

# 发酵酸豆乳加工工艺的探讨和优化

封晓毓, 王江漫, 李奕迅, 曹建柱\*

[龙王时代(北京)商业有限公司, 北京 100071]

**摘要:** **目的** 探讨和优化发酵酸豆乳的加工工艺。**方法** 以感官评分为指标, 采用单因素实验和正交实验, 对豆浆粉复水比例、发酵剂添加量和发酵时间三因素进行工艺参数的优化。**结果** 选用豆浆粉 C02, 复水比例 1:3(*m:V*), 异麦芽酮糖添加量 3%, 发酵剂 D 接种量 0.4 g/L, 发酵温度 42 °C, 发酵时间 6 h, 为发酵最适工艺条件。**结论** 在此条件下制作的发酵酸豆乳感官评分 90。酸豆乳口感细腻滑润, 酸度适宜柔和, 粘稠度合适, 豆腥味小。

**关键词:** 发酵酸豆乳; 豆浆粉; 酸度; 正交实验

## Discussion and optimization on processing technology of fermented soybean milk

FENG Xiao-Yu, WANG Jiang-Man, LI Yi-Xun, CAO Jian-Zhu\*

(The One Times Lnc., Beijing 100071, China)

**ABSTRACT: Objective** To explore and optimize the processing technology of fermented soybean milk. **Methods** Taking sensory score as index, single factor experiment and orthogonal experiment were used to optimize the process parameters of soybean milk powder rehydration ratio, starter dosage and fermentation time. **Results** The optimum fermentation conditions were as follows: soybean milk powder C02, rehydration ratio 1:3 (*m:V*), addition of isomaltulose 3%, inoculation amount of starter D 0.4 g/L, fermentation temperature 42 °C, fermentation time 6 h. **Conclusion** The sensory score of fermented soybean milk is 90 under these conditions. The sour soybean milk tastes delicate and smooth, with moderate acidity, moderate viscosity and small beany flavor.

**KEY WORDS:** fermented soybean milk; soy milk powder; acidity; orthogonal test

## 0 引言

大豆中含有的蛋白质含量约为 40%、脂肪 20%、碳水化合物 27%, 并且含有多种矿物质和维生素<sup>[1-3]</sup>。发酵酸豆乳是以大豆、大豆粉或大豆分离蛋白为主要原料, 添加营养强化剂、食品添加剂和其他辅料经益生菌发酵而成<sup>[4]</sup>。发酵过程中, 大豆蛋白被乳酸菌分解成小分子活性肽, 也可增加大豆异黄酮含量。因此具有预防癌症、心血管疾病以及缓解更年期症状等保健功能<sup>[5-6]</sup>。它既保留了豆浆中的营养成分, 又利用益生菌作用使酸豆乳有醇香、清爽的酸

香味<sup>[7]</sup>。国务院 2017 年 6 月推出的《国民营养计划(2017—2030)》, 提出发展新型营养健康食品的目标, 发酵酸豆乳产品正好符合这一目标<sup>[8]</sup>。近年来我国豆奶年消费量逐年增长, 主要品牌有龙王豆浆、维维豆奶、豆本豆、永和豆奶等, 欠缺有较大影响力的产品, 究其原因主要是豆腥味造成产品风味和口感欠佳, 影响产品的接受度, 特别是西方消费者对豆腥味更为敏感<sup>[9]</sup>。乳酸菌在以大豆为主要原料的介质中的成长特性较差, 发酵后的酸度和活菌数都不及酸牛奶, 因此直接影响了发酵酸豆乳的产品质量<sup>[10-12]</sup>。本研究利用保加利亚杆菌和嗜热链球菌作为发酵

\*通信作者: 曹建柱, 工程师, 主要研究方向为蛋白食品研发。E-mail: caojianzhu2015@163.com

\*Corresponding author: CAO Jian-Zhu, Engineer, The One Times Lnc., Beijing 100071, China. E-mail: caojianzhu2015@163.com

菌种,探究发酵酸豆乳的最佳生产工艺,减少豆腥味,生产出酸度适宜,风味较好的发酵酸豆乳,以期为发酵酸豆乳的品质提升研究提供理论依据和支撑。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

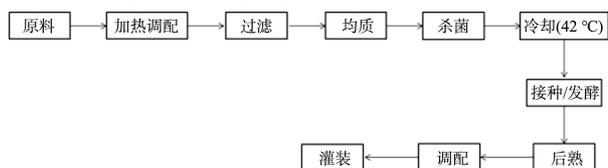
豆浆粉(C01、C02、C30、C40、C42,黑龙江农垦龙王食品有限责任公司);直投式发酵剂 A[保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌复配,美国杜邦(中国)有限公司];直投式发酵剂 B[保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌复配,帝斯曼(中国)有限公司];直投式发酵剂 C(保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌复配,生合生物科技有限公司);直投式发酵剂 D[保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌复配,科汉森(中国)有限公司];直投式发酵剂 E(保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌复配,北京科拓恒通生物技术股份有限公司);氢氧化钠滴定分析用标准溶液(0.1000 mol/L)、1%酚酞指示液(广州市刺水科技有限公司);白砂糖、异麦芽酮糖、低聚果糖(市售)。

