

新型大豆食品

——大豆酸凝乳粉的研究

俞国铨 梁小武 陶谦

(食品科学与工程系)

摘要 以大豆为原料,用嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌比例1:1之混合菌种为发酵剂,并添加适量添加剂A和B,经喷雾干燥制得的大豆酸凝乳具有与酸牛乳相似的外观和口感,产品得率达92%。本实验确定了制作大豆酸凝乳粉的最佳工艺条件,并经正交实验确定了由大豆酸凝乳粉制备酸凝乳的最佳发酵条件。

关键词 大豆; 乳酸; 发酵/大豆酸凝乳粉

0 前言

我国是世界上栽培大豆历史悠久的国家,也是利用大豆作为副食的首创国家^[1]。大豆在我的分布极广,主要产地有东北三省和河北、山东、山西、河南等省^[1]。

大豆具有丰富的营养价值,尤其是蛋白质含量高,价格便宜,在印度享有“穷人食的肉”之称,因此,充分利用大豆资源,开发大豆食品,已成为各国重视的课题。

近20年来,乳酸发酵已被应用到豆乳有关方面,美国农业部的北方地区研究所和威斯康星大学及康乃尔大学的科学工作者做了许多工作。近年来,国内一些科技工作者也在乳酸发酵豆乳方面作了大量工作,如北京食品发酵研究所对乳酸菌发酵酸豆乳风味进行了研究^[2],去年我们也作了大豆酸凝乳的研制报道^[3]。

在大豆制品中应用乳酸菌还能把豆乳中已醛及羰基化合物转化为有机酸而除去腥味,并赋予乳酸发酵香味。但问题是液态的嗜酸菌乳保存期短,不便运输,因而大量生产受到限制,若把接入菌种的豆乳制成保存菌种活力的干粉,则可解决这一问题。

因此,本文在研制大豆酸凝乳的基础上,进一步研制大豆酸凝乳粉,确定豆浆的浓缩喷雾干燥工艺条件及进行产品复原试验,选择出最佳乳酸发酵条件。

1 实验方法

1.1 工艺路线

制乳 大豆→去杂→浸泡→洗涤去皮→粗磨→过滤→细磨→均质→豆乳。

制粉 豆乳→煮浆→真空浓缩→接种→喷雾干燥→成品。

菌种 纯培养物→母发酵剂→工作发酵剂。

1.2 磨浆

1.2.1 粗磨 称取一定量去杂的大豆,洗净放入容器,按豆水比1:3浸泡,水中含1%的碳酸氢钠,20℃下浸泡约12h至豆瓣凹面平整,然后洗涤去皮,再按豆水比1:10进行粗磨(采用SM-200A型砂轮磨),然后过滤(采用SS-300N型三足式离心机)。

大豆浸泡要充分胀润,但时间不宜过长。磨浆时调整砂轮磨间距,使浆内无碎片,无粒状而成糊状。

1.2.2 细磨 将滤液倒入胶体磨(JTM50AB型)的贮料桶,开冷却水,调节电压,缓慢升压至一定值,使浆体回流5min,放料,再缓慢将电压调至零。

通过测定不同电压下浆体粒度来确定最佳工作条件。

1.3 均质

将细磨好的浆体倒入匀浆泵(GYB606S型)的贮料斗内,先后调节一、二级压力到一定值后,回流5min后出浆。

通过测定不同压力对应的颗粒大小,确定最佳工作条件为40~50MPa^[3]。

1.4 煮浆

将豆乳放入铝锅内,在2kw电炉上加热至95℃恒温10~15min,徐徐搅拌。

煮前调节pH6.5~6.8,煮时可加大豆磷脂油消泡。

1.5 浓缩

将煮过的豆乳冷却至50℃,添加0.05%的亚硫酸钠固体后,在真空度为85~90.6kpa下进行真空浓缩(SP-20型真空浓缩机),于浓缩后期添加一定量添加剂B。

1.6 接种

将浓缩豆乳冷至40℃,接入一定量菌种搅拌5min后立即进入下一工序。

1.7 喷雾干燥(Q₂-5型移动式高速离心喷雾机)

在进风温度为145~155℃、出风温度为55~65℃、浓缩豆乳浓度为10~14%时,设计正交试验选择最佳工艺条件。(喷头压力为33.3kpa,工作电压为100~130V,流速1~1.5 l/h)。

