

不同预处理对家庭制豆浆抗营养因子含量的影响

史海燕, 范志红*, 魏嘉颐
(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘要:目的: 研究不同预处理对家庭制豆浆中抗营养因子含量的影响。方法: 对大豆在室温和冷藏条件浸泡、干炒及发芽 2d 处理后制成豆浆, 以与干豆制浆为对照, 比较其单宁、植酸、皂苷和胰蛋白酶抑制剂的保存率。结果: 发芽处理豆浆组分的单宁、植酸、皂苷、胰蛋白酶抑制剂的保存率分别为 31.83%、27.28%、20.19%、12.89%; 室温浸泡处理 12h 分别为 34.56%、43.72%、32.10% 和 9.91%; 干炒处理消除抗营养因子的效率不及发芽和浸泡处理, 但与干豆制浆处理差异显著, 各抗营养因子的保存率分别为 64.05%、54.59%、28.78%、10.88%。结论: 与干豆制浆相比, 各处理均显著降低了豆浆中抗营养因子的保存率。其中发芽处理对于降低单宁和植酸的效果最显著, 12h 浸泡处理对降低胰蛋白酶抑制剂最为有效。

关键词: 预处理; 豆浆; 抗营养因子; 植酸; 单宁; 皂苷; 胰蛋白酶抑制剂

Effect of Pre-treatment on Anti-nutritional Factors in Home-made Soybean Milk

SHI Hai-yan, FAN Zhi-hong*, WEI Jia-yi
(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Objective: To explore the effect of pre-treatment on anti-nutritional factors in home-made soybean milk. Methods: The retention rates of anti-nutritional factors including tannin, phytic acid, saponins and trypsin inhibitors in soybean milk made from soybeans after soaking, frying and germination treatments at room temperature or chilled condition were determined and also compared with that of soybean milk made from un-processed raw soybeans. Results: The retention rates of tannin and phytic acid, saponin and trypsin inhibitor activity in soybean milk made from germinated soybeans were 31.83%, 27.28%, 20.19% and 12.89%, respectively. The retention rates of tannin and phytic acid, saponin and trypsin inhibitor activity in soybean milk made from soaked soybeans at room temperature were 34.56%, 43.72%, 32.10% and 9.91%, respectively. Compared with the soaking and germination treatments, frying treatment revealed the weaker effect on lowering anti-nutritional factor level, but it still exhibited a significant difference with the control soybean milk made from un-processed raw soybeans. The retention rates of tannin and phytic acid, saponin and trypsin inhibitor activity in soybean milk made from fried soybeans were 64.05%, 54.59%, 28.78% and 10.88%, respectively. Conclusion: Compared with raw soybean, the retention rates of anti-nutrition factors in home-made soybean milk made from soybeans subjected to different treatments were significantly decreased. Moreover, the germination had the most obvious effect on the reduction of tannin and phytic acid and soaking treatment for 12 h revealed the best effect on the reduction of trypsin inhibitors.

Key words: pre-treatment; soybean milk; anti-nutritional factor; phytic acid; tannin; saponin; trypsin inhibitor
中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-6630(2011)17-0049-05

大豆是蛋白质和多种微量营养素的重要来源, 并富含大豆异黄酮、大豆甾醇等活性物质, 具有较低的血糖指数与较高饱腹感特性^[1]。但大豆中还含有多种抗营养因子包括胰蛋白酶抑制剂(TI)、植酸、单宁、皂苷等。单宁、植酸与多酚会与食物中蛋白质及矿物质结

合成不溶性复合物, 降低生物利用率, 并引起多种酶活性下降^[2]。皂苷具有使红细胞破裂的作用^[3]。TI可以与胰蛋白酶、胰凝乳蛋白酶等发生作用, 影响蛋白质的消化, 同时增加消化酶分泌而造成内源蛋白质损失^[4]。加工烹调是除去抗营养因子的重要途径, 大豆经

收稿日期: 2010-12-13

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目(2008BAI58B02)

作者简介: 史海燕(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为营养与食品安全。E-mail: carinahy@126.com

* 通信作者: 范志红(1966—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食物的营养价值和健康功效。E-mail: daisyfan@vip.sina.com

