

利用大豆发芽开发富含 γ -氨基丁酸的玉米味豆乳

彭 菁,姚亚明,屠 康

(南京农业大学 食品科技学院,江苏 南京 210095)

摘 要:以富含 γ -氨基丁酸(GABA)的大豆芽和玉米浓浆为原料研制玉米味发芽豆乳。研究了大豆发芽过程中,适宜用来制作豆乳的最佳芽长,并采用正交试验设计优化豆乳配方和稳定剂添加量。结果表明:芽长为 3~4 cm,发芽时间 37~43 h,GABA 含量是对照组的 6~8 倍,制作的豆乳无豆腥味、青芽味。白砂糖、玉米浓浆和 NaCl 添加量分别为 30,50 和 0.75 g·L⁻¹时,豆乳口感清甜,玉米味、豆乳味协调。采用 0.75 g·L⁻¹复合磷酸盐 2 号,2 g·L⁻¹复合增稠剂(黄原胶:海藻酸钠=2:3),0.8 g·L⁻¹复合乳化剂(蔗糖脂肪酸酯+分子蒸馏单甘酯,HLB 值=11)复配的稳定剂得到的豆乳稳定性最好。

关键词:GABA;芽长筛选;豆乳配方;稳定性优化

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.01.0136

Preparation of Corn Flavor Soymilk Rich in γ -Aminobutyric Acid with Germinated Soybean

PENG Jing, YAO Ya-ming, TU Kang

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The corn flavor soymilk is prepared with germinated soybean and corn pureed rich in γ -amino butyric acid (GABA). We investigated the suitable soybean sprout length for making GABA soymilk, and also optimized the soymilk formula and added amount of stabilizer using the orthogonal experiment. The finding was that soymilk which prepared with bean sprouts of 3-4 cm and germinated for 37-43 h was without unfavorable bean and sprouts smell, GABA content was 6-8 times higher than the control (just soaked bean). It tasted sweet and smells pleasant, when the addition levers of white granulated sugar, corn pureed, NaCl were 30, 50 and 0.75 g·L⁻¹, respectively. The soymilk was most stable when the concentrations of compound phosphate 2, thickener (xanthan gum:sodium alginate tech grade=2:3) and emulsifier (sucrose fatty acid ester + molecular distilled mono glycerides, HLB=11) were 0.75, 2, 0.8 g·L⁻¹, respectively.

Keywords: GABA; Sprout length selection; Soymilk formula; Stability optimization

豆乳的营养价值很高,但是特殊的豆腥味使得它的消费量远低于牛奶。从消费者的角度来说,追求健康生活的同时也不愿意放弃对感官享受的追求^[1]。通过发芽制作豆乳可以减弱豆乳的豆腥味,降低植酸、大豆凝集素等抗营养因子。丁霄霖等^[2]将大豆发芽 24 h,制得的豆乳在风味、口感上较浸泡 10 h 未萌发的大豆得到了明显的改善;刘兆庆等^[3]发现大豆发芽 48 h, V_A、V_E、V_C 和大豆异黄酮分别是对照的 15, 6.3, 7.3 和 2 倍。另外, γ -氨基丁酸(GABA)作为一种新资源食品进入公众视野,具有降血压、改善脑神经、缓解疲劳等多种功能^[4]。国内外学者研究发现,利用大豆在逆境下发芽至一定长度,可以显著提高 GABA 含量^[5-7]。因此,先利用前人已有 GABA 富集技术即在发芽过程中营养成分变化的研究基础上制作大豆芽,再根据大豆芽的特点制作豆乳,既能改善豆乳风味,又能大大提高

营养价值。豆芽长度是影响豆乳品质的重要因素,芽长过短,豆腥味、植酸的降解率低,且不利于 GABA、V_C 等功能性物质富集;芽长过长,又会造成可溶性物质过度消耗,青芽味增加,粗纤维含量上升,影响豆乳出浆率和感官品质^[8]。因此,本研究旨在筛选适宜制作富含 GABA 豆乳的最佳芽长,并以该芽长的豆芽为原料研制玉米味豆乳,采用正交试验设计优化豆乳配方和稳定剂添加量。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大豆品种东农 690(市售);玉米浓浆(武汉市怡浆食品有限公司);复合磷酸盐 2 号(徐州恒氏公司);黄原胶(山东运升生物科技有限公司);海藻酸钠(青岛海藻明月有限公司);D-95 分子蒸馏单甘酯(广州佳力士食品有限公司);蔗糖脂肪酸酯(SE-

