

家用豆浆机制作胚芽豆浆

Preparation of germinated soybean milk with household soymilk machine

金子鑫¹ 杨瑞金^{1,2} 朱生博³ 刘新娟³ 张文斌^{1,2}

JIN Zi-xin¹ YANG Rui-jin^{1,2} ZHU Sheng-bo³ LIU Xin-juan³ ZHANG Wen-bin^{1,2}

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122;

3. 杭州九阳小家电有限公司, 浙江 杭州 310000)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

3. JOYOUNG Household Appliance Co., LTD, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

摘要:以发芽大豆为原料,利用豆浆机工装平台,优化胚芽豆浆的制浆工艺。通过对粉碎温度、煮浆时间的单因素试验,发现较佳的粉碎温度为 70 °C、煮浆时间为 4 min。采用优化后的胚芽豆浆程序制得的胚芽豆浆含 γ -氨基丁酸 1.36 mg/100 g, 游离氨基酸 0.455 g/100 g, 游离氨基酸中必需氨基酸 0.219 g/100 g, 分别是原程序干豆豆浆的 3.68, 1.34, 8.87 倍。尽管胚芽豆浆中胰蛋白酶抑制活力为干豆豆浆的 1.27 倍,但总体营养价值仍得到显著提升。

关键词:胚芽豆浆; γ -氨基丁酸; 制浆工艺

Abstract: The objectives of this study were to optimize pulverizing and boiling process for germinated soybean milk. Pulverizing temperature and boiling time were explored through single-factor experiments and the optimal temperature was figured out as 70 °C and boiling time as 4 min. With optimized process, content of γ -aminobutyric acid, total freeamino acids, essential freeamino acids in the germinated soybean based milk were 1.36 mg/100 g, 0.455 g/100 g, and 0.219 g/100 g, respectively. Compared with dry soybean milk, the above contents were 3.68, 1.34, 8.87 folds increased respectively. Despite that the trypsin inhibitor activity (TIA) was 1.27 times that of dry soybean based milk, the nutritional value of germinated soybean milk has been remarkably improved.

Keywords: germinated soybean based milk; γ -aminobutyric acid; soymilk processing

豆浆作为传统食品,在亚洲多数地区消费广泛,因其含有丰富的蛋白质、矿物元素、维生素以及卵磷脂、异黄酮等功能性成分^[1],成为“乳糖不耐症”人群的良好牛奶替代品。长期以来,豆浆一直在中国人的早餐中占有重要的一席之地。

基金项目:国家粮食公益性行业科研专项项目(编号:201313011-06)

作者简介:金子鑫(1989—),女,江南大学在读硕士研究生。

E-mail: auzn890730@gmail.com

通讯作者:张文斌

收稿日期:2014-06-27

地。从 1994 年九阳公司发明第一台家用豆浆机以来,豆浆机逐渐走进千家万户,经过 20 年的发展,家用豆浆机的功能和程序得到了不断的改进和提升,为人们带来了自制丰富多彩、方便健康的豆浆食品的乐趣。

大豆发芽不仅可使脂肪氧合酶、胰蛋白酶抑制剂、植酸等抗营养因子的水平降低,同时还可使水溶性维生素、氨基酸、大豆异黄酮、 γ -氨基丁酸(GABA)等物质富集^[2]而大大提高其营养价值。GABA 是一种非蛋白质氨基酸,广泛分布于动植物体内,具有降血压、降血糖、抗抑郁、安定精神、改善更年期综合症等多种生理功能^[3]。近些年,随着 GABA 的生理功能不断被证实,GABA 的富集、生产和应用成为新的热点。2009 年,卫生部批准 GABA 为新资源食品,可用于食品的生产加工。大豆在发芽过程中内源谷氨酸脱羧酶(GAD)被激活利用生物体的内源谷氨酸脱羧酶的脱羧作用将谷氨酸(L-Glu)转化为 GABA^[4],使 GABA 得到富集。氨基酸不仅是蛋白质的基本组成单位,而且其本身具有促进胰岛素分泌、作用于消化和神经系统、提高机体免疫功能及解毒功能等特殊生理功能^[5]。蛋白质或多肽经水解成小分子的氨基酸和寡肽后,才被人体小肠黏膜所吸收,更易于机体所利用^[6,7]。大豆中胰蛋白酶抑制剂有 Kunitz 型(KSTI)和 Bowman-Birk 型(BBI)两种。大豆在发芽过程中,由于蛋白酶水解作用,KSTI 和 BBI 两种胰蛋白酶抑制剂含量均有所下降^[8]。其中,KSTI 型较容易失活,pH 7 的体系中,100 °C 加热 1 min 即可将其灭活到 10% 以下,而较难灭活的 BBI 型,100 °C 加热 360 min 仍可存活 80% 左右^[9]。

