



浸泡介质及浸泡条件对豆浆中抗营养因子及品质的影响

谷春梅¹, 姜雷¹, 于寒松^{1,2}

(1. 吉林农业大学 食品科学与工程学院, 吉林 长春 130118; 2. 国家大豆产业技术体系加工研究室, 吉林 长春 130118)

摘要: 为了最大程度降低豆浆中抗营养因子含量的同时保证品质优良, 以干豆制浆为对照, 利用不同浸泡介质(水、柠檬酸溶液、 NaHCO_3 溶液)及不同浸泡条件, 探究前处理工艺条件以及介质的改变对豆浆中抗营养因子及营养品质的影响。结果表明: 浸泡处理能有效降低豆浆中胰蛋白酶抑制因子活性和植酸含量, 但不同介质对不同抗营养因子的效果不同。经浸泡处理后的胰蛋白抑制因子的最低活性为 $30.88 \pm 1.35 \text{ TIU} \cdot \text{mg}^{-1}$, 相对于未处理组降低了 54%; 植酸最低含量为 $3.46 \pm 0.15 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 相对于未处理组降低了 77.4%; 而经浸泡处理后的单宁含量却显著上升 ($P < 0.05$)。从降低胰蛋白酶抑制因子活性的效果来看, $\text{NaHCO}_3 > \text{水} > \text{柠檬酸}$; 从降低单宁含量的效果来看, 柠檬酸 $> \text{NaHCO}_3 > \text{水}$; 从降低植酸含量的效果来看, 柠檬酸 $> \text{水} > \text{NaHCO}_3$ 。除抗营养因子外, 豆浆的品质指标也发生了显著变化, NaHCO_3 浸泡组的总体品质最优, 除了个别品质指标(蛋白质含量)与水浸泡组相比差异不显著 ($P > 0.05$), 其它品质成分含量均显著高于水浸泡组, 而柠檬酸浸泡组的品质为 3 组中最差。选取 NaHCO_3 溶液作为浸泡介质进行正交工艺优化, 当浸泡温度为 25°C , 浸泡时间为 16 h, 浸泡豆水比为 1:4, NaHCO_3 浓度为 0.45% 时, 豆浆的抗营养因子的去除效果最好, 品质最优。

关键词: 豆浆; 浸泡介质; 抗营养因子; 品质

Soaking Medium and Pretreatment Conditions on Main Anti-nutritional Factors and Nutritional Quality in Soybean Milk

GU Chun-mei¹, JIANG Lei¹, YU Han-song^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Division of Soybean Processing, Soybean Research & Development Center, Chinese Agricultural Research, Changchun 130118, China)

Abstract: In order to minimize the content of anti-nutritional factors, and to ensure its excellent quality. This study explored the effects brought by some changes in pre-treatment on anti-nutrition factors in soybean milk with different soaking media (including water, citric acid solution and sodium bicarbonate solution) and soaking conditions, also, soybean milk made from dried soybeans was the control group. The results showed that soaking effectively reduced trypsin inhibitor and phytic acid in soybean milk. However, different soaking media had various effects on anti-nutritional factors. The minimum content of trypsin inhibitor in soaked soybeans was $30.88 \pm 1.35 \text{ TIU} \cdot \text{mg}^{-1}$, 54% lower than the control group. The minimum content of phytic acid was $3.46 \pm 0.15 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 77.4% lower than the control group. However, the content of tannin in soaked soybeans was increased significantly ($P < 0.05$). The capabilities of reducing trypsin inhibitor content were decreasing from sodium bicarbonate solution to water to citric acid solution. The capabilities of reducing tannin content were decreasing from citric acid solution to water to sodium bicarbonate solution. The capabilities of reducing phytic acid content were decreasing from citric acid solution to water to sodium bicarbonate solution. In addition to anti-nutritional factors, the quality index of soymilk also changed significantly. The results showed that the overall quality of the NaHCO_3 soaking group was the best, except for the individual quality indicators (such as protein content), which was not significantly different from the water-immersed group ($P > 0.05$), while the quality of the citric acid soaking group was the worst among the three groups. Finally, the NaHCO_3 solution was selected as the soaking medium for orthogonal process optimization. The results showed that when the soaking temperature was 25°C , the soaking time was 16 h, the soaking bean water ratio was 1:4, and the NaHCO_3 concentration was 0.45%, the anti-nutritional factor of soybean milk had the best removal effect and the best quality.

Keywords: Soybean milk; Soaking medium; Anti-nutritional factor; Quality

大豆 [*Glycine max* (L.) Merr.] 是起源于中国的豆科大豆属一年生草本植物^[1], 又被称为“菽”。大豆与豆制品中均含有丰富的营养物质, 如蛋白

质、碳水化合物和膳食纤维^[2-3], 但同时也存在一些会引起人类、动物产生不良反应的活性物质, 称作抗营养因子^[4-6]。豆浆作为日常食用较常见的豆制

收稿日期: 2018-12-14

基金项目: 吉林省教育厅“十三五”科学技术项目 (JJKH20180655KJ)。

第一作者简介: 谷春梅 (1976 -), 女, 博士, 副教授, 主要从事农产品加工及营养调控研究。E-mail: jinnong2008@126.com。

通讯作者: 于寒松 (1979 -), 男, 博士, 教授, 主要从事豆制品加工研究。E-mail: yuhansong@jlau.edu.cn。

品之一,也含有大量的抗营养因子。胰蛋白酶抑制因子、单宁和植酸是 3 种较为主要的抗营养因子。胰蛋白酶抑制因子是豆类中最为常见的抗营养因子之一^[5],会干扰蛋白质的消化,抑制动物生长,引起动物胰腺肿大、增生,影响胰腺对消化液的分泌^[7],还会与肠道中的胰蛋白酶结合,生成无活性复合物,进而使肠道对蛋白质的利用率减少。单宁主要存在于豆类种皮中,是一类影响碳水化合物、蛋白质消化的抗营养因子,可使碳水化合物和蛋白质形成复合物,干扰消化过程^[6,8]。植酸同样会影响动物对矿物质的吸收,能够与多种金属离子结合,形成不溶性化合物^[9],植酸同样会与蛋白质形成复合物,影响其消化吸收^[7]。