收稿日期:2015-08-19
基金项目:江苏省“十二五”科技支撑计划(BE2014399);江苏省优势学科建设项目。
第一作者简介:彭菁(1991-),女,硕士,主要从事农产品储藏与加工研究。E-mail:2014108049@njau.edu.cn。
通讯作者:屠康(1968-),男,博士,教授,主要从事农产品无损检测、农产品储藏与加工研究。E-mail:kangtu@njau.edu.cn。

15)(河南新百维科技有限公司);柠檬酸、柠檬酸钠、谷氨酸钠、 V_{B_6} 、NaCl 和白砂糖均为食品级。

1.2 仪器与设备

DJ22B-2128 润唐智能豆浆机(深圳市润唐智能生活电器有限公司);PROCESS-PILOT 2000/4 胶体磨(德国 IKA);T18 数显型分散机(德国 IKA);UV1800 紫外可见分光光度计(日本岛津);高效液相色谱仪 1200(日本 Agilent)。

1.3 试验方法

1.3.1 大豆发芽工艺 大豆种子清洗后,在 30℃ 下浸泡 6 h,调至 pH5.2,添加 0.1% 谷氨酸钠,0.4 mmol·L⁻¹ V_{B_6} ;然后转入方形筛中(上下垫纱布),在 29℃ 恒温培养箱中避光培养;早晚淋水^[9-10]。

1.3.2 豆乳制作流程 大豆→清洗→浸泡→发芽→清洗→烫漂脱皮→热磨浆→浆渣分离→胶体磨细化→200 目过滤→调配→高速剪切均质→灌装→杀菌

1.3.3 最佳芽长的筛选 按照 1.3.1 发芽工艺,分别在芽长为 0,1,2,3,4,5,6 cm 时取样,以只经过浸泡的大豆(芽长为 0)为对照,清洗后用吸水纸吸干水分,液氮速冻后真空冷冻干燥,粉碎,评定豆腥味、青芽味可接受度,测定可溶糖、可溶蛋白、多肽、GABA 含量。

1.3.4 豆乳配方的确定 将富含 GABA 的发芽大豆去皮后加 6 倍质量的水进行热磨浆,浆渣分离,然后胶体磨 4 000 r·min⁻¹ 细化 2 min,200 目过滤,制得大豆原浆。以白砂糖、玉米浓浆和 NaCl 的添加量为因素,感官评分为指标进行正交试验。参考张红印^[11]南瓜豆奶饮料的研制,豆奶中添加的白砂糖总量应低于 7%,由于玉米浓浆约含 50% 的白砂糖,产品单独使用推荐量为 6.7%,因此白砂糖、玉米浓浆正交水平范围分别为 10~50 g·L⁻¹;适量的 NaCl 能改善豆乳的口感,但超过 0.1%,咸味明显,另外,朱伟光等^[12]发现 NaCl 浓度为 0.05% 时豆奶稳定性最好,浓度过大,稳定性下降。因此 NaCl 正交水平范围为 0.25~0.75 g·L⁻¹,试验设计因素水平见表 1。

表 1 豆乳配方正交试验 [$L_9(3^4)$] 因素水平表

Table 1 Factors level table of orthogonal test [$L_9(3^4)$] of sprouted soymilk formula(g·L ⁻¹)			
水平 Level	A 白砂糖 White granulated sugar	B 玉米浓浆 Corn pureed	C NaCl
1	1	1	0.25
2	3	3	0.50
3	5	5	0.75

