

# 豆浆稳定性工艺优化的研究

朱伟光,汪立平,俞 骏

(上海海洋大学 食品学院,上海 201306)

**摘要:**豆浆作为营养健康的食品受广大人群的欢迎,但是放置过久后会出现分层现象,影响豆浆的质量和销售。分别对影响稳定性高低的均质压力、添加乳化剂、稳定剂和低价盐进行单因素试验,并用正交设计实验来确定最佳工艺提高稳定性。结果表明:当均质条件是 15 Mpa,CMCNa 添加量为 0.05%,单甘酯添加量为 0.1%,NaCl 添加量为 0.025% 时,复配后的豆浆稳定系数可以达到 0.784,可以在 4℃ 放置 1 个月不分层。

**关键词:**豆浆;稳定性;正交设计

中图分类号:TS214.2

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2009)05-0898-04

## Technology Optimization For Soybean Milk Stability

ZHU Wei-guang, WANG Li-ping, YU Jun

(Food College of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** As a nutritional healthy food, soybean milk is welcomed by the majority. However, there will be stratification of soybean milk by over-preservation, sequentially affecting its quality and sales. In this article, a series of single factor experiments were carried out upon the process homogenization pressure and the addition level of emulsifier, stabilizer and proto-salt. Moreover, an orthogonal design experiment was conducted to determine the best technology for the stability improvement. Results showed when the homogenizing pressure was 15Mpa, the addition level of CMC-Na was 0.05%, monoglycerides was 0.1%, and of NaCl was 0.025%, the stability coefficient of the re-confected soybean milk could reach 0.784, of which the delamination could be avoided under 4℃ for 1 month.

**Key words:** Soybean milk; Stability; Orthogonal design experimental

豆浆是中华民族的传统食品,以大豆为主要原料,富含易被人体吸收的不饱和脂肪酸以及主要维生素和矿物质盐,且不含胆固醇,深受大众喜爱,近年来得到极快的发展。在豆浆的生产过程中,关键的技术问题之一是保持溶液体系的稳定性<sup>[1]</sup>,从工艺条件,乳化剂和稳定剂的添加量入手,对影响豆浆稳定性的因素进行单因素和正交试验,优化生产参数,从而提高豆浆的稳定性,为生产厂家解决产品分层的技术问题提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

大豆:市售新鲜干净、颗粒饱满、无虫蛀的黄豆;羧甲基纤维素钠(CMCNa),市售;分子蒸馏单甘酯,广州番禺新宝食品添加剂有限公司;NaCl(分析纯),浙江三鹰化学试剂有限公司;水:去离子蒸馏水。

### 1.2 设备

SL-380 型搅拌机上海国生实业有限公司;PL202-L 电子天平梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;电热鼓风干燥箱,重庆银河试验仪器有限公司;HWS24 型电热恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司;HQ-60-II 型旋涡混合器,北方同正;WFZ UV-2000 型紫外可见分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司;TGL-16C 台式离心机,上海安亭科学仪器厂;双头磁力加热搅拌器,金坛市顺华仪器有限公司;GYB 60-6S 型高压均质器,上海东华高压均质器厂;KJELTEC 2300 全自动凯氏定氮仪,美国 FOSS 公司。

### 1.3 豆浆制备

大豆→选豆→去杂→按比例加水→磨浆→煮沸 3 次→100 目过滤→加添加剂(NaCl、乳化剂、稳定剂)→均质<sup>[2]</sup>。

收稿日期:2009-06-09

作者简介:朱伟光(1984-),男,在读硕士,研究方向为食品科学与工程。E-mail:z.designer@163.com。

通讯作者:汪立平,副教授,硕士生导师。E-mail:lpwang@shou.edu.cn。

1.4 稳定性测定方法

豆浆样液用蒸馏水稀释 40 倍,用离心机 4 000 r·min<sup>-1</sup>离心 5 min,用分光光度计在 785 nm 波长下测定样品离心前后的吸光度 A,用下式计算豆乳稳定性<sup>[3]</sup>。