目前中国对胚芽豆浆的煮浆工艺研究较少,且市面上尚无针对发芽大豆为原料制作胚芽豆浆的豆浆机程序。本试验利用九阳工装平台(经改装后可调整豆浆机制浆工艺的豆浆机),拟研究不同制浆工艺条件下游离氨基酸、 γ -氨基丁

酸、胰蛋白酶抑制剂的变化,从而优化出最佳胚芽豆浆程序,并在此基础上对胚芽豆浆和干豆豆浆上述考察指标进行对比,以期期为豆浆机新程序开发和胚芽豆浆加工工艺提供一定参考,也为普通家庭用户提供更为丰富的食谱选择。

1 材料与amp;方法

1.1 原料与试剂

大豆:品种中黄 57,收获于 2012 年秋;

N-苯甲酰-DL-精氨酸-对硝基苯胺盐酸盐(BAPNA):纯度 98%,美国 Sigma-Aldrich 公司;

胰蛋白酶:酶活 $\geq 10\ 000$ BAEE U/mg,美国 Sigma-Aldrich 公司;

氯化钙、盐酸、三羟甲基氨基甲烷、乙酸、二甲基亚砜、三氯乙酸等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器设备

豆浆机:D58SG 型,杭州九阳小家电有限公司;

豆浆机工装平台:D58SG 型,杭州九阳小家电有限公司;

豆芽机:DYJ-S6365 型,广东小熊电器有限公司;

数显电热恒温水浴锅:HH-2 型,江苏金坛市荣华仪器制造有限公司;

分析天平:MA110 型,上海第二天平仪器厂;

紫外—可见分光光度计:722 型,尤尼柯上海仪器有限公司;

高效液相色谱仪:Ag1100 型,美国安捷伦公司;

冷冻离心机:Allegra25R 型,美国贝克曼库尔特有限公司。

1.3 不同豆浆的制作工艺

(1) 胚芽豆浆:称取 85 g 无虫害、健康、颗粒饱满的大豆,清水冲洗去除表面杂质和灰尘,然后用去离子水冲洗。于 3 倍体积水中浸泡 6 h,后于豆芽机(24±3 °C)中发芽 16 h 后取出。加水至 1 100 g,于 D58SG 豆浆机或工装平台中制作豆浆,过 30 目滤网后取样测定各项指标。

(2) 干豆豆浆:将 85 g 大豆清洗后,加水至 1 100 g,用 D58SG 程序直接制作豆浆,完成后过 30 目滤网并取样测定各项指标。

1.4 胚芽豆浆制作的单因素试验设计

(1) 粉碎温度:在豆浆机程序基础上,调整粉碎温度分别为 50,60,70,80,90 °C,其他参数保持不变,在工装平台上运行新程序,豆浆制作完成后过滤取样,测定 γ -氨基丁酸、胰蛋白酶抑制剂、游离氨基酸。

(2) 煮浆时间:在豆浆机程序基础上,调整煮浆时间分别为 2,3,4,6,8 min,其他参数保持不变,在工装平台上运行新程序,豆浆制作完成后过滤取样,测定 γ -氨基丁酸、胰蛋白酶抑制剂、游离氨基酸。

1.5 γ -氨基丁酸及游离氨基酸含量的测定

(1) γ -氨基丁酸(GABA)及游离氨基酸的提取:称取 10 g 左右豆浆加入 10 mL 的 10%三氯乙酸,用 5%三氯乙酸定

容至 25 mL;超声提取 30 min;后用双层滤纸过滤,将滤液以 10 000 r/min 离心 10 min,取上清液用于测定。

(2) 测定方法:邻苯二甲酰—氯甲酸苄甲酯(OPA—FMOC)柱前衍生化。色谱柱:ODS HYPERSIL(250 mm×4.6 mm,5 μ m);柱温:40 °C;流动相 A 相:称取 8.0 g 结晶乙酸钠于烧杯中,加 1 000 mL 水搅拌至所有结晶水溶解,再加入 225 mL 三乙胺,搅拌并滴加 5%的醋酸,将 pH 调到 7.20±0.05,加入 5 mL 四氢呋喃,混合后备用;流动相 B 相:称取 8.0 g 结晶乙酸钠于烧杯中,加入 400 mL 水搅拌至所有结晶溶解,滴加 5% 醋酸将 pH 调到 7.20±0.05,将此溶液加入 800 mL 乙腈和 800 mL 甲醇,混合后备用;紫外检测器:发射波长 338 nm,激发波长 262 nm;梯度洗脱程序见表 1。