1.3.5 豆乳稳定性研究 分别选取复合磷酸盐 2 号、增稠剂(海藻酸钠、黄原胶)、乳化剂[蔗糖脂肪酸酯(SE-15)、分子蒸馏单甘酯]进行单因素试验,通过计算离心沉淀率和稳定系数,确定磷酸盐用量、增稠剂的最佳配比及用量、乳化剂最佳 HLB 值及用量;在单因素实验的基础上,进行复配。正交试验设计因素水平见表 2。

表 2 豆乳稳定剂正交试验因素水平表
Table 2 Factors level table of orthogonal test [$L_{16}(4^3)$] of stabilizer(g·L⁻¹)

水平 Lever	A 复合磷酸盐 Compound phosphate	B 复合增稠剂 Composite thickener	C 复合乳化剂 Composite emulsifier
1	0.25	1.00	0.40
2	0.50	1.50	0.80
3	0.75	2.00	1.20

1.3.6 营养成分含量测定 采用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量^[13];硫酸苯酚法测定可溶糖含量^[14];双缩脲法测定多肽含量^[9];液相色谱法测定 GABA 含量,条件参照 Bai 等^[15]方法。

1.3.7 产品配方感官评定 由食品加工专业人员组成评定小组,采用 5 分制进行评分,以所有鉴评人员的平均分数作为综合指标,对豆乳的色泽、香味、滋味进行评价,感官评分标准见表 3。

1.3.8 离心沉淀率的测定 参考赵培城等^[17]的方法测定,取均质后的样液,在离心管中加入 10 mL 豆奶,4 000 g·min⁻¹ 离心 10 min,弃上部溶液,倒置 2 h,烘干后准确称取沉淀物质量,计算离心沉淀率(SR),SR 值越低,稳定性越好。3 次重复。

$$SR(\%) = \frac{\text{沉淀物质量(g)}}{\text{豆奶质量(g)}} \times 100$$

(1)

1.3.9 乳化剂稳定系数的测定 参考李彦荣^[18]的方法测定,取均质后的样液,冷却,用 0.1% SDS 溶液稀释 100 倍,用分光光度计在 500 nm 处测吸光值 A_1 ,然后 4 000 r·min⁻¹ 离心 5 min,在相同的波长下测定离心后样品的吸光值 A_2 (稀释相同倍数),计算稳定系数 R,R 值越大表示乳化性越好。3 次重复试验。

$$R = \frac{A_2}{A_1}$$

(2)

1.4 数据分析

采用 Latin 软件进行正交设计,采用 SAS 9.1 进行方差分析。

表 3 豆乳配方感官评定表

Table 3 Sensory evaluation form of corn flavor sprouted soymilk formula

指标 Index	分类 Classification	得分 Score
色泽 Color	乳白色或淡黄色,有光泽	4~5
	轻微黄褐色,微有光泽	2~3
	明显的黄褐色,无光泽	1
气味 Odor	有玉米豆浆固有的香气,玉米味豆浆味适宜,无其他异味	4~5
	玉米豆浆固有的香气明显,玉米味偏重或偏淡,无豆腥味	2~3
	稍有焦糊味或豆腥味	1
滋味 Taste	具有玉米豆浆固有的滋味,甜度适中、清爽、无苦涩味	4~5
	滋味平淡,稍甜或稍淡,微有咸味、苦涩味	2~3
	不甜或过甜有明显的咸味、苦涩味等	
	其他不良滋味,饮用时有刺喉感	1

权重^[16]:色泽占 0.239;香气占 0.384;滋味占 0.379。
The weight of color, odor, taste were 0.239, 0.384 and 0.379, respectively^[16].

表 4 大豆发芽过程中豆腥味、青芽味及营养成分随芽长的变化

Table 4 Changes of beany flavor, bean sprouts smell, soluble components and GABA content during germination

