

大豆酸奶工艺及风味研究

肖璇¹, 张潇云²

(1.江西省赣州市章贡区市场监督管理局, 江西赣州 341000; 2.赣州市军队离休退休干部休养所, 江西赣州 341000)

摘要: [目的]本研究旨在以大豆和牛乳为原料, 通过发酵工艺制备大豆酸奶, 并系统探讨大豆乳与牛乳的比例、蔗糖添加量、菌种接种量及发酵时间等工艺参数对产品品质的影响, 以确定最优生产配方。[方法]采用四因素三水平正交试验设计, 通过调整大豆乳与牛乳的比例、蔗糖添加量、菌种接种量和发酵时间等参数, 对制备的样品进行pH值、酸度及感官特性评定。具体操作包括: 将原料混合后, 在70℃下杀菌30 min, 冷却至43℃接种发酵剂, 随后于37℃恒温发酵。[结果]试验结果表明, 当大豆乳与牛乳以20:80比例混合, 添加6%蔗糖, 接种量为2%, 经70℃、30 min杀菌后冷却至43℃接种发酵剂, 在37℃下发酵9 h, 可制备出酸甜适宜、组织均匀细腻、凝乳状态良好、风味协调且色泽符合产品特性的优质大豆酸奶。[结论]通过正交试验优化, 确定了大豆酸奶的最佳工艺参数组合, 即大豆乳与牛乳20:80比例、6%蔗糖添加量、2%菌种接种量及9 h发酵时间。该配比方案显著提升了酸奶的感官品质和理化特性, 为家庭或小型生产场景提供了科学可行的参考依据。

关键词: 大豆; 牛乳; 发酵; 大豆酸奶

文章编号: 1671-4393 (2026) 01-0090-09

DOI:10.12377/1671-4393.26.01.14

Study on the Processing Technology and Flavor of Soybean yogurt

XIAO Xuan¹, ZHANG Xiaoyun²

(1. Market Supervision Administration of Zhanggong District, Ganzhou City, Jiangxi Province, Ganzhou Jiangxi 341000; 2. Retired Military Cadres' Sanatorium of Ganzhou City, Ganzhou City, Jiangxi Province, Ganzhou Jiangxi 341000)

Abstract: [Objective] This research aimed to prepare soy yogurt using soybeans and milk as raw materials through fermentation technology. It systematically explored the effects of process parameters such as the ratio of soy milk to milk, the amount of sucrose added, the inoculation amount of bacteria, and the fermentation time on the product quality, in order to determine the optimal production formula. [Method] A four-factor three-level orthogonal experimental design was adopted. By adjusting parameters such as the ratio of soy milk to cow milk, the amount of sucrose added, the inoculation amount of the bacteria, and the fermentation time, the prepared

基金项目: 武汉骏安生物科技有限公司功能型益生菌的筛选和应用 (0220210628)

作者简介: 肖璇 (1989-), 女, 江西赣州人, 本科, 助理工程师, 研究方向为食品科学与工程;
张潇云 (1989-), 男, 江西景德镇人, 本科, 研究方向为食品科学与工程。

samples were evaluated for pH value, acidity, and sensory characteristics. The specific operations included: mixing the raw materials, sterilizing at 70 °C for 30 minutes, cooling to 43 °C, inoculating the starter culture, and then fermenting at a constant temperature of 37 °C.[Result]The experiment results showed that when soy milk and cow milk are mixed in a 20 : 80 ratio, 6% sucrose was added, the inoculation amount was 2%, after being sterilized at 70 °C for 30 minutes and then cooled to 43 °C, the starter culture was inoculated and fermented at 37 °C for 9 hours, a high-quality soy yogurt with an appropriate acid and sweetness, uniform and delicate texture, good curd state, harmonious flavor and color consistent with the product characteristics could be prepared.[Conclusion] Through orthogonal experiments, the optimal combination of process parameters for soy yogurt was determined, namely a ratio of 20 : 80 of soy milk to cow milk, a sugar addition of 6%, a bacterial inoculation amount of 2% and a fermentation time of 9 hours. This ratio scheme significantly improved the sensory quality and physicochemical properties of the yogurt, providing a scientifically feasible reference basis for home or small-scale production scenarios.