表 1 高效液相分析 γ -氨基丁酸所用梯度洗脱程序
Table 1 Gradient elution procedures for HPLC analysis of γ -aminobutyric acid

时间	A%	B%	流速/(mL·min)
0.0	92	8	1.0
27.5	40	60	1.0
31.5	0	100	1.5
32.0	0	100	1.5
34.0	0	100	1.0
35.5	92	8	1.0

1.6 胰蛋白酶抑制剂活性的测定

参考王韧^[10]报道的方法并作微调,具体如下:

(1) 试剂配制:① 酶液的配制:0.02 mg/mL 胰蛋白酶液,称取 4 mg 胰蛋白酶,溶解于 0.001 mol/L 盐酸中,定容至 200 mL,4 °C 保存备用;② 底物溶液的配制:40 mg BAPNA 溶于 1 mL 二甲基亚砜中,用 37 °C 的 Tris—HCl 缓冲液(pH 8.2)稀释至 100 mL;③ 30%乙酸溶液:量取 30 mL 乙酸加水至 100 mL。

(2) 胰蛋白酶抑制剂的提取:待豆浆冷却后于 6 000 r/min 冷冻离心 25 min,取 5 mL 上清液,加 45 mL 0.01 mol/L NaOH,磁力搅拌 2 h,稀释后用于测定。

(3) 酶活测定:① 标准管(Ar):5 mL 底物与 2 mL 水混合后于 37 °C 保温 10 min,之后加 2 mL 胰蛋白酶溶液继续于 37 °C 保温 10 min,最终用 1 mL 30%乙酸中止反应;② 标准空白管(Abr):5 mL 底物与 2 mL 水及 1 mL 30%乙酸混匀后,于 37 °C 保温 10 min,之后加 2 mL 胰蛋白酶溶液,继续于 37 °C 保温 10 min;③ 样品管(As):5 mL 底物与 2 mL 豆浆稀释液混匀,于 37 °C 保温 10 min,之后加入 2 mL 胰蛋白酶溶液 37 °C 保温 10 min,用 1 mL 30%乙酸中止反应;④ 样品空白管(Abs):5 mL 底物与 2 mL 豆浆稀释液及 1 mL 30%乙酸混匀,于 37 °C 保温 10 min,之后加入 2 mL 胰蛋白酶溶液,继续于 37 °C 保温 10 min;⑤ 反应后将标准管、标准空白管、样品管、样品空白管中溶液过滤后,在 410 nm 下比色。

调整胰蛋白酶浓度使标准管与标准空白管之间的吸光值之差在 0.38~0.42。调整豆浆稀释倍数,使样品管和样品空白管吸光值之差在 0.19~0.21。

活性的表示:定义每 10 mL 反应体系在波长 410 nm 处所减少的 0.01 吸光度值为 1 个胰蛋白酶抑制剂活性单位(TIU)。则胰蛋白酶抑制剂的活性计算如下:

$$TIU=c \times [(Ar-Abr)-(As-Abs)] \times 100 \quad (1)$$

式中:

TIU——胰蛋白酶抑制剂活性单位;

c ——豆浆稀释倍数;

Ar ——标准管吸光值;

Abr ——标准空白管吸光值;

As ——样品管吸光值;

Abs ——样品空白管吸光值。

1.7 数据处理

试验得到的数据用 SPSS 17.0 统计软件中的方差分析(ANOVO)程序进行分析。用 LSD 检验判别数据之间的差异性,显著差异水平 $P < 0.05$ 。重复试验所得数据以均值±标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 粉碎温度和煮浆时间对豆浆中 γ -氨基丁酸的影响

