

凝固型复合谷物发酵乳加工工艺优化

孙洪蕊¹, 黄 珊², 刘香英¹, 田志刚¹, 康立宁^{1*}, 李海燕^{1*}

(1. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 2. 北华大学, 吉林 吉林 132021)

摘 要:以大豆、藜麦、小米以及全脂奶粉为主要原料, 为改善凝固型复合谷物发酵乳的质构特性, 利用单因素试验以及 Box-Behnken 中心设计试验优化凝固型复合谷物发酵乳的加工工艺。单因素试验结果表明: 当黄原胶添加量 1.25‰、蔗糖添加量 7.0%、发酵温度 43 ℃、发酵时间 10 h 时, 凝固型复合谷物发酵乳的凝胶强度值最大, 是对照组的 2.95 倍。Box-Behnken 中心设计优化结果为: 黄原胶添加量 1.50‰、蔗糖添加量 7.0%、发酵温度 43 ℃、发酵时间 10 h, 此条件下凝固型复合谷物发酵乳的硬度值为 246, 凝胶强度值为 22.10。研究结果为凝固型复合谷物发酵乳的产业化生产提供理论依据。

关键词:凝固型; 谷物; 发酵乳; 凝胶强度; 硬度

中图分类号: TS252.54; TS252.42

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)06-0118-05

Processing Optimization for Fermented Milk of Coagulated Compound Cereal

SUN Hongrui¹, HUANG Shan², LIU Xiangying¹, TIAN Zhigang¹, KANG Lining^{1*}, LI Haiyan^{1*}

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. Beihua University, Jilin 132021, China)

Abstract: In order to improve the texture characteristics of coagulated compound cereal fermented milk, soybean, quinoa, millet and whole milk powder were used as main raw materials. The processing technology of coagulated compound cereal fermented milk was optimized by single factor experiment and Box-Behnken Center design experiment. The results of single factor test showed that when the amount of xanthan gum was 1.25‰, sucrose content was 7.0%, fermentation temperature was 43 ℃, and fermentation time was 10 h, the gel strength of the coagulated compound cereal fermented milk was the largest, which was 2.95 times of that of the control group. Box-Behnken center design optimization results are: xanthan gum addition 1.50‰, sucrose content 7.0%, fermentation temperature 43 ℃, fermentation time 10 h. Under this condition, the hardness value of the coagulated compound cereal fermented milk was 246, and the gel strength value was 22.10. The results provide a theoretical basis for the industrial production of coagulated compound cereal fermented milk.

Key words: Coagulation type; Cereal; Fermented milk; Gel strength; Hardness

大豆富含优质的植物蛋白以及 8 种人体必需氨基酸, 经乳酸菌发酵后可破坏其抗性因子、降低豆腥味、降低引起胀气的低聚糖含量, 提高蛋白质的利用率, 有助于人体的消化和吸收^[1-2]。目前, 对于低脂、高蛋白食品的认知使得酸豆乳或营养更加丰富的复合谷物发酵乳等植物型食品成为研究热点^[3]。大豆蛋白中蛋氨酸、胱氨酸含量

低, 赖氨酸含量高, 而谷物蛋白质中富含蛋氨酸与胱氨酸, 因此将大豆与其他谷物搭配, 可以弥补豆乳中 B 族维生素的不足^[4]、提高总体氨基酸评分以及营养价值。藜麦富含蛋白质、维生素、矿物质以及人体全部必需氨基酸等, 被 FAO 和 NASA 推荐为可以满足人体全营养需求的单体食品以及宇航员食品^[5-6]。小米的营养价值丰富, 富含 B 族维生素以及 8 种必需氨基酸, 除赖氨酸之外, 其氨基酸模式值接近人体所需^[7-8]。

基于此, 本研究以大豆、藜麦、小米以及全脂奶粉为主要原料, 依据氨基酸互补原则, 确定原料配比。针对复合谷物发酵乳析出、质构特性差以及组织状态粗糙等系列问题^[3], 以凝胶强度、硬度值为主要评价指标, 利用单因素试验以及 Box-Behnken 中心设计试验研究分析增稠剂种