加工烹调有利于提高其消化性能^[5]。

目前家庭自制豆浆已经十分普及,有干豆直接制浆、浸泡后制浆、炒制或发芽后再制浆的不同方法,但这些前处理对豆浆中抗营养因子含量的影响尚少报道。本研究测定分析黄豆经不同时间及温度浸泡、炒制、发芽等前处理后对其制浆的抗营养因子含量变化的影响,为消费者提供制作豆浆方法选择的依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大豆,产地为黑龙江省,山东九阳小家电公司大豆种植基地,去除破碎种粒,挑选粒径相近的种粒。

单宁酸、植酸钠、齐墩果酸、牛胰蛋白酶、没食子酸 中国药品生物检验所; F-D 试剂、碳酸钠、硫酸钠、盐酸、三氯化铁、磺基水杨酸、氯化钠、氢氧化钠、乙醚、乙酸、乙醇、正丁醇、甲醇、高氯酸、乙酸乙酯、香草醛、氯化钙、三羟甲基氨基甲烷(Tris-base)、福林试剂(F-C 试剂)、苯甲酰-DL-精氨酸-p-对硝基苯胺盐酸盐(L-BAPNA),以上试剂均为分析纯; 201×7(717)强碱性苯乙烯系阴离子交换树脂。

1.2 仪器与设备

离子交换柱(8mm×10mm) 北京博诺欣科技有限公司; JYDZ-35 豆浆机 九阳股份有限公司; 电子天平德国 Sartorius 公司; TDL-5-A 型飞鸽牌离心机 上海安亭科学仪器厂; S20 SevenEasy pH 酸度计 瑞士梅特勒-托利多公司; UV-5200 紫外-可见分光光度计 上海元析仪器有限公司; RE-2599 型旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂; 多功能搅拌机 灿坤实业有限公司; SHA-BA 水浴恒温振荡器 江苏金坛容华仪器制造有限公司; 电热恒温鼓风干燥箱 天津市中环电炉有限公司; FD-1 真空冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 豆浆制作方法

按市售豆浆蛋白质含量约为2%,确定豆浆的豆水比为1:20。浸泡组、干豆组、炒制组、发芽组共4组豆浆制作处理方式如下:

干豆组:称取50.0g大豆,倒入豆浆机,加水1000mL,制浆程序完成后滤网过滤分离得豆浆。

浸泡组:称取50.0g大豆,加水300mL于室温条件下分别浸泡4、8、12h,置于冰箱冷藏(4℃)条件下浸泡12h。浸泡结束后,弃去浸泡水,用吸水材料将大豆表面水分吸干后称量并计算其吸水量,然后补水至1000mL,倒入豆浆机后制作豆浆。同时保留浸泡水用于测定其抗营养因子含量。

炒制组:称取大豆250.0g,130℃炒制30min。测定其失水量后,称取与50.0g未炒制大豆等干物质含量

的炒制大豆,倒入豆浆机,其后制作方法同干豆组。

发芽组:称取50.0g大豆,加水300mL,30℃浸泡8h后,除去浸泡水后置于遮光处30℃条件下发芽2d,期间每4h淋水一次,发芽结束时芽长平均约为1.5cm。吸干表面水分后,加水1000mL,倒入豆浆机,其后制作豆浆方法同干豆组。

另取干豆,室温浸泡4、8、12h,冷藏浸泡12h后的大豆,炒制后大豆以及发芽后大豆进行冷冻干燥处理并磨粉过100目筛,以测定其中抗营养因子含量。所有样品的抗营养因子保存率按干豆基进行比较。

1.3.2 测定方法

1.3.2.1 单宁含量的提取及测定

豆浆与泡豆水直接用1mol/L盐酸调整pH值至4.5±0.1,等电点沉淀大豆蛋白,1500r/min离心10min,收集上清液进行测定。另分别称取豆渣5.000g和过100目筛豆粉5.000g,加入去离子水400mL,80℃水浴振荡提取1h,后续步骤同豆浆处理。采用F-D试剂法^[6],在波长680nm比色测定吸光度。使用单宁酸作为标准试剂,得到以质量浓度(mg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标的回归方程 $y=2.5619x+0.0064$, $R^2=0.9995$ 。

1.3.2.2 植酸的提取与测定

分别量取豆浆和泡豆水20mL置于具塞三角瓶中,加入50mL100g/L的硫酸钠-盐酸提取溶液(称取50g无水硫酸钠溶于1.2%盐酸溶液,定容至500mL),振荡提取2h后,3000r/min离心10min,收集上清液,按照参考文献^[7]方法,经阴离子交换柱洗脱提取,收集提取液,在波长500nm比色测定吸光度。另取豆渣2.000g和过100目筛豆粉1.000g,提取方式同豆浆处理过程。使用植酸钠作为标准试剂,得到以质量浓度(mg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标的回归方程 $y=-1.165x+0.9427$, $R^2=0.9995$ 。