不同粉碎温度对豆浆中 γ -氨基丁酸含量的影响见图 1。由图 1 可知,在 50 °C 粉碎时,由于低温煮浆糊底,可能损失了部分 GABA;而 90 °C 粉碎时,由于豆浆体系在 90 °C 以上高温维持了较长时间,可能由于美拉德反应造成了 GABA 损失^[11];因此,在 60~80 °C 对大豆进行粉碎得到了较高含量的 GABA 胚芽豆浆。很多研究^[12-14]表明,豆谷类在浸泡和发芽过程中,GABA 含量有所提升,这主要是由于大豆在发芽过程中内源酶被激活,L-谷氨酸在谷氨酸脱羧(GAD)的作用下产生 GABA^[15]。GABA 在酸性条件下对热敏感,中性条件下耐热性较好,pH 7 条件下,100 °C 加热 15 min 仍有较好的稳定性^[16]。

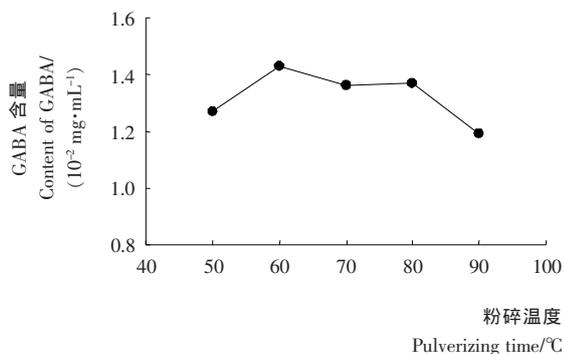


图 1 粉碎温度对胚芽豆浆中 GABA 含量的影响

Figure 1 Effect of pulverizing time on GABA content of germinated soybean milk

煮浆时间对豆浆中 γ -氨基丁酸的影响见图 2。由图 2 可知,煮浆时间 2~6 min 对 GABA 含量影响不大,煮浆 4 min 时 GABA 含量最高,达 1.37 mg/100 mL;4 min 之后 GABA 含量呈下降趋势,加热 8 min 时含量仅为 1.26 mg/100 mL。

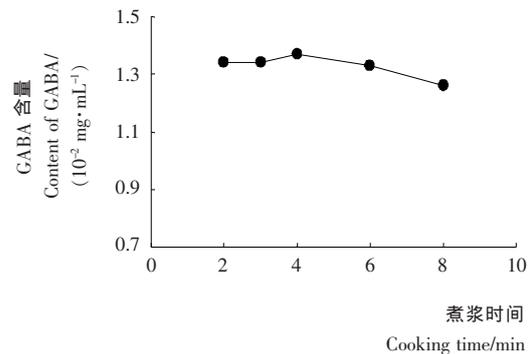


图 2 煮浆时间对胚芽豆浆中 GABA 含量的影响

Figure 2 Effect of cooking time on GABA content of germinated soybean milk

2.2 粉碎温度和煮浆时间对豆浆中游离氨基酸含量的影响

粉碎温度对豆浆中游离氨基酸的影响见表 2。由表 2 可知,在胚芽豆浆游离氨基酸中,半胱氨酸和苏氨酸为主要氨基酸,分别占氨基酸总量的 25.70% 和 26.55%。在 70 °C 粉碎时总游离氨基酸含量最高,高于 80 °C 后总氨基酸含量明显下降。除色氨酸外,其余 7 种必需氨基酸在低温粉碎(50, 60, 70 °C)时含量较高,80, 90 °C 之后下降较为明显,这可能是因为过高的粉碎温度会造成氨基酸的破坏,使其更易于与豆浆中的还原糖发生美拉德反应。

煮浆时间对豆浆中游离氨基酸的影响见表 3。由表 3 可知,随煮浆时间延长,氨基酸含量略有增加,煮浆 8 min,总氨基酸含量最高,达 0.505 5 mg/mL;煮浆 6 min 时,必需氨基酸含量最高,为 0.248 5 mg/mL。

2.3 粉碎温度和煮浆时间对豆浆中胰蛋白酶抑制剂含量的影响

胰蛋白酶抑制剂为豆浆中较难去除的抗营养因子,对豆浆的蛋白质利用率有较大影响。豆浆中胰蛋白酶抑制剂残留率降至 10%~15% 以下时可使豆浆中的蛋白得到最大利用^[17]。

粉碎温度对豆浆中胰蛋白酶抑制剂含量的影响见图 3。由图 3 可知,粉碎温度越高,豆浆中胰蛋白抑制剂含量越低。70 °C 及以上温度粉碎,豆浆中胰蛋白酶抑制剂含量明显减少,这主要由于高温粉碎使豆浆处于高温状态的时间较长,对胰蛋白酶抑制剂的灭活程度较高。高温粉碎类似于对豆种的热烫,使胰蛋白抑制剂在豆种细粉碎前得到了一定灭活^[18],也减少了胰蛋白抑制剂后续煮浆阶段向浆液中的溶解。因此,高粉碎温度有利于减少豆浆中胰蛋白抑制剂的含量。