收稿日期: 2019-12-27

基金项目: 吉林省农业科技创新工程自由创新项目(CXGC2021ZY112); 吉林省农业科技创新工程创新团队项目(CXGC2017TD014); 吉林省重大科技专项(20200502003NC)

作者简介: 孙洪蕊(1989-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事食品科学研究。

通讯作者: 康立宁, 男, 博士, 研究员, E-mail: lnkang@sina.com

李海燕, 女, 副研究员, E-mail: 13204449691@163.com

类及添加量、蔗糖添加量、发酵温度和发酵时间对凝固型复合谷物发酵乳质构特性的影响,以期改善凝固型复合谷物发酵乳析水、凝胶结构松散等系列问题。在全谷物食品的大前提下,开发以多种谷物为原料的复合谷物发酵食品具有现实意义,既为全谷物食品拓宽思路,也解决发酵豆乳制品原料单一的问题。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

大豆、藜麦、小米、全脂奶粉:市售;瓜尔豆胶、明胶、黄原胶、琼脂、魔芋胶:郑州特正商贸有限公司;直投式益生菌发酵剂:科汉森北京贸易有限公司。

磨浆机:无锡好麦机械有限公司;物性仪:英国 Stable Micro Systems 公司;德国 IKA 均质机:上海弗鲁克流体机械制造有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 复合谷物发酵乳制备工艺流程

确定原料配比:参考迟展忠^[9]的试验方法进行凝固型复合发酵乳原料配比,以大豆、藜麦、小米以及全脂奶粉为主要原料,经计算得出主要原

料中蛋白质氨基酸模式值,根据氨基酸互补原则,计算出主要原料的最佳添加比例,即大豆:藜麦:小米:奶粉=68:43:23:6。

凝固型复合谷物发酵乳制备工艺流程:原料浸泡→配料磨浆(料液比1:10)→过滤→均质(20 000 r/min, 3 min)→杀菌(95 °C, 15 min)→冷却→接种→发酵→后熟→凝固型复合谷物发酵乳

1.2.2 硬度值测定

参考刘香英^[10]的试验方法应用物性仪测定试验样品的硬度值,并稍加修改。物性仪参数设置:探头为P/36R,测试前、测试中以及测试后速度分别为1、0.5、0.5 mm/s,目标值10 mm,感应力5.0 g。

1.2.3 凝胶强度值测定

参考乌雪岩^[11]的试验方法应用物性仪测定试验样品的凝胶强度值。物性仪参数设置:探头为P/0.5,测试中以及测试后速度分别为0.5、10.0 mm/s,测试距离28 mm。

1.2.4 响应面试验

以单因素试验为基础,应用Box-Behnken模型分析黄原胶添加量、蔗糖添加量、发酵温度以及发酵时间对凝固型复合谷物发酵乳硬度值的影响,因素水平编码表详见表1。

表1 因素水平编码表

编码	因素			
	A. 琼脂添加量(%)	B. 蔗糖添加量(%)	C. 发酵温度(°C)	D. 发酵时间(h)
-1	1.0	6	42.5	9
0	1.25	7	43	10
1	1.5	8	43.5	11

1.2.5 数据分析

试验数据利用origin软件、Design-Expert软件进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 增稠剂种类对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度的影响

凝胶强度是评价凝固型发酵豆乳的重要指标之一^[12]。如图1所示,试验以未添加增稠剂的凝固型大豆发酵乳以及未添加增稠剂的凝固型复合谷物发酵乳为对照,研究增稠剂种类以及添加量对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度的影响。未添加增稠剂的凝固型复合谷物发酵乳的凝胶强度低于未添加增稠剂的凝固型大豆发酵乳,存在凝胶结构松散、质地不细腻等系列现象。研究结果表

