。与加热处理相比较,超高压处理能更有效的保留豆乳中的多酚类物质。

表 1 超高压处理豆乳的总多酚含量变化

Table 1 Effect of HPP on total phenolic contents of soymilk

处理条件 Treatment conditions	总多酚含量 Total phenolic content /mg·g ⁻¹	多酚增长率 Increase in phenolic /%	总类黄 酮含量 Total flavonoid content /mg·g ⁻¹	类黄酮 增长率 Increase in flavonoid/%
未处理 Unprocessed soymilk	1.80 ± 0.02c		0.41 ± 0.01d	
100℃, 20min	1.61 ± 0.03d	-10.5	0.44 ± 0.02bc	7.3
200 MPa, 5min	1.83 ± 0.02c	1.6	0.41 ± 0.01d	0.0
200 MPa, 10min	1.85 ± 0.03c	2.7	0.41 ± 0.02d	0.0
300 MPa, 5min	2.07 ± 0.05b	15.0	0.41 ± 0.01d	0.0
300 MPa, 10min	2.11 ± 0.08b	17.2	0.42 ± 0.02cd	2.4
400 MPa, 5min	2.47 ± 0.05a	37.2	0.46 ± 0.02ab	12.2
400 MPa, 10min	2.51 ± 0.06a	39.4	0.48 ± 0.02a	17.1
500 MPa, 5min	2.40 ± 0.06a	33.3	0.44 ± 0.01bc	7.3
500 MPa, 10min	2.42 ± 0.05a	34.4	0.45 ± 0.02bc	9.8

同列数值后不同字母表示差异达 0.05 水平,下同。

Values within a column followed by different letters are significantly different at 0.05 probability level; the same as below.

200、300 MPa 处理豆乳的类黄酮含量无显著变化 ($P > 0.05$),见表 1。400、500 MPa 处理豆乳的类黄酮含量显著提高 ($P < 0.05$);400 MPa、10 min 处理豆乳的类黄酮含量最高,为 0.48 mg·g⁻¹,增长率达到 17.1%。其原因可能是豆乳经高压处理后,一些与细胞膜连结在一起的疏水性基团暴露出来,膜的通透性提高,膜内一些类黄酮物质易被提取出来^[13]。同一压力处理条件下,不同时间处理对豆乳中类黄酮含量影响均不显著 ($P > 0.05$)。豆乳经 100℃、20 min 加热处理后,其类黄酮含量显著提高 ($P < 0.05$),为 0.44 mg·g⁻¹,增长率 7.3%。原因可能是在加热处理过程中,细胞壁上的一些聚合物会释放出游离的类黄酮物质,如木质素等^[14]。

2.2 超高压处理对豆乳抗氧化活性的影响

2.2.1 豆乳和多酚提取液清除 DPPH 自由基效果

200 MPa 分别处理 5 和 10 min 后豆乳的 DPPH · 清除率与未处理豆乳比较有所降低,但不显著 ($P > 0.05$),见表 2。300、400、500 MPa 分别处理 5 和 10 min 后豆乳的 DPPH · 清除率均有所提高,其中 400、500 MPa 处理后显著提高 ($P < 0.05$),其原因可能是高压使得组织基质发生改变,从而使具有抗氧化作用的化合物释放到细胞外^[15]。同一处理压力下,不同处理时间,豆乳 DPPH · 清除率无明显变化 ($P > 0.05$)。100℃、20 min 加热处理后豆乳的 DPPH · 清除率显著提高 ($P < 0.05$),其原因可能是加热处理过程中产生了一些新的抗氧化活性成分^[12]。Chen 等研究发现加热处理后,大豆组织蛋白、 β -大豆球蛋白(7S)会水解成氨基酸,而这些氨基酸具有清除 DPPH 自由基的能力^[16]。

与未处理豆乳比较,加热处理后多酚提取液的 DPPH · 清除率显著下降 ($P < 0.05$);高压处理后,各多酚提取液的 DPPH · 清除率均有所提高,在 200、300、400 MPa 处理范围内,随着压力的增加,各多酚提取液的 DPPH · 清除率逐渐增加;与 400 MPa 处理相比,500 MPa 处理豆乳的多酚提取液略有下