豆浆中虽含有上述对人体健康有负面影响的抗营养因子,但这些抗营养因子均可通过工艺操作降低含量。目前,钝化豆浆抗营养因子的方法多样,大致分为两类:一类是物理方法,如加热、加压;另一类是生物方法,如发酵、发芽、育种^[10-11]。以上均可有效的钝化抗营养因子,但有些钝化工艺较为复杂,不适于工业生产或家庭制作。因此,目前用于家庭制作的主要方法为浸泡法。浸泡方法可以使部分抗营养因子转移至浸泡介质中,从而显著降低大豆中抗营养因子的含量;同时使豆浆品质提升,蛋白质回收率增加,胶体分散程度提高。另有研究表明^[12],柠檬酸溶液与 NaHCO_3 溶液处理,可有效降低豆浆中腥味物质的含量。此外,利用低盐溶液处理会有助于增强蛋白分子的水合作用,增加蛋白分子的溶解度^[12]。但目前对这两种溶液处理后豆浆中所生产的抗营养因子含量的影响鲜有报道。因此本研究分别用水、 NaHCO_3 、柠檬酸溶液进行浸泡,探究不同的浸泡介质及浸泡条件对豆浆中抗营养因子胰蛋白酶、单宁和植酸的影响,结合其对品质的影响,选取最适合的浸泡介质及预处理工艺,旨在为生产或制作低抗营养因子含量的豆浆提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

黑河 53 大豆品种由国家大豆产业技术研究中心加工研究室提供。胰蛋白酶、DL-BAPA (上海源叶生物科技有限公司);钨酸钠、无水碳酸钠和三氯化铁(西陇化工股份有限公司);植酸、单宁酸和柠檬酸(国药集团化学试剂有限公司);磷钼酸(天津光复精细化工研究所);偏磷酸(北京益利精细化学品有限公司);5-磺基水杨酸(天津科密欧化学试剂有限公司)。以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

KPB-V1358 搅拌机(深圳市康佳电器有限公司);SPX-250B-Z 恒温培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂);QYC-2102 恒温培养摇床(上海新苗医疗器械制造有限公司);FE-28 pH 计(梅特勒-托利多(上海)仪器有限公司);T6 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司);Hunter lab Colorflex 台式测色仪;BT-9300ST 激光粒度分析仪(丹东百特科技有限公司)。

1.3 试验设计

1.3.1 浸泡介质的筛选 称取颗粒饱满、无虫眼、种皮完整的籽实 20 g,将其清洗后沥干,筛选浸泡介质。在此过程中,将浸泡工艺参数及水平设置为浸泡温度 25℃,浸泡时间为 16 h,豆:浸泡介质比为 1:4,介质浓度均为 0.45%。

1.3.2 最适条件的筛选 称取颗粒饱满、无虫眼、种皮完整的籽实 20 g,将其用相应介质(水、 NaHCO_3 、柠檬酸)清洗后沥干,将豆与浸泡介质(水、 NaHCO_3 、柠檬酸)的比例设置为 1:2、1:3、1:4、1:5、1:6,介质浓度为 0.05%、0.25%、0.45%、0.65%、0.85%,在 5、15、25、35、45℃ 下恒温浸泡 8、12、16、20、24 h。考察浸泡时间对抗营养因子及营养品质的影响,并筛选出最适条件范围。在此过程中,当研究浸泡时间、浸泡温度、浸泡豆水比、浸泡浓度中的某一因素对豆浆的影响时,其它 3 个因素将设定为选取的 5 个水平中的中间值。

1.3.3 浸泡工艺优化 在单因素试验基础上,进行 NaHCO_3 浸泡时间、浸泡温度、浸泡豆水比及浸泡浓度 4 因素 3 水平试验 $[\text{L}_9(3^4)]$ 。

1.3.4 豆浆制备工艺 预处理完成后,将浸泡溶液与泡发籽实分离,清洗泡发籽实,随后按豆:水为 1:9 的比例磨浆,磨浆时间为 3 min。磨浆后使用滤布过滤,得到豆浆样品。为探究浸泡介质本身对豆浆的抗营养因子含量的影响,本试验使用未经煮制豆浆。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 胰蛋白酶抑制因子活性的测定 参照燕方龙等^[13]的方法,稍作改动。(1)提取:取 1 mL 豆浆样品于锥形瓶中,加入 50 mL $0.006 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液,于室温下震荡 30 min 后取出,调至 pH9.5~9.8,继续震荡 2.5 h,震荡后取出,静置,备用。(2)测定:首先确定胰蛋白酶液的浓度。取两支试管,一支作为空白反应试管,另一支作为酶反应试管,加样顺序如下:在空白反应管中蒸馏水 1 mL,BAPA 溶液 2.5 mL,恒温 37℃ 水浴 10 min,取出后用 0.5 mL 乙酸溶液终止反应,加入胰蛋白酶液 1 mL,混匀;酶反应管所加试剂与空白管一致,但要

在水浴之前加入胰蛋白酶溶液。反应完成后于410 nm处测定其吸光度。调整胰蛋白酶液的浓度,使吸光值为0.380~0.420,试验中使用的酶液浓度为0.15 mg·mL⁻¹。

1.4.2 单宁的提取与测定 参照候曼玲^[14]的方法,稍作改动。(1)提取:豆浆调节至 pH4.5,1 500 r·min⁻¹条件下离心 10 min,收集上清备用。(2)测定:采用 F-D 试剂法,取 25 mL 比色管,按顺序加入样液 1 mL,75% 乙醇 0.85 mL,偏磷酸 0.05 mL,去离子水 12.5 mL,F-D 试剂 1.25 mL,无水碳酸钠溶液 5 mL,混匀,稀释至刻度。随后将其至于 30℃ 环境下反应 1.5 h,反应完成后取出,于 680 nm 处测定吸光值。本法以单宁酸为标准品,得到回归方程 $y=0.967\ 6x+0.022\ 8,R^2=0.995\ 2$ 。