1.3.2.3 皂苷的提取与测定

分别量取豆浆与泡豆水20mL于250mL三角瓶中,加入75%乙醇100mL,按照杨秀丽等^[8]方法进行提取、纯化,以5%香草醛-冰醋酸溶液和高氯酸为显色剂,在乙酸乙酯中反应,波长558nm处测定吸光度。豆粉、豆渣处理过程同豆浆。使用齐墩果酸为标准品,得到以质量浓度(mg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标的齐墩果酸含量和吸光度的回归方程: $y=0.0104x+0.0123$, $R^2=0.9996$ 。

1.3.2.4 胰蛋白酶抑制剂的提取与测定

牛胰蛋白酶放置至室温,精密称取1.0000g于200mL容量瓶中,用氯化钙盐酸溶液溶解并定容至刻度。将胰蛋白酶储备液分别稀释为0.5、1.0、1.5、2.0、2.5mg/mL 5个质量浓度,按照参考文献^[9]方法测定吸光

度, 得到标准曲线, 其以质量浓度(mg/mL)为横坐标, 吸光度为纵坐标的回归方程为 $y = 0.1865x + 0.0081$, $R^2 = 0.9999$ 。为保证胰蛋白酶溶液活性适于测定胰蛋白酶抑制剂活性, 胰蛋白酶溶液的吸光度应为 0.380 ± 0.050 , 得到胰蛋白酶质量浓度应为 $1.82 \sim 2.38 \text{ mg/mL}$, 本实验选取 2.0 mg/mL 。

量取豆浆 1mL, 加入 Tris-氯化钙溶液 50mL, 于 25°C 恒温水浴中 150r/min 振荡提取 2h, 3000r/min 离心, 取上清液进行测定。豆粉与豆渣处理过程同豆浆。测定方法如表 1 所示。然后按公式(1)计算样品提取液的对胰蛋白酶抑制的百分率。

$$i/\% = \frac{(A_r - A_{br}) - (A_s - A_{bs})}{(A_r - A_{br})} \times 100 \quad (1)$$

式中: i 为抑制百分率; A_r 为标准溶液的吸光度; A_{br} 为标准空白液对照的吸光度; A_s 为样品溶液的吸光度; A_{bs} 为样品空白对照的吸光度。

表 1 样品胰蛋白酶活性测定步骤

Table 1 Determination procedures of trypsin activity in samples

试剂	标准空白液/mL	标准溶液/mL	样品空白液/mL	样品提取液/mL
L-BApNA溶液	2.5	2.5	2.5	2.5
样品溶液	0	0	0.5	0.5
去离子水	1.5	1.5	1	1
5.3mol/L乙酸	0.5	0	0.5	0
		37℃保温10min		
2.0mg/mL胰蛋白酶溶液	0.5	0.5	0.5	0.5
		37℃保温10min		
5.3mol/L乙酸	0	0.5	0	0.5
		1500r/min离心10min		

胰蛋白酶抑制剂活性按照公式(2)计算, 以每克(毫升)样品抑制蛋白酶毫克数来表示:

$$TIA = (i/100\%) \times (m_1 \times f_1 \times f_2/m_0) \quad (2)$$

式中: TIA 为胰蛋白酶抑制剂活性/(mg/mL)或(mg/g); i 为抑制百分率; m_0 为样品质量/mg; m_1 为胰蛋白酶质量/mg; f_1 为样品稀释倍数; f_2 代表基于胰蛋白酶纯度和稀释时的换算系数/(mg/mL)或(mg/g)。

1.3.2.5 总多酚的提取与测定

分别量取豆浆和泡豆水 10mL, 加入 50% 丙酮 10mL, 40°C 水浴振荡提取 4h, 用 1mol/L 盐酸调整 pH 值至 4.5 ± 0.1 , 等电点沉淀大豆蛋白, 1500r/min 离心 10min, 收集上清液。豆粉、豆渣处理过程同豆浆。采用福林-酚法(Folin-Ciocalteu 法)^[10], 在波长 765nm 处测定其吸光度。总酚含量以没食子酸当量表示(mg 没食子酸/g), 以没食子酸为标准品, 得到以质量浓度(mg/mL)为横坐标, 吸光度为纵坐标的回归方程为 $y = 0.00189x + 0.0012$, $R^2 = 0.9999$ 。