$$R = A_{\text{后}} / A_{\text{前}}$$

R—稳定性系数,A 后—离心后的吸光度,A 前—离心前的吸光度, $R \leq 1.00$ ,R 值越大表明豆浆体系越稳定。

1.5 工艺参数的单因素优化试验

1.5.1 豆浆浓度对稳定性的影响 大豆:水的浓度分别按 1:12,1:14 和 1:16,按 2.1 制得豆浆,测定其稳定性。

1.5.2 NaCl 浓度对稳定性的影响 按豆浆体积的 0.05%、0.1%、0.3%、0.5%、0.7% 分别称取 NaCl 的量,在豆浆煮沸 3 次后加入。待完全溶解后测定其稳定性。

1.5.3 CMC-Na 浓度对稳定性的影响 按豆浆体积的 0.025%、0.05%、0.075%、0.1%、0.2%、0.3% 称取 CMC-Na,在 70℃ 磁力搅拌器的作用下缓慢加入,待完全溶解测定其稳定性。

1.5.4 单甘酯浓度对稳定性的影响 按豆浆体积的 0.05%、0.1%、0.2%、0.3% 称取单甘酯,在 70℃ 磁力搅拌器的作用下缓慢加入,待完全溶解测定其稳定性。

1.5.5 均质压力对稳定性的影响 分别在 15 Mpa,20 Mpa 和 25 Mpa 的情况下进行高压均质,制得样品进行稳定性测定<sup>[4]</sup>。

1.6 工艺参数的正交优化试验

根据单因素试验结果确定影响因素,并选取合适的因素水平设计正交实验方案。

1.7 蛋白质的测定

参照凯氏定氮法 GB5009.5-1996<sup>[2]</sup>和《生物化学实验》<sup>[5]</sup>中的考马斯亮蓝法。

2 结果与讨论

2.1 工艺参数的单因素优化试验

2.1.1 浓度对豆浆稳定性的影响 原料大豆的蛋白质含量对豆浆的营养影响很大,经凯氏定氮测定,大豆蛋白质浓度为 11.88 g·100 g<sup>-1</sup>豆浆的浓度直接影响稳定性的高低,豆浆的浓度越低,稳定性越好<sup>[6]</sup>;但豆浆的浓度也直接影响蛋白质含量高低,

浓度过低,蛋白质含量达不到 GB16322-2003 的豆乳蛋白质含量 $\geq 0.5 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ 。选用 3 个不同浓度的豆浆,分别测定蛋白质含量和稳定性系数。

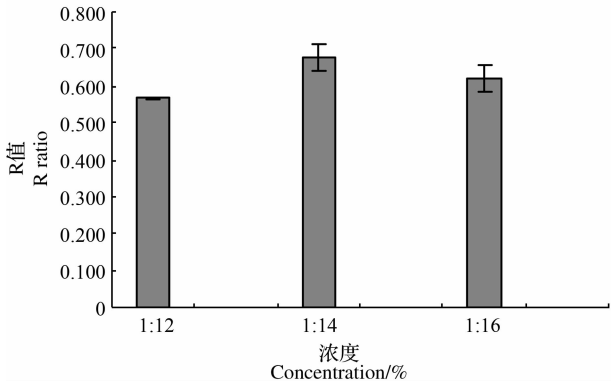


图 1 不同浓度的豆浆稳定性比较

Fig. 1 Stability of different concentrations of soybean milk

综合考虑稳定性系数大小和测定的总蛋白质含量可知,豆浆在 1:14 的情况下稳定性最好,稳定系数为 0.676。

2.1.2 NaCl 对豆浆稳定性影响 电解质可以对豆浆稳定性有双重影响,当盐浓度小时,有助于蛋白质粒子带电形成  $\xi$  电位<sup>[7]</sup>(蛋白质胶体在非等点状态下因同性电荷形成的电位),使蛋白质粒子间因同性电荷的斥力而不易聚结,对豆浆起稳定作用;当盐浓度持续增大,使豆浆体系的电解质浓度变大而使  $\xi$  电位下降,引起蛋白质聚沉。电解质使蛋白质发生沉淀起主要作用的是带相反电荷的离子,称为反离子。反离子价数越高,其聚沉能力越大,钠、钾离子盐能促进大豆蛋白质的溶解,而钙、镁、锌等多价离子却引起大豆蛋白沉淀。在试验中添加对人体健康的不同浓度 NaCl 进行稳定性试验<sup>[4,8]</sup>。