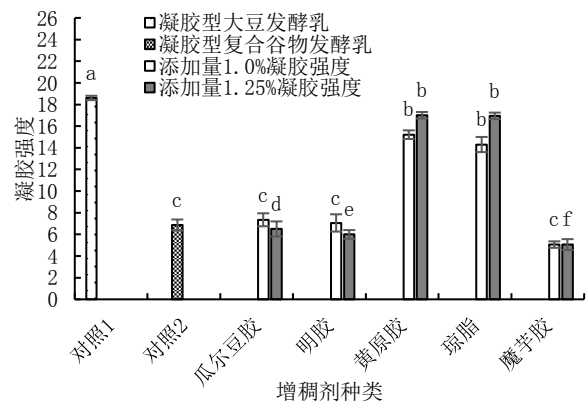


图1 增稠剂种类对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度的影响

明,增稠剂可以改善发酵乳的流变性以及凝胶特性^[13-14],基于此,本试验比较瓜尔豆胶、明胶、黄原胶、琼脂和魔芋胶对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度的影响。瓜尔豆胶、明胶以及魔芋胶的添加

对复合谷物发酵乳凝胶特性改善不明显,黄原胶和琼脂可以明显改善其凝胶强度。当黄原胶与琼脂的添加量为1.25‰时,复合谷物发酵乳的凝胶强度与凝固型大豆发酵乳相近,但是添加黄原胶的实验组凝胶强度略高于添加琼脂的实验组。原因可能是黄原胶属于一种阴性多糖,并且在酸性条件下稳定性较强,可以与复合谷物发酵乳中的蛋白质相互作用,当发酵过程中发酵乳的pH值降低到等电点附近时,黄原胶所带的负电荷与蛋白质所带的正电荷相结合,蛋白质被黄原胶所包裹,可以较好地阻止蛋白质的凝聚以及沉淀,降低发酵乳的析水性,增强发酵乳的凝胶网络^[15-16]。因此,选择黄原胶为增稠剂,添加量为1.25‰进行以下试验。

2.1.2 蔗糖添加量对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度的影响

如图2所示,不同蔗糖添加量的凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度差别不明显,随着蔗糖添加量的增加,发酵乳的凝胶强度呈现缓慢增加的趋势。其中,当蔗糖添加量为7.0%时,复合谷物发酵乳的甜味适中,凝胶强度较好,当蔗糖添加量进一步增加时,复合谷物发酵乳的口感偏甜。因此,选择蔗糖添加量为7.0%进行以下试验。

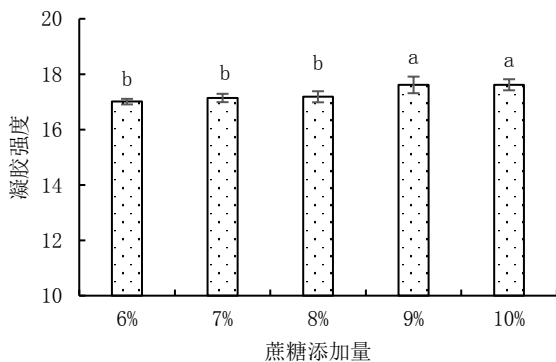


图2 蔗糖添加量对复合谷物发酵乳凝胶强度的影响

2.1.3 发酵温度对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度的影响

试验所用发酵剂由嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌组成,其中嗜热链球菌的最适生长温度为42.0~45.0℃,保加利亚乳杆菌的最适生长温度为40.0~43.0℃^[17]。因此,试验选择的发酵温度范围为41.0~45.0℃,以探讨发酵温度对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度的影响。如图3所示,随着发酵温度的升高,凝固型复合谷物发酵乳的凝胶强度呈现先升高后降低的趋势。发酵温度过低或过高均会限制