1.4 数据处理和统计分析

各指标的测定设 3 次重复, 每次重复平行测定 3 次, 结果用平均值±标准差表示。用 SPSS17.0 软件处理实验结果, 不同前处理方式间差异用单因素方差分析, 因素之间的相关分析采用 Pearson 相关分析, 以 $P < 0.05$ 为显著性差异。

2 结果与分析

2.1 原料前处理方式对豆浆产量的影响

大豆以不同方式进行前处理后, 按照豆浆机标准程序制作豆浆, 使用豆浆机配套网筛分离豆浆与豆渣, 测定豆浆体积与豆渣干质量、豆浆出浆率, 结果见表 2。

由表 2 可知, 未经处理的干豆制作豆浆出浆率为 85.01%。经过浸泡后大豆吸水溶胀, 组织结构变得疏松, 打制豆浆过程中细胞破碎可能更为完全^[11], 而使豆浆的出浆率增加。在 0h 至 12h 室温浸泡时间内, 出浆率与浸泡时间呈极显著正相关关系($r=0.946$, $P < 0.001$)。但 12h 以上达到吸水饱和状态后, 二者无相关性(数据未显示)。与干豆相比, 炒制和发芽处理均可以显著提高豆浆的出浆率。

2.2 未经前处理大豆及其制作豆浆中抗营养因子含量

大豆中的抗营养因子含量根据品种、产地、灌溉条件及年份的不同而具有差异^[12], 本实验中所用大豆中抗营养因子含量如表 3 所示。大豆经制浆后, 豆浆与豆渣中各抗营养因子的总量与大豆原料相比(按干基比较)均有显著下降($P < 0.05$), 其打磨加热过程对 TI 影响最大, 对植酸影响最小, 豆渣中植酸的残留率最高。

表 2 不同前处理方式制作豆浆产量

Table 2 Effects of different pre-treatments on the yield of soybean milk

指标	未处理	室温浸泡(30℃)			冷藏浸泡 12h(4℃)	炒制	发芽
		4h	8h	12h			
豆浆出浆率/%	85.01 ± 0.42 ^e	87.23 ± 0.68 ^d	88.74 ± 0.79 ^c	89.95 ± 0.99 ^{bc}	88.46 ± 0.77 ^{cd}	91.70 ± 0.13 ^a	90.98 ± 0.82 ^{ab}
豆渣干质量/g	15.59 ± 1.10 ^a	14.10 ± 1.18 ^{ab}	13.57 ± 1.43 ^b	13.09 ± 0.26 ^b	13.19 ± 0.32 ^b	10.48 ± 1.68 ^c	12.98 ± 1.02 ^b

注: 同行数据肩标字母不同表示有显著性差异($P < 0.05$); 豆浆出浆率/% = 豆浆总体积/加水体积 × 100。下同。

表3 未经前处理大豆中以及其制作豆浆、豆渣中各抗营养因子含量

Table 3 Contents of anti-nutritional factors in un-processed raw soybeans, soybean milk and soybean milk residues

样品	单宁	植酸	皂苷	总多酚	TI
原料大豆/(mg/100g)	309.23 ± 6.45	887.91 ± 4.27	2794.86 ± 9.43	630.34 ± 11.71	1916.30 ± 4.02
制浆后总量/(mg/100g)	218.97 ± 5.46	789.43 ± 3.29	1399.57 ± 12.61	358.01 ± 14.93	424.18 ± 6.64
豆浆/(mg/100mL)	12.00 ± 0.10	40.82 ± 0.39	70.66 ± 0.09	18.51 ± 0.29	22.88 ± 0.12
豆渣/(mg/100g)	47.97 ± 1.34	306.06 ± 3.32	635.82 ± 4.51	138.91 ± 8.42	112.87 ± 6.23

注：大豆、豆渣中抗营养因子含量以干基计算；制浆后总量即全部豆浆和豆渣中各抗营养因子含量之总和，换算为100g大豆制浆总量。下同。

表4 浸泡处理大豆中以及其制作豆浆、豆渣中各抗营养因子含量与残留率

Table 4 Contents and retention rates of anti-nutritional factors in soaked soybeans, soybean milk and soybean milk residue