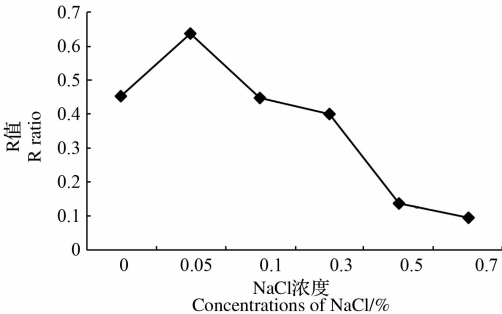


图 2 不同浓度 NaCl 对豆浆稳定性影响

Fig. 2 Different concentrations of NaCl on the stability of soybean milk

从图 2 可知,在 NaCl 添加量为 0.05% 时,其稳定系数可以达到 0.637。但其浓度也不能过大,否

则引起蛋白质的聚沉,稳定性反而变差。

2.1.1.3 CMC-Na 对豆浆稳定性影响 CMCNa 具有稳定乳化液的作用,且可提高豆浆水相的粘度,减缓颗粒的沉降速度。在植物蛋白饮料里添加稳定剂,是为了提高饮料的粘度,防止蛋白质粒子因重力作用而沉淀;另外,CMCNa 是一种亲水性的高分子化合物,可形成保护胶体,防止聚集沉淀<sup>[9]</sup>。选取不同添加量的 CMCNa 来观察其稳定系数大小。

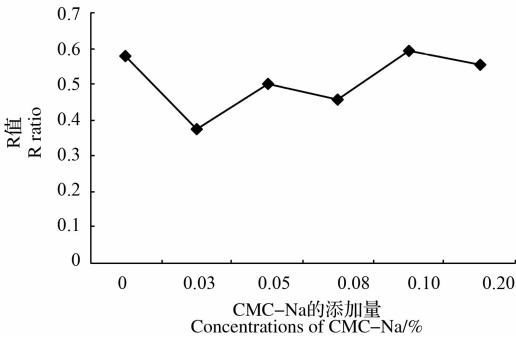


图3 不同浓度 CMC-Na 对豆浆稳定性影响

Fig.3 CMC-Na different concentrations of soybean milk Stability

由图3可知,当 CMC-Na 的添加量为 0.1% 时,豆浆的稳定性最好达到 0.591。但是 CMC-Na 添加过量后豆浆有分层现象,而且上层液体呈黄色透明状。

2.1.1.4 单甘酯对豆浆稳定性影响 单甘脂由于既包含亲油基团又包含亲水基团,在豆浆体系中会按其分子内极性发生定向排列,从而能降低油水的界面张力,并且可以形成提高脂肪颗粒的扩散性、阻止或减缓脂肪分离和使液滴在相互碰撞中不易聚结的界面膜,从而防止脂肪上浮,达到稳定的效果<sup>[10]</sup>。

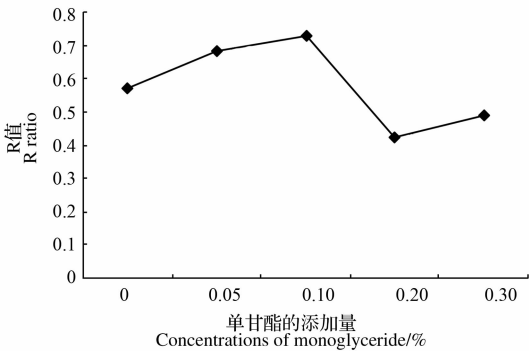


图4 不同浓度单甘酯对豆浆稳定性影响

Fig.4 Different concentrations of monoglycerides impact on the stability of soybean milk

选取不同浓度的单甘脂进行稳定性试验。由图4可知,当单甘酯的添加量为 0.1% 时,豆浆的稳定性最好达到 0.728。但单甘酯添加过量后豆浆有分层现象,而且上层液体呈乳白色浑浊状。