1.4.3 植酸的提取与测定 参照 Gao 等^[15]的方法,稍作改动。(1)提取:取 0.5 g 样品置于 250 mL 锥形瓶中,加入 2.4% 稀盐酸 10 mL,220 r·min⁻¹ 震荡 2 h,取出后在 3 000 r·min⁻¹ 条件下离心 20 min,取上清,加入 1 g NaCl,使 NaCl 溶于上清液中,后置于 4℃ 环境下静置 1 h,3 000 r·min⁻¹ 离心 20 min,取上清备用。(2)测定:取 5 mL 经过稀释的上清液与 4 mL Wade 试剂(0.03% FeCl₃·6H₂O,0.3% 磺基水杨酸)混匀,3 000 r·min⁻¹ 离心 20 min,静置 10 min,在 500 nm 下测定吸光值。本法以植酸为标准品,得到回归方程 $y=0.556\ 04-22.123\ 1x,R^2=0.990\ 5$ 。

1.4.4 蛋白质含量的测定 参照李杉杉^[16]的方法,略有改动。(1)消化:称取 10 g 液体样品置于定氮瓶中,加入 0.4 g 硫酸铜,6 g 硫酸钾及 20 mL 硫酸,轻摇后小心加热,直至混合液体呈现透明的蓝绿色。加热完成后冷却,将液体置于容量瓶中并用水稀释至刻度。(2)测定:连接好凯氏定氮装置,向反应室加入 10 mL 处理液,10 mL NaOH,在接收瓶中加入 10 mL 硼酸和 2 滴混合指示剂,蒸馏 10 min,将蒸馏液利用盐酸标准溶液滴定,记录消耗盐酸溶液体积,重复测定 3 次,同时测定空白试剂。

1.4.5 可溶性固形物的测定 利用 SPER SCIENTIFIC 300035 数显折射仪测定。

1.4.6 沉淀率的测定 参照方丰华等^[17]的方法,略有改动。称取一定重量的豆浆于重量为 m_0 的离心管中,称重记为 m_1 ,5 000 r·min⁻¹,离心 10 min,弃去上清液,倒置 10 min,准确称量干燥后的总质量 m_2 ,按公式计算样品沉淀率。

$$\text{沉淀率}(\%)=(m_2-m_0)/(m_1-m_0)\times 100$$

1.4.7 粒径测定 利用 BT-9300ST 激光粒度分析仪进行粒径测定,以体积平均径 ($D[3,4]$) 作为结果。

1.4.8 色泽的测定 利用 Hunter lab Colorflex 台式测色仪,室温反射模式下测定 L^* 、 a^* 、 b^* 值,其中 L^* 值表示样品亮度, L^* 值越大表明亮度越高; a^* 值表示红、绿, a^* 值越大越偏向红色,反之偏绿; b^* 值表示黄、蓝, b^* 值越大越偏向黄色,反之偏蓝。

1.5 数据分析

利用 SPSS 17.0 处理试验结果,各项指标均进行 3 次重复,结果以平均值±标准差表示。方差分析采用 Turkey 检验。

2 结果与分析

2.1 浸泡介质对豆浆抗营养因子及营养品质的影响

利用不同介质浸泡对豆浆中抗营养因子的影响结果表明,浸泡可以有效减少部分抗营养因子的含量(活性),如表 1 所示,3 种介质中,经 NaHCO₃ 处理的豆浆胰蛋白酶抑制因子活性降低效果最优,与对照组相比下降了 52%。与此同时,植酸含量也显著降低($P<0.05$),从降低植酸的效果看,以柠檬酸为浸泡介质时,效果最为显著,其含量降低了 77.4%,其次为经 NaHCO₃ 处理豆浆,植酸含量降低了 69.6%。但值得注意的是,单宁含量在浸泡处理后显著升高($P<0.05$)。在品质方面,除由柠檬酸浸泡豆浆外,经水和 NaHCO₃ 浸泡后的豆浆品质优于对照,如蛋白质含量显著($P<0.05$)提高,粒径值降低,豆浆亮度增加。但经水和 NaHCO₃ 浸泡后的豆浆在品质方面的差异不显著($P>0.05$)。综上,本研究选择 NaHCO₃ 为浸泡介质,对浸泡条件进行优化,从而得到使豆浆综合品质最优的工艺条件。

2.2 浸泡时间对经 NaHCO₃ 浸泡处理豆浆中抗营养因子及其品质的影响

2.2.1 对抗营养因子的影响 如表 2 所示,经 NaHCO₃ 浸泡的豆浆,随浸泡时间的增加,胰蛋白酶抑制因子活性整体呈现降低趋势,但差异不显著($P>0.05$),20 h 时达到最低值 31.69 ± 2.86 TIU·mg⁻¹,在 24 h 时有小幅度的增长。在浸泡时间改变的情况下,单宁含量的最大值出现在 16 h,达到 216.59 ± 5.02 mg·kg⁻¹,最小值为 8 h 时,含量为 168.74 ± 11.64 mg·kg⁻¹,整体呈现出先增后减的趋势。植酸易溶于水,浸泡处理会显著降低植酸含量。NaHCO₃ 浸泡组随着浸泡时间的增加,植酸含量出现小幅增长趋势,在 24 h 时达到最大值 5.49 ± 0.07 mg·mL⁻¹。

2.2.2 对品质的影响 预处理对抗营养因子造成显著影响的同时,也会对豆浆品质造成影响,浸泡时间小于 16 h 时,蛋白质含量随浸泡时间的延长而增加,而浸泡时间大于 16 h,豆浆中蛋白质的含量显著降低($P<0.05$)。随着浸泡时间的延长,pH 小幅

度上升,但差异不显著($P>0.05$)。可溶性固形物的含量随着浸泡时间的延长而降低,但沉淀率却随时间的延长而升高;浸泡时间增加,D[3,4]值逐渐降低,但在20 h处出现了增长态势;豆浆的亮度值