表 2 粉碎温度对胚芽豆浆中游离氨基酸含量的影响
Table 2 Effect of pulverizing temperature on free amino acid content of germinated soybean milk

氨基酸 种类	游离氨基酸含量/(mg · mL ⁻¹)				
	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
天门冬氨酸	0.035 9	0.018 2	0.025 1	0.028 4	0.028 0
苏氨酸	0.114 0	0.107 0	0.124 0	0.123 0	0.109 0
丝氨酸	0.000 2	0.000 8	0.000 5	0.000 0	0.000 3
谷氨酸	0.034 5	0.017 1	0.041 0	0.033 3	0.035 5
甘氨酸	0.008 5	0.009 9	0.008 6	0.007 9	0.006 8
丙氨酸	0.010 0	0.008 4	0.010 4	0.008 6	0.008 5
半胱氨酸	0.114 0	0.137 0	0.120 0	0.119 0	0.126 0
缬氨酸	0.025 2	0.025 6	0.033 2	0.026 7	0.025 7
蛋氨酸	0.031 3	0.030 6	0.033 2	0.031 5	0.029 5
异亮氨酸	0.000 1	0.006 8	0.000 6	0.000 3	0.000 2
亮氨酸	0.013 3	0.011 3	0.013 0	0.011 0	0.011 0
酪氨酸	0.004 7	0.003 0	0.000 5	0.004 3	0.004 2
苯丙氨酸	0.013 9	0.023 5	0.014 1	0.011 5	0.011 7
赖氨酸	0.008 2	0.009 6	0.008 6	0.006 8	0.006 7
组氨酸	0.012 2	0.020 1	0.012 4	0.009 5	0.009 5
精氨酸	0.012 5	0.019 8	0.013 6	0.010 5	0.011 4
脯氨酸	0.006 2	0.012 0	0.008 0	0.005 4	0.005 4
必需氨基酸	0.205 9	0.214 4	0.226 7	0.210 8	0.193 8
总氨基酸	0.444 6	0.460 7	0.466 8	0.437 8	0.429 5

表 3 煮浆时间对胚芽豆浆中游离氨基酸含量的影响
Table 3 Effect of cooking time on free amino acid content of germinated soybean milk

氨基酸 种类	游离氨基酸含量/(mg · mL ⁻¹)				
	2 min	3 min	4 min	6 min	8 min
天门冬氨酸	0.021 7	0.026 6	0.026 2	0.028 7	0.020 8
苏氨酸	0.128 0	0.134 0	0.124 0	0.152 0	0.113 0
丝氨酸	0.000 4	0.000 7	0.000 9	0.000 2	0.000 7
谷氨酸	0.033 3	0.036 0	0.036 6	0.033 0	0.022 4
甘氨酸	0.006 4	0.008 3	0.006 8	0.007 5	0.009 8
丙氨酸	0.009 1	0.010 4	0.009 0	0.009 4	0.006 6
半胱氨酸	0.103 0	0.116 0	0.112 0	0.108 0	0.087 9
缬氨酸	0.032 5	0.032 6	0.028 1	0.029 2	0.027 2
蛋氨酸	0.031 0	0.029 3	0.028 4	0.032 1	0.027 4
异亮氨酸	0.000 1	0.000 8	0.000 1	0.000 5	0.001 3
亮氨酸	0.010 7	0.012 3	0.010 4	0.012 4	0.010 9
酪氨酸	0.004 3	0.004 8	0.004 4	0.004 2	0.002 4
苯丙氨酸	0.011 9	0.012 9	0.011 4	0.014 0	0.013 1
赖氨酸	0.007 2	0.008 9	0.007 1	0.008 4	0.008 8
组氨酸	0.010 5	0.012 6	0.009 8	0.013 0	0.131 0
精氨酸	0.011 2	0.012 7	0.010 9	0.012 3	0.009 9
脯氨酸	0.015 7	0.006 4	0.013 9	0.007 1	0.012 4
必需氨基酸	0.221 4	0.230 8	0.209 5	0.248 5	0.201 7
总氨基酸	0.437 1	0.465 2	0.440 0	0.471 9	0.505 5