Keywords: soybean; milk; fermentation; soybean-yogurt

随着消费者对健康、素食和环保饮食的关注度持续提升,大豆酸奶作为一种营养健康的植物基酸奶,近年来在市场上呈现出显著的增长态势^[1]。大豆酸奶不仅能满足乳糖不耐受者和素食主义者的需求,还能通过改进发酵工艺^[2]和添加天然香料^[3]、水果^[4]等成分,提升其口感和营养价值,成为一种理想的健康饮品^[5]。

在现代市场中,大豆酸奶的品牌逐渐增多,其中部分品牌已经获得消费者的广泛认可^[6]。例如,美仁JOOMA以其优异的品质和高益生菌含量脱颖而出,成为市场上的佼佼者^[7]。农夫山泉作为国内首款植物酸奶的推出者,也凭借其品牌影响力和产品质量,占据了重要市场份额^[8]。此外,豆本豆作为中国植物乳行业的代表品牌之一,推出的常温植物酸奶以“0乳糖、0胆固醇、0反式脂肪”为核心优势,满足了更多消费者的需求^[9]。在国际市场上,大豆酸奶同样受到青睐。Stonyfield^[10]、Cultures For Health^[11]、Belle+Bella^[12]、Silk^[13]等品牌在欧美市场已具有较高知名度和市场份额^[2]。这些品牌不仅在产品种类上不断创新,还在营养和口感方面进行了深度优化,以更好地满足不同消费者的需求。

然而,当前大豆酸奶在口感和风味方面仍存在

明显不足。研究表明,影响大豆酸奶口感和风味的主要因素包括大豆乳与牛乳的配比^[14],蔗糖添加量^[15]、接种量^[16]以及发酵时间^[15]等,因此,针对大豆酸奶口感与风味的研究,及其多因素的综合考量已成为大豆酸奶产品开发急需解决的重要问题^[17]。本文通过正交试验设计,系统研究大豆乳与牛乳的配比,蔗糖添加量、接种量以及发酵时间4个关键因素对大豆酸奶口感与风味的影响,并通过感官评定法对不同试验组进行评价,以量化大豆酸奶的品质差异,从而确保评价结果的客观性和可靠性^[18]。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

试验材料:大豆,(同批次黑龙江齐齐哈尔东北非转基因大豆),市售;白砂糖,云南滇鹏糖业有限公司;脱脂奶粉,黑龙江光明松鹤乳品有限责任公司。YPL-903型直投式发酵剂(含保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌,及双歧杆菌、鼠李糖乳酪杆菌、嗜酸乳杆菌等多种益生菌),安琪酵母股份有限公司;0.1 mol/L氢氧化钠溶液及0.1%酚酞溶液(国产分析纯),中国医药集团有限公司。

仪器设备:DL-CJ-1N型超净工作台,哈尔滨

市东联电子技术开发有限公司；HR2024型飞利浦搅拌机，飞利浦电子香港有限公司；Haier-BC/BD-103HA型冰箱，海尔集团公司；XPX-9082 MBE型恒温培养箱，上海博讯实业有限公司医疗设备厂；XQ.SG41.280型杀菌锅，上海华线医用核子仪器有限公司；Sartorius-PB-10型pH计，上海精密科学仪器有限公司；HH-2型数显恒温水浴锅，国华电器有限公司；精宝不锈钢蒸锅，潮安县彩塘镇精胜五金厂）、ACCULAB电子天平，德国赛多利斯公司/Sartorius Group；电炉，北京市永光明医疗仪器厂；HR2038磨浆机，飞利浦电子香港有限公司。

1.2 试验方法

首先制备不同比例（0：100、10：90、20：80、30：70、100：0）豆乳-牛乳复合液：取70 g大豆经5%碳酸氢钠溶液浸泡10 h后，按1：8料液比加水磨浆，过滤后煮沸灭菌，制得豆乳，冷却备用。另取72 g脱脂乳粉溶于600 mL温水配制成还原奶，冷却备用。将豆乳与还原奶按0：100、10：90、20：80、30：70、100：0的体积比混合，分装150 mL至三角瓶中，经70 ℃、30 min灭菌后迅速冷却至常温。

根据《GB 5009.239—2016 食品安全国家标准食品酸度的测定》中方法对豆乳酸度进行测定：取10 mL豆乳加20 mL纯水稀释，采用Sartorius-PB-10型pH计测定pH值，再加入2 滴0.1%酚酞溶液，用0.1 mol/L氢氧化钠标准溶液滴定至微红色终点（30 s内不褪色），消耗氢氧化钠标准溶液体积（mL）×10，即为酸度值（°T）。

最后选取优质大豆进行发酵试验，具体工艺流程见图1，所有试验均设置3个平行样本。

以优质大豆为原料，经磨浆机磨浆0.5 h制得豆浆（料水比1：8），过滤后去渣备用。在豆浆中分别添加不同比例（4%、5%、6%、7%、8%）蔗糖及牛乳等配料，充分搅拌混匀后分装至三角瓶中。为保留大豆蛋白活性并兼顾灭菌效果^[1]，70 ℃、30 min杀菌后迅速水浴，使料液冷却至43 ℃，并分别接入不同比例的发酵剂（2%、3%、4%、5%、6%），充