抗营养因子	样品	室温(25℃)			冷藏(4℃)
		4h	8h	12h	12h
单宁	浸泡后大豆/(mg/100g)	215.35 ± 4.96(69.64) ^a	201.83 ± 6.49(65.27) ^b	187.96 ± 5.47(60.78) ^c	192.84 ± 3.25(62.36) ^{bc}
	制浆后总量/(mg/100g)	136.27 ± 5.66(44.07) ^a	124.93 ± 5.14(40.40) ^b	114.56 ± 6.38(37.05) ^c	117.11 ± 2.57(37.87) ^{bc}
	泡豆水/(mg/100mL)	13.73 ± 0.02(22.21) ^d	18.01 ± 0.01(27.23) ^c	21.73 ± 0.03(32.41) ^b	19.43 ± 0.00(29.41) ^a
	豆浆/(mg/100mL)	7.18 ± 0.16(40.51) ^a	6.59 ± 0.12(37.82) ^b	5.94 ± 0.09(34.56) ^c	6.18 ± 0.13(35.36) ^c
	豆渣/(mg/100g)	39.04 ± 0.15(3.56) ^a	29.38 ± 0.42(2.58) ^b	29.41 ± 0.52(2.49) ^b	29.48 ± 0.39(2.51) ^b
植酸	浸泡后大豆/(mg/100g)	619.93 ± 4.39(69.82) ^a	586.41 ± 12.42(66.04) ^b	556.34 ± 9.10(62.66) ^c	602.58 ± 10.87(67.86) ^b
	制浆后总量/(mg/100g)	484.91 ± 3.53(54.61) ^a	411.22 ± 14.86(46.31) ^{bc}	388.24 ± 16.48 ± (43.72) ^b	414.70 ± 13.54(46.70) ^c
	泡豆水/(mg/100mL)	2.34 ± 0.02(1.31) ^d	3.36 ± 0.01(1.76) ^b	3.89 ± 0.03(2.01) ^a	3.08 ± 0.02(1.62) ^c
	豆浆/(mg/100mL)	24.52 ± 0.32(48.18) ^a	23.17 ± 0.41(46.31) ^b	21.58 ± 0.42(43.72) ^c	23.44 ± 0.34(46.70) ^b
	豆渣/(mg/100g)	177.31 ± 13.21(5.63) ^a	164.72 ± 12.53(5.03) ^{ab}	151.71 ± 10.98(4.47) ^b	167.90 ± 4.79(4.99) ^{ab}
皂苷	浸泡后大豆/(mg/100g)	2616.30 ± 16.53(93.61) ^a	2563.20 ± 3.20(91.71) ^b	2474.47 ± 9.73(88.54) ^c	2502.23 ± 10.68(89.53) ^b
	制浆后总量/(mg/100g)	1119.33 ± 19.64(40.05) ^a	1072.81 ± 5.29(38.39) ^b	1037.15 ± 12.42(37.11) ^c	1089.85 ± 14.34(38.09) ^b
	泡豆水/(mg/100mL)	0.30 ± 0.02(0.05) ^d	0.47 ± 0.01(0.08) ^c	0.68 ± 0.03(0.11) ^a	0.61 ± 0.02(0.10) ^b
	豆浆/(mg/100mL)	54.57 ± 0.18(34.06) ^a	51.74 ± 0.19(32.85) ^d	49.86 ± 0.12(32.10) ^c	53.67 ± 0.16(33.97) ^b
	豆渣/(mg/100g)	593.42 ± 11.29(5.99) ^a	569.39 ± 6.78(5.53) ^b	535.28 ± 8.75(5.01) ^c	531.95 ± 11.96(5.02) ^c
总多酚	浸泡后大豆/(mg/100g)	466.76 ± 12.32(74.05) ^a	401.46 ± 16.64(63.69) ^b	357.69 ± 20.23(56.75) ^c	389.41 ± 9.12(61.78) ^b
	制浆后总量/(mg/100g)	241.49 ± 14.56(38.31) ^a	196.63 ± 20.68(31.19) ^b	182.71 ± 19.62(28.99) ^b	202.67 ± 12.37(32.15) ^b
	泡豆水/(mg/100mL)	0.28 ± 0.00(0.22) ^d	0.45 ± 0.01(0.33) ^c	0.58 ± 0.01(0.42) ^a	0.48 ± 0.01(0.36) ^b
	豆浆/(mg/100mL)	11.87 ± 0.28(32.85) ^a	9.47 ± 0.16(26.66) ^b	8.77 ± 0.34(25.03) ^c	9.53 ± 0.13(26.75) ^b
	豆渣/(mg/100g)	122.04 ± 7.30(5.46) ^a	105.21 ± 3.26(4.53) ^b	95.23 ± 5.23(3.96) ^b	129.13 ± 10.87(5.40) ^a
TI	浸泡后大豆/(mg/100g)	1535.42 ± 18.39(80.12) ^a	1134.25 ± 26.48(59.19) ^{bc}	1098.38 ± 23.48(57.32) ^c	1145.19 ± 21.45(59.76) ^b
	制浆后总量/(mg/100g)	315.71 ± 12.49(16.48) ^a	229.89 ± 4.25(12.00) ^b	212.51 ± 2.64(11.09) ^c	217.83 ± 5.69(11.37) ^{bc}
	豆浆/(mg/100mL)	16.33 ± 0.09(14.87) ^a	11.54 ± 0.08(10.69) ^c	10.56 ± 0.22(9.91) ^b	11.09 ± 0.21(10.24) ^d
	豆渣/(mg/100g)	109.34 ± 4.82(1.61) ^a	92.39 ± 2.45(1.31) ^{ab}	86.02 ± 1.43(1.18) ^b	81.97 ± 18.46(1.13) ^b