JD-CJ-1A 超净工作台(苏州金大净化工程设备有限公司);SPX-150F 恒温培养箱(上海全脉科学仪器有限公司);FA1004C 电子天平(上海佑科仪器仪表有限公司);ME204E 电子称(上海高致精密仪器有限公司);pHS-3C 型酸度计(上海雷磁仪器厂);SPX-250B-Z 型生化培养箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂);BCD-520WKM(E) 冰箱(美的集团);HH-4 数显恒温水浴锅(金坛市荣华仪器制造有限公司);CRL-003-60 均质机(廊坊市成瑞机械设备有限公司);LDZX-30BFS 立式压力蒸汽灭菌锅(上海申安医疗器械厂)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 发酵工艺流程

酸豆乳的发酵工艺流程如下:



#### 1.2.2 样品前处理

将豆浆粉按一定比例复原为液态豆浆,添加5%白砂糖,添加其他辅料,搅拌均匀,均质(条件),95℃300 s 巴氏杀菌,冷却至45℃左右,接种直投式发酵剂,于42℃静置恒温厌氧发酵,培养一定时间,4℃后熟12 h<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.3 单因素实验

##### (1) 不同豆浆粉的影响

选用不同型号豆浆粉 C01、C02、C30、C40、C42,差异性见表 1,按照上述工艺发酵制作发酵酸豆乳,将豆浆粉按粉水比 1:3 (*m:V*)复原为液态豆浆,添加5%白砂糖,搅

拌均匀,均质,95℃300 s 巴氏杀菌,晾凉后,接种 0.4 g/L 发酵剂 D,于42℃恒温厌氧,培养6 h,4℃后熟12 h。记录凝乳时间、酸度与 pH 变化,并进行感官评定。

表 1 不同豆粉差异性  
Table 1 Differences of different soybean meal

类型	蛋白质/%	总糖/%	总酸/%	脂肪/%	溶解度/%
C01	18	32.9	2.03	11.1	100
C02	18	38.8	3.36	10.4	99.7
C30	28	20	4.2	18.4	99.6
C40	38	13.6	6.3	23.6	99.7
C42	40	13.6	6.41	23.1	99.7

##### (2) 不同发酵剂的影响

以豆浆粉 C02 为原料,按粉水比 1:3 (*m:V*)复原为液态豆浆,添加5%白砂糖,搅拌均匀,均质,95℃,300S 巴氏杀菌,晾凉后,接种量 0.4 g/L,于42℃恒温厌氧,培养6 h,4℃后熟12 h。按照上述工艺发酵制作发酵酸豆乳,考察不同直投式发酵剂(保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌复配)A、B、C、D、E 对酸度的影响,并进行感官评定<sup>[14-15]</sup>。

##### (3) 发酵时间的影响

以豆浆粉 C02 为原料,按粉水比 1:3 (*m:V*)复原为液态豆浆,添加5%白砂糖,搅拌均匀,均质,95℃300 s 巴氏杀菌,晾凉后,接种 0.4 g/L 发酵剂 D,于42℃恒温厌氧,培养一定时间,4℃后熟12 h。按照上述工艺发酵制作发酵酸豆乳,考察不同发酵时间(4~8 h)对酸度与 pH 的影响,并进行感官评定<sup>[16]</sup>。

##### (4) 菌种接种量的影响

以豆浆粉 C02 为原料,按粉水比 1:3 (*m:V*)复原为液态豆浆,添加5%白砂糖,搅拌均匀,均质,95℃300 s 巴氏杀菌,晾凉后,接种一定量发酵剂 D,于42℃恒温厌氧,培养6 h,4℃后熟12 h。按照上述工艺发酵制作发酵酸豆乳,考察不同接种量(0.2~0.6 g/L)对发酵酸豆乳凝乳时间、酸度的影响,并进行感官评定<sup>[17]</sup>。

##### (5) 营养因子的影响

以豆浆粉 C02 为原料,按粉水比 1:3 (*m:V*)复原为液态豆浆,添加5%白砂糖,搅拌均匀,均质,95℃300 s 巴氏杀菌,晾凉后,接种 0.4 g/L 发酵剂 D,于42℃恒温厌氧,培养6 h,4℃后熟12 h。考察不同营养因子(异麦芽酮糖和低聚果糖)添加浓度(0.5%~2.5%)对发酵酸豆乳酸度的影响,并进行感官评定<sup>[7]</sup>。

##### (6) 不同复水比例的影响

以豆浆粉 C02 为原料,按一定比例复原为液态豆浆,添加5%白砂糖,搅拌均匀,均质,95℃300 s 巴氏杀菌,晾凉后,接种 0.4 g/L 发酵剂 D,于42℃恒温厌氧,培养

6 h, 4 °C 后熟 12 h。考察不同复水比例(1:1~1:5,  $m:V$ )对发酵酸豆乳酸度与 pH 的影响, 并进行感官评定<sup>[7]</sup>。

1.2.4 正交实验

在单因素实验的基础上确定正交实验设计因素水平, 以复水比例( $\alpha$ )、发酵剂添加量( $\beta$ )、发酵时间( $\gamma$ )进行  $L_9(3^4)$  正交实验设计, 采用感官评分作为评定指标, 优化发酵酸豆乳的最佳配方, 正交实验因素及水平如表 2 所示。