分搅拌混匀，及时封盖。随后将接种料液置于37 ℃^[19]恒温箱中分别培养8 h、9 h、10 h、11 h、12 h，至发酵凝固。最终发酵产品转移至0~5 ℃冰箱中冷藏12~24 h进行后发酵，以促进乳酸生成和风味物质协调，所有试验均设置3个平行样本。

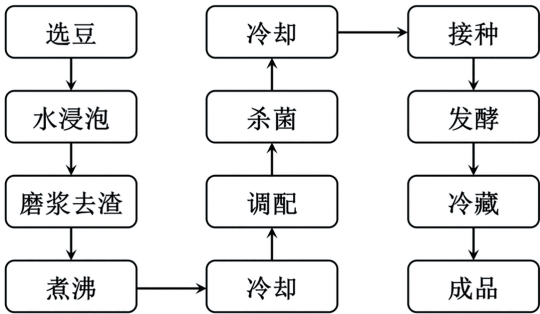


图 1 发酵工艺流程图
Figure 1 Flowchart of the Fermentation Process

1.3 感官评定法

采用标准化五人评分法，参照表1评分标准对大豆酸奶的组织状态，乳清析出情况、口感、风味等

表 1 大豆酸奶感官评定标准		
Table 1 Sensory Evaluation Standards for Soy Yogurt		
指标	评定标准	分值（分）
滋味与气味	发酵豆奶特有的香味	25
	酸甜比适度	
	酸甜比略有失调	15 ~ 20
	滋气味寡淡，不浓郁	13 ~ 18
	有不新鲜滋气味	12 ~ 17
	有酸败味	8 ~ 11
	有其他异味	5 ~ 13
组织状态	组织均匀细腻，无乳清析出	60
	组织基本一致，有少量乳清析出	45 ~ 55
	有明显的颗粒感	20 ~ 40
	产品分层，有大量的乳清析出和沉淀物	0 ~ 20
杂质	无肉眼可见异物，纯净一致	10
	有肉眼可见异物	0 ~ 2
色泽	色泽均匀一致	5
	呈现产品特有色泽	
	色泽暗淡或色泽浓重	2 ~ 3
	色泽异常	0 ~ 1

进行综合评分^[20]。评定指标包括滋味与气味、组织状态、杂质、色泽等。组织状态与色泽通过观察样品进行评定：将样品置于光线充足处，仔细观察其光泽度、颜色均匀性，以及表面平整度。所有样品均以3位随机编码编号，在恒温条件下由经过培训的评审员独立评分，最终取5人评分的平均值为感官总分。

为综合考量豆乳发酵过程中各因素的影响，对蔗糖添加量（5%、6%、7%）、接种量（2%、3%、4%）、豆奶比（10：90、20：80、30：70）和发酵时间（9 h、10 h、11 h）采用L₉（3⁴）正交试验设计，正交因素水平见表2。以pH值、滴定酸度和感官评分为评价指标。其发酵工艺参数为杀菌条件70℃、30 min，豆水质量比1：8，37℃培养10 h，4℃熟化12 h。

表 2 大豆酸奶发酵正交试验因素水平表				
Table 2 Orthogonal Experiment Factor Levels for Soy Yogurt				
Fermentation				
因素水平	蔗糖添加量 (%)	接种量 (%)	豆奶比	发酵时间 (h)
1	5	2	10：90	9
2	6	3	20：80	10
3	7	4	30：70	11

2 结果与讨论

2.1 豆奶比对大豆酸奶发酵的影响

表3感官评定结果显示，大豆酸奶虽然能够形成与牛乳酸奶类似的凝乳结构，但在风味特征上存在明显差异，主要表现为滋味单薄和香味不足。基于此，本研究提出通过添加少量牛乳改善产品风味的优化方案。

此外，牛乳中丰富的生长因子能够为乳酸菌发酵提供更适宜的营养环境。图2的滴定酸度变化曲线显示，随着牛乳含量减少，产品酸度逐渐提高，当豆奶比超过20：80后，其酸度开始下降。通过系统的感官评定和酸度测定，最终确定80%牛乳添加量的配方能够使大豆酸奶具有最佳风味，其评分较纯豆乳发酵产品提升约19.4%。

表 3 不同豆奶比对大豆酸奶发酵情况的影响
Table 3 The Impact of Different Soy Milk Ratios on the Fermentation Process of Soy Yogurt