降,但不显著 ($P > 0.05$)。结合表 1 中多酚的含量,可以得出多酚的含量与 DPPH · 清除率呈现显著的相关性 ($R^2 = 0.987$)。

2.2.2 豆乳和多酚提取液铁还原能力

高压处理后豆乳的还原能力均显著增加 ($P < 0.05$),见表 2。在 200、300、400 MPa 范围内,随着压力的升高,豆乳的还原能力逐渐增强,400 MPa、10 min 处理的豆乳还原能力最强,吸光度为 0.83;与 400 MPa 处理相比,500 MPa 处理后豆乳还原能力有所下降,下降较显著 ($P < 0.05$)。其原因可能是高压处理改变了物质的组织结构,从而使细胞内的一些具有还原能力的抗氧化活性物质释放到细胞外^[17]。同一处理压力下,不同处理时间,豆乳的铁还原能力差异不显著 ($P > 0.05$)。100℃、20 min 加热处理后豆乳的还原能力与未处理比较有较显著提高 ($P < 0.05$),其原因可能是热处理过程中,细胞壁、细胞膜的通透性增强,细胞内一些具有还原能力的活性成分被释放出来^[12]。

各处理豆乳多酚提取液的铁还原能力见表 2。它与多酚提取液对 DPPH · 自由基清除率的趋势一致,再结合表 1,可以得出多酚的含量与还原能力呈现显著的相关性 ($R^2 = 0.974$)。

表 2 超高压处理对豆乳抗氧化能力的影响

Table 2 Effect of HPP on total antioxidant activity of soymilk

处理条件 Treatment conditions	豆乳稀释液 DPPH · 清除率 The DPPH scavenging capacity of soymilk diluent/%	多酚提取液 DPPH · 清除率 The DPPH scavenging capacity of phenolic extraction/%	豆乳稀释液铁还原力 The ferric reducing antioxidant power of soymilk diluent	多酚提取液铁还原力 The ferric reducing antioxidant power of phenolic extraction
未处理 Unprocessed soymilk	66.9 ± 0.75f	63.7 ± 0.62f	0.53 ± 0.02f	0.52 ± 0.02f
100℃, 20min	75.0 ± 0.71c	58.6 ± 0.95g	0.59 ± 0.02e	0.45 ± 0.02g
200 MPa, 5min	63.2 ± 0.91h	63.2 ± 0.85f	0.62 ± 0.02e	0.53 ± 0.02f
200 MPa, 10min	65.2 ± 0.90g	65.6 ± 0.96e	0.61 ± 0.03e	0.56 ± 0.02e
300 MPa, 5min	68.4 ± 1.20e	74.6 ± 0.64d	0.67 ± 0.03d	0.65 ± 0.02d
300 MPa, 10min	70.5 ± 0.89d	73.6 ± 0.62d	0.71 ± 0.02c	0.66 ± 0.01d
400 MPa, 5min	78.1 ± 0.75b	84.4 ± 0.81c	0.77 ± 0.02b	0.76 ± 0.02b
400 MPa, 10min	79.6 ± 0.66a	87.1 ± 0.80a	0.83 ± 0.02a	0.81 ± 0.02a
500 MPa, 5min	75.0 ± 1.06c	85.0 ± 0.80bc	0.75 ± 0.03bc	0.72 ± 0.01c
500 MPa, 10min	75.3 ± 0.98c	85.8 ± 0.61b	0.75 ± 0.02bc	0.73 ± 0.01c

3 结论

300、400、500 MPa 处理后豆乳中多酚显著提高 ($P < 0.05$),而热处理后其显著下降 ($P < 0.05$);400、500 MPa 和热处理后豆乳中类黄酮较显著提高 ($P < 0.05$);400 MPa、10 min 处理豆乳的总多酚和

类黄酮含量都达到最大值,分别为 $2.51 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $0.48 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。高压处理豆乳的 DPPH · 清除率和铁还原能力均有所增加,在 400 MPa、10 min 条件下 DPPH · 清除率最大,达到 79.6%,铁还原能力最强,吸光度为 0.83。