注：括号中数值为经过不同时间、温度浸泡后各部分抗营养因子含量占原料大豆中抗营养因子含量的比例，单位为%。下同。

2.3 浸泡对大豆以及其制作豆浆中抗营养因子含量的影响

不同时间及温度去离子水浸泡后的大豆、泡豆水，浸泡后大豆制作的豆浆、豆渣中的抗营养因子含量如表4所示。

由表4可知，豆浆与豆渣中抗营养因子含量随浸泡时间的延长而逐步大幅度降低，经过12h浸泡后豆浆中TI残留率最少，其次为总多酚、皂苷及单宁，而植酸相对较多；在豆渣中皂苷残留率最高，其次为总多酚。室温4h浸泡后，大豆中水溶性抗营养因子单宁、植酸、总多酚含量与未经浸泡大豆相比显著下降($P < 0.05$)，而皂苷下降幅度相对较小。在0h至4h的浸泡时间段内大

豆中单宁、植酸、皂苷及总多酚含量下降速度最低，而TI却在4h至8h浸泡时间段内显示出最大的降低速度。8h至12h之间，TI与总多酚含量下降速度与4h至8h时间段相比有所减缓，而其他抗营养因子含量在此时间段内与4h至8h之间的下降速度相近。浸泡温度对抗营养因子含量的降低效果也有影响，冷藏浸泡12h的大豆中抗营养因子含量均高于室温条件下同样时间浸泡后的大豆，以植酸与总多酚的差异最大。在浸泡过程中，大豆中各抗营养因子含量随着时间的延长而呈下降趋势主要有两个方面原因^[13]：抗营养因子部分在浸泡过程中溶解于泡豆水中；另一方面较长的浸泡时间有利于大豆中内源酶的作用，从而降低抗营养因子含量。结果显示

表5 炒制处理大豆中以及其制作豆浆、豆渣中各抗营养因子含量与残留率

Table 5 Contents and retention rates of anti-nutritional factors in fried soybeans, soybean milk and soybean milk residue

样品	单宁	植酸	皂苷	总多酚	TI
炒制大豆/(mg/100g)	257.32 ± 9.24(83.21)	608.73 ± 15.39(68.56)	1937.20 ± 15.47(69.31)	544.80 ± 15.21(86.43)	1061.85 ± 17.93(55.41)
制浆后总量/(mg/100g)	205.33 ± 7.64(66.40)	484.71 ± 13.67(54.59)	930.55 ± 12.42(33.30)	275.85 ± 11.64(43.76)	225.61 ± 16.21(11.77)
豆浆/(mg/100mL)	10.8 ± 0.10(64.05)	26.43 ± 0.45(54.59)	43.86 ± 0.15(28.78)	13.57 ± 0.23(39.48)	11.37 ± 0.18(10.88)
豆渣/(mg/100g)	34.69 ± 0.14(2.35)	198.10 ± 11.58(4.68)	602.07 ± 11.80(4.52)	128.76 ± 10.88(4.28)	81.56 ± 1.27(0.89)

表6 发芽处理大豆中以及其制作豆浆、豆渣中各抗营养因子含量与残留率

Table 6 Contents and retention rates of anti-nutritional factors in germinated soybeans, soybean milk and soybean milk residue

