

吴嘉琪,王 沛,王红霞,等. 富含  $\gamma$ -氨基丁酸谷芽豆乳生产技术研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):182-185.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.06.048

# 富含 $\gamma$ -氨基丁酸谷芽豆乳生产技术研究

吴嘉琪<sup>1</sup>, 王 沛<sup>2</sup>, 王红霞<sup>2</sup>, 顾振新<sup>2</sup>, 杨润强<sup>2</sup>

(1. 上海大学悉尼工商学院, 上海 201800; 2. 南京农业大学食品科技学院, 江苏南京 210095)

**摘要:**以富含 GABA 的发芽大豆和糙米为主要原料,制作功能性谷芽豆乳。在单因素试验和正交试验基础上确定了谷芽豆乳配方,并优化了豆乳的风味和稳定性。结果表明:当豆水比为 1 g : 7 mL、发芽糙米粉与发芽大豆比例为 1 g : 10 g、发芽糙米生粉与熟粉比例为 1 g : 1 g 时,谷芽豆乳中可溶性固形物含量较高,GABA 含量达到 18.56 mg/100 mL。当复合稳定剂添加量为 0.15% 时,豆乳稳定性最好;蔗糖和炼乳添加量分别为 5% 和 6% 时,豆乳风味最佳。发芽糙米粉的加入赋予了豆乳特殊的色泽与香味,蔗糖与炼乳的加入使豆乳口感爽滑,风味更佳。

**关键词:**GABA;发芽大豆;发芽糙米;豆乳;生产技术

**中图分类号:**TS201.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)06-0182-04

$\gamma$ -氨基丁酸(GABA)对人体的生理作用已被越来越多的消费者所认识,富含 GABA 的食品已成为研发的热点之一。稻米和大豆中谷氨酸脱羧酶(GAD)活力高,是生物合成与 GABA 富集的首选原料<sup>[1]</sup>。大豆中丰富的赖氨酸可弥补稻米等谷物中赖氨酸含量的不足,从而可平衡膳食中的氨基酸<sup>[2]</sup>。此外,大豆发芽后其内源酶被激活,蛋白质等贮藏性物质水解,活性多肽、氨基酸和异黄酮等物质含量增加,并使胰蛋白酶抑制剂、单宁酸、植酸和红血球凝集素等抗营养因子含量减少,同时有利于豆腥味的脱除<sup>[3-4]</sup>。与精白米相比,发芽糙米含有丰富的 GABA、谷胱甘肽、谷维素和活性多糖等功能成分<sup>[5]</sup>。将发芽大豆和发芽糙米混合,制成的谷芽豆乳不仅营养丰富、质感厚实,而且可降低豆乳的豆腥味,此类研究报道较少。

稻米和大豆原料来源广泛,将其开发成富含 GABA 的食品可增加附加值。本研究以富含 GABA 的发芽大豆和糙米为主要原料,研究了谷芽豆乳料液比、发芽糙米粉与发芽大豆比例、发芽糙米熟粉与生粉比例、风味物质与稳定剂添加量,旨在为工业化生产富含 GABA 的谷芽豆乳提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

糙米(品种:武运梗 23 号):产自江苏省南京市溧水区;大豆(天娇牌):购自黑龙江省海伦市天娇农场;白砂糖、炼乳(雀巢鹰唛)、白芝麻(炒熟)均为市售。

### 1.2 主要试剂

柠檬酸-柠檬酸钠缓冲液(pH 值 4.5~5.0)、豆奶专用复配稳定剂(由苏州金记食品有限公司提供)。

收稿日期:2016-12-20

基金项目:江苏省科技支撑计划(编号:BE2013430)。

作者简介:吴嘉琪(1993—),女,江苏常州人,硕士,主要从事农产品质量安全与贸易研究。E-mail: lingduxuanxiao@ hotmail.com。

通信作者:杨润强,博士,副教授,主要从事功能性农产食品加工研究。E-mail: yangrq@ njau.edu.cn。

### 1.3 主要仪器设备

隔水电热恒温培养箱(PYX-DHS-BS,上海跃进医疗器械厂);循环水式真空泵[SHZ-D(Ⅲ),巩义市英峪子华仪器厂];搅拌机(HR2024,飞利浦电子公司);高速研磨机(A11basic,德国 IKA 公司);胶体磨(DJM-50L,上海东华高压均质机厂);离心机(TDL-40B,上海安亭科学仪器厂)。