L^* 随着时间的延长而增加,最大值在24 h出现;豆浆 a^* 值逐渐增大,颜色偏红, b^* 值出现波动,在16 h出现最大值。

表 1 不同浸泡介质对豆浆中抗营养因子及营养品质的影响

Table 1 Effect of different soaking media on anti-nutritional factors and nutritional quality in soybean milk					
项目 Item	对照(未浸泡) CK	水 Water	NaHCO ₃ Bicarbonate	柠檬酸 Citric acid	
胰蛋白酶抑制剂 Trypsin inhibitor/(TIU·mg ⁻¹)	67.18±0.27 d	33.83±0.35 b	32.38±0.30 a	39.83±0.51 c	
单宁 Tannin/(mg·kg ⁻¹)	98.63±1.52 a	213.62±7.34 c	216.64±5.01 b	190.61±12.03 c	
植酸 Phytic acid/(mg·mL ⁻¹)	15.31±3.62 d	5.33±0.06 c	4.65±0.11 b	3.46±0.43 a	
蛋白质 Protein/(g·kg ⁻¹)	27.41±0.50 a	30.20±0.18 b	29.80±0.21 b	26.62±1.32 a	
可溶性固形物 Soluble solids/%	6.97±0.05 c	5.33±0.49 b	5.17±0.06 b	4.37±0.15 a	
pH	6.32±0.04 b	6.36±0.02 b	6.56±0.03 c	5.85±0.02 a	
沉淀率 Precipitation rate/%	1.48±0.04 b	1.76±0.08 c	1.28±0.03 a	4.22±0.17 d	
D[3,4] Volume average diameter/μm	2.64±0.09 b	1.23±0.17 a	1.22±0.01 a	1.23±0.01 a	
L^*	78.63±0.32 a	84.90±0.03 d	82.77±0.10 c	81.39±0.02 b	
a^*	-1.38±0.06 c	-1.04±0.01 b	-1.17±0.06 a	-1.12±0.02 ab	
b^*	14.43±0.12 b	14.82±0.01 b	16.33±0.31 c	12.97±0.07 a	

不同小写字母表示各组差异显著($P<0.05$)。下同。
Different lowercase indicated significant differences between the groups ($P<0.05$). The same below.

表 2 不同浸泡时间对经 NaHCO₃ 浸泡处理豆浆中抗营养因子及其品质的影响

Table 2 Effects of different soaking time on anti-nutritional and quality of soybean milk						
项目 Item	8 h	12 h	16 h	20 h	24 h	
胰蛋白酶抑制剂 Trypsin inhibitor/(TIU·mg ⁻¹)	36.86±1.41 a	34.33±2.46 a	32.48±0.78 a	31.69±2.86 a	35.69±2.16 a	
单宁 Tannin/(mg·kg ⁻¹)	170.8±10.93 a	168.74±11.64 a	216.59±5.02 b	192.53±10.09 ab	170.81±11.30 a	
植酸 Phytic acid/(mg·mL ⁻¹)	4.37±0.13 a	5.40±0.05 b	5.33±0.06 b	5.46±0.25 b	5.49±0.07 b	
蛋白质 Protein/(g·kg ⁻¹)	26.96±0.17 a	27.75±0.39 b	29.75±0.24 c	28.83±0.41 b	26.72±0.40 a	
可溶性固形物 Soluble solids/%	7.23±0.06 e	6.93±0.06 d	5.17±0.06 c	4.27±0.06 a	4.70±0.17 b	
pH	6.34±0.03 a	6.52±0.02 b	6.56±0.03 b	6.58±0.14 b	6.87±0.01 c	
沉淀率 Precipitation rate/%	1.34±0.16 a	1.27±0.13 a	1.28±0.03 a	3.55±1.16 b	9.29±0.24 c	
D[3,4] Volume average diameter/μm	1.25±0.02 b	1.22±0.01 ab	1.22±0.01 ab	1.20±0.01 a	1.21±0.01 b	
L^*	79.99±0.01 b	77.76±0.07 a	82.77±0.10 d	81.85±0.22 c	82.78±0.06 d	
a^*	-2.36±0.01 b	-2.84±0.01 a	-1.17±0.06 e	-1.97±0.03 c	-1.42±0.03 d	
b^*	14.48±0.04 c	11.73±0.05 a	16.33±0.31 d	12.19±0.02 b	14.79±0.04 c	

2.3 浸泡温度对经 NaHCO₃ 浸泡处理豆浆中抗营
养因子及其品质的影响

2.3.1 对抗营养因子的影响 由表3可知,在温度为5~35℃时,胰蛋白酶抑制因子的活性呈现上下波动态势,但总体有小幅上升,35℃时达到最高值34.68±0.08 TIU·mg⁻¹,45℃时开始下降。温度对单宁含量的影响不显著($P < 0.05$),但从数值上看,浸泡温度升高使单宁含量小幅升高。植酸含量随温度的变化显著,在25℃时含量最高达204.40±2.00 mg·kg⁻¹,而在低温和高温条件下浸泡,植酸含

量均显著低于25℃时的植酸含量。

2.3.2 对品质的影响 如表3所示,在低温条件下浸泡,大豆吸水缓慢,籽粒浸泡不完全,随着浸泡温度的增高,豆浆中蛋白质的含量显著增加($P < 0.05$),但温度超过45℃时,出现显著降低($P < 0.05$)。除蛋白质之外,其它品质指标也随着温度的升高而变低,从表3可知,随着温度的增加,可溶性固形物的含量降低,沉淀率升高,粒径增大。温度的增加,使亮度增加,颜色偏红、偏黄。

表3 不同浸泡温度对经 NaHCO₃ 浸泡处理豆浆中抗营养因子及其品质的影响

Table 3 Effects of different soaking temperatures and different soaking media on anti-nutritional and quality of soybean milk soaked with NaHCO₃

项目 Item	5℃	15℃	25℃	35℃	45℃
胰蛋白酶抑制剂 Trypsin inhibitor/(TIU·mg ⁻¹)	32.07±0.28 a	33.07±0.60 ab	32.38±0.30 a	34.68±0.08 c	33.72±0.53 bc
单宁 Tannin/(mg·kg ⁻¹)	194.38±0.81 a	198.87±3.12 a	204.43±2.04 a	202.52±3.34 a	200.54±7.69 a
植酸 Phytic acid/(mg·mL ⁻¹)	3.80±0.07 ab	3.71±1.23 ab	4.75±0.32 b	3.03±0.13 a	4.31±0.73 ab
蛋白质 Protein/(g·kg ⁻¹)	23.24±2.63 ab	25.43±0.81 bc	29.47±0.53 d	27.44±0.47 cd	21.73±0.91 a
可溶性固形物 Soluble solids/%	7.57±0.06 d	7.17±0.15 c	5.33±0.15 b	4.27±0.12 a	4.43±0.21 a
pH	6.47±0.01 c	6.52±0.02 c	6.55±0.04 c	6.34±0.04 b	6.15±0.04 a
沉淀率 Precipitation rate/%	0.79±0.46 a	0.88±0.06 a	1.44±0.37 ab	2.26±0.76 b	2.52±0.46 b
D[3,4] Volume average diameter/μm	1.39±0.13 b	2.36±0.10 c	1.09±0.03 a	1.20±0.02 ab	1.22±0.02 ab
L*	76.65±0.11 a	77.69±0.17 b	78.08±0.07 c	80.82±0.05 d	80.60±0.05 d
a*	-2.19±0.05 c	-2.90±0.05 a	-2.77±0.02 b	-2.09±0.07 c	-1.67±0.02 d
b*	12.38±0.13 b	11.87±0.29 a	12.07±0.15 ab	14.26±0.01 d	13.04±0.10 c