1.8 复原实验

把豆乳粉调成一定浓度的豆乳,加一定量添加剂A搅拌均匀后,放入恒温培养箱(SC303A型)中在40~45℃培养6~8h,再移入冰箱冷藏12h。

(1) 以不同的粉水比调乳,均添加6%的添加剂A,复原后观察凝乳的组织状态,以选择适当的加水量。

(2) 以豆乳粉中不同的添加剂B量(以喷粉前10%的豆浆为基准)、培养温度、菌种接入量(以10%的豆浆为基准)和添加剂A量(以豆粉加水后的重量来计)作正交试验,以酸度为指标。

(3) 测定不同发酵时间的pH值(25型pH计)及酸度。

(4) 做嗜好试验以确定合适的发酵时间。

将豆乳粉以1:10的粉水比混合均匀,加7%添加剂A分为3份,43℃下培养,时间分别为6、7、8h,冷藏12h后取出编号为A、B、C的样品,由13人品尝,选口味最适合自己的样品

号。

2 结果与分析

2.1 胶体磨最佳工艺条件的确定

将豆浆在不同电压下在胶体磨中细磨5min, 分别测定不同电压下颗粒直径大小, 结果见表1。

表1 胶体磨工作电压和粒径关系

| | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| 电压(V) | 150 | 160 | 170 | 180 | 200 | 220 |
| 粒径(μm) | 3.75 | 3.00 | 2.50 | 2.25 | 2.00 | 2.00 |

注: 细磨前, 粒径为 $5\mu\text{m}$

颗粒直径和电压关系见图1。

由图1可知, 最佳工作电压为200~210V。

经细磨后可得到粒径为 $2\mu\text{m}$ 的乳状液, 在组分、色泽、口感上近似于牛奶。另外, 经细磨后再均质, 可防止浆中较大颗粒阻塞匀浆泵的筛网, 确保匀浆泵的正常运转。

2.2 浓缩工艺的确定

在真空度为85~90.6kPa、温度为 55°C ~ 60°C 条件下, 进行真空浓缩, 并添加0.05%的亚硫酸钠, 测定豆浆浓度与粘度的关系(采用NcS-2型超声波粘度计), 结果见表2。

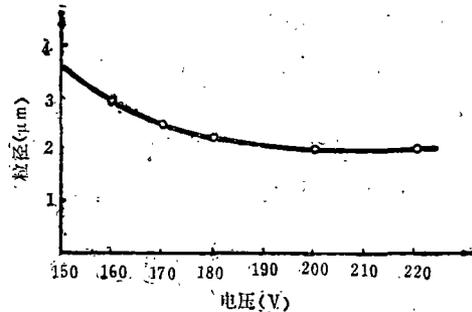


图1 颗粒直径和电压关系

表2 豆浆浓度与粘度值

| | | | | | |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 浓度(%) | 5.2 | 6.3 | 8.1 | 8.8 | 10.4 |
| 粘度(PaS) | 5×10^{-4} | 7×10^{-4} | 1.5×10^{-3} | 1.9×10^{-3} | 3.1×10^{-3} |
| 浓度(%) | 11.5 | 12.7 | 13.7 | 14.2 | 15.0 |
| 粘度(PaS) | 3.7×10^{-3} | 4.8×10^{-3} | 5.6×10^{-3} | 6.2×10^{-3} | 7.4×10^{-3} |

注: 50°C 时测定

豆浆浓度与粘度关系见图2。

从曲线可知: 豆浆浓度增加, 豆浆粘度也增加, 但不成线性关系, 当浓度为10%以后, 粘度增加很快。

由于大豆蛋白质分子的结构及分子量较大, 故其粘度也较大。浓缩过程中, 豆浆受热, 蛋白质开始变性, 使分子结构松散, 分子表面积增大, 从而使粘度增高, 此外浓度升高后, 相邻蛋白质分子间距缩短, 形成二硫键的机会增多, 因而也使粘度上升剧烈。