样品	单宁	植酸	皂苷	总多酚	TI
发芽大豆/(mg/100g)	167.42 ± 19.28(54.14)	388.48 ± 28.87(43.75)	1576.86 ± 28.75(56.42)	205.57 ± 14.51(32.61)	544.92 ± 14.56(28.44)
制浆后总量/(mg/100g)	104.61 ± 24.35(33.83)	242.19 ± 24.16(27.28)	691.55 ± 26.43(24.74)	116.15 ± 19.54(18.43)	250.27 ± 12.49(13.06)
豆浆/(mg/100mL)	5.41 ± 0.23(31.83)	13.31 ± 0.84(27.28)	31.01 ± 0.26(20.19)	5.25 ± 0.28(15.16)	13.57 ± 0.23(12.89)
豆渣/(mg/100g)	23.76 ± 0.84(1.99)	119.37 ± 37.97(3.49)	490.29 ± 32.38(4.55)	79.43 ± 4.22(3.27)	12.88 ± 23.81(0.17)

前者是影响大豆中抗营养因子含量的主要因素。

浸泡对不同豆类抗营养因子含量也具有不同的影响。Vijayakumari等^[14]测定了浸泡对羊蹄甲豆抗营养因子的影响后发现,羊蹄甲豆与大豆表现出相似现象,即室温条件下浸泡4h对降低单宁含量效果最为显著,其次为总多酚。而Mubarak^[15]将绿豆置于去离子水中室温下浸泡12h后,单宁含量下降幅度较植酸及TI更大。此外,Azra等^[16]在室温下浸泡红芸豆9h后,单宁含量却上升了3.3%,同时植酸与总多酚呈现较小幅度的下降,Madgi等^[17]将刀豆浸泡过夜,也发现单宁含量有所提高。

经过浸泡的大豆在加热打浆与未经浸泡的大豆加热打浆后得到的豆浆与豆渣中各抗营养因子含量相比均有显著下降($P < 0.05$),其中单宁含量下降最为显著,其次为植酸与TI。说明经过浸泡后,各抗营养因子对热更加敏感。Emire等^[18]比较了浸泡12h与未浸泡的红芸豆分别于97℃加热35min后抗营养因子含量的不同,结果显示经过浸泡的红芸豆在加热过程中单宁、植酸、TI、皂苷分别下降70%、65%、45%、82%,而未浸泡的红芸豆在加热过程中各抗营养因子下降分别为24%、25%、35%、52%、这一结果与本实验测定的大豆是否经过浸泡后打浆的差异性一致。

2.4 炒制对大豆以及其制作豆浆中抗营养因子含量的影响

经过炒制后大豆及其制作的豆浆、豆渣中的抗营养因子含量如表5所示。干热处理可以显著降低大豆中各抗营养因子含量($P < 0.05$),经过炒制后大豆制作豆浆对降低TI含量最为有效,其次为皂苷与多酚,对植酸与单宁含量的影响相对较小。黄豆经过130℃、10min的空气热风烤制处理后,同样显示对TI的影响最大^[18]。Ramakrishna等^[19]对比了沸水蒸煮、高压、干热对印度豆TI含量的影响,也发现干热使TI含量降低幅度最大。

但也有文献表明干热过程对植酸的破坏率最大,Madgi^[17]测定了刀豆经过100℃沙浴后其抗营养因子的破坏率,其植酸的破坏率最大,TI含量下降幅度较小。然而,炒制后制作豆浆对大豆各抗营养因子破坏率小于浸泡后制作豆浆。

2.5 发芽对大豆以及其制作豆浆中抗营养因子含量的影响

经过发芽后大豆及其制作豆浆、豆渣中抗营养因子含量如表6所示。发芽后大豆与豆浆中的抗营养因子的含量极显著低于发芽前($P < 0.01$)。并且与浸泡及炒制处理后豆浆中抗营养因子含量相比,发芽对豆浆中各抗营养因子的破坏率最大。苗颖^[20]报道,经过3d发芽后,大豆中的植酸降低率达到62.80%。王莘等^[21]测定了大豆萌发期间皂苷的含量变化情况,发现大豆在萌发20h时,营养物质被酶解为可溶性小分子物质,部分物质转化为皂苷使其含量增至最大值,其后开始较大幅度下降。发芽初期可溶性抗营养因子溶于水,可能是导致其含量降低的原因,在之后的发芽过程中由于各种酶类被激活使抗营养因子逐步水解,用于胚芽生长而降低其含量^[22]。发芽大豆制作豆浆中的抗营养因子含量还受到发芽温度与时间的影响,其中发芽温度对其含量的影响最大^[20]。