### 1.4 豆乳制作工艺

1.4.1 原料处理 (1)大豆处理方法:以柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液(10 mmol/L)作为浸泡液和培养液,在 30℃ 浸泡 6 h 后,以通气量为 1.0 L/min 在 30℃ 下对大豆通气发芽。发芽期间,每隔 12 h 更换 1 次培养液,发芽至大豆芽长为 5 mm 后,置于-18℃ 下冷冻 12 h,然后在 25℃ 回温 6 h,以清水浸泡、非低氧条件发芽的大豆为对照。(2)糙米处理方法:糙米经筛选除杂后,以去离子水作为浸泡液和培养液。30℃ 浸泡 6 h 后,以通气量为 1.2 L/min 在 32℃ 下进行通气发芽 48 h。发芽期间,每隔 12 h 更换 1 次培养液<sup>[7-8]</sup>。干燥的发芽糙米经焙炒至焦香、金黄色泽,然后磨粉、过筛(80 目),待用;未焙炒的发芽糙米磨粉,方法同上。(3)芝麻处理方法:剔除芝麻中的杂质后,焙炒、打粉,待用。

1.4.2 工艺流程 发芽大豆→清洗→热水磨浆→胶体磨均质→煮浆→筛浆

↓

发芽糙米粉(熟粉+生粉)、芝麻粉(焙炒)、蔗糖→加沸水调浆→杀菌→冷却→无菌灌装。

### 1.5 试验方法

1.5.1 单因素试验 设置发芽大豆:水为 1 g : (6~9) mL、发芽糙米粉:发芽大豆为 1 g : (5~30) g、发芽糙米熟粉:生粉为(1~3) g : 1 g,分别研究其对谷芽豆乳感官品质的影响。

1.5.2 配方优化试验 在单因素试验的基础上,以发芽大豆:水、发芽糙米粉:发芽大豆、发芽糙米熟粉:生粉为考察因素,采用表 1 感官评分方法,进行  $L_9(3^4)$  正交试验。

1.5.3 风味优化试验 在原味谷芽豆乳中添加蔗糖和炼乳,进行豆乳风味优化试验,确定蔗糖和炼乳的最佳添加量。

1.5.4 稳定性试验 使用市售的复配乳化稳定剂,以静置贮藏时间和离心沉淀率来考察稳定剂对豆乳体系的稳定效果。

1.6 测定指标与方法

1.6.1 大豆芽长 随机选取 30 粒发芽大豆,用游标卡尺测定其芽长,取平均值。

1.6.2 大豆吸水率 待大豆芽长至 5 mm 后,终止发芽。取

出清洗干净、滤干明水后,比较大豆发芽前后质量变化,计算吸水率。

1.6.3 感官评定 感官评定参照 QB/T 2132—1995《植物蛋白饮料 豆乳和豆乳饮料》,并略作修改。对豆乳的香气(XQ)、色泽(SZ)、口感(KG)、稠度(CD)进行评分,评分标准见表 1。

表 1 感官评定规则

评分值	香气(XQ)	色泽(SZ)	口感(KG)	稠度(CD)
0~50 分	无香气,豆腥味等不良气味明显	棕色	粗糙、有渣	偏稠/偏稀
51~70 分	香气不浓,但是无不良气味	深褐色	较粗糙、无渣	略稠/略稀
71~100 分	香气浓郁	浅褐色、乳色	细腻、无渣	稠度刚好

注:采用 10 人品尝法,综合得分是 XQ、SZ、KG 和 CD 的分值乘以权重得到:综合得分 = XQ × 20% + SZ × 5% + KG × 60% + CD × 15%。

1.6.4 稳定性 稳定剂加入豆乳体系中,4 ℃贮藏后,观察分层现象。准确量取 10 mL 豆乳样品,加入带有刻度的离心管中,然后在 3 500 r/min 下离心 20 min,弃去上部溶液,准确称取沉淀质量,计算离心沉淀率。