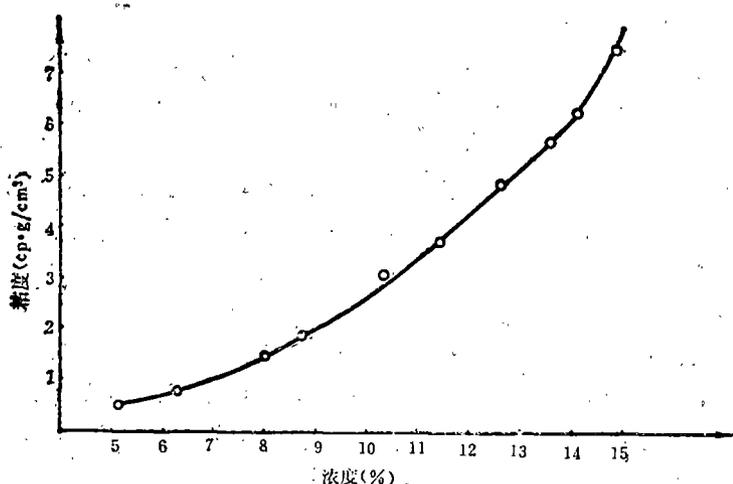


图2 豆浆浓度与粘度关系曲线

2.3 接种

菌种选取6038菌和6047菌，菌种比1:1。

保加利亚乳杆菌产生缬氨酸，它可刺激嗜热乳酸链球菌的生长，而嗜热乳酸链球菌能分解蔗糖成葡萄糖，从而给予保加利亚乳杆菌提供养料^[3]。

表3 L₉(3³)正交试验结果

| 因子 编号 | 进风温度(°C) | 排风温度(°C) | 浓度(%) | 溶解度(%) |
|----------------|----------|----------|--------|--------|
| 1 | 155 | 55 | 10 | 87.15 |
| 2 | 155 | 60 | 12 | 84.86 |
| 3 | 155 | 65 | 14 | 84.10 |
| 4 | 150 | 55 | 12 | 90.40 |
| 5 | 150 | 60 | 14 | 85.63 |
| 6 | 150 | 65 | 10 | 86.10 |
| 7 | 145 | 55 | 14 | 88.20 |
| 8 | 145 | 60 | 10 | 87.51 |
| 9 | 145 | 65 | 12 | 86.14 |
| K ₁ | 256.11 | 265.76 | 261.75 | |
| K ₂ | 262.13 | 259.00 | 260.40 | |
| K ₃ | 262.85 | 256.34 | 257.93 | |
| k ₁ | 85.37 | 88.58 | 87.25 | |
| k ₂ | 87.38 | 86.33 | 87.13 | |
| k ₃ | 87.62 | 85.45 | 85.98 | |
| R | 2.25 | 3.13 | 1.27 | |

注：以10%的豆浆为基准加6%菌种和2%的添加剂B。成品水分含量不超过4%。

2.4 最佳喷雾干燥工艺的确定

由于喷雾干燥机的进风温度和出风温度会影响菌种存活情况、大豆蛋白的变性情况、豆粉的溶解度及其含水量，豆浆的浓度可影响粉粒的大小即影响粉的冲调性及溶解度，故设计如下的正交试验，以溶解度为指标(见表3)。

2.4.1 豆浆浓度的选取 固形物的浓度决定粉粒的大小，通过浓缩脱去水分又可节省能源。一般来讲，浓缩的浓度越高越好，从图2可知，豆乳浓度在10%时其粘度上升较大，但浓度为14%时豆浆流动顺利，虽然浓度达15%以后仍然能继续浓缩，但较困难且有结垢的危险，故选10%、12%、14%为条件。

2.4.2 进出风温度选取 在外围实验中，当进风温度高于160℃，出风温度高于65℃时，产品复原情况不好；而进风温度低于140℃、出风温度低于50℃，产品虽复原良好但水分含量达6%，这时容易引起微生物的生长繁殖，产品不易贮藏。故选取进风温度为155℃、150℃、145℃，出风温度为55℃、60℃、65℃进行实验。