煮浆时间对豆浆中胰蛋白酶抑制剂含量的影响见图 4。由图 4 可知,煮浆时间越长,胰蛋白酶抑制剂含量越低。煮浆 2~4 min 条件下,随煮浆时间延长,胰蛋白酶抑制剂活性降低较明显,煮浆 4~8 min 条件下变化较为平稳,主要由于较易灭活的 KSTI 部分已灭活,而继续的短时加热对 BBI 部分影响不大。

在粉碎温度方面,60~80 °C 时粉碎可得到 GABA 含量较高的胚芽豆浆,但 70~90 °C 时粉碎对胰蛋白酶抑制剂有较好的灭活作用,且 70 °C 时胚芽豆浆有较高的氨基酸含量,在风味和豆浆机适用上均有一定优势,因此选择 70 °C 作为最佳粉碎温度。在煮浆时间上,煮浆 4 min 时 GABA 含量最高,且 4 min 后胰蛋白酶抑制剂无明显下降,故选择 4 min 为最佳煮浆时间。

2.4 胚芽豆浆与干豆豆浆相关指标的对比

采用上述程序所制得的胚芽豆浆中 GABA 含量为 (1.37±0.20) mg/100 mL,为干豆豆浆(0.37 mg/100 g±0.09 mg/100 mL)的 3.68 倍。大豆在浸泡发芽过程中,种子吸胀,酶活性增加,L-谷氨酸在谷氨酸脱酸酶的作用下生成

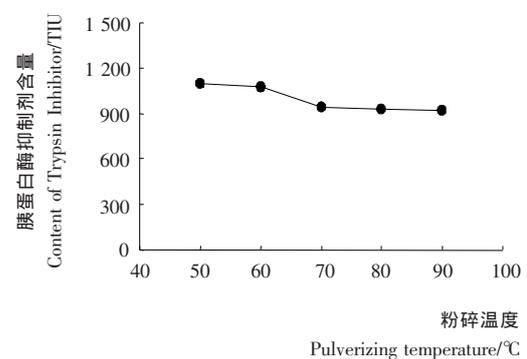


图 3 粉碎温度对胚芽豆浆中胰蛋白酶抑制剂含量的影响
Figure 3 Effect of pulverizing time on TIA content of germinated soybean milk

GABA。尤其在浸泡和发芽初期,GABA 急剧增加^[19]。此外,豆种在浸泡发芽过程中的质构变化,使其更容易破碎,更有利于各种营养物质向浆液中的溶出。

胚芽豆浆和干豆豆浆中游离氨基酸含量见表 4。由表 4 可知,胚芽豆浆在总游离氨基酸和必需氨基酸方面均有明显提高,分别为干豆豆浆的 1.34 倍和 8.87 倍。必需氨基酸

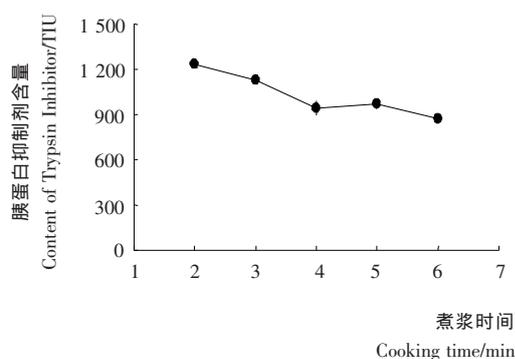


图 4 煮浆时间对胚芽豆浆中胰蛋白酶抑制剂含量的影响

Figure 4 Effect of cooking time on TIA content of germinated soybean milk

表 4 胚芽豆浆和干豆豆浆中游离氨基酸含量对比

Table 4 Free amino acid content of germinated soy milk and unsoaked soy milk

氨基酸种类	游离氨基酸含量/(mg · mL ⁻¹)	
	胚芽豆浆	干豆豆浆
天门冬氨酸	0.025 7	0.047 5
苏氨酸	0.124 0	0.004 0
丝氨酸	0.000 7	0.000 3
谷氨酸	0.038 8	0.039 9
甘氨酸	0.007 7	0.013 0
丙氨酸	0.009 7	0.014 2
半胱氨酸	0.116 0	0.000 7
缬氨酸	0.031 6	0.003 4
蛋氨酸	0.030 8	0.001 5
异亮氨酸	0.000 3	0.005 0
亮氨酸	0.011 7	0.003 1
酪氨酸	0.002 4	0.026 0
苯丙氨酸	0.012 6	0.002 7
赖氨酸	0.007 8	0.005 1
组氨酸	0.011 5	0.033 6
精氨酸	0.012 3	0.128 0
脯氨酸	0.011 0	0.011 9
必需氨基酸	0.218 8	0.024 8
总氨基酸	0.454 6	0.339 9