豆奶比	发酵情况	感官评定 (分)
10：90	均匀稳定，凝固较好，乳清析出较少，豆味淡，色泽微黄	74
20：80	均匀稳定，凝固好，无乳清析出，有豆香，淡黄色	86
30：70	均匀稳定，凝固好，无乳清析出，豆味较浓，偏黄	80
100：0	均匀稳定，凝固较好，乳清析出较多，豆味重，淡褐色	72
0：100	均匀稳定，凝固好，乳清析出较少，奶味浓郁，乳白色	88

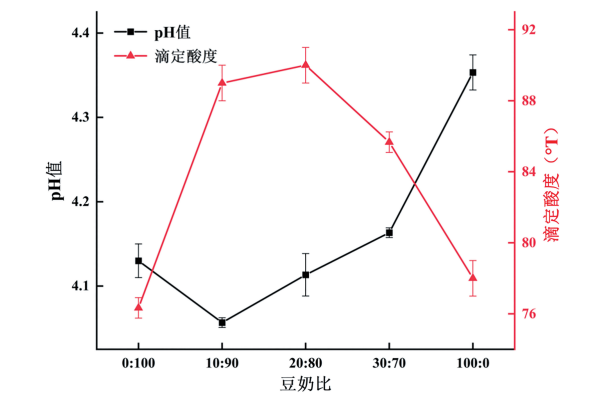


图 2 不同豆奶比的发酵产酸曲线
Figure 2 Acid production curves during fermentation for different ratios of soy milk

2.2 蔗糖添加量对大豆酸奶发酵的影响

表4感官评定结果显示，加入适量蔗糖可使大豆酸奶产生良好的风味，形成合适的酸甜平衡，使凝乳结构细腻光滑。蔗糖添加量过低会导致发酵基质碳源不足，乳酸菌发酵迟缓和凝乳松散；而过高则会产生渗透压抑制，使乳酸菌活性降低，导致凝固性较差，组织状态松散。

如图3所示，蔗糖添加量为6%时，滴定酸度达到峰值，且该处理组的感官总分显著高于其他组别。因此，6%蔗糖添加量为最优工艺参数。

2.3 接种量对大豆酸奶发酵的影响

表5感官评定结果显示，接种量是影响豆乳发酵过程的关键参数，其对产酸效率和产品的组织状态

表 4 蔗糖添加量对大豆酸奶发酵情况的影响
Table 4 The Impact of Sucrose Addition Amount on the Fermentation Process of Soy Yogurt

蔗糖添加量	发酵情况	感官评定 (分)
4%	口感较细腻，较酸，凝乳较均匀， 少许乳清析出	75
5%	口感较细腻，酸甜较合适，凝乳 均匀，少量乳清析出	83
6%	口感细腻，润滑爽口，酸甜适口， 凝乳均匀，无乳清析出	89
7%	口感较细腻，润滑爽口，甜度稍 大，凝乳均匀，无乳清	80
8%	口感较粗糙，甜度大，凝乳不均 匀，有沙砾感，有乳清	76

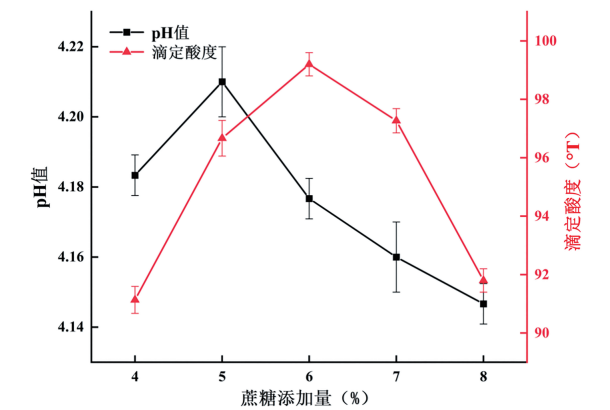


图 3 不同蔗糖添加量的发酵产酸曲线
Figure 3 Acid production curves during fermentation with different sucrose addition amounts

表 5 不同接种量对大豆酸奶发酵情况的影响
Table 5 The Impact of Different Dosages on the Fermentation Process of Soy Yogurt

接种量	发酵情况	感官评定 (分)
2%	凝乳好，淡黄色，气味较淡，微甜， 乳清析出较少	88
3%	凝乳良好，淡黄色，气味淡，微甜， 乳清析出较少	80
4%	凝乳好，淡黄色，略有豆腥味，有 酸味，乳清析出较少	86
5%	凝乳好，淡黄色，气味淡，爽口， 乳清析出较少	92
6%	凝乳一般，淡黄色，味淡，略甜， 乳清析出较多	76