2.4 浸泡豆水比对经 NaHCO₃ 浸泡处理豆浆中抗
营养因子及其品质的影响

2.4.1 对抗营养因子含量的影响 由表4可知,豆水比的改变会显著影响豆浆中胰蛋白酶抑制因子的活性,豆水比为1:3时其活性值最低,为29.38±1.40 TIU·mg⁻¹,随后显著升高($P < 0.05$),当豆水比为1:5时,其活性值达到最高值,为34.91±3.07 TIU·mg⁻¹。随着浸泡豆水比的增高,单宁含量显著降低。植酸含量呈现先增加后减少的趋势,在豆水比为1:4时植酸含量最高,达到5.58±0.23 mg·mL⁻¹。在豆水比为1:6时最低,含量为4.37±0.09 mg·mL⁻¹。

2.4.2 对品质的影响 由表4所示,低豆水比对蛋白质含量并无显著作用,但当豆水比为1:6时,蛋白质含量反而显著减少($P < 0.05$)。随着浸泡液的增加,可溶性固形物含量显著减少($P < 0.05$),pH也

呈现相似趋势,但沉淀率呈现上升趋势。低豆水比时粒径显著减小($P < 0.05$),而豆水比为1:6时体积平均径显著上升,豆浆随着豆水比的增加,其亮度显著降低($P < 0.05$),颜色偏绿、偏蓝。

2.5 浸泡液浓度对经 NaHCO₃ 浸泡处理豆浆中抗
营养因子及其品质的影响

2.5.1 抗营养因子的影响 浸泡浓度对抗营养因子的影响如表5所示,NaHCO₃浓度在0.65%时,胰蛋白酶抑制因子活性达到最低值32.27±1.86 TIU·mg⁻¹,从整体来看,随着浓度升高,胰蛋白酶抑制因子活性有所降低,但差异不显著。浓度的改变并未显著影响其含量,整体来看,浓度增加时,单宁含量有所降低。不同浸泡介质的浓度对豆浆中单宁造成影响的原因是浸泡介质pH的改变。介质浓度为0.05%~0.45%时,随着浓度增高,植酸含量显著降

低($P<0.05$)。当介质浓度大于 0.65% 时,植酸含量又显著升高($P<0.05$)。

2.5.2 对品质的影响 如表 5 所示,在一定范围内,蛋白质含量随 NaHCO_3 的浓度增加而增加,但 NaHCO_3 浓度为 0.85% 时,蛋白质浓度下降。浸泡

液浓度的增加同时造成了可溶性固形物的显著降低和沉淀率的增加,以及体积平均径的增大。在色泽方面, NaHCO_3 的浓度增加,亮度值随之增加,豆浆颜色偏绿、偏黄,而浓度在 0.65% 时亮度值降低,颜色也较低浓度浸泡豆浆更偏红、偏蓝。

表 4 不同浸泡豆水比对经 NaHCO_3 浸泡处理豆浆中抗营养因子及其品质的影响

Table 4 Effects of different soaked bean water on anti-nutritional and quality of soybean milk soaked with NaHCO_3					
项目 Item	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6
胰蛋白酶抑制剂 Trypsin inhibitor/(TIU·mg ⁻¹)	29.88 ± 0.79 ab	29.38 ± 1.40 a	32.33 ± 1.22 ab	34.91 ± 3.07 b	29.58 ± 2.54 ab
单宁 Tannin/(mg·kg ⁻¹)	230.57 ± 7.32 d	224.52 ± 3.58 c	210.32 ± 2.21 b	219.54 ± 3.56 bc	201.28 ± 0.81 a
植酸 Phytic acid/(mg·mL ⁻¹)	4.59 ± 0.50 ab	5.16 ± 0.36 ab	5.58 ± 0.23 b	4.63 ± 0.68 ab	4.37 ± 0.09 a
蛋白质 Protein/(g·kg ⁻¹)	30.22 ± 0.60 b	29.89 ± 0.63 b	30.42 ± 0.20 b	27.84 ± 0.60 b	27.11 ± 0.68 a
可溶性固形物 Soluble solids/%	6.87 ± 0.12 c	5.47 ± 0.21 b	5.37 ± 0.12 ab	5.20 ± 0.26 ab	4.97 ± 0.06 a
pH	6.74 ± 0.02 c	6.83 ± 0.02 d	6.53 ± 0.03 a	6.64 ± 0.02 b	6.75 ± 0.03 c
沉淀率 Precipitation rate/%	0.91 ± 0.03 a	1.49 ± 0.07 bc	1.32 ± 0.16 b	1.57 ± 0.06 c	1.57 ± 0.06 c
D[3,4] Volume average diameter/μm	1.78 ± 0.16 bc	1.70 ± 0.21 bc	1.67 ± 0.28 b	1.18 ± 0.05 a	2.15 ± 0.06 c
<i>L</i> [*]	78.47 ± 0.06 d	78.95 ± 0.18 e	76.64 ± 0.10 b	78.02 ± 0.03 c	73.38 ± 0.23 a
<i>a</i> [*]	-2.40 ± 0.03 c	-2.58 ± 0.09 b	-3.02 ± 0.02 a	-2.69 ± 0.04 b	-2.95 ± 0.02 a
<i>b</i> [*]	13.91 ± 0.20 e	13.08 ± 0.21 d	9.84 ± 0.22 b	12.09 ± 0.11 c	8.09 ± 0.21 d