中,苏氨酸和蛋氨酸含量明显提高,分别为干豆豆浆的 31 倍和 21 倍,缬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸也有不同程度的提升。

胚芽豆浆胰蛋白酶抑制剂活力为 (938.00 ± 28.28) TIU,相比于干豆豆浆的酶活 (737.75 ± 95.80) TIU 略高。尽管在发芽过程中使胰蛋白酶抑制剂含量有所下降,但其质构在发芽过程中变软,更有利于蛋白质的溶出,因此也易于胰蛋白酶抑制剂向豆浆中溶出。

3 结论

大豆在浸水发芽过程中,质构发生变化,理化性质、营养成分、抗营养因子均有一定改变。以氨基酸、GABA、胰蛋白酶抑制剂为优化目标,得到的胚芽豆浆最佳制浆工艺为:粉碎温度 70 °C,煮浆时间 4 min。与干豆豆浆相比,胚芽豆浆在胰蛋白酶抑制剂含量上略高,这可能是由于发芽导致豆种质构变得松软,易于粉碎,利于胰蛋白酶抑制剂溶出。但是,胚芽豆浆的氨基酸含量和 GABA 含量远远大于干豆豆浆。此外,胚芽豆浆在异黄酮、植酸、总酚方面也有较大优势^[20]。因此,胚芽豆浆仍有较大的开发与应用空间。

参考文献

- Giri S K, Mangaraj S. Processing influences on composition and quality attributes of soymilk and its powder[J]. Food Engineering Reviews, 2012, 4(3): 149~164.
- Bau H M, Villaume C, Nicolas J P, et al. Effect of germination on chemical composition, biochemical constituents and antinutritional factors of soya bean (*Glycine max*) seeds[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997, 73(1): 1~9.
- Ko C Y, Lin H T V, Tsai G J. Gamma-aminobutyric acid production in black soybean milk by *Lactobacillus brevis* FPA 3709 and the antidepressant effect of the fermented product on a forced swimming rat model[J]. Process Biochemistry, 2013, 48(4): 559~568.
- 郝文静, 张晓鸣, 黄汉荣. 发芽绿豆生物转化法富集 γ -氨基丁酸[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 34~38.
- Erickson R H, Kim Y S. Digestion and absorption of dietary protein[J]. Annual Review of Medicine, 1990, 41:133~139.
- Collier K, Barber L, Lott J N A. A study of indigestible protein fractions of rice (*Oryzasetiva*, L.) endosperm fed to mice (*Mus-musulus*) and sheep (*Ovismusimon*): a qualitative and quantitative analysis[J]. Journal of Cereal Science, 1998(27): 95~101.
- 龚婷, 赵思明, 熊善柏, 等. 蒸煮工艺对米饭蛋白质及氨基酸的影响[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(4): 14~17.
- Dia V P, Gomez T, Vernaza G, et al. Bowman-birk and Kunitz protease inhibitors among antinutrients and bioactives modified by germination and hydrolysis in Brazilian soybean cultivar BRS 133 [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(32): 7 886~7 894.
- Osman M A, Reid P M, Weber C W. Thermal inactivation of tepary bean (*Phaseolus acuti folius*), soybean and lima bean protease inhibitors: effect of acidic and basic pH[J]. Food Chemistry, 2002, 78(4): 419~423.
- 王韧. 超高压对大豆脂肪氧合酶、营养抑制因子和蛋白质的影响[D]. 无锡:江南大学,2008.
- 陈聪, 赵建新, 范大明, 等. 熟浆工艺豆浆煮浆和分离环节的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(19): 259~262.