表 2 正交实验因素及水平表  
Table 2 Factor level of orthogonal test

水平	因素		
	$\alpha$ 复水比例( $m:V$ )	$\beta$ 发酵剂添加量/(g/L)	$\gamma$ 发酵时间/h
1	1:2.5	0.35	5.5
2	1:3	0.4	6
3	1:3.5	0.45	6.5

1.2.5 感官评价实验

依据发酵乳感官评鉴细则 RHB 104—2020《发酵乳感官评鉴细则》<sup>[18]</sup>, 由 15 名评定者对发酵酸豆乳进行综合评价。各项感官评价指标见表 3。

1.2.6 指标测定实验

酸度和 pH 的测定依据国家标准 GB 5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》<sup>[19]</sup>。

2 结果与分析

2.1 单因素实验影响因素

2.1.1 不同豆浆粉对发酵酸豆乳酸度与 pH 的影响及感官评分

由表 1 可知不同型号豆浆粉蛋白质、总糖、脂肪含量有

明显差异, C42 蛋白质含量最高, 总糖含量最低, C02 和 C01 蛋白质无差异, C02 总糖含量高于 C01。由图 1 可以看出, 豆浆粉 C40、C42 的酸度和 pH 变化最快。产酸速度  $C42 > C40 > C30 > C02 > C01$ ; C02、C01、C30 三者酸度和 pH 变化曲线无明显差异( $P < 0.05$ )。从图 2 可以看出感官评分  $C02 > C01 > C30 > C40 > C42$ 。这是由于 C40、C42 蛋白含量高, 产品黏度大, 影响爽滑口感, 酸度大, 豆腥味、苦涩味突出, 造成感官评分较低。C02 含糖量最高, 发酵出的产品乳酸风味突出, 酸甜适口, 同时能够很好的遮掩豆腥味和苦涩感。豆浆粉 C02 各项感官评分最高, 是发酵酸豆乳的最优原料。

表 3 发酵酸豆乳感官评价标准

Table 3 Sensory evaluation criteria for fermented soybean milk

项目	要求	评分
	色泽均匀, 成乳白色或微黄色, 有光泽	10~15 分
色泽(15 分)	色泽较深且均匀	5~10 分
	色泽较暗且不均匀	0~5 分
口感(30 分)	口感细腻滑润, 酸度适宜柔和	20~30 分
	口感较好, 质地较细腻, 乳酸味稍高或稍低	10~20 分
气味(25 分)	颗粒感较重, 过酸或过甜	0~10 分
	有清香的乳酸味, 或者微微的豆香味	20~30 分
	可辨识的乳酸香味, 有一定的豆腥味	10~20 分
质地(30 分)	豆腥味严重, 几乎无乳酸清香味	0~10 分
	质地细滑, 无豆清析出、粘稠度合适	20~30 分
状态(30 分)	质地较细滑, 有少量豆清析出, 粘稠度良好	10~20 分
	质地粗糙有较多豆清析出, 有颗粒感	0~10 分

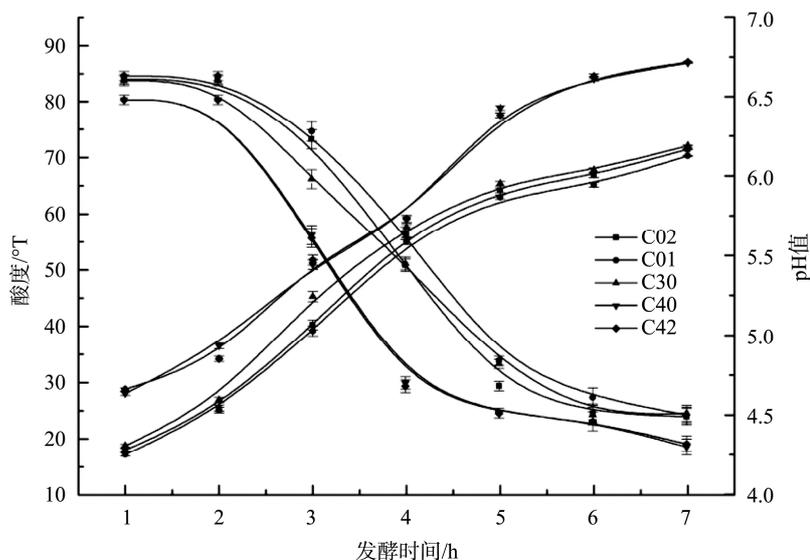


图 1 不同豆浆粉发酵酸豆乳酸度和 pH 随时间的变化 ( $n=3, P < 0.05$ )

Fig.1 Changes of acidity and pH of fermented soybean milk with different protein content over time( $n=3, P < 0.05$ )