表 5 不同浸泡浓度对经 NaHCO_3 浸泡处理豆浆中抗营养因子及其品质的影响

Table 5 Effects of different soaking concentrations on anti-nutritional and quality of soybean milk soaked with NaHCO_3					
项目 Item	0.05%	0.25%	0.45%	0.65%	0.85%
胰蛋白酶抑制剂 Trypsin inhibitor/(TIU·mg ⁻¹)	36.22 ± 3.90 a	35.35 ± 1.83 a	32.70 ± 2.26 a	32.27 ± 1.86 a	33.87 ± 2.45 a
单宁 Tannin/(mg·kg ⁻¹)	227.63 ± 22.54 a	219.90 ± 10.12 a	217.02 ± 6.66 a	223.53 ± 15.91 a	202.88 ± 10.8 a
植酸 Phytic/(mg·mL ⁻¹)	11.62 ± 0.70 cd	11.43 ± 0.31 c	4.85 ± 0.38 a	9.61 ± 0.31 b	12.89 ± 0.61 d
蛋白质 Protein/(g·kg ⁻¹)	27.69 ± 0.22 ab	29.21 ± 0.41 bc	29.93 ± 0.59 c	29.39 ± 0.64 c	26.30 ± 0.70 a
可溶性固形物 Soluble solids/%	5.90 ± 0.10 c	4.43 ± 0.23 ab	4.27 ± 0.32 ab	4.17 ± 0.21 a	4.77 ± 0.15 b
pH	6.24 ± 0.02 a	6.27 ± 0.02 a	6.56 ± 0.01 b	6.98 ± 0.05 c	7.17 ± 0.02 d
沉淀率 Precipitation rate/%	1.64 ± 0.29 a	2.29 ± 0.68 ab	1.71 ± 0.32 a	2.13 ± 0.38 a	3.38 ± 0.32 b
D[3,4] Volume average diameter/μm	1.12 ± 0.02 a	1.13 ± 0.03 b	1.12 ± 0.05 c	1.08 ± 0.01 d	1.34 ± 0.02 e
<i>L</i> [*]	72.42 ± 0.06 a	77.17 ± 0.12 d	76.07 ± 0.09 c	72.12 ± 0.24 a	74.60 ± 0.10 b
<i>a</i> [*]	-2.67 ± 0.05 b	-3.11 ± 0.01 a	-3.10 ± 0.02 a	-2.69 ± 0.01 b	-2.56 ± 0.07 c
<i>b</i> [*]	8.78 ± 0.10 a	11.01 ± 0.18 c	9.86 ± 0.10 b	8.72 ± 0.14 a	11.71 ± 0.11 d

2.6 正交试验优化浸泡条件

综上,结合各因素的抗营养因子指标及品质指标,选取浸泡温度为 5,15,25℃;浸泡时间为 12,16,20 h;浸泡豆水比为 1:3、1:4、1:5,及浸泡浓度为 0.25%、0.45%、0.65% 进行正交试验,通过主成分分析法提取主要成分,并计算其权重,得到评价综合分数,以综合分数作为最终结果。结果如表 6 所示,最佳预处理条件组合为 A₃B₃C₁D₃,影响豆浆抗

营养因子及营养品质的因素主次为 A>D>C>B,即浸泡温度>浸泡豆水比>浸泡浓度>浸泡时间。但经验证试验,得出该条件下得到的综合得分为 3.644,结果低于试验号 8,因此,选择 A₃B₂C₂D₂ 为最佳预处理条件。即当浸泡温度为 25℃,浸泡时间为 16 h,浸泡豆水比为 1:4,NaHCO₃ 浓度为 0.45% 时,豆浆的抗营养因子含量最低,品质最优。

表 6 预处理工艺正交试验结果
Table 6 Orthogonal test results of pretreatment process

编号 No.	因素 Factor				综合得分 Composite score
	A 浸泡温度	B 浸泡时间	C 浸泡豆水比	D 浸泡浓度	
	Soaking temperature/℃	Soaking time/h	Soaked bean water ratio	Soaking concentration/%	
1	5	12	1:3	0.25	2.847
2	5	16	1:4	0.45	3.105
3	5	20	1:5	0.65	3.161
4	15	12	1:3	0.25	3.005
5	15	16	1:4	0.45	3.188
6	15	20	1:5	0.65	3.776
7	25	12	1:3	0.25	3.603
8	25	16	1:4	0.45	3.792
9	25	20	1:5	0.65	3.574
K ₁	4.000	4.210	4.343	4.030	—
K ₂	4.307	4.187	4.210	4.287	—
K ₃	4.327	4.237	4.080	4.317	—
极差 Range	0.327	0.050	0.263	0.287	—

3 讨论

浸泡是制作豆浆的常用预处理手段,Lestienne 等^[18]将大豆浸泡 24 h,植酸降低了 23%。Elhady 等^[19]将不同豆类籽实在 30℃ 下浸泡处理(W/V 1:5) 16 h,植酸含量显著降低($P<0.05$)。贺嘉欣等^[20]比较干豆、湿豆制浆,结果表明,浸泡可以使胰蛋白酶抑制因子和植酸显著下降,但单宁含量显著上升($P<0.05$),与本研究结果一致。除对抗营养因子产生显著影响外,浸泡会使豆类的质地发生软化,对各品质指标均有显著影响^[21-22]。

浸泡方法的影响因素较多,首先,浸泡介质会影响豆浆中抗营养因子含量和活性,Vidal 等^[23]分别用水,NaHCO₃ 溶液和柠檬酸溶液将小扁豆进行浸泡处理,浸泡时间为 9 h,与未处理组相比,经处理后的小扁豆胰蛋白酶抑制因子的活性分别降低了 11%、9% 和 4%;Yasmin 等^[24]将红芸豆在 0.07% 碳酸氢钠溶液中浸泡后,植酸含量显著下降,证明了碳酸氢钠溶液降低植酸含量的有效性。同样,在品质方面,杨道强等^[22]研究了 5 种前处理方式对豆