(下转第 225 页)

表8 方差分析表
Table 8 Analysis of variance table

因素	自由度	偏差平方和	均方	F	P	显著性
A	2	806.89	403.44	453.88	<0.000 1	**
B	2	484.67	242.33	272.63	<0.000 1	**
C	2	101.89	55.44	62.38	<0.000 1	**
D	2	96.22	48.11	54.13	<0.000 1	**
误差	18	16.00	0.89			
合计	26	1 505.67				

2.3 产品质量指标

2.3.1 感官指标 产品外观为白色均匀的半固体,凝块均匀,基本无乳清析出,无沉淀分层,口感细腻润滑,酸甜适口,具有马铃薯香气和乳酸发酵特有的气味,无腥味和异味。

2.3.2 理化指标 脂肪含量>3%;蛋白质含量>3%;酸度>70.0 °T;苯甲酸钠不得检出。

2.3.3 微生物指标 大肠菌群<5 CFU/mL;酵母菌总数<100 CFU/mL;霉菌总数<30 CFU/mL;致病菌不得检出。

3 结论

本研究结果表明马铃薯酸奶的最佳发酵工艺为:马铃薯浸提液与鲜牛奶体积比 20 : 70,白糖添加量 4%(m/V),发酵剂添加量 8%(V/V),发酵时间 6 h。该条件下制备的马铃薯酸奶为白色,凝块均匀口感细腻、酸甜适口,具有马铃薯香气和酸乳香气,无异味。但马铃薯品种及品质等因素对产品质量的影响等方面还有待于进一步的研究。

参考文献

1 潘兴昌,赵洪静,门建华,等.不同烹调方法下马铃薯中部分维生素和矿物质保留因子的变化[J].卫生研究,2007(4):85~88.
2 刘程惠,胡文忠,姜爱丽,等.不同贮藏温度下鲜切马铃薯的生理生化变化[J].食品与加工机械,2008(2):56~59.
3 焦世耀,张兰威,乳链菌肽产生菌及其在发酵食品中的应用[J].

食品与机械,2004(3)59~61.

4 李进强,乳品加工技术[M]甘肃:科技出版社,1994:109~116.
5 Laurent Diop, Sonia Guillou, Henri Durand. Probiotic food supplement reduces stress-induced gastrointestinal symptoms in volunteers: a double-blind, placebo-controlled, randomized trial[J]. Nutrition Research, 2008(5): 1~5.
6 Yutaka Uyeno, Yuji Sekiguch, I Yoichi Kamagata. Impact of consumption of probiotic lactobacilli-containing yogurt on microbial composition in human feces[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008(7): 16~22.
7 房健,李朝霞,陈洪兴.白扁豆酸奶的研制[J].食品研究与开发,2006(11):120~122.
8 张丽萍,杨晨,王成强,等.干酪乳杆菌在酸奶生产中的应用研究[J].中国乳品工业,2007(2):23~26.
9 刘莎莎,任国谱.螺旋藻酸奶生产工艺及配方优化研究[J].食品与机械,2010,26(6):67~69.
10 Kleessen B, Hartmann L, Blaut M. Oligofructose and longchain inulin; influence on the gut microbial ecology of rats associated with a human faecal flora[J]. Carcinogenesis, 2002, 23(11): 1953~1960.
11 吕嘉枋,秦俊哲.嗜酸乳杆菌粉末发酵剂的研制[J].中国乳品工业,2002,30(5):44~46.

(上接第221页)

12 Kim S L, Lee J E, Kwon Y U, et al. Introduction and nutritional evaluation of germinated soy germ[J]. Food Chemistry, 2013, 136(2): 491~500.
13 Komatsuzaki N, Tsukahara K, Toyoshima H, et al. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(2): 556~560.
14 Li Y, Bai Q, Jin X, et al. Effects of cultivar and culture conditions on γ -aminobutyric acid accumulation in germinated fava beans (*Vicia faba* L.)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(1): 52~57.
15 郭元新,杨润强,顾振新,等.采用生物转化技术富集大豆制品 γ -氨基丁酸研究进展[J].食品与发酵工业,2011,37(11):154~157.
16 王向阳,全义超,施青红,等. γ -氨基丁酸的检测方法和热杀菌

稳定性研究[J].食品开发与研究,2009,30(4):13~16.
17 Rackis J J. Biological and physiological factors in soybeans[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 1974, 51(1): 163~164.
18 Yuan S, Chang S C, Liu Z, et al. Elimination of trypsin inhibitor activity and beany flavor in soy milk by consecutive blanching and ultrahigh-temperature (UHT) Processing[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(17): 7957~7963.
19 Matsuyama A, Yoshimura K, Shimizu C, et al. Characterization of glutamate decarboxylase mediating γ -amino butyric acid increase in the early germination stage of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.)[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2009, 107(5): 538~543.
20 Jiang S, Cai W, Xu B. Food quality improvement of soy milk made from short-time germinated soybeans[J]. Foods, 2013, 2(2):198~212.