有重要调控作用。当接种量低于3%时，表现为发酵迟缓，产酸较少；而接种量为6%时，发酵速度过快，引发蛋白质过度收缩，终产品有较多乳清析出。

如图4所示，在2%~5%接种量范围内，滴定酸度与接种量呈正相关趋势，接种量达到5%时，滴定酸度最高，因此综合评定后选取5%为最佳接种量。

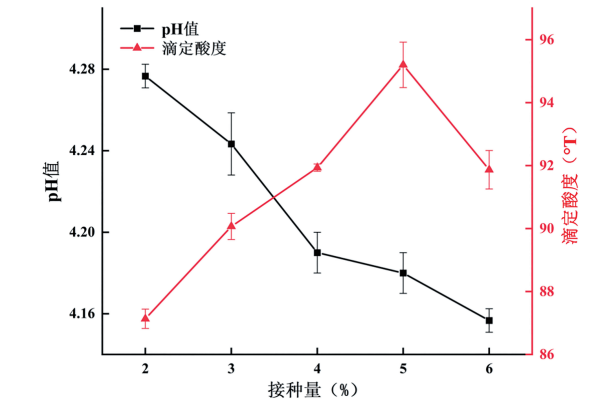


图 4 不同接种量的发酵产酸曲线
Figure 4 Acid production curves of fermentation with different inoculation amounts

2.4 发酵时间对大豆酸奶发酵的影响

表6感官评定结果显示，发酵时间对发酵状态存在显著影响。发酵时间为9 h时，产品具有最佳品质特征，凝乳结构均匀致密，且无乳清析出。当发酵时间<9 h时，蛋白质网络结构不完整，而发酵过度则导致过度酸化，引发凝乳收缩。

表 6 不同发酵时间对大豆酸奶发酵情况的影响
Table 6 The Impact of Different Fermentation Times on the Fermentation Process of Soy Yogurt

发酵时间 (h)	发酵情况	感官评定 (分)
8	淡黄色，凝乳较好，乳清析出较少， 口感较细腻	72
9	淡黄色，凝乳好，无乳清析出，口 感细腻爽口	89
10	淡黄色，凝乳好，乳清析出较少， 口感细腻	83
11	淡黄色，凝乳较好，极少乳清析出， 口感略有沙感	75
12	淡黄色，凝乳稍有破烂，有乳清析 出，口感较粗糙	70

如图5所示，发酵8~9 h时，滴定酸度随时间延长而增大；超过9 h后，滴定酸度骤然下降，并呈现波动式变化，发酵10~11 h时，滴定酸度有所增加，而发酵时间延长至12 h时，酸度又略微下降。因此，发酵9 h时感官评定结果显著优于其他发酵时间，故确定为最佳发酵时间。

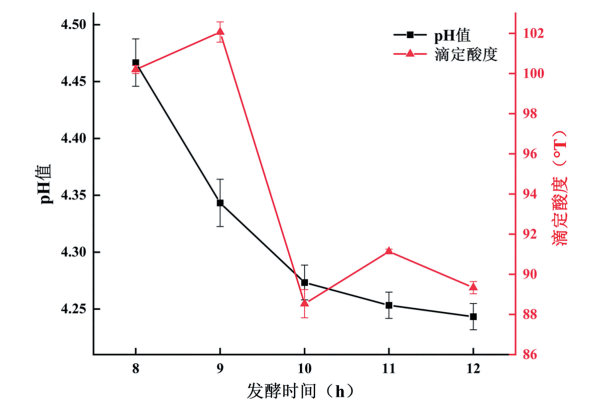


图 5 不同发酵时间的发酵产酸曲线
Figure 5 Acidity production curves during fermentation at different times

2.5 正交试验结果

本研究在单因素的基础上，以蔗糖添加量、接种量、豆奶比和发酵时间按表7进行L₉正交试验，以pH值、滴定酸度和感官评定结果为评价指标，参照表1感官评定标准，计算5名评价人员的评分均值，结果见表8。

由此可见，滴定酸度可对发酵乳制品的质地、香气和滋味等多项指标形成影响，从而影响感官评分，酸度过高将导致脱水收缩性增强，乳清析出，蛋白质凝结成块，口感酸涩；当酸度处于适宜范围