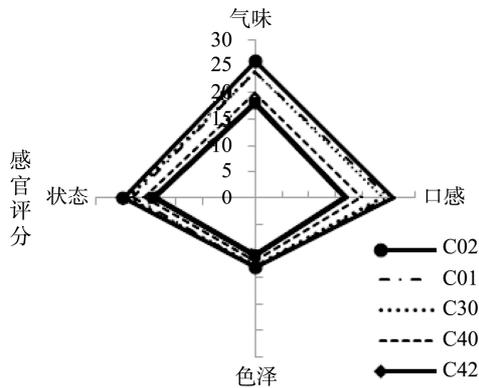


图 2 不同豆浆粉发酵酸豆乳感官评分

Fig.2 Sensory scores of fermented soybean milk with different protein content

2.1.2 不同发酵剂对发酵酸豆乳酸度的变化影响及感官评分

图 3、4 可知，不同发酵剂在豆浆体系中的发酵速率有明显差异，酸度值达到 65.5 °T，需要的发酵时间 B > A > E > C > D。发酵剂 D 发酵到 6 h 时，酸度达到 68.9 °T，而发酵剂 A 和 B 酸度只能达到 59.9、51.2 °T。不同的发酵剂在每一个阶段的发酵速率有差异性，2~4 h，发酵剂 C、D 产酸速度最快，发酵剂 E 3 h 后产酸速度有增长趋势，整个发酵过程，发酵剂 A、B 产酸缓慢。感官评分 D > C > E > A > B，发酵剂 D 发酵的产品感官评分最高，综合感官评分可达 89 分。乳酸风味良好，组织状态完整，质地顺滑粘稠度好，基本无豆清析出，故发酵剂 D 是最适合的发酵剂。

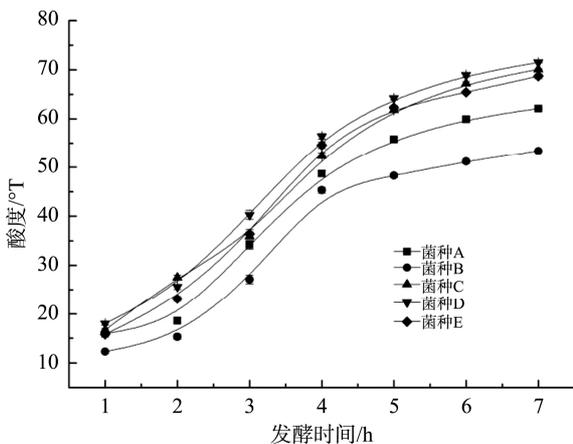


图 3 不同发酵剂发酵酸豆乳随时间酸度变化(n=3, P < 0.05)  
Fig.3 Changes of acidity and pH of fermented soybean milk by different strains over time(n=3, P < 0.05)

2.1.3 发酵时间对发酵酸豆乳 pH 和酸度的变化影响。

由图 5 可见，随着发酵时间的延长，发酵酸豆乳的 pH 逐渐降低，酸度逐渐升高。pH 值在发酵 4~6 h 有明显降低，6 h 后逐渐趋于平稳，酸度在发酵 6~8 h 时上升明显，并在 7 h 时达到 70 °T。图 6 可知，随发酵时间延长，感官评分先增加后降低。本研究结果与陈洁等<sup>[20]</sup>的实验结论表现出

相同的趋势，说明发酵酸豆乳加工过程中，发酵时间影响最终品质，发酵时间短，凝乳差，质地松散，酸度低，发酵时间长质地坚硬，酸涩味重，豆腥味明显，豆清析出严重。因此发酵最佳时长为 6 h，感官评分 86 分。

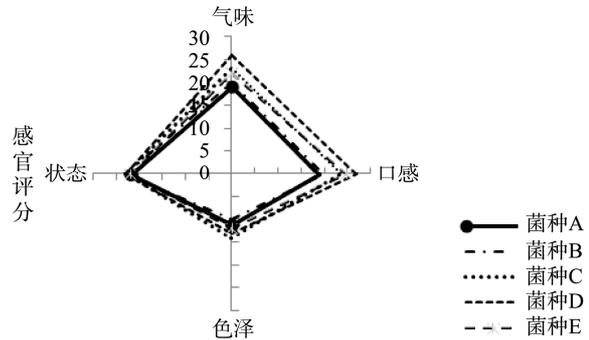


图 4 不同菌种发酵酸豆乳感官评分

Fig.4 Sensory scores of fermented soybean milk with different strains

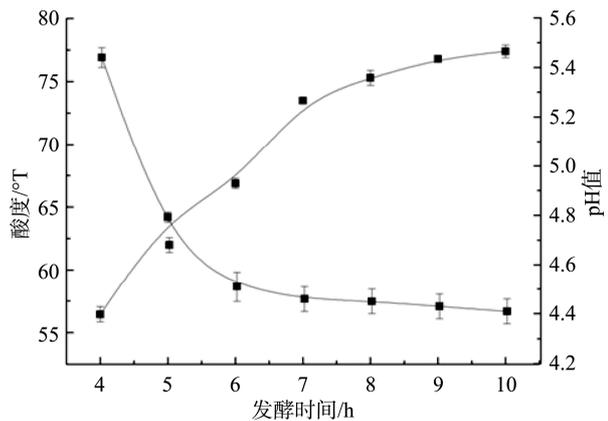


图 5 发酵时间对发酵酸豆乳酸度和 pH 值的影响  
(n=3, P < 0.05, 菌种 D)

Fig.5 Effects of fermentation time on the lactic acid and pH value of f fermented soybean milk(n=3, P < 0.05, strain D)