1.6.5 理化指标测定 可溶性蛋白含量:采用考马斯亮蓝 G-250 染色法<sup>[9]</sup>测定;游离氨基酸含量:采用茚三酮溶液显色法<sup>[9]</sup>测定;总糖含量:采用苯酚-硫酸法<sup>[9]</sup>测定;还原糖含量:采用 3,5-二硝基水杨酸法<sup>[9]</sup>测定;可溶性固形物含量:用阿贝折光仪测定;pH 值:用 pH 值计测定;GABA 含量:采用高效液相色谱法测定,色谱柱为 Agilent SB-C<sub>18</sub>(3.5 μm),4.6 mm × 150 mm,条件参照 Bai 等的方法<sup>[10]</sup>;GAD 活性:参照 Li 的方法<sup>[11]</sup>测定。

1.5.6 卫生指标测定 菌落总数、大肠菌群计数、酵母菌和霉菌计数、沙门氏菌计数、金黄色葡萄球菌计数的测定参照 GB 4789—2010。

2 结果与分析

2.1 大豆原料中主要活性物质含量

由图 1 可见,大豆芽长至 5 mm 所需时间为 22 h。本研究中,大豆平均吸水率为 2.54 倍。报道指出一般大豆的吸水率为 2.2~2.5 倍<sup>[4]</sup>,因此该参数对后续试验有指导意义。

谷氨酸(Glu)作为 GAD 的底物,在适宜条件下被催化生成 GABA;据报道,GAD 的最适 pH 值为 5.8<sup>[1]</sup>。由表 2 可见,柠檬酸缓冲液中发芽的大豆,其 GAD 活性显著高于清水发芽

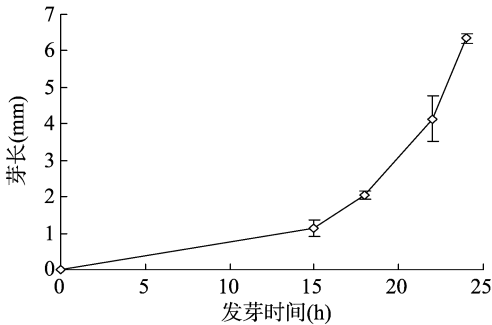


图 1 大豆低氧通气发芽过程中芽长变化

表 2 大豆原料中主要活性物质含量

组别	Glu (μg/g)	GAD (U/g,FW)	GABA (μg/g)
未发芽大豆	312.72 ± 0.32	4.18 ± 0.06	19.76 ± 0.25
清水处理	190.66 ± 0.16	5.78 ± 0.03	132.17 ± 0.18
缓冲液处理	351.33 ± 0.28	15.36 ± 0.07	292.89 ± 0.06

和未发芽大豆。此条件下原料中 GABA 产生量也最高。

综上,大豆发芽工艺参数确定为:发芽温度为 30 ℃、培养液 pH 值 5.0~5.5、通气量 1.0 L/min、发芽时间 22 h。

2.2 豆水比对豆乳感官品质的影响

由表 3 可知,发芽大豆匀浆时的豆水比影响豆乳的香气、色泽、口感和稠度,感官评定总分最高时的豆水比为 1 g : 6 mL。

表 3 不同豆水比下豆乳感官品质变化

豆水比 (g : mL)	评分(分)				
	香气	色泽	口感	稠度	综合得分
1 : 6	90.6 ± 2.6	89.0 ± 5.5	87.4 ± 4.9	91.0 ± 2.2	88.7 ± 2.5
1 : 7	85.4 ± 6.0	88.4 ± 4.8	92.2 ± 2.8	78.6 ± 17.2	88.6 ± 2.0
1 : 8	83.0 ± 13.0	90.4 ± 3.9	84.4 ± 9.3	82.0 ± 11.5	84.1 ± 5.6
1 : 9	85.0 ± 6.1	88.6 ± 5.0	79.6 ± 12.8	70.0 ± 20.0	79.7 ± 3.0

2.3 发芽糙米粉与发芽大豆比例对豆乳品质的影响

试验结果(表 4)显示,发芽糙米粉与发芽大豆的添加比例影响豆乳的香气、色泽、口感、稠度,感官评定总分最高时的发芽糙米粉与发芽大豆比值为 1 g : 20 g。

2.4 发芽糙米熟粉与生粉比例对豆乳感官品质的影响

由表 5 可知,发芽糙米熟粉:生粉比例影响豆乳的香气、色泽、口感和稠度,感官评定总分最高时的发芽糙米熟粉:生粉为 3 g : 2 g。

2.5 配方优化试验结果分析

在单因素试验的基础上,以豆水比、发芽糙米粉:发芽大豆、发芽糙米熟粉:生粉的比例为考察因子,以表 1 感官评分值为指标,进行 3 因素 3 水平正交试验,优化谷芽豆乳配方,结果见表 6。