以 k_1 、 k_2 、 k_3 分别对进风温度，排风温度和豆浆浓度作图3。

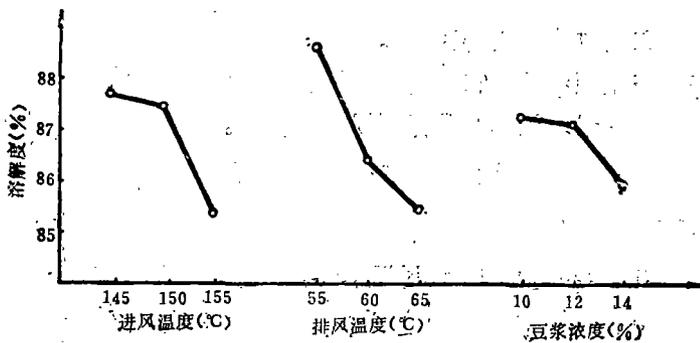


图3 喷雾干燥正交试验直观图

由上述试验结果可知：

- (1) 各因素主次顺序为排风温度→进风温度→豆浆浓度。
- (2) 根据图3，浓度为10%的溶解度与12%时相差仅为0.12%，所以选12%较为合算。故可确定最佳工艺条件为进风温度145℃，排风温度55℃，豆浆浓度为12%。
- (3) 在喷雾干燥过程中，物料的干燥时间很短，通常为15~30S，甚至只有几秒钟，且物料表面温度低，适于大豆蛋白这种热敏性的物料。
- (4) 145~150℃的进风温度在大量水分蒸发时，物料的表面温度不超过空气的湿球温度(大约在45~55℃)，若操作中流速控制得好，一般对大豆蛋白的变性作用不大。
- (5) 物料处于出风温度的时间较长，因此所受影响大些。大豆蛋白质较易受热变性，因此出风温度高较出风温度低时的产品变性严重，表现为溶解度低。
- (6) 浆体浓度决定粉粒的大小，且浓缩设备的蒸发效率较干燥设备高，从节约能源和降低成本来说，浓度越高越好，但从图2可知浓度越高，粘度越大，使喷雾干燥难以进行。

2.5 复原实验的结果及发酵条件的确定

2.5.1 成品复原时的加水量 采用不同的粉水比实验，结果见表4。

表4 加水量与产品复原后的组织状态

| 豆粉:水 | 组织状态 |
|------|--------------|
| 1:6 | 凝块很硬, 色泽微黄 |
| 1:8 | 凝块稍硬, 色泽稍黄 |
| 1:9 | 凝块白嫩似酸乳 |
| 1:10 | 凝块白嫩似酸乳 |
| 1:11 | 凝块太嫩且有少量乳清析出 |

注: 43℃培养8h, 冷藏12h

由此得出, 粉水比为1:9~1:10之间较适宜。

2.5.2 最佳发酵条件的确定 采用L₉(3⁴)正交试验产酸量常作为衡量乳酸菌生长的程度, 而乳酸菌产酸量主要有赖于能被微生物代谢的营养物质的存在情况, 由于成熟大豆中含有大量的寡聚糖和多聚糖, 使豆乳不同于牛乳, 故需添加菌种可利用的物质——添加剂B, 参考大豆酸凝乳的添加量(0.5%), 本实验定为1%、2%、3%, 同时为改善口感, 添加了添加剂A, 经口感试验证明添加量在6~8%较适宜, 所以本实验条件定为6%、7%、8%。

表5 确定发酵条件的L₉(3⁴)正交试验结果

| 因子 编号 | 培养温度(℃) | 接种量(%) | 添加剂B(%) | 添加剂A(%) | 酸度(°T) |
|----------------|---------|--------|---------|---------|--------|
| 1 | 40 | 4 | 1 | 6 | 57.42 |
| 2 | 40 | 5 | 2 | 7 | 66.49 |
| 3 | 40 | 6 | 3 | 8 | 66.35 |
| 4 | 43 | 4 | 2 | 8 | 65.45 |
| 5 | 43 | 5 | 3 | 6 | 73.88 |
| 6 | 43 | 6 | 1 | 7 | 74.85 |
| 7 | 45 | 4 | 3 | 7 | 60.92 |
| 8 | 45 | 5 | 1 | 8 | 70.49 |
| 9 | 45 | 6 | 2 | 6 | 69.85 |
| K ₁ | 190.26 | 183.79 | 201.79 | 201.15 | |
| K ₂ | 214.18 | 210.86 | 202.43 | 202.26 | |
| K ₃ | 201.26 | 211.05 | 201.15 | 202.29 | |
| k ₁ | 63.42 | 61.26 | 67.26 | 67.05 | |
| k ₂ | 71.39 | 70.29 | 67.48 | 67.42 | |
| k ₃ | 67.09 | 70.35 | 67.05 | 67.43 | |
| R | 7.97 | 9.09 | 0.43 | 0.38 | |