表 8 pH 值评分极差分析结果				
Table 8 Analysis Results of the Worst Scores for pH Value Rating				
因素	蔗糖添加量	接种量	豆奶比	发酵时间
K1	12.66	12.71	12.70	12.76
K2	12.68	12.68	12.64	12.64
K3	12.68	12.68	12.68	12.62
k1	4.22	4.24	4.23	4.25
k2	4.23	4.23	4.21	4.21
k3	4.23	4.21	4.23	4.21
极差	0.01	0.03	0.02	0.04

内，乳制品口感细腻顺滑，风味充足。而酸度过低不利于乳酸菌生长，导致风味物质无法充分合成。试验号⑦（滴定酸度87 °T）与试验号⑨（滴定酸度88 °T）在滴定酸度上的差异显著小于两者感官评定结果的差异幅度，这与Wang等^[21]研究结果一致，主要是因为发酵乳制品的酸度可显著影响发酵乳凝胶网络的结构重排，进而导致乳清析出。在一定范围内，当滴定酸度较低时，黏度适宜，口感细腻，可减少发酵乳的油腻性和粉状特征。但滴定酸度进一步升高时（如试验号⑧，酸度80 °T），虽然无乳清析出，但可能已出现凝胶收缩，导致部分质地粗糙。试验号⑤、⑥、⑦的滴定酸度均为87 °T，而感官评定结果分别为87分、72分、93分，与试验号⑦相比，试验号⑥的蔗糖添加量较低，但接种量增加了2%，且牛乳占比90%，导致大豆酸奶pH值较低，酸甜比例失衡，且豆香味寡淡。试验号⑤的蔗糖添加量、接种量、豆乳比与试验号⑦相近，但发酵时间较短，风味物质未能充分合成，因此感官评定略

表 7 大豆酸奶发酵正交试验表							
Table 7 Orthogonal Experiment Table for Fermentation of Soy Yogurt							
试验号	蔗糖添加量 (%)	接种量 (%)	豆奶比	时间 (h)	pH 值	滴定酸度 (°T)	感官评定 (分)
①	5	2	10 : 90	9	4.27	86	75
②	5	3	20 : 80	10	4.20	86	80
③	5	4	30 : 70	11	4.19	80	78
④	6	2	20 : 80	11	4.21	83	84
⑤	6	3	30 : 70	9	4.26	87	87
⑥	6	4	10 : 90	10	4.21	87	72
⑦	7	2	30 : 70	10	4.23	87	93
⑧	7	3	10 : 90	11	4.22	80	76
⑨	7	4	20 : 80	9	4.23	88	88

低。各因素对发酵情况的影响依次为：发酵时间>接种量>豆奶比>蔗糖添加量。

正交试验的最优工艺参数组合为蔗糖添加量6%，接种量2%，豆奶比10：90，发酵时间9 h。

pH值评分极差分析结果显示，各因素对发酵效果的影响顺序为发酵时间>接种量>豆奶比>蔗糖添加量。极差分析最优工艺参数组合为蔗糖添加量6%，接种量2%，豆奶比10：90，发酵时间9 h。

各因素对发酵情况的影响依次为：发酵时间>蔗糖添加量>豆奶比例>接种量。

正交试验的最优工艺参数组合为蔗糖添加量6%，接种量2%，豆奶比20：80，发酵时间9 h。

滴定酸度评分极差分析结果（表9、图6）显示，各因素对发酵情况的影响依次为：发酵时间>蔗糖添加量>豆奶比>接种量。极差分析最优组合为：蔗糖添加量6%，接种量2%，豆奶比20：80，发酵时间9 h。

表 9 滴定酸度评分极差分析结果

Table 9 Analysis Results of Extreme Deviation of Titration Acidity Scores

因素	蔗糖添加量	接种量	豆奶比	发酵时间
K1	252.00	256.00	253.00	261.00
K2	257.00	253.00	257.00	260.00
K3	255.00	255.00	254.00	243.00
k1	84.00	85.33	84.33	87.00
k2	85.67	84.33	85.67	86.67
k3	85.00	85.00	84.67	81.00
极差	1.67	1.00	1.34	6.00

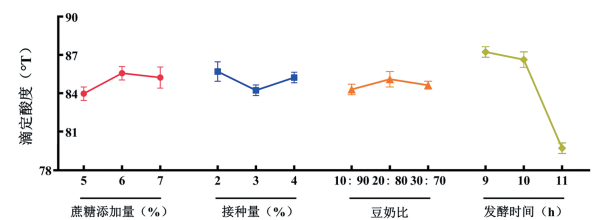


图 6 滴定酸度分析直观图

Figure 6 Graphical Representation of Titration Acidity Analysis

对两组最优工艺参数组合进行验证试验，结果见表10。

最优工艺参数组合验证试验结果表明，各工艺

表 10 最优工艺参数组合验证试验

Table 10 Verification Test of Optimal Process Parameter Combinations

蔗糖添加量 (%)	接种量 (%)	豆奶比	发酵时间 (h)	pH 值	感官评定 (分)
6	2	10：90	9	4.26	86
6	2	20：80	9	4.22	92