由表 6 可见,极差分析表明豆水比、发芽糙米粉:发芽大豆和发芽糙米间熟粉:生粉 3 因素对富含 GABA 的谷芽豆乳的感官评分影响顺序为豆水比 > 糙米粉:发芽大豆 > 糙米熟

表 4 不同发芽糙米粉与发芽大豆添加量下豆乳感官品质变化

糙米粉：大豆 (g：g)	评分(分)				
	香气	色泽	口感	稠度	综合得分
1：5	89.8±6.4	73.4±10.1	85.2±10.1	78.6±13.0	84.5±9.8
1：10	80.6±12.1	87.8±5.4	86.8±6.4	85.4±10.3	85.4±8.1
1：20	81.2±6.0	91.8±4.3	89.0±5.2	78.0±13.1	85.9±6.5
1：30	76.2±5.0	92.8±2.6	82.0±13.1	76.6±13.5	80.6±11.0

表 5 不同发芽糙米粉与生粉比例下豆乳感官品质变化

熟粉：生粉 (g：g)	评分(分)				
	香气	色泽	口感	稠度	综合得分
1：1	65.6±14.4	83.0±4.5	83.8±10.1	80.0±14.1	79.6±11.3
2：1	74.6±12.5	84.4±6.1	84.6±8.8	80.4±8.6	82.0±9.4
3：2	87.6±4.3	85.0±10.0	92.2±3.0	81.4±8.0	89.3±4.4
3：1	82.4±7.8	87.0±4.5	86.0±5.4	83.2±9.9	84.9±6.5

表 6 正交试验结果

试验号	A:豆水比 (g：mL)	B:糙米粉：大豆 (g：g)	C:熟粉：生粉 (g：g)	感官评分 分值 (分)
1	1：6	1：10	2：1	80.8
2	1：6	1：20	3：2	82.2
3	1：6	1：30	1：1	81.0
4	1：7	1：10	3：2	85.5
5	1：7	1：20	1：1	84.3
6	1：7	1：30	2：1	86.9
7	1：8	1：10	1：1	87.7
8	1：8	1：20	2：1	81.4
9	1：8	1：30	3：2	80.7
k <sub>1</sub>	81.4	84.7	83.1	
k <sub>2</sub>	85.6	82.6	82.8	
k <sub>3</sub>	83.3	82.9	84.3	
R	4.2	2.1	1.5	

粉：生粉,得到谷芽豆乳最佳配方为:豆水比为 1 g：7 mL、发芽糙米粉：发芽大豆比为 1 g：10 g、发芽糙米粉：生粉比为 1 g：1 g。

在正交试验设计的各因素范围内,随机选择 1 组试验组合(豆水比 1 g：8 mL、糙米粉：大豆 1 g：10 g、熟粉：生粉 1 g：1 g),对最佳组合进行验证试验,结果见表 7。由表 7 可知,谷芽豆乳最佳组合感官评定值(包括香气、色泽、口感、稠度值)高于随机组合,并且最佳组合的可溶性固形物含量也高于随机组合,证明了试验结果是可靠的。

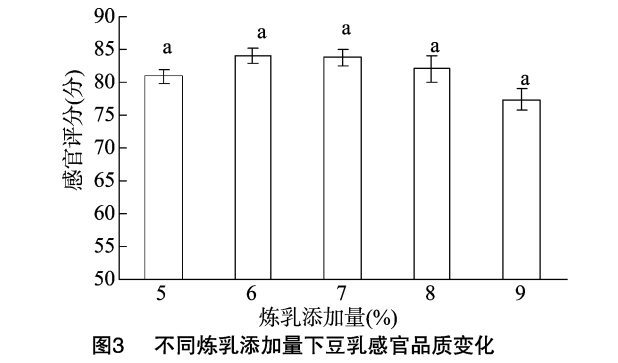
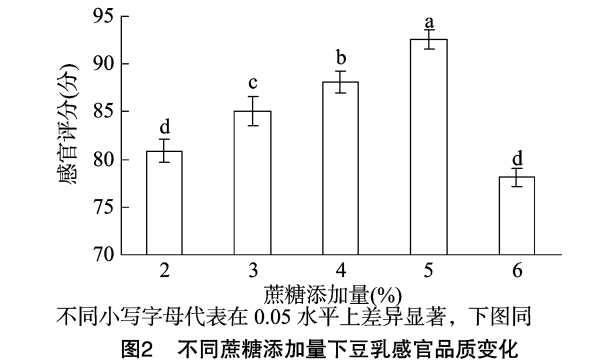
2.6 蔗糖和炼乳添加量对谷芽豆乳感官品质的影响