接种量对复原结果也有影响, 接种量不足, 使产酸量不足, 不能复原; 接种量过多又浪费菌种。大豆酸凝乳的接种量定为1~5%^[3], 又考虑到喷雾干燥工序中菌种的大量死亡, 所以试验条件定为4%、5%、6%。

培养温度对菌种产酸情况亦有影响, 温度在上限时产酸快, 下限时繁殖快, 6038 菌在37~50℃产酸^[4], 6047 菌在40~45℃中发酵^[5], 所以将温度40℃、43℃、45℃定为实验条件。

条件为培养8h, 冷藏12h后用标准的0.1mol/lNaOH标定, 用吉尔涅尔度表示酸度, 菌种量和添加剂B量均指喷雾干燥前加入豆乳中的量。

以 k_1 、 k_2 、 k_3 分别对培养温度、接种量、添加剂A和B量作图4。

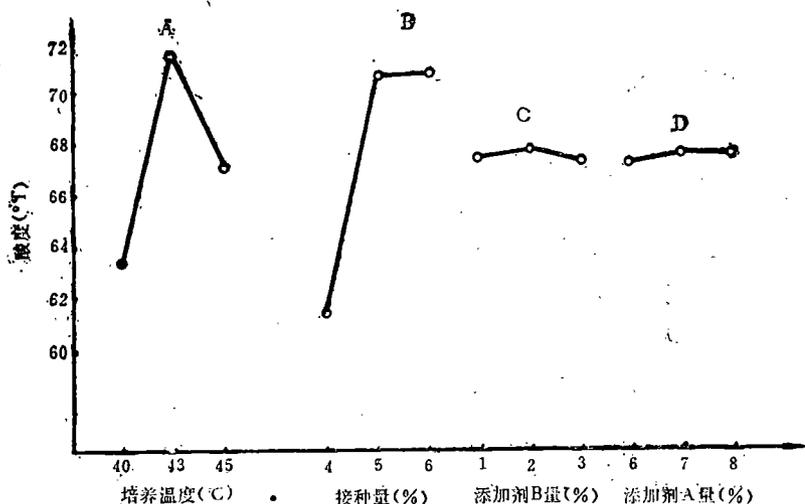


图4 发酵条件正交试验直观图

由结果可知:

(1) 影响因素主次顺序为接种量→培养温度→添加剂B量→添加剂A量。

(2) 接种量为5%和6%时产品复原后的酸度相差很小, 为节省菌种, 选5%更合算。添加剂A对酸度影响最小, 添加剂A量为7%和8%时对发酵结果的影响仅差0.01°T。为降低成本, 添加剂A量定为7%; 当培养温度为43℃时酸度最高, 添加剂B量为2%时酸度最高。

(3) 复原实验的最佳发酵条件定为: 培养温度43℃、接种量5%、添加剂A量7%、添加剂B量2%。

2.5.3 豆乳粉在复原过程中pH及滴定酸度的变化情况 结果见表6。

表6 发酵过程中不同时间的pH值和滴定酸度°T

| 时间 (h) | 0 | 2 | 4 | 5.5 | 7.5 | 11.5 | 15 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH 值 | 6.20 | 5.50 | 4.55 | 4.20 | 3.95 | 3.85 | 3.85 |
| 酸度 (°T) | 6.0 | 15.0 | 27.9 | 42.8 | 64.0 | 70.4 | 70.4 |