浆品质的影响,结果表明,经 NaHCO₃ 处理的豆浆品质最优。综上,均说明 NaHCO₃ 浸泡是降低豆浆中抗营养因子,提升豆浆综合品质的有效方式。

浸泡温度是浸泡处理中重要的条件之一,豆浆中的胰蛋白酶抑制因子是一种能高效参与调控机体生理活动^[25]的小分子多肽,属于热敏型抗营养因子。但在本研究中,浸泡温度升高并未导致其活性的显著降低,这是因为胰蛋白酶抑制因子在 37℃ 时有最大活性^[13]。此外,Chaudhary 等^[26]的研究表明,从 *Putranjiva roxburghii* 种子中提取的胰蛋白酶抑制因子,在 70℃ 时活性略有下降,而在 90℃ 时方才出现大幅度下降。单宁是热稳定型抗营养因子^[19],受温度的影响较小,这解释了浸泡温度改变时,单宁并无显著变化的原因。植酸同样被归类为热稳定型抗营养因子^[19],但植酸下降的原因除了植酸向介质中迁移外,和植酸酶的激活也是一个重要原因,存在于干豆中的植酸酶被激活,使得植酸被水解为肌醇和磷酸^[7,27]。植酸酶在 30~60℃ 时,活性值与温度呈正相关^[28]。此外,浸泡温度对豆浆中蛋白质含量影响显著,主要原因有两点,一是高温

浸泡状态下(温度 >40℃)大豆籽实中的可溶性蛋白质会转移到浸泡介质中^[29],其二是豆浆的某些高疏水性蛋白质的溶解度和温度呈负相关^[30]。

浸泡介质的含量会对大豆固形物及蛋白含量造成影响^[31],从而对豆浆中胰蛋白酶抑制因子的残留量产生影响。对于单宁来说,浸泡介质的增加使单宁含量显著降低。出现这种现象可能的原因是低豆水比时大豆未浸泡完全,大豆中的单宁未完全释放,大部分保留在豆中,而浸泡介质的比例增加时,浸泡完全,单宁释放在介质中,使豆浆中的单宁减少。

浸泡时间延长,除单宁外,其它抗营养因子会显著降低,史海燕等^[32]将大豆于 25℃ 环境下分别浸泡 4,8,12 h 后,豆浆中胰蛋白酶抑制因子活性和植酸含量均显著降低,此结论与本研究一致。研究表明,单宁含量会随着浸泡时间的延长而增加,这是由于浸泡过程导致豆浆各成分的提取率增加,溶出的单宁含量远远大于迁移至浸泡介质中的单宁含量^[26]。对豆浆品质来说,浸泡时间过长会使可溶性固形物含量降低^[33]。此外,浸泡时间过长也会使豆浆的粒径值增加,出现此现象可能是由于大豆膳食纤维的溶出^[34]。

浸泡介质浓度的改变会使溶液 pH 变化显著,胰蛋白酶抑制因子按照沉降系数分类,与细胞色素 C 同属于 2S 球蛋白,本质是小分子蛋白质^[35],因此不同 pH 的溶液会对其产生较显著的影响。Sze-Tao 等^[36]将核桃用不同浓度的 HCl、NaOH、NaHCO₃ 溶液浸泡,发现在碱性水溶液中浸泡的核桃单宁含量要显著低于酸性水溶液浸泡的单宁含量,这与本研究结论一致。如前所述,植酸酶的活化可能是植酸降低的原因之一,除了温度、浸泡程度之外,pH 也是重要的影响因素之一,大部分植酸酶最适 pH 为 4.8 ~ 6.0^[37],试验中各浓度下的 NaHCO₃ 溶液所对应的 pH 范围为 5 ~ 8,证实了利用高浓度溶液浸泡时,植酸残留量增加的结果。同样受 pH 变化影响的还有豆浆体系的稳定,李骊璇^[38]研究表明,pH 逐渐升高时,植物蛋白的溶解、乳化性会相对提高。本研究结果表明经高浓度碱液浸泡,会降低豆浆品质。

4 结 论

浸泡是降低豆浆抗营养因子含量,提高豆浆品质的有效处理方式。不同介质(水、NaHCO₃、柠檬酸)对各抗营养因子的影响效果并不一致,3 种介质中,以 NaHCO₃ 处理过的豆浆最终评分最高。将预处理工艺流程进行优化,得出当浸泡温度为 25℃,浸泡时间为 16 h,浸泡豆水比为 1:4,NaHCO₃ 浓度

为 0.45% 时,抗营养因子含量最低,品质最优。

参考文献

[1] Li Y, Guan R, Liu Z, et al. Genetic structure and diversity of cultivated soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] landraces in China [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2008, 117 (6): 857-851.

[2] Hammond B G, Jez J M. Impact of food processing on the safety assessment for proteins introduced into biotechnology-derived soybean and corn crops[J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(4): 711-721.

[3] Sgarbieri V C. Composition and nutritive value of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. World Review of Nutrition and Dietetics, 1989, 60:132-198.

[4] Vagadia B H, Vanga S K, Raghavan V. Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor - A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017(64):115-125.

[5] Cabreraorozco A. Soybean: Non-nutritional factors and their biological functionality [J]. Nucleic Acids Research, 2013, 25 (13):2627-34.

[6] Liener I E. Implications of antinutritional components in soybean foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1994, 34(1):31-67.

[7] 黄凯, 郑田要, 李聚海, 等. 大豆中植酸和胰蛋白酶抑制因子的抗营养和抗癌效应[J]. 中国油脂, 2008, 33(12):28-31. (Huang K, Zheng T Y, Li J H, et al. Antinutritional and anticancer effects of phytic acid and trypsin inhibitor in soybean[J]. China Oils and Fats, 2008, 33(12): 28-31.)

[8] Singh B, Singh J P, Kaur A, et al. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. [J]. Food Research International, 2017(101):1-16.

[9] Mohan V R, Tresina P S, Daffodil E D. Antinutritional factors in legume seeds: Characteristics and determination [J]. Encyclopedia of Food & Health, 2016:211-220.

[10] 朱晓倩, 许钰麒, 范志红. 不同预处理方法对豆浆中抗营养因子的影响[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(1):65-68. (Zhu X Q, Xu Y Q, Fan Z H. Impact of pretreatments on anti-nutritional factor retention in soy milk [J]. Chinese Journal of Food and Nutrition, 2012, 18(1): 65-68.)

[11] 佟荟全, 张榴榕, 胡文元, 等. 大豆抗营养因子研究进展[J]. 饲料博览, 2015(5):10-13. (Tong H Q, Zhang J R, Hu W Y, et al. Research progress of soybean anti-nutritional factors [J]. Feed Fair, 2015(5):10-13.)

[12] 钱海峰, 周惠明. 大豆制品腥味控制研究进展[J]. 粮食与油脂, 2003(8):18-21. (Qian H F, Zhou H M. Research development on control of beany flavour in soybean products [J]. Grain and Oil, 2003(8):18-21.)