由图 2 可见,谷芽豆乳中蔗糖添加量在 2%~5% 内,随着添加量的增加,感官评分值增加;蔗糖添加量超过 5% 时,感官评分值明显下降。所以谷芽豆乳的最优蔗糖添加量为 5%。

炼乳的添加使豆乳口感更加爽滑细腻,且其特有的乳香味可使豆乳的香气更加浓郁,同时掩盖豆乳残余的豆腥味。

表 7 验证性试验结果

试验组合	评分(分)					可溶性固形物 含量(%)
	香气	色泽	口感	稠度	综合得分	
随机组合	91.0±1.2	90.5±4.2	88.0±5.6	87.3±5.0	88.6±4.5	10.2
最佳组合	94.3±3.0	93.0±2.2	94.0±2.7	93.8±2.5	94.0±2.7	12.0



由图 3 可见,谷芽豆乳中炼乳添加量为 5%~9% 时,感官评分值呈先增后降的趋势,最高感官评分值出现在炼乳添加量 6%~7%,超过 8% 后,谷芽豆乳风味的可接受程度下降。

2.7 稳定剂添加量对豆乳品质的影响

稳定剂添加量在 0.10%~0.30% 范围内,豆乳在 4℃ 条

件下贮藏 7 d 后均没有出现分层现象。由图 4 可见,稳定剂添加量在 0.10%~0.15% 范围内,离心沉淀率最低,稳定剂添加量超过 0.15% 后,谷芽豆乳的离心沉淀率增加。

2.8 豆乳产品质量

富含 GABA 的谷芽豆乳产品质量指标包括感官指标、理

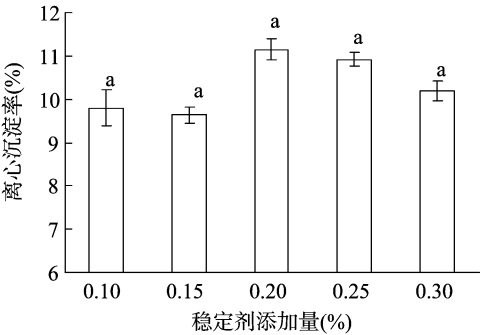


图4 不同稳定剂添加量下豆乳感官品质变化

化指标和卫生指标。

2.8.1 感官指标 色泽:色泽均一,呈乳白色;香气及滋味:具有糙米香味与豆香味,口感细腻;组织状态:均匀稳定、稠度适中、无沉淀,无杂质。

2.8.2 理化指标 豆乳理化指标详见表 8。

2.8.3 卫生指标 菌落总数(CFU/mL) < 10;大肠菌群(MPN/100 mL) < 3;霉菌(CFU/mL) < 10;酵母(CFU/mL) < 10;沙门氏菌和金黄色葡萄球菌均未检出。

3 讨论

传统豆乳生产过程中通过对大豆原料进行适当的热处理

表 8 豆乳理化指标

产品	GABA (mg/100 mL)	可溶性固形物 (%)	pH 值	可溶性总蛋白 (mg/mL)	游离氨基酸 (mg/mL)	还原糖 (mg/mL)	总糖 (mg/mL)
豆乳	18.56 ± 0.74	13.2 ± 0.6	6.56	10.66 ± 1.32	30.97 ± 0.42	19.22 ± 2.04	38.14 ± 0.06