作时间——pH值和时间——°T曲线，见图5。

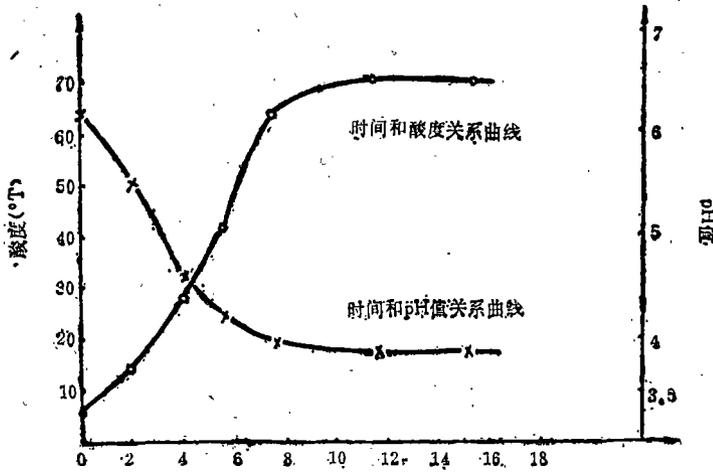


图5 时间和pH值及时间和酸度关系曲线

由曲线可知，当滴定酸度达 30°T 以上时，pH就降到4.5了，这与牛乳发酵情况相差较大，牛乳发酵时，若pH值为4~4.5，酸度则到达 $70\sim 80^{\circ}\text{T}$ 。这说明豆乳的pH值缓冲能力不如牛乳强，导致乳酸菌的生长和代谢受到抑制，产酸能力下降，使产酸速度缓慢了，导致培养时间较牛乳长，最终酸度不如牛乳高。

2.5.4 发酵时间的确定

培养6h的样品编号为A

培养7h的样品编号为B

培养8h的样品编号定C

评判者数 13人

嗜好A的总数 1人

嗜好B的总数 11人

嗜好C的总数 1人 有效水平95%

A、B、C的酸度分别为 49°T 、 60.5°T 、 67°T 。

由于多数人喜欢发酵7h的样品B，因此培养时间定为7h，温度为 60.5°T 。

(13人中愿意接受或能够接受者共12人，占92.3%，不愿接受者1人，仅占7.7%)。

2.5.5 产品复原后的感官检验 外观：表面光滑、乳白色、无乳清分离现象。芳香：具有发酵后特有香味和豆香味，基本无豆腥味。口感：口感很细腻，无砂粒状感觉，酸度与酸牛乳相似，但不如酸奶柔和。后味不及酸奶。

3 结论

(1) 以大豆为原料制作大豆酸凝乳粉是可行的，产品经复原后的外观和口感都近似于酸牛乳，得率达93%。

(2) 本实验确定了最佳工艺路线及工艺条件：

将大豆在20℃下浸泡12h后,以豆水比1:10进行磨浆,再经胶体磨在200V电压下细磨5min及高压匀浆泵在40~50MPa时均质5min后,便可得到外观和组织状态极似牛乳的豆乳。

将豆乳在95℃加热10~15min后,再在真空度为85~90.6 kPa下,真空浓度到12%,在浓缩后期加入以浓度为10%的豆乳为基准的2%的添加剂B。浓缩后,再加5%的工作发酵剂,搅拌5min后立即喷粉,条件为进风温度145~150℃,出风温度为55~60℃(表温),可得到既能复原为酸凝乳且溶解度在80%以上的大豆酸凝乳粉。

根据复原实验结果,在豆粉水比为1:10,加7%的添加剂A调浆后,在43℃下培养7h,冷藏12h后便可得到酸甜适口的大豆酸凝乳。

参 考 文 献

- 1 白至德,张志山等.大豆制品的加工.轻工业出版社,1985
- 2 李强.乳酸菌发酵酸豆乳风味的研究.食品与发酵工业,1986;(1):3
- 3 俞国铤等.大豆酸凝乳的研制.无锡轻工业学院学报,1988;2
- 4 邱建人.食品工业微生物.复文书局印行,1983
- 5 [德]HJ李姆.工业微生物学.科学出版社,1975

The Studies on the New Soybean Food--Soymilk Yoghurt Powder

Yu Guoguang Liang Xiaowu Tao Qian

(Dep. of Food Sci. & Eng.)

Abstract In this experiment, as a product, soymilk yoghurt powder, is made from soybean, with streptococcus thermophilus and lactobacillus(1:1) as cultures in addition to suitable amount of additives A and B. The appearance and taste of the rehydrated product, made by spray drying is similar to acid milk. The acceptable product quality level up to 92% is obtained. In this experiment, the optimal process conditions for preparing soymilk yoghurt powder has been determined and the optimal fermentation conditions for preparing soymilk yoghurt from this powder was also determined through factorial experiment.

Subjectwords Soybean; Lactic acid; Fermentation/Soymilk yoghurt powder