DPPH · 清除率、铁还原能力与多酚的含量均呈现出显著的相关性,相关系数分别为 0.987 和 0.974。

参考文献

- [1] Heimler D, Vignolini P, Dini M G, et al. Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 3053-3056.
- [2] Kwok K C, Niranjana K. Effect of thermal-processing on soymilk [J]. Food Science and Technology, 1995, 30: 263-295.
- [3] Lozano P R, Drake M D, Benitez D, et al. Instrumental and sensory characterization of heat-induced odorants in aseptically packaged soy milk [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55: 3018-3026.
- [4] 陈复生. 食品超高压加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. (Chen F S, Ultra high pressure processing technology of food industry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.)
- [5] Tangwongchai R, Ledward D A, Ames J M. Effect of high-pressure treatment on lipoxygenase activity[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48: 2896-2902.
- [6] Vander Ven C, Matser A M, Vanden Berg R W. Inactivation of soybean trypsin inhibitors and lipoxygenase by high-pressure processing[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53: 1087-1092.
- [7] Jung S, Murphy P, Sala I. Isoflavone profiles of soymilk as affected by high-pressure treatments of soymilk and soybeans[J]. Food Chemistry, 2008, 111(3): 592-598.
- [8] Xu B J, Chang S K. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents [J]. Food Science, 2007, 72(2): S159-S166.
- [9] Singleton V L, Lamuela R, Lamuela-Raventos R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent [J]. Methods Enzymology, 1999, 299: 52-78.
- [10] Jae Min Lee, Chung H, Chang P S. Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) [J]. Food Chemistry, 2007, 103: 662-669.
- [11] Oyaizu M. Studies on products of browning reaction prepared from glucosamine[J]. Japanese Journal of Nutrition, 1986, 44: 307-315.
- [12] Xu B J, Chang S K. Isoflavones, flavan-3-ols, phenolic acids, total phenolic profiles, and antioxidant capacities of soy milk as affected by ultra high-temperature and traditional processing methods [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(11): 4706-4717.
- [13] Oey I, Lille M, Loey A V, et al. Effect of high pressure processing on colour, texture and flavour of fruit and vegetable-based food products: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2008, 19: 320-328.
- [14] Xu B J, Chang S K. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56: 7165-7175.
- [15] Carla M, Wolbang, Jacqueline L. et al. The effect of high pressure processing on nutritional value and quality attributes of Cucumis melo [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2008, 9: 196-200.
- [16] Chen H M, Muramoto K, Yamauchi F, et al. Antioxidant activities of designed peptides based on the antioxidant peptide isolated from digests of a soybean protein [J]. Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44: 2619-2623.
- [17] Mcinerney J K, Seccafien C A, Stewart C M, et al. Effects of high pressure processing on antioxidant activity, and total carotenoid content and availability, in vegetables [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8: 543-548.

欢迎订阅 2011 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管主办的大豆专业领域学术性期刊,也是被国内外多家重要数据库和文摘收录源收录的重点核心期刊。主要刊登有关大豆遗传育种、品种资源、生理生态、耕作栽培、植物保护、营养肥料、生物技术、食品加工、药用功能及工业用途等方面的学术论文、科研报告、研究简报、国内外研究述评、学术活动简讯和新品种介绍等。

《大豆科学》主要面向从事大豆科学研究的科技工作者,大专院校师生、各级农业技术推广部门的技术人员及科技种田的农民。

国内外公开发行,双月刊,16开本,每期180页,逢双月25日出版。国内每期订价:10.00元,全年60.00元,邮发代号:14-95。国外每期订价:10.00美元(包括邮资),全年60美元。国外由中国国际图书贸易总公司发行,北京399信箱。国外代号:Q5587。另外,编辑部现有少量2007~2010年精装合订本,每册100.00元(含邮费),欲购从速。

本刊热忱欢迎广大科研及有关企事业单位刊登广告,广告经营许可证号:2301030000004。

地址:哈尔滨市南岗区学府路368号《大豆科学》编辑部。

邮编:150086

电话:0451-86668735

E-mail: dadoukx@sina.com ddkexue@126.com