芽长 Sprouts length /cm	时间 Germination time /h	豆腥味 Bean smell	青芽味 Sprouts smell	可溶性糖 Soluble sugar /mg·g ⁻¹	可溶性蛋白 Soluble protein /mg·g ⁻¹	多肽 Peptides /mg·g ⁻¹	GABA /μg·g ⁻¹
0	0	+++	0	93.32±1.48 b	94.92±0.66 c	71.64±5.79 e	67.80±5.60 e
1	22	++	0	113.59±11.66 a	116.56±4.77 a	81.64±1.61 d	123.83±7.00 e
2	29	+	0	91.23±2.25 b	105.97±1.48 b	78.68±0.96 c	244.30±11.91 d
3	37	0	*	85.13±2.95 c	109.34±0.82 b	85.95±3.86 b	434.81±4.90 c
4	43	0	**	81.56±1.94 c	106.14±4.69 b	91.18±2.89 a	544.08±12.61 b
5	51	0	***	67.66±0.78 d	108.81±2.06 b	99.14±5.46 b	616.92±5.60 a
6	64	0	***	60.85±1.24 e	97.53±4.36 c	93.23±0.32 e	650.54±9.81 a

+表示豆腥味,*表示豆青味,0表示基本没有豆腥味或青芽味,+,*数量越多表示该种气味越浓,如果都为0,气味良好。
+ represents bean smell, * represents sprout smell, and 0 means without these two unpleasant smell. The larger amount of + or * represented stronger smell. It smells good if both amounts are 0.

2.2 玉米味发芽豆乳配方的确定

白砂糖、玉米浓浆可以丰富豆乳的口味,提高固形物含量;甜豆浆中加少量的盐可以起清甜的作用,减少喝后喉咙的酸涩感。豆乳配方正交试验结果见表 5。

分析可知,影响豆乳感官评价的因素顺序是:A>B>C 即白砂糖>玉米浓浆>NaCl;最佳组合为A₂B₃C₃,即每 100 g 豆乳原浆添加白砂糖 3 g、玉米浓浆 5 g、NaCl 0.75 g。按最优组合进行验证试验,重复 3 次,豆奶评分为 4.01,豆乳呈乳白色,豆浆味与玉米味协调,口感清甜。

2 结果与分析

2.1 制作 GABA 豆乳的最佳豆芽长度

豆腥味是豆乳消费量远低于牛奶的重要原因,以大豆芽制备豆乳的过程中,除了考虑豆腥味,也需要将青芽味纳入考虑范围。试验发现,芽长为0~3 cm,豆腥味逐渐减弱,3~6 cm 青芽芽味逐渐增加,超过 4 cm 后,后续加工也不能消除;从表 4 中可以看出,可溶糖在芽长为 1 cm 时达最大值,2~4 cm 缓慢下降,之后迅速下降;芽长大于 5 cm,可溶蛋白含量重新降低至对照水平;芽长为 0~5 cm,多肽和 GABA 含量均与芽长成正相关。可溶糖和可溶蛋白占可溶组分绝大比例,且更容易消化吸收。因此,结合豆腥味、青芽味的变化及多肽、GABA 富集最大化,用于制作豆乳的最佳豆芽长度为 3 cm,最长不应超过 4 cm,发芽时间为 37~43 h,此时豆芽中 GABA 含量是对照的 6~8 倍,是未经处理的干大豆(0.023 mg·g⁻¹)的 18~23 倍。

2.3 稳定剂对制品稳定性的影响

2.3.1 复合磷酸盐浓度对豆乳稳定性的影响 多聚磷酸盐可以螯合金属离子,尤其是二价离子,减少交联从而降低沉淀率,并且可以增厚蛋白胶束表面水化层,也能调节 pH,起到缓冲作用,有利于提高胶体稳定性^[18]。从图 1 中可以看出复合磷酸盐浓度从 0 增加到 3 g·L⁻¹,豆乳 pH 从 6.53 上升到 7.38;从图 2 中可以看出,离心沉淀率先降低后升高,浓度为 0.05 g·mL⁻¹时,离心沉淀率最低,为 0.9%,此时豆奶 pH 为 6.58,较对照差异极显著(P<0.01)。这说明磷酸盐的添加并不是越多越好,而应适量添加。