[13] 燕方龙, 华蕾. 大豆制品中胰蛋白酶抑制因子的抑制活性测定[J]. 理化检验-化学分册, 2007, 43(3):226-228. (Yan F L, Hua L. Measurement of trypsin inhibitor activity of soybean products [J]. Physico-Chemistry & Chemical - Chemistry, 2007, 43(3): 226-228.)

[14] 侯曼玲. 食品分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 137-138. (Hou M L. Food analysis [M]. Beijing: Chemical Industry

- Press, 2004: 137-138.)
- [15] Gao Y, Shang C, Maroof M A S, et al. A modified colorimetric method for phytic acid analysis in soybean[J]. Crop Science, 2007, 47(5):1797-1803.
- [16] 李杉杉. 凯氏定氮法测定蛋白质的方法分析[J]. 现代食品, 2018(21):140-142. (Li S S. Analysis the methods of protein determination by kjeldahl method[J]. Modern Food, 2018(21): 140-142.)
- [17] 方丰华, 周惠明, 钱海峰. 果汁豆奶的稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(1):97-100. (Fang F H, Zhou H M, Qian H F. Study on the stability of juice soymilk [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(1): 97-100.)
- [18] Lestienne I, Buisson M, Lullien-Pellerin V, et al. Losses of nutrients and anti-nutritional factors during abrasive decortication of two pearl millet cultivars (*Pennisetum glaucum*) [J]. Food Chemistry, 2007, 99(4):1316-1323.
- [19] El-Hady E A A , Habiba R A . Effect of soaking and extrusion condition on anti-nutrients and protein digestibility of legume seed [J]. LWT- Food Science and Technology, 2003, 36(3): 285-293.
- [20] 贺嘉欣, 王丽丽, 李再贵. 浸泡与干豆磨浆对家庭自制豆浆营养品质的影响[J]. 农产品加工(学刊), 2013(8):41-43. (He J X, Wang L L, Li Z G. Effects of different pre-program of soymilk maker on the quality and nutrients of homemade soymilk [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2013(8): 41-43.)
- [21] 崔亚丽, 李莹莹, 栾广忠, 等. 豆浆粒径与豆浆品质的关系研究[J]. 大豆科学, 2012, 31(1):103-107. (Cui Y L, Li Y Y, Luan G Z. Relationship between particle size and quality of soymilk [J]. Soybean Science, 2012, 31(1):103-107.)
- [22] 杨道强, 邢建荣, 陆胜民. 大豆不同前处理方式对豆浆品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(1):69-73. (Yang D Q, Xing J R, Lu S. Effect of different soybean pretreatment methods on the quality of soy milk[J]. Food Science, 2016, 37(1):69-73.)
- [23] Vidal valverde C, Frias J, Estrella I, et al. Effect of processing on some antinutritional factors of lentils[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1994, 42(10):2291-2295.
- [24] Yasmin A, Zeb A, Khalil A W , et al. Effect of processing on anti-nutritional factors of red kidney bean (*phaseolus vulgaris*) grains[J]. Food and Bioprocess Technology, 2008, 1(4): 415-419.
- [25] Savage G P, Morrison S C. Trypsin inhibitors[J]. Encyclopedia of Food Sciences & Nutrition, 2003:5878-5884.
- [26] Chaudhary N S , Shee C , Islam A , et al. Purification and characterization of a trypsin inhibitor from *Putranjiva roxburghii* seeds [J]. Phytochemistry, 2008, 69(11):2120-2126.
- [27] Blaabjerg K, Carlsson N G, Hansen-Miller J, et al. Effect of heat-treatment, phytase, xylanase and soaking time on inositol phosphate degradation *in vitro* in wheat, soybean meal and rapeseed cake [J]. Animal Feed Science and Technology, 2010, 162(34): 123-134.
- [28] Lima F S D , Kurozawa L E , Ida E I . The effects of soybean soaking on grain properties and isoflavones loss [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 59(2):1274-1282.
- [29] Sutardi, Buckle K A. The characteristics of soybean phytase [J]. Journal of Food Biochemistry, 1986, 10(3): 197-216.
- [30] 石彦国. 大豆制品工艺学 [M]. 2版. 北京:中国轻工业出版社, 2005: 53-62. (Shi Y G. Soybean products technology [M]. 2nd Edition. Beijing: China Light Industry Press, 2005: 53-62.)
- [31] Pan Z, Tangatanavalee W. Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions[J]. LWT- Food Science and Technology, 2003, 36(1):143-151.
- [32] 史海燕, 范志红, 魏佳颐. 不同预处理对家庭制豆浆抗营养因子含量的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(17):49-54. (Shi H Y, Fan Z H, Wei J Y. Effects of different pretreatments on the content of anti-nutritional factors in household soybean milk[J]. Food Science, 2011, 32(17): 49-54.)
- [33] Costa R , Fusco F , Gandara J F M . Mass transfer dynamics in soaking of chickpea [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 227:42-50.
- [34] Luo Y C, Li B, Ji H, et al. Effect of soaking and cooking on selected soybean variety for preparation of fibrinolytic douchi [J]. Journal of Food Science and Technology, 2009, 46(2):104-108.
- [35] 周瑞宝, 周兵. 大豆 7S 和 11S 球蛋白的结构和功能性质 [J]. 中国粮油学报, 1998, 13(6):41-44. (Zhou R B, Zhou B. The structure and functional properties of soybean 7S and 11S globulin proteins [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1998, 13(6): 41-44.)
- [36] Sze-Tao K W C , Schrimpf J E , Teuber S S , et al. Effects of processing and storage on walnut (*Juglans regia* L) tannins [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2001, 81(13): 1215-1222.
- [37] Blaabjerg K, Carlsson N G, Hansen-Miller J, et al. Effect of heat-treatment, phytase, xylanase and soaking time on inositol phosphate degradation *in vitro* in wheat, soybean meal and rapeseed cake [J]. Animal Feed Science and Technology, 2010, 162(34): 123-134.
- [38] 李骊璇. 植物蛋白饮料稳定性的相关研究 [J]. 农业工程, 2011, 1(3):58-60. (Li L X. Study on the stability of plant protein drinks [J]. Agricultural Engineering, 2011, 1(3):58-60.)