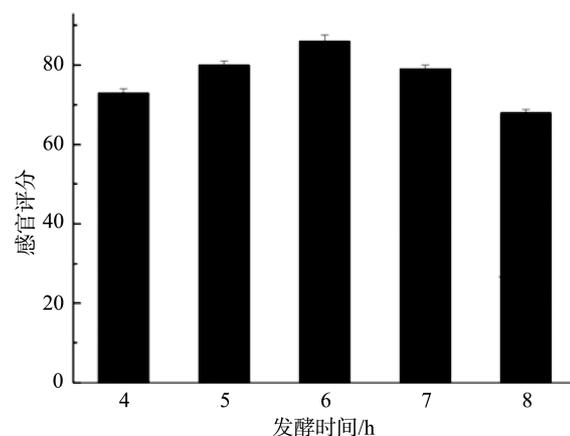


图 6 发酵时间对发酵酸豆乳感官评分影响(n=3)

Fig.6 Effects of fermentation time on sensory score of fermented soybean milk(n=3)

2.1.4 接种量对发酵酸豆乳酸度的变化影响及感官评分

由图 7 可见, 不同接种量条件下的酸度随发酵时间的延长而逐渐增加。发酵时间在 2~4 h, 随着接种量的增加产酸速度明显增快, 发酵 4 h 后接种量增加酸度增长缓慢, 无明显优势。当发酵 6 h 时, 接种 0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 g/L 酸度值分别达到 57.2、62.3、67、64.2、65.3 °T。接种量在 0.4 g/L 时感官评分最高(见图 8)。本研究结果与郭帅等<sup>[21]</sup>的实验结论表现出相同的趋势, 说明发酵酸豆乳加工过程中, 菌种接种量过大, 发酵快, 产酸快, 培养时间短, 凝乳过快, 造成酸豆乳风味和组织上的缺陷, 使成品风味不佳, 口感粗糙; 相反接种量过少, 发酵时间长, 成品有酸败味, 并有较多豆清析出。为节约成本, 选择乳酸菌接种量为 0.4 g/L。

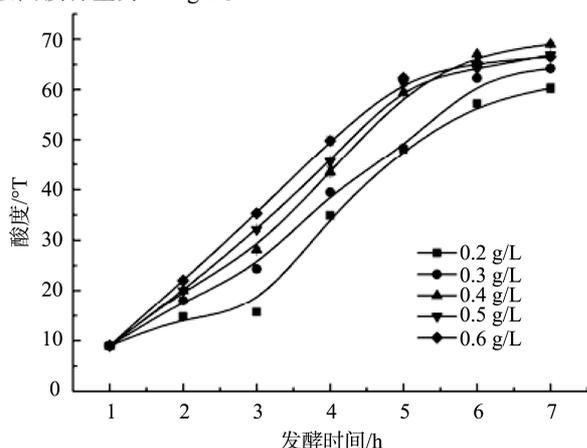


图 7 接种量对发酵酸豆乳酸度的影响( $n=3, P < 0.05$ )

Fig.7 Effects of inoculation amount on the lactic acid degree of fermented soybean milk( $n=3, P < 0.05$ )

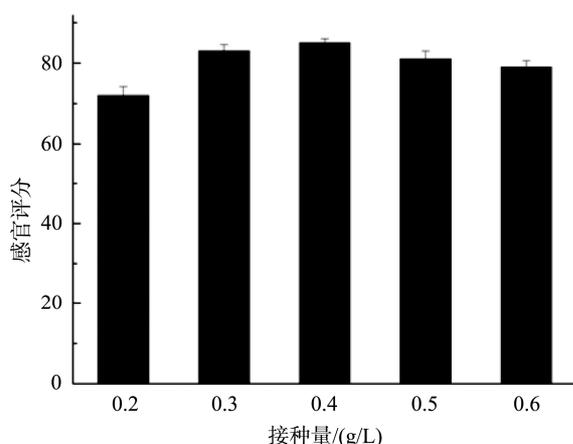


图 8 不同接种量感官评分影响( $n=3$ )

Fig.8 Sensory scores for different inoculation doses( $n=3$ )

2.1.5 营养因子对发酵酸豆乳酸度的变化影响及感官评分

由图 9 和图 10 可知, 适当的添加异麦芽酮糖和低聚果

糖对酸豆乳的酸度均有提高作用, 对感官的影响主要是由于碳水化合物促进菌种生长, 使得酸豆乳的乳酸风味更突出。且最大酸度与最高感官得分所对应的糖添加量高度一致; 发酵 6 h 时, 对照酸度为 57.8 °T, 低聚果糖在添加量为 2% 时, 酸度增至 66.8 °T。异麦芽酮糖增加至 3% 时, 酸度增至 66.7 °T。从感官评分看, 异麦芽酮糖, 感官评分中气味评分最高, 对遮掩豆腥味有显著作用。本研究结果与夏晓风等<sup>[15]</sup>的实验结论表现出相同的趋势, 说明异麦芽酮糖和低聚糖可以显著地促进乳酸菌增殖。并且异麦芽酮糖的促增殖作用因乳酸菌菌种不同表现出一定的差异性<sup>[21-22]</sup>。