表 5 玉米味发芽豆乳配方正交试验

Table 5 Comprehensive test [$L_{16}(4^3)$] of sprouted soymilk formula				
试验号	A 白砂糖	B 玉米浓浆	C	评分
Test number	White granulated sugar	Corn pureed	NaCl	Score
1	1	1	1	3.06
2	1	2	2	3.25
3	1	3	3	3.65
4	2	1	2	3.59
5	2	2	3	3.88
6	2	3	1	3.90
7	3	1	3	3.66
8	3	2	1	3.81
9	3	3	2	3.81
k1	3.320	3.437	3.590	
k2	3.790	3.647	3.550	
k3	3.760	3.787	3.730	
R	0.470	0.350	0.180	
影响因素	A > B > C			
Influence factor				
最佳组合	$A_2 B_3 C_3$			
Best combination				

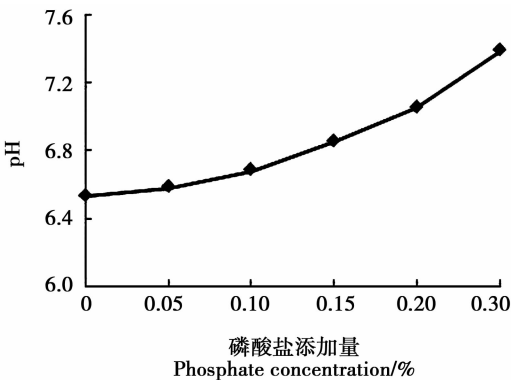


图 1 磷酸盐添加量对豆乳 pH 的影响

Fig. 1 Effect of different phosphate concentration on pH values of sprouted soymilk

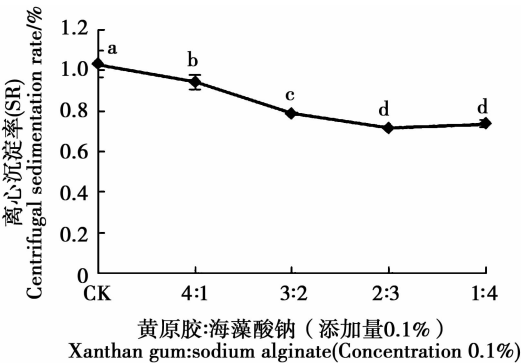


图 3 不同比例的增稠剂(黄胶原:海藻酸钠)对豆乳稳定性的影响

Fig. 3 Effect of different proportions(Xanthan gum: Sodium alginate) of thickener on stability of sprouted soymilk

2.3.2 复合增稠剂配比及浓度对发芽豆乳稳定性的影响 单一的增稠剂往往效果不够理想,生产上通常需要对增稠剂进行复配使用,黄原胶和海藻酸钠复配具有良好的稳定效果。复配增稠剂均能提高豆乳稳定性,当黄原胶:海藻酸钠 = 2:3 时,离心沉淀率最低,稳定效果最好(图 3);黄原胶:海藻酸钠 = 2:3 时,离心沉淀率先下降后上升,浓度为 $1.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,离心沉淀率最低为 0.56%,浓度超过 0.2% 后,豆乳粘度过大,离心沉淀率不能准确测量,且失去感官价值(图 4)。

2.3.3 复合乳化剂 HLB 值及浓度对豆乳乳化性的影响 HLB 值反映出乳化剂分子中亲水和亲油的这两个相反的基团的结构和性质的平衡。当把低和高 HLB 值的乳化剂混合使用时,它们在界面上吸附形成复合物,定向排列紧密,具有较高的强度,从而能很好地防止聚结,增加乳状液的稳定性^[17]。根据相关文献及豆乳工业生产实际,选择蔗糖脂肪酸酯(SE-15)和分子蒸馏单甘脂进行复配。

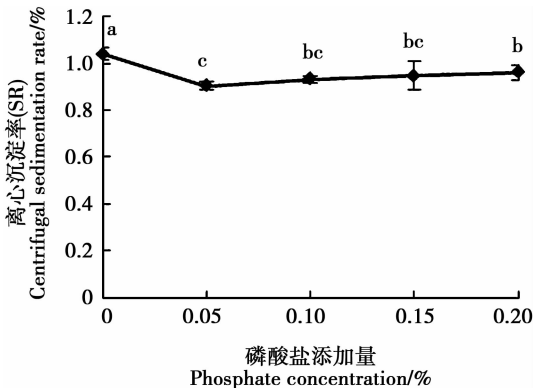


图 2 磷酸盐添加量对豆乳稳定性的影响

Fig. 2 Effect of different phosphate concentration on stability of sprouted soymilk