3 结论

本研究的测定结果表明:1)大豆经发芽48h处理后制作豆浆,对各种抗营养因子的消除效果最为显著。2)与干豆制浆相比,大豆经浸泡后制浆可以有效降低豆浆中的单宁、植酸、皂苷,总多酚以及胰蛋白酶抑制剂的含量,在12h内,随着浸泡时间的延长以及温度的升高,其降低幅度显著增大。3)与干豆制浆相比,大豆经炒制后再制成豆浆可以降低抗营养因子含量,但其效果不及浸泡12h处理和发芽48h处理明显。4)对于身体

缺乏矿物质或消化吸收能力较弱的人来说,用浸泡或发芽处理的大豆制作豆浆,可能更有利于改善营养素的吸收利用率。

参考文献:

- [1] VARDIS D, ANTONIA T. Nutritional and health properties of pulses[J]. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 2009, 1(3): 149-157.
- [2] SCHLEMMER U, FROLICH W, PRIETO R M, et al. Phytate in foods and significance for humans: food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2009, 53(Suppl 2): 330-375.
- [3] JEAN-PAUL V, LYNN H, AEDE D G, et al. Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom[J]. *Phytochemistry*, 2007, 68(3): 275-297.
- [4] GREEN N M, ELIZABETH W. Pancreatic trypsin inhibitor 2.reaction with trypsin[J]. *J Biochemistry*, 1953, 54(2): 347-352.
- [5] MATEOS-APARICIO I, REDONDO C A, VILLANUEVA-SUAREZ M J, et al. Soybean, a promising health source[J]. *Nutrition Hospital Aria*, 2008, 23(4): 305-312.
- [6] 候曼玲. 食品分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 137-138.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 5009.153—2003 植物性食品中植酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [8] 杨秀丽, 曹艳萍. 大豆皂甙提取工艺的研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 492-495.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 21498—2008. 大豆制品中胰蛋白酶抑制剂活性的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [10] SINGLETON V, LAMUELA-RAVENTOS R. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. *Methods Enzymology*, 1999, 29(9): 152-178.
- [11] 石彦国, 李刚, 胡春林. 大豆浸泡过程质构变化及其对豆腐质量的影响[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 167-170.
- [12] GUPTA Y P. Anti-nutritional and toxic factors in food legumes: a review [J]. *Plant Food for Human Nutrition*, 1987, 37(3): 201-228.
- [13] HUMA N, SEHAR S, HUSSAIN S. Effect of soaking and cooking on nutritional quality and safety of legumes[J]. *Nutrition & Food Science*, 2008, 38(6): 570-577.
- [14] VIJAYAKUMARI K, PUGALENTI M, VADIVEL V. Effect of soaking and hydrothermal processing methods on the levels of antinutrients and *in vitro* protein digestibility of *Bauhinia purpurea* L. seeds[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103: 968-975.
- [15] MUBARAK A. Nutritional composition and antinutritional factors of mungbean seeds (*Phaseolusaureus*) as affected by some home traditional processes[J]. *Food Chemistry*, 2005, 89(4): 489-495.
- [16] AZRA Y, AURANG Z, ABDUL W, et al. Effect of processing on anti-nutritional factors of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) gains[J]. *Chemistry and Materials Science*, 2008, 1(4): 415-419.
- [17] MAGDI A. Changes in nutrient composition, trypsin inhibitor, pyhtate, tannins and protein digestibility of dolichos lablab seeds occurring during germination[J]. *J Food Technology*, 2007, 5(4): 294-299.
- [18] EMIRE A, RAKSHIT S. Effect of processing on anti-nutrients and *in vitro* protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(11): 161-172.
- [19] RAMAKRISHNA V, RANI P J, RAO P R. Changes in anti-nutritional factors in Indian bean (*Dolichos lablab* L.) seeds during germination and their behavior during cooking[J]. *Nutrition & Food Science*, 2008, 38(1): 6-14.
- [20] 苗颖. 大豆发芽降低植酸效果及其高钙豆乳的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2003.
- [21] 王莘, 王艳梅, 闵卫红, 等. 黑大豆萌发期功能性营养成分测定与分析[J]. *食品工业科技*, 2004(4): 29-33.
- [22] 刘兆庆, 王曙文, 姜媛媛. 豆谷类发芽前后营养变化及评价[J]. *农产品加工*, 2004(11): 35-36.