来降低豆乳产品的豆腥味。刘志强等利用禾本科植物种芽中的醛脱氢酶使豆乳中腥味物质转变为酸,以此脱除大豆乳液的豆腥味<sup>[12]</sup>。本研究中由于发芽糙米的加入,不仅使富含 GABA 的谷芽豆乳必需氨基酸种类得以互补,营养更加完全,同时焙炒后的发芽糙米呈焦香味,使得谷芽豆乳具有愉悦的米香味,且豆腥味不明显。余南静对低氧胁迫发芽 24 h 大豆经 -18 ℃ 冻结、6 h 回温进行了研究,结果表明 GABA 含量积累效果极显著,比未经低温胁迫的大豆高 10 倍<sup>[13]</sup>;本研究中,通过 1.0 L/min 低氧通气 22.5 h、-18 ℃ 冷冻 12 h、回温 6 h 处理大豆,在保证芽豆中氨基酸、还原糖等营养物质不损耗的前提下,从而制得富含 GABA 的谷芽豆乳。

本研究谷芽豆乳制作工艺不同于传统的豆乳工艺,本研究采用浆渣共熟化技术,即先煮浆,再进行浆渣分离,不仅提高了豆乳出品率,增加豆乳中营养成分,还使豆乳口味得以改善,豆腥味和涩味均明显降低<sup>[14]</sup>。稳定剂多数是亲水胶体,可在胶体体系中以高分子无规线团结构的形式吸附在胶体颗粒表面,并通过黏度的改变或在含水的分散介质中的凝胶作用,赋予食品胶体一定空间稳定性与时间稳定性<sup>[15]</sup>。本工艺采用市售豆乳专用复配稳定剂,其添加量为 0.15% 时豆乳最稳定。

4 结论

富含 GABA 谷芽豆乳的最佳料液比为 1 g : 7 mL、发芽糙米粉与发芽大豆比为 1 g : 10 g、发芽糙米粉中熟米粉与生米粉比为 1 g : 1 g、稳定剂添加量为 0.15%、蔗糖添加量 5%,炼乳添加量 6%。以此配方生产的谷芽豆乳在 4 ℃ 放置 10 d 未见浑浊与沉淀等现象,产品口感好,GABA 含量达到 18.56 mg/100 mL。

参考文献:

[1] 蒋振晖,顾振新. 高等植物体内  $\gamma$ -氨基丁酸合成、代谢及其生理作用[J]. 植物生理学通讯,2003(3):249-254.

[2] 郝涤非. 大豆营养因子及其在食品加工中的应用[J]. 生物学教

学,2008(11):2-4.

[3] 廖明星,顾振新,麻浩,等. 发芽大豆的营养价值及其复合乳生产技术[J]. 食品与发酵工业,2003(8):36-39.

[4] 郭 鸽,霍贵成,贾振宝,等. 大豆发芽过程中抗营养因子的变化[J]. 食品与发酵工业,2008(3):20-24.

[5] 周惠明,张民平. 糙米中功能性成分的研究[J]. 食品科技,2002(5):17-19

[6] 黄迪芳. 糙米萌发工艺及发芽糙米功能饮料的研究[D]. 无锡:江南大学 2005.

[7] 王玉萍,韩永斌,蒋振辉,等. 培养温度对发芽糙米生理活性及 GABA 等主要物质含量的影响[J]. 中国粮油学报,2006,26(3):19-22.

[8] 蒋振晖.  $\text{Ca}^{2+}$  和通气处理对糙米发芽过程中主要物质变化的影响及  $\gamma$ -氨基丁酸富集技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2003.

[9] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[10] Bai Q, Fan G, Gu Z, et al. Effects of culture conditions on  $\gamma$ -aminobutyric acid accumulation during germination of foxtail millet (*Setaria italica* L.) [J]. European Food Research and Technology, 2008,228(2):169-175.

[11] Li Y, Bai Q, Jin X, et al. Effects of cultivar and culture conditions on  $\gamma$ -aminobutyric acid accumulation in germinated fava beans (*Vicia faba* L.) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,2009,90(1):52-57.

[12] 刘志强,王珍辉. 酶法脱除大豆乳腥味因子研究[J]. 食品工业科技,2003,24(5):17-18.

[13] 余南静. 大豆籽粒中  $\gamma$ -氨基丁酸富集技术及其胚芽豆乳开发研究[D]. 南京:南京农业大学,2012.

[14] 甘 晶,于寒松,朴春红,等. 浆渣共熟化技术与传统技术生产豆浆营养成分的比较分析[J]. 农业机械,2012(18):103-105.

[15] Buffo R A, Reineccius G A, Oehlert G W. Influence of time-temperature treatments on the emulsifying properties of gum acacia in beverage emulsions[J]. Journal of Food Engineering,2002,51(4):341-345.