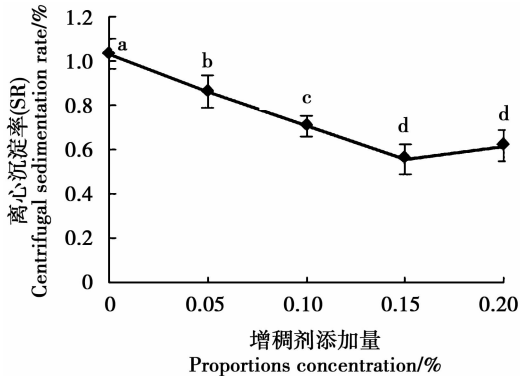


图 4 增稠剂(黄胶原:海藻酸钠 = 2:3)添加量对豆乳稳定性的影响

Fig. 4 Effect of different thickener concentration (Xanthan gum: Sodium alginate = 2:3) on stability of sprouted soymilk

由图5可以看出,当HLB值为11[分子蒸馏单甘酯:蔗糖脂肪酸酯(SE-15)=5:9]时,稳定系数最大,乳化效果最好,较添加其它HLB值乳化剂的豆乳差异极显著($P<0.01$)。因此接下来考虑HLB值为11时,乳化剂浓度对稳定系数的影响。稳定系数随浓度先上升后下降,浓度为 $0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,稳定系数最大,较其它添加量差异极显著($P<0.01$)(图

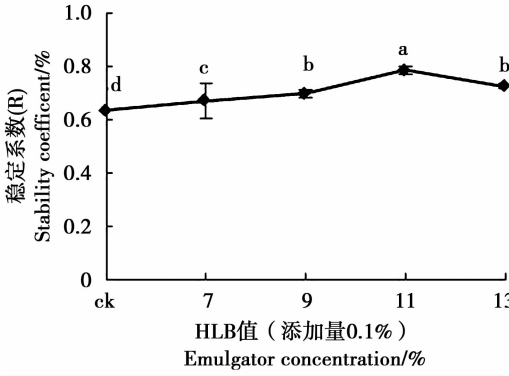


图5 不同HLB值的乳化剂对豆乳的乳化效果
Fig.5 Effect of different HLB values on emulsibility of sprouted soymilk

6)。这可能是由于乳化剂浓度为 $0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时已接近饱和,用量过大,形成的胶束增多且粒径减小,导致体表面积大量增大,这时,虽然乳化剂比较多,但是覆盖在粒子上的反而减少,所以机械稳定性下降。
2.3.4 稳定剂正交试验 在单因素试验的基础上,对复合磷酸盐、复合增稠剂、复合乳化剂进行稳定剂的正交试验(表6~表8)。

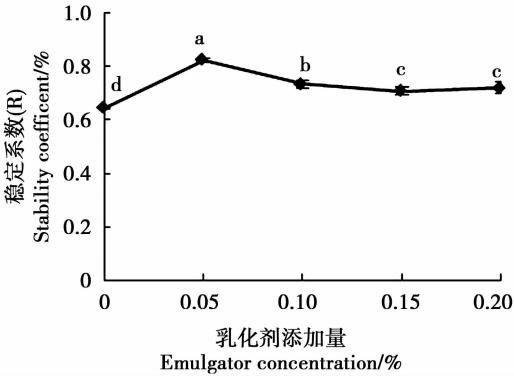


图6 乳化剂添加量对豆乳的乳化效果
Fig.6 Effect of different emulsifier concentration on emulsibility of sprouted soymilk

表6 稳定剂正交试验
Table 6 Comprehensive test[$L_{16}(4^3)$] of stabilizer

实验号 Test number	A 复合磷酸盐 Compound phosphate	B 复合增稠剂 Composite thickener	C 复合乳化剂 Composite emulsifier	SR/%	R
1	1	1	1	0.724	0.820
2	1	2	2	0.649	0.869
3	1	3	3	0.617	0.879
4	2	1	2	0.694	0.860
5	2	2	3	0.646	0.875
6	2	3	1	0.517	0.907
7	3	1	3	0.691	0.860
8	3	2	1	0.578	0.867
9	3	3	2	0.553	0.967