参数对大豆酸奶品质的影响程度存在显著差异，其重要性排序为：发酵时间>蔗糖添加量>豆奶比>接种量。发酵时间作为最关键因素，直接影响大豆酸奶的组织状态和口感。蔗糖添加量主要调控产品的酸甜平衡，添加量过高会导致产品甜腻，而添加量过低则导致产品过酸。豆奶比通过影响蛋白质组成和乳糖含量，共同决定产品的凝乳特性和特征风味物质合成。这主要是因为豆浆占比提高后，甲酸己酯和反-2-辛烯醛的风味特征显著，具体表现为甜味脂肪香气和未成熟的梅子香气^[22]，而庚醇、戊醇等豆腥味物质的积累量尚未达到感知阈值，而当豆奶比为10：90时，大豆酸奶的特殊风味物质生成量较低，无明显香气。当接种量不足时，菌群密度过低会导致产酸效率低下且稳定性差，而接种量过高则会引发发酵速率过高，导致产品蛋白质网络结构破坏。通过最优组合验证试验，在蔗糖添加量为6%，接种量为2%，豆奶比为20：80，发酵时间为9 h的参数组合下（辅助参数为豆水质量比为1：8，70 ℃杀菌30 min，37 ℃恒温发酵）制得的产品具有最优品质特征，凝乳质地均匀，组织细腻、酸甜爽口、风味协调，感官评定结果达92分，显著优于其他组。

3 讨论

本研究通过单因素试验和正交优化试验设计，系统探讨豆奶基质组成与发酵参数对植物基酸奶品质的具体作用。研究重点分析豆奶比、蔗糖添加量、菌种接种量以及发酵时间和温度对发酵体系的综合影响。试验结果表明，豆水质量比为1：8，杀菌条件为70 ℃、30 min，蔗糖添加量为5%~7%，接种量为2%~4%，豆奶比为10：90~30：70，发酵时间为9~11 h，大豆酸奶的发酵状态较好、酸度

较高。

以感官评定结果为评价指标,进一步通过正交优化试验确定豆乳发酵的最佳工艺条件:蔗糖添加量为6%,接种量为2%,豆奶比为20:80,发酵时间为9 h,其他条件为:豆水质量比为1:8,杀菌条件为70℃、30 min,发酵温度为37℃。豆水质量比1:8可在保证大豆蛋白足量溶出的同时,避免过高固形物含量导致的凝胶结构致密。正交优化试验进一步验证发现,豆浆占比提高至20%时,大豆蛋白与牛乳酪蛋白可形成均匀的胶束网络,显著提升持水性,为产品提供了细腻且富有弹性的质地。蔗糖添加量6%的优化可为基础发酵菌及益生菌提供最佳碳氮比,从而确保在9 h发酵周期内,关键风味物质积累超过感知阈值,且乳酸生成速率可控,有效规避过酸导致的感官失衡,此外,蔗糖的添加显著提升了产品的甜感协调性,使最终产品呈现“酸甜爽口”的典型酸奶风味。接种量2%的优化方案兼顾了发酵效率与成本效益,对比接种量5%的实验组,尽管后者可使发酵时间缩短约,但最终酸奶产品的感官品质等关键参数与2%接种量组相比差异不显著,表明2%接种量更具规模化生产潜力。通过上述参数的协同优化,最终制得的大豆酸奶质地细腻、酸甜爽口、风味协调,感官品质良好,具有作为功能性食品的应用潜力。尽管优化工艺显著提升了产品品质,但本研究未考察后发酵阶段风味物质动态变化。后续研究可结合GC-MS分析挥发性成分,重点关注乙醛、双乙酰等典型香气化合物的生成速率,并探讨发酵温度梯度对风味轮廓的影响。此外,可进一步验证该工艺在工业化连续生产中的稳定性,为植物基酸奶的规模化应用提供技术支撑。

4 结论

为优化大豆酸奶的工艺配方、提升产品综合品质,本研究采用正交试验设计,以大豆乳与牛乳配比、蔗糖添加量、菌种接种量及发酵时间为关键影响因素,以感官评定结果、pH值、酸度、黏度等为评价指标,系统探究各因素及交互作用对大豆酸奶