2.1.6 复水比例对发酵酸豆乳酸度的变化影响及感官评分

由图 11 可知随着水比例的增加, 产酸速度缓慢, 发酵 5 h, 复水比 1:1( $m:V$ )和 1:2( $m:V$ )酸度分别达到 66.8、65.4 °T, 发酵到 6 h 时, 复水比例 1:3( $m:V$ )酸度达到 68.3 °T, 而复水比 1:4( $m:V$ )和 1:5( $m:V$ )发酵 7 h 时, 酸度才分别达到 56.29、48.6 °T。由于复原豆乳中乳酸菌利用的单糖有限, 添加水量越大, 固形物含量越低, 营养物质越低, 不足以供乳酸菌生长, 产酸会受影响。由图 12 感官评分可知, 水添加量过多过少都会影响成品色泽、口感、状态和气味变化。复水比为 1:1( $m:V$ )时, 色泽、口感、气味评分最低, 随着添加水量越大, 评分有增高趋势, 但复水比增加到 1:4( $m:V$ )时, 气味和状态评分有降低趋势, 没有乳酸香味, 凝乳差, 质地稀薄, 存在豆清析出现象。本研究结果与陈倩等<sup>[7,23-27]</sup>的研究结论表现出相同的趋势, 说明发酵酸豆乳加工过程中, 豆浆的固形物含量严重影响终产品的感官品质, 发酵时间和接种量也影响定最终品质, 固形物含量低, 凝固时间长, 质地松散, 发酵时间长质地坚硬, 时间短则酸度低。因此最佳复水比例为 1:3( $m:V$ )最合适。

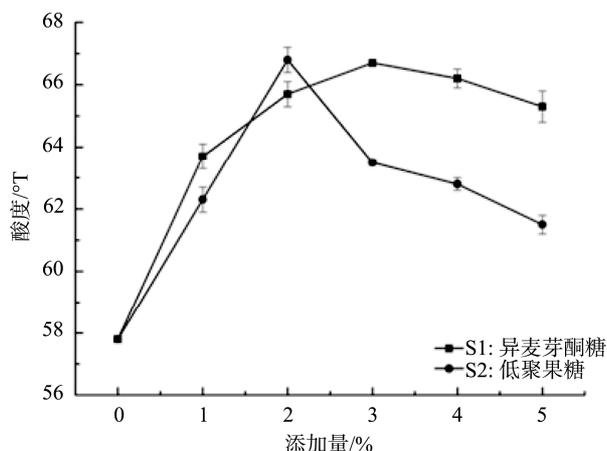


图 9 营养因子对发酵酸豆乳酸度的影响( $n=3, P < 0.05$ )

Fig.9 Effects of nutritional factors on acidity( $n=3, P < 0.05$ )

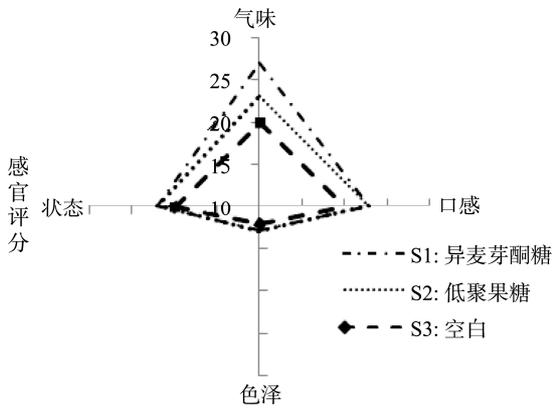


图 10 营养因子对感官评分的影响

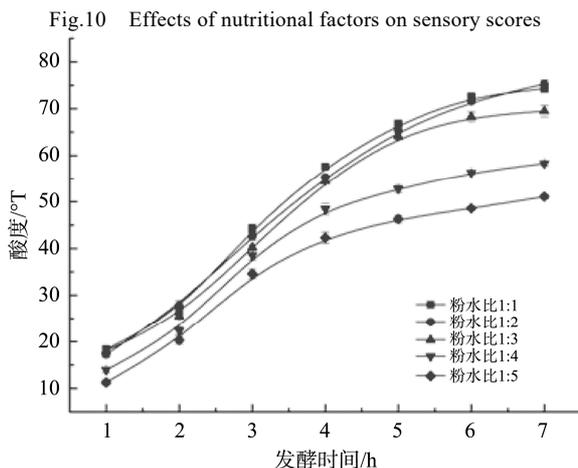


图 11 复水比对酸度变化的影响( $n=3, P < 0.05$ )

Fig.11 Effects of rehydration ratio on acidity changes( $n=3, P < 0.05$ )

### 2.2 正交实验

由单因素实验所得最优的工艺条件，选择豆浆粉复水比例、发酵剂添加量、发酵时间为影响因素，以感官评分为指标进行 3 因素 3 水平的正交实验，结果见表 4，方差分析见表 5。由表 4 可知，复水比例对感官得分的影响显著，对感官得分的影响因素的主次顺序为复水比例 > 发酵剂添加量 > 发酵时间。最优方案是  $\alpha_2\beta_2\gamma_2$ ，即最优的工艺为即复水比例为 1:3( $m:V$ )，发酵剂添加量 0.4 g/L，发酵时间 6 h。按照正交实验所得的最优方案，做验证性实验，平行 3 次，取平均值。获得最优工艺条件下的感官评分为 90 分。

### 3 结论与讨论

本研究通过单因素实验和正交实验确定了发酵酸豆乳的最佳配方，实验结果表明最佳发酵剂为 D，发酵剂最佳接种量为 0.4 g/L，豆粉选用豆浆粉 C02，复水比例为 1:3( $m:V$ )，异麦芽酮糖添加量为 3%，培养温度为 42 °C，发酵 6 h，在此发酵工艺下发酵的酸豆乳产品口感细腻滑润，酸度适宜柔和，