表7 SR值极差分析
Table 7 Range analysis of SR value

	A	B	C
k_1	0.663	0.703	0.606
k_2	0.619	0.624	0.632
k_3	0.607	0.562	0.651
极差 R	0.056	0.141	0.045
影响因素 Influence factor	B>A>C		
最优组合 Best combination	$B_3A_3C_1$		

表8 R值极差分析
Table 8 Range analysis of R value

	A	B	C
k_1	0.856	0.847	0.865
k_2	0.881	0.870	0.899
k_3	0.898	0.918	0.871
极差 R	0.042	0.071	0.034
影响因素 Influence factor	B>A>C		
最优组合 Best combination	$B_3A_3C_2$		

通过 SAS 9.1 进行 LS Mean 和 Duncan's multiple-range test 分析发现,影响离心沉淀率(SR)(值越低,稳定性越好)、乳化性稳定系数(R)(值越高,乳化性越好)的因素顺序均为:增稠剂(B)>磷酸盐(A)>乳化剂(C),且 3 种影响因素均达到了极显著水平($P<0.01$)。在试验范围内,以 SR 为指标的最佳组合为 $B_3A_3C_1$,以 R 为指标的最佳组合为 $B_3A_3C_2$,仅因素 C 的水平不同。虽然因素 C 的 C_1 和 C_2 水平对 SR 和 R 差异均显著,但因素 C 主要作用是改善豆乳乳化性,因此优先考虑 C 的水平对 R 值的影响,稳定剂最佳组合为 $B_3A_3C_2$,即复合磷酸盐、复合增稠剂、复合乳化剂浓度分别为 $0.75, 2$ 和 $0.8\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,此时,离心沉淀率为 0.553% ,稳定系数为 0.967 。

3 结 论

综合考虑豆腥味、青芽味、可溶糖、可溶蛋白、多肽和 GABA 含量随豆芽长度的变化,得到了制作富含 GABA 豆乳的适宜芽长是 $3\sim4\text{ cm}$,发芽时间为 $37\sim43\text{ h}$,GABA 含量是对照的 $6\sim8$ 倍,所制得的豆乳无豆腥味、青芽味;每升大豆原浆添加 30 g 白砂糖, 50 g 玉米浓浆, 0.75 g NaCl ,豆乳呈浅黄色,玉米香气明显,甜味适中,口感清爽。利用大豆芽制得的豆乳,pH 为 6.58 时较稳定;海藻酸钠与黄原胶最佳配比为 $2:3$;蔗糖脂肪酸酯(SE-15)和分子蒸馏复配 HLB 值为 11 时,乳化性最佳。正交试验显示:复合磷酸盐、复合增稠剂和复合乳化剂浓度分别为 $0.75, 2$ 和 $0.8\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时组成的复合稳定剂显著提高了豆乳稳定性。

参考文献

[1] 李运冉. 果汁豆奶饮料关键技术研究[D]. 无锡:江南大学, 2010. (Li Y R. Research on critical technology of fruit juice soymilk [D]. Wuxi:Jiangnan University, 2010.)

[2] 丁霄霖, 杜政. 利用萌发改善豆乳营养品质与风味的研究[J]. 中国粮油学报, 1988(1): 17-22. (Ding X L, Du Z. Research on quality and flavor improvement of soybean milk nutrition by germination[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1988(1): 17-22.)

[3] 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. (Liu Z Q, Wang S W, Jiang Y Y. The change and evaluation of bean grain nutrition before and after germination[J]. Agriculture Products Processing, 2004(11): 35-36.)

[4] Diana M, Quílez J, Rafecas M. Gamma-aminobutyric acid as a bioactive compound in foods: A review [J]. Journal of Functional Foods, 2014;407-420.

[5] 毛健, 马海乐. 大豆发芽富集 γ -氨基丁酸的工艺优化[J]. 食品科学, 2009(24): 227-231. (Mao J, Ma H L. Optimization of technological conditions on γ -aminobutyric acid accumulation in germinated soybean [J]. Journal of Food Science, 2009(24): 227-

231.)