品质的影响规律。通过多轮试验的统计分析与综合比较,最终确定大豆酸奶的最佳工艺参数组合为:大豆乳与牛乳体积比20:80、蔗糖添加量6%、菌种接种量2%、发酵时间9 h。在该优化工艺条件下,大豆酸奶呈现均匀乳白的色泽,质地细腻顺滑、无明显颗粒感与分层现象,既保留了牛乳酸奶的醇厚风味,又融入了大豆的独特豆香,甜酸比例协调,无豆腥味等不良异味;理化特性方面,产品pH值稳定在4.2左右,酸度控制在84~87℃T,黏度适中,符合酸奶类产品的核心品质要求,相较于未优化工艺,感官评分明显提升,酸度与黏度的稳定性显著改善,实现了大豆酸奶感官体验与理化性能的同时优化。

参考文献

- [1] 周艳平,张彩猛,孔祥珍,等.酸奶发酵剂对大豆酸奶品质的影响[J].大豆科学,2018,37(1):149-156.
- [2] 许龙,张冬洁,李洪亮,等.酸奶发展的研究进展[J].农产品加工,2019(6):87-89.
- [3] 汪薇,白卫东,赵文红.生物技术在天然香精香料生产中的应用[J].中国酿造,2009(9):7-10.
- [4] 林焕明,黄君茹,梁大伟.水果酸奶的研究进展[J].山东食品发酵,2013(4):48-51.
- [5] 黄祖贤,李松泽,李营威,等.大豆酸奶风味物质研究进展[J].食品安全质量检测学报,2023,14(11):103-110.
- [6] 何齐,李雪,冯倩,等.赛里木传统酸奶品质评价及风味物质分析[J].食品研究与开发,2023,44(13):175-182.
- [7] Fisberg M, Machado R. History of yogurt and current patterns of consumption[J]. Nutrition Reviews, 2015, 73(suppl_1): 4-7.
- [8] 毕志成.农夫山泉创新品类[J].酒·饮料技术装备,2019(6):32-34.
- [9] 谷悦.植物蛋白饮料行业标准化建设取得实质性进步[J].中国食品,2015(2):144.
- [10] Hasemann A. Yogurt: Nutritious food or sugary treat? [J]. Practical Gastroenterology, 2014(126): 37-46.
- [11] Savaiano D A, Hutkins R W. Yogurt, cultured fermented milk, and health: A systematic review[J]. Nutrition Reviews, 2021, 79(5): 599-614.
- [12] Naz H, Raza N, Murtaza S, et al. Development and quality evaluation of non-dairy yogurts.cdr[J]. DIET FACTOR (Journal of Nutritional and Food Sciences), 2023: 6-12.
- [13] Kotyk J. Milk, yogurt and butter in medieval East Asia: Dairy products from China to Japan in medicine and buddhism[J].

Religions, 2021, 12 (5) : 302.

[14] 邢常辉, 李文钊, 孙妮, 等.酵母抽提物对大豆酸奶风味的影响[J].食品研究与开发, 2022, 43 (18) : 63-69.

[15] 刘东, 刘倩霞, 杨富民, 等.天祝牧区传统发酵白牦牛酸奶风味特性分析[J].包装与食品机械, 2018, 36 (6) : 16-24, 63.

[16] 郭壮, 王记成, 闫丽雅, 等.益生菌Lactobacillus casei Zhang对酸奶风味、质地及感官特性的影响[J].中国乳品工业, 2009, 37 (1) : 14-20.

[17] 王双萍, 周合江.功能型酸奶的研究进展[J].中国乳业, 2023 (3) : 85-91.

[18] 耿明雪, 刘小鸣, 赵建新, 等.基于组学及感官评价的酸奶风味研究[J].食品与发酵工业, 2018, 44 (7) : 250-257.

[19] 庞幸, 梁燕子, 胥保辉, 等.不同贮藏温度对常见低温酸奶品质的影响[J].中国乳业, 2024 (6) : 96-102, 108.

[20] Wang X J, Wang L L, Wei X Y, et al.Invited review: Advances in yogurt development—Microbiological safety, quality, functionality, sensory evaluation, and consumer perceptions across different dairy and plant-based alternative sources[J].Journal of Dairy Science, 2025, 108 (1) : 33-58.

[21] Wang X, Kong X, Zhang C, et al.Comparison of physicochemical properties and volatile flavor compounds of plant-based yoghurt and dairy yoghurt[J].Food Research International, 2023, 164: 12375.

[22] Zhang X, Long J, Liu J, et al.Fermentation characteristics, antinutritional factor level and flavor compounds of soybean whey yogurt[J].Foods, 2024, 13 (2) : 330.