粘稠度合适，豆腥味基本被掩盖。发酵酸豆乳作为一款多重功能的食品，富含大豆肽、大豆异黄酮、大豆蛋白、大豆低聚糖、乳酸菌等，不含胆固醇，对人体有很好的保健功能，具有巨大的开发前景。本研究仅对发酵酸豆乳的制作工艺进行了探讨，下一步还需对发酵酸豆乳中的活性成分及其作用机制进行深入研究，为其开发应用提供科学参考。

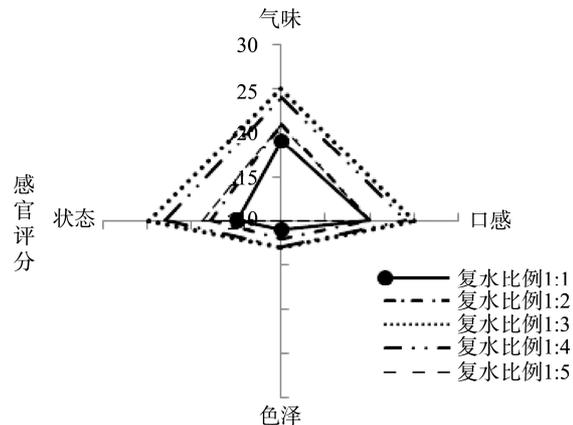


图 12 复水比对感官评分的影响

Fig.12 Effects of rehydration ratio on sensory score

表 4 正交实验结果分析表

Table 4 Orthogonal experimental results and analysis

因素	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	评分
1	1	1	2	74
2	1	2	3	80
3	1	3	1	77
4	2	1	1	86
5	2	2	2	90
6	2	3	3	85
7	3	1	3	80
8	3	2	1	81
9	3	3	2	80
$K_1$	231	240	240	
$K_2$	261	251	246	
$K_3$	241	242	247	
$k_1$	77	80	80	
$k_2$	87	83.67	82	
$k_3$	80.33	80.67	82.33	
$R$	10	3.67	2.33	

表 5 正交实验结果方差分析表  
Table 5 Analysis of variance of orthogonal experiment

差异源	SS	df	MS	F	显著性
$\alpha$	155.56	2	77.78	700	**
$\beta$	22.89	2	11.44	103	**
$\gamma$	9.56	2	4.78	43	*
误差 e	0.22	2	0.11	1	
总和	188.22	8			