2.1.1.5 均质压力对豆浆稳定性影响 均质可以将分散相(对豆浆来说就是蛋白质、脂肪等固形物)细粒化,可以减小豆浆蛋白粒子的粒度,减缓沉降速度,保持体系稳定性;而且均质可以缩小两液间的比重差,提高乳化剂和稳定剂的效果,保持由乳化剂、脂肪、蛋白质等形成的乳状液的稳定性<sup>[11]</sup>。另外高压均质,也具有一定的杀菌效果<sup>[7]</sup>。试验在 60℃ 下进行不同条件的二次均质来观察稳定系数大小。

均质压力的最佳值是 20 MPa,60℃ 下两次均质,豆浆稳定系数达到 0.777(图5)。压力过大,稳定性反而下降。这可能是压力过大导致豆浆体系温度过高,引起热变性沉淀析出<sup>[12-13]</sup>。

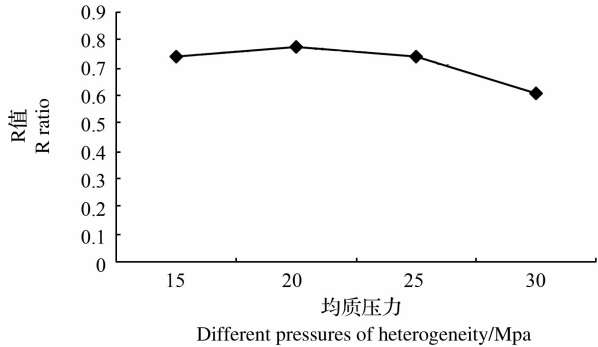


图5 不同的均质压力对豆浆稳定性影响

Fig.5 Heterogeneity of the different pressure stability of soybean milk

2.2 工艺参数的正交优化试验

结果显示,豆浆浓度、NaCl、CMC-Na、单甘脂和高压均质都影响着豆浆的稳定性,稳定剂的添加可以增加体系的粘度,减缓蛋白质和纤维素颗粒的沉淀速率。在选用 1:14 浓度的情况下,通过正交试验来考察高压均质、CMC-Na、单甘脂和 NaCl 四者协同作用对豆浆稳定性的影响。正交试验极差分析结果见表1,方差分析结果见表2。

由表1可知,4个因素对豆浆稳定性的影响强度大小为:均质(MPa) > NaCl% > 单甘酯% > CMC-Na%。优选配比为 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>,在此条件下,豆浆的稳定性系数可以达到 0.784,可以在保质期内 4℃ 下放置 1 个月不分层<sup>[14]</sup>。由表2可知,高压均质对豆浆稳定性有显著性影响。

表1 豆浆稳定性因素正交试验极差分析表

Table 1 Orthogonal design range analysis for the stablity conditions of soybean milk					
试验号	A 均质压力	B	C 单甘酯	D	R 值
Test numbers	Pressures of Heterogeneity/Mpa	CMC – Na/%	Monoglyceride/%	NaCl/%	R ratio
1	15	0.05	0.05	0.025	0.627
2	15	0.10	0.10	0.05	0.559
3	15	0.15	0.15	0.075	0.501
4	20	0.05	0.10	0.075	0.386
5	20	0.10	0.15	0.025	0.377
6	20	0.15	0.05	0.05	0.402
7	25	0.05	0.15	0.05	0.363
8	25	0.10	0.05	0.075	0.339
9	25	0.15	0.10	0.025	0.426
k1	0.562	0.459	0.456	0.477	
k2	0.388	0.425	0.457	0.441	
k3	0.376	0.443	0.414	0.409	
R	0.186	0.034	0.043	0.068	

表2 豆浆稳定性条件正交试验方差分析  
Table 2 Orthogonal design variance analysis for the stablity of soybean milk conditions

因素	偏差平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性
Factors	Square of deviance	Freedom	Ratio of F	Critical value of F	Significant
均质					
Heterogeneity	0.065	2	32.500	19.000	*
CMC-Na	0.002	2	1.000	19.000	
单甘脂	0.004	2	2.000	19.000	
Monoglyceride					
NaCl	0.007	2	3.500	19.000	
误差 Error	0	2			

结果表明,豆浆的最佳稳定工艺条件为:60℃高压均质 15Mpa 2 次,CMCNa 添加量为 0.05%,单甘酯添加量为 0.1%,NaCl 添加量为 0.025%。