[6] Hyun T K, Eom S H, Jeun Y C, et al. Identification of glutamate decarboxylases as a γ -aminobutyric acid (GABA) biosynthetic enzyme in soybean [J]. Industrial Crops and Products, 2013: 864-870.

[7] 郭元新, 杨润强, 陈惠, 等. 盐胁迫富集发芽大豆 γ -氨基丁酸的工艺优化[J]. 食品科学, 2012(10): 1-3. (Guo Y X, Yang R Q, Chen H, et al. Optimization of GABA accumulation process of germinated soybean under salt stress [J]. Journal of Food Science, 2012(10):1-3.)

[8] 苗颖, 马莺. 以大豆芽为原料制纯豆乳研究[J]. 粮食与油脂, 2002(11): 7-8. (Mao Y, Ma Y. Research on preparation of soymilk with germinated soybean [J]. Journal of Cereals & Oils, 2002(11): 7-8.)

[9] 饶青青, 余晓红, 唐军涛, 等. 大豆发芽过程中多肽富集条件优化[J]. 食品科学, 2011(23): 172-175. (Rao Q Q, Yu X H, Tang J T, et al. Optimization of polypeptide accumulation conditions during soybean germination [J]. Journal of Food Science, 2011(23): 172-175.)

[10] 王淑芳, 杨润强, 顾振新. 低氧胁迫下大豆发芽富集 γ -氨基丁酸品种筛选及培养条件优化[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 159-163. (Wang S F, Yang R Q, Gu Z X. Cultivar selection and culture condition optimization for γ -amino butyric acid (GABA) accumulation in germinating soybean under hypoxia stress [J]. Food Science, 2014, 35(21):159-163.)

[11] 张红印. 南瓜豆奶饮料的研制[J]. 食品工业科技, 2000(1): 44-46. (Zhang Y H. Development of pumpkin soymilk drink [J]. Journal of Food Industry Science and Technology, 2000(1): 44-46.)

[12] 朱伟光, 汪立平, 俞骏. 豆浆稳定性工艺优化的研究[J]. 大豆科学, 2009(5): 898-901. (Zhu W G, Wang L P, Yu J. Technology optimization for soybean milk stability [J]. Soybean Science, 2009(5): 898-901.)

[13] 汪瑾, 胡琼英. 生物化学与分子生物学实验[Z]. 北京:化学工业出版社, 2011: 31-38. (Wang J, Hu Q Y. Biochemistry and molecular biology experiments [Z]. Beijing:Chemical Industry Publisher, 2011: 31-38.)

[14] 赵甲慧. 发芽大豆成分变化对其加工性能的影响[D]. 南京:南京财经大学, 2012. (Zhao J H. Effect of ingredients changes of bean sprouts on processing properties [D]. Nanjing:Nanjing Finance and Economics University, 2012.)

[15] Bai Q, Chai M, Gu Z, et al. Effects of components in culture medium on glutamate decarboxylase activity and γ -aminobutyric acid accumulation in foxtail millet (*Setaria italica* L.) during germination [J]. Food Chemistry, 2009,116(1): 152-157.

[16] 赵建新, 范大明, 熊磊, 等. 豆浆品质综合评价体系的建立[J]. 大豆科技, 2014(2): 30-36. (Zhao J X, Fan D M, Xiong L, et al. Establishment of soymilk quality comprehensive evaluation system [J]. Soybean Science & Technology, 2014(2): 30-36.)

[17] 赵培城, 倪裕强. 豆奶的乳化与增稠[J]. 食品与发酵工业, 1993(1): 32-36. (Zhao P C, Ni Y Q. Emulsification and thickening of soymilk [J]. Food and Fermentation Industries, 1993(1): 32-36.)

[18] 李彦荣. 果汁豆奶的制备及其稳定性研究[D]. 无锡:江南大学, 2006. (Li Y R. Studies on the preparation of fruit juice soymilk and its stability [D]. Wuxi:Jiangnan University, 2006.)