## 参考文献

- [1] 李傲辰. 大豆的主要营养成分及营养价值研究进展[J]. 现代农业科技, 2020, (23): 213–214, 218.  
LI AC. Research progress on main nutritional components and nutritional value of soybean [J]. Mod Agric Sci Technol, 2020, (23): 213–214, 218.
- [2] 蔡曼儿, 孙翰, 薄芯. 中国传统发酵大豆制品的营养[J]. 中国酿造, 2010, (2): 11–16.  
CAI ME, SUN H, BO X. Nutrition of traditional fermented soybean products in China [J]. China Brew, 2010, (2): 11–16.
- [3] 王立红, 刘家亨, 马力, 等. 大豆碳水化合物结构功能的研究进展[J]. 大豆科学, 2015, 34(4): 703–711.  
WANG LH, LIU JH, MA L, et al. Research progress on carbohydrate structure and function of soybean [J]. Soybean Sci, 2015, 34 (4): 703–711.
- [4] 崔树勇. 乳酸菌发酵豆奶饮料的开发及生产研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.  
CUI SY. Development and production of soybean milk beverage fermented by lactic acid bacteria [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [5] 李宝玉, 吴培翔. 大豆酸乳与人体健康关系的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(28): 85–87.  
LI BY, WU PX. Research progress on the relationship between soybean yoghurt and human health [J]. Anhui Agric Sci, 2017, 45 (28): 85–87.
- [6] 甘晶. 乳酸菌发酵生产酸豆乳营养成分的分析[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012.  
GAN J. Analysis of nutritional components in fermented soybean milk by lactic acid bacteria [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2012.
- [7] 陈倩, 吴琼, 蒋予箭. 大豆酸乳发酵工艺的优化[J]. 大豆科学, 2015, 34(1): 116–121.  
CHEN Q, WU Q, JIANG YJ. Optimization of fermentation technology of soybean yoghurt [J]. Soybean Sci, 2015, 34(1): 116–121.
- [8] 童芳. 花生酸奶的制备、营养成分及品质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.  
TONG F. Preparation, nutrition and quality of peanut yogurt [D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [9] 张鸿儒, 谢晋, 韩迪, 等. 新型豆基发酵奶研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(8): 308–313.  
ZHANG HR, XIE J, HAN D, et al. Advance in the new soybean yogurt [J]. Food Ferment Ind, 2018, 44(8): 308–313.
- [10] YOUNG HP, TUNG CL, YOUNG CL. Enrichment of bioactive isoflavones in soymilk fermented with  $\beta$ -glucosidase-producing lactic acid bacteria [J]. Food Res Int, 2005, 38: 551–559.
- [11] 李锋, 华欲飞. 应用不同大豆蛋白制备大豆酸奶[J]. 食品工业, 2004, (2): 22–24.  
LI F, HUA YF. Preparation of soy yogurt with different soy protein [J]. Food Ind, 2004, (2): 22–24.
- [12] 郭晓, 许女, 王艳萍. 酸豆乳加工工艺研究[J]. 中国食物与营养, 2009, (2): 44–46.  
GUO X, XU N, WANG YP. Study on processing technology of sour soybean milk [J]. Food Nutr China, 2009, (2): 44–46.
- [13] 马新新. 酸豆乳发酵工艺优化实验[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 170–174.  
MA XX. Optimization of fermentation technology of sour soybean milk [J]. Food Ind, 2020, 41(7): 170–174.
- [14] 吴倩, 余元善, 徐玉娟, 等. 不同乳酸菌对凝固型荔枝酸奶的发酵特性和质构的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(7): 99–106.  
WU Q, YU YS, XU YJ, et al. Effects of different lactic acid bacteria on fermentation characteristics and texture of set-style yogurt fortified with lychee juice [J]. Mod Food Sci Technol, 2019, 35(7): 99–106.
- [15] 夏晓风, 王虎飞, 吴晓玉. 6 种常用低聚糖对嗜热链球菌体外生长的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(3): 310–317.  
XIA XF, WANG HF, WU XY. Effects of six commonly used oligosaccharides on the growth of *Streptococcus thermophilus* in vitro [J]. J Food Sci Biotechnol, 2016, 35(3): 310–317.
- [16] 黄强, 俞琳, 赵广生, 等. 发酵条件对凝固型酸奶质地影响的研究[J]. 浙江科技学院学报, 2013, 25(6): 441–446.  
HUANG Q, YU L, ZHAO GS, et al. Effect of different fermentation conditions on character of solidified yogurt [J]. J Zhejiang Univ Sci Technol, 2013, 25(6): 441–446.
- [17] 赵丽艳, 杨柳, 陈宇飞. 酸豆乳益生菌发酵条件探析[J]. 食品安全导刊, 2018, (3): 129.  
ZHAO YL, YANG L, CHEN YF. Fermentation conditions of probiotics in sour soybean milk [J]. Chin Food Saf Magaz, 2018, (3): 129.
- [18] RHB 104—2020 发酵乳感官评鉴细则[S].  
RHB 104—2020 Sensory evaluation rules of fermented milk [S].
- [19] GB 5009.239—2016 食品安全国家标准 食品酸度的测定[S].  
GB 5009.239—2016 National food safety standard-Determination of food acidity [S].
- [20] 陈洁, 杜萍, 王铁旦, 等. 酸豆乳发酵工艺条件的优化[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(11): 79–83.  
CHEN J, DU P, WANG TD, et al. Optimization of fermentation conditions of sour soybean milk [J]. Food Ferment Ind, 2012, 38 (11): 79–83
- [21] 郭帅. 适用于豆乳发酵的嗜热链球菌筛选及其应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.  
GUO S. Screening and application of *Streptococcus thermophilus* suitable for soymilk fermentation [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.
- [22] 王少伟, 张金秋, 戚繁, 等. 功能性低聚糖的应用研究进展[J]. 现代食品, 2020, (18): 59–61.  
WANG SW, ZHANG JQ, QI F, et al. Advance and application of functional oligosaccharide [J]. Mod Food, 2020, (18): 59–61.
- [23] 刘丽莎, 彭义交, 田旭, 等. 直接式发酵剂在酸豆乳中的应用研究[J]. 食品科技, 2015, 40(1): 296–300.  
LIU L, PENG Y J, TIAN X, et al. Application of directed vat set (DVS) on soybean yogurt [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(1): 296–300.
- [24] YI RK, TAN F, ZHAO X. Physicochemical and functional properties of *Lactobacillus* fermented soybean milk [J]. E3S Web Conf, 2020, 145(19):

(责任编辑: 于梦娇)

01034.

- [25] 徐粉林, 朱修良. 大豆发酵制作大豆酸奶的工艺探索[J]. 现代食品, 2019, (16): 79-81.

XU FL, ZHU XL. Exploration of soybean yoghurt production by soybean fermentation [J]. Mod Food, 2019, (16): 79-81.

- [26] JO JH, YANG HS, CHOI YJ, *et al.* Quality characteristics of protein-enriched fermented milk made with whey and soybean flour [J]. J Milk Sci Biotechnol, 2014, 32(2): 121-129.

- [27] 隋琳, 钱方. 异麦芽酮糖促进乳酸菌增殖作用研究[A]. 中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会第十六届年会暨第十届中国食品业高层论坛论文摘要集[C]//. 中国食品科学技术学会, 2019.

SUI L, QIAN F. Study on the effect of palatinose on the proliferation of lactic acid bacteria [A]. Chinese Institute of food science and technology. Proceedings of the 16th annual meeting of Chinese society of food science and technology and the 10th China food industry forum [C]//. Chinese Society of Food Science and Technology, 2019.

## 作者简介



封晓毓, 工程师, 主要研究方向为大豆蛋白食品研发。

E-mail: 932001421@qq.com



曹建柱, 工程师, 主要研究方向为蛋白食品研发。

E-mail: caojianzhu2015@163.com