2.3 蛋白质的测定

最优组合经凯斯定氮测得的总蛋白质含量为(1.3444 ± 0.0089)g·100 mL<sup>-1</sup>,符合植物蛋白饮料卫生标准 GB16322- 2003 的豆乳蛋白质含量 ≥0.5 g·100 mL<sup>-1</sup>。可溶性蛋白在总蛋白的比值越高,被人体吸收利用率就越高,经考马斯亮蓝法测得的可溶性蛋白质为(0.6240 g ± 0.020)g·100 mL<sup>-1</sup>,可溶性蛋白比例为 46.4%,符合人体吸收需要。

3 结论

高压均质可以使豆浆达到最佳粒度,减小豆浆蛋白粒子的粒度,减缓沉降速度,保持体系稳定性,

同时也使豆浆呈乳白色,并有一定的抑菌效果;控制水质的 pH 在 6 ~7,远离大豆蛋白质的等电点,加入合适浓度低价盐,可以使蛋白质粒子间因同性电荷的斥力而不易聚结,保持体系稳定性。

添加合适的乳化剂和稳定剂可以使豆浆溶液发生定向吸附,而且提高豆浆体系的粘度,从而防止豆浆蛋白质的絮凝和沉淀,提高豆浆的稳定性。正交试验结果表明,豆浆浓度为 1:14 下,采用 2 次均质,2 次均质压力都为 15 Mpa,均质温度为 60℃,CMC-Na 添加量为 0.05%,单甘酯添加量为 0.1%,NaCl 添加量为 0.025%时,复配后的豆浆稳定性最好,在保质期内 4℃其稳定性可以达到 1 个月。

参考文献

[1] 李贤新,陈建文. 解决豆奶稳定性问题的几点思路[J]. 山东食品科技,1999,(4): 15. ( Li X X,Chen J W. Some thoughts about the stablity of soymilk[J]. Science and Technology of Shandong Food,1999,(4): 15. )

[2] 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. Studies on the stability of fruit juice soymilk[J]. Science and Technology of Food Industry,2006,27(1): 97-100. )

[3] 苗颖,马莺. 以发芽大豆为原料制备高钙豆乳[J]. 食品与发酵工业,2005,31(6): 120- 122. ( Miao Y ,Ma Y. Processing high-calcium soymilk from germinated soybean[J]. Food and Fermentation Industroy,2005,31(6): 120-122. )

[4] 刘福林,杨文侠,李应彪,等. 植物蛋白饮料稳定性的探讨[J]. 饮料工业,1999,2(1): 39-41. ( Liu F L,Yang W X,Li Y B et al. Study on the stability of vegetable protein beverages[J]. Beverage Industry,1999,2(1): 39-41. )

( 下转第 905 页 )

程 $[E] = [E_o] \exp(-k_d t)$ <sup>[4]</sup>,对图 3 中的数据进行线性拟合得到方程 $[E]/[E_o] = \exp(-0.012t)$ ,则 $k_d = 0.012$ , $t_{1/2} = \ln 2/k_d = 58\text{ d}$ ,即半衰期为 58 d,通常工业化生产要求酶的半衰期为 20 d 以上,因此该固定化酶的操作稳定性已能满足工业生产要求。

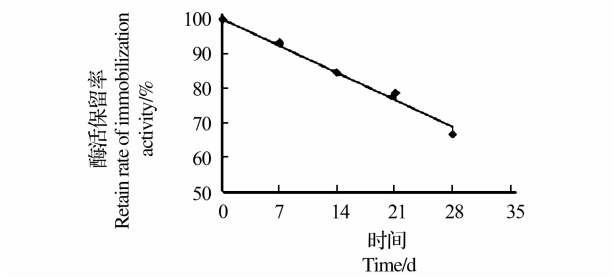


图 3 固定化酶的操作稳定性

Fig. 3 Operational atability of immobilized enzyme

3 结论

3.1 以戊二醛为交联剂,牛血清蛋白为活性保护剂,对  $\beta$ -D-呋喃果糖苷酶进行固定化。优化后的固定化条件:戊二醛浓度  $20\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,蛋白质浓度 1.0%,酶与固定液之比 1:10,固定化时间 2 h。在此条件下制备的固定化酶平均酶活达  $340\text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ ,酶活保留率 80% 以上。

(上接第 901 页)

[5] 陈钧辉,杨荣武,郑伟娟,等. 生物化学实验[M]. 北京:科学出版社,2003;10. (Chen J H, Yang R W, Zheng W J, et al. Biology chemistry experiment[M]. Beijing: Science Press, 2003;10. )

[6] 罗伟,李东,赵晋府. 调配型酸性豆乳饮料工艺及稳定性影响因素的研究[J]. 食品工业科技,2000, (5):36-38. (Luo W, Li D, Zhan J F. Studies on the technology of a formulated sour soybean milk drink and the affection factor of its stability[J]. Science and Technology of Food Industry, 2000(5):36-38. )

[7] 朱秀清,周玉伦,王喜泉. 豆奶稳定性的影响因素分析及技术措施[J]. 大豆通报,1995 (6):25-26. (Zhu X Q, Zhou Y L, Wang X Q. Study on the stability of soybean milk and technology [J]. Soybean Bulletin, 1995(6):25-26. )

[8] 李彦荣,张国农,胡明燕,等. 钠盐对果汁豆奶稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业 2005, (7):126-128. (Li Y R, Zhang G N, Hu M Y, et al. The effect of sodium salts on the acidic fruit juice soymilk [J]. Food and Fermentation Industries, 2005 (7): 126-128. )

[9] Du B, Li G, Zhang H, et al. Influence of molecular weight and degree of substitution of carboxymethylcellulose on the stability of a-

3.2 固定化酶在间歇反应器中具有较高的操作稳定性,固定化酶的半衰期为 58 d,完全可以满足工业化生产的要求。

参考文献

[1] 唐春江,邓放明,王乔隆,等. 大豆低聚糖的研究进展[J]. 农产品加工(学刊),2008,2;33-37. (Tang C J, Deng F M, Wang Q L, et al. Study progress on soybean oligosaccharides[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2008,2;33-37. )

[2] 北京师范大学生物系生物化学教研室. 基础生物化学实验[M]. 北京:高等教育出版社,1982;5. (The Beijing Normal University Biology Department Biochemistry Working Office. Foundation biochemistry experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 1982;5. )

[3] Rubens Cruz, Vinicius D Cruz, Marcia Z Belm, et al. Production of fructooligosaccharides by the mycelia of Aspergillus Japomecus immobilized in calium alginate[J]. Bioresource Technology, 1998, 65 : 139-143.

[4] 罗贵民. 酶工程[M]. 北京:化学工业出版社,2003. (Luo G M. Enzyme project[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003. )

[5] 童群义,朱桂兰. 节杆菌  $\beta$ -1-呋喃果糖苷酶的纯化及性质研究[J]. 食品科学,2005,26(3):69-71. (Tong Q Y, Zhu G L. Purification and properties of  $\beta$ - fructofuranosidase from Arthrobacter 10137[J]. Food Science, 2005, 26(3):69-71. )

cidified milk drinks [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23: 1420-1426.

[10] 胡国华,食品添加剂在豆制品中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005;8. (Hu G H. The application of food additives in soybean processing [M]. Beijing: The Chemistry and Industry Press, 2005;8. )

[11] Cruz N, Capellas M, Hernandez M, et al. Ultra high pressure homogenization of soymilk: microbiological, physicochemical and microstructural characteristics [J]. Food Research International, 2007, 40(6): 725-732.

[12] 李里特. 大豆加工与利用[M]. 北京:化学工业出版社,2002: 12. (Li L T. Soybean processing and utilization[M]. Beijing: The Chemistry and Industry Press, 2002;12. )

[13] Kwok K C, Liang H H, Niranjana K. Optimizing conditions for thermal processes of soy milk[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50 (17): 4834-4838.

[14] 白卫东,王琴,赵文红,等. 豆奶稳定性的研究[J]. 现代食品科技,2006,22(1):5-7. (Bai W D, Wang Q, Zhao W H et al. Study on the stability of soybean- milk [J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 22(1):5-7. )