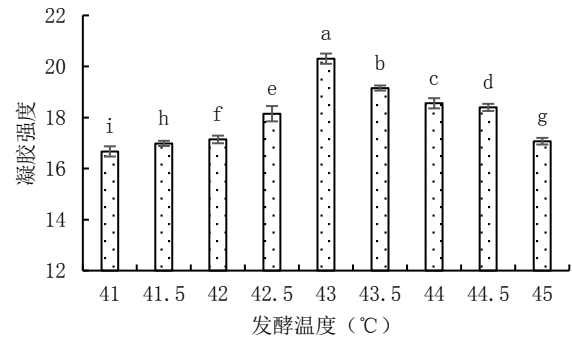


图3 发酵温度对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度的影响

菌种的生长,产酸不足或过多,导致凝固型复合谷物发酵乳的质构特性变差,凝胶强度减弱^[18-19]。当发酵时间为43.0℃时,其凝胶强度值最大。

2.1.4 发酵时间对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度及pH值的影响

发酵时间对凝固型复合谷物发酵乳的酸度值影响较大,在发酵前段凝固型复合谷物发酵乳的产酸量很小,发酵中段产酸量较多,pH值变化较明显,发酵后段pH值变化相对中段较小^[20]。本实验主要研究发酵后段(8~11h)对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度以及pH值的影响,pH值变化相对较小。如图4所示,随着发酵时间的增加,凝固型复合谷物发酵乳的凝胶强度呈现先增加后降低的趋势,pH值呈现下降的趋势。当发酵时间为10h时,发酵乳的pH值为4.35,酸味适中,凝胶强度值最大。随着发酵时间的增加,发酵乳产酸增加,蛋白质在酸的作用下变性形成凝固状态。发酵时间过短或过长,不仅会导致发酵乳酸味不足或者过酸,而且会影响凝固型发酵豆乳的质构特性以及凝胶特性。蛋白质的亲水性受发酵豆乳酸度值的影响,当发酵时间适宜,发酵后豆乳的酸度值适中,则蛋白质的亲水性相应升高,蛋白质

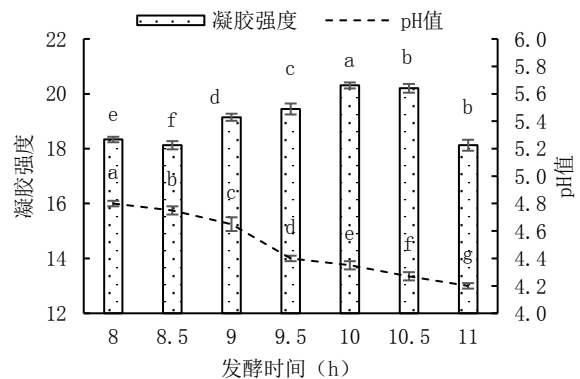


图4 发酵时间对凝固型复合谷物发酵乳凝胶强度和pH值的影响

凝胶中结合水的相对含量升高,自由水的相对含量降低,乳清析出情况减弱,有利于形成稳定的凝胶网络^[17,21]。

2.2 Box-Behnken 中心设计优化

以硬度值为响应值,对黄原胶添加量、蔗糖添加量、发酵温度以及发酵时间四个因素进行优化(表2),

表2 实验设计

实验序号	A. 黄原胶添加量(‰)	B. 蔗糖添加量(%)	C. 发酵温度(°C)	D. 发酵时间(h)	硬度	实验序号	A. 黄原胶添加量(‰)	B. 蔗糖添加量(%)	C. 发酵温度(°C)	D. 发酵时间(h)	硬度
1	1.25	7.00	42.5	9.00	154.320	16	1.25	6.00	42.5	10.00	165.980
2	1.25	8.00	43.5	10.00	178.340	17	1.25	6.00	43.5	10.00	156.340
3	1.00	7.00	43.0	9.00	165.540	18	1.00	8.00	43.0	10.00	172.001
4	1.25	6.00	43.0	9.00	147.870	19	1.00	7.00	43.5	10.00	156.376
5	1.25	7.00	42.5	11.00	185.340	20	1.00	6.00	43.0	10.00	156.524
6	1.50	7.00	42.5	10.00	230.320	21	1.25	8.00	43.0	11.00	159.560
7	1.25	7.00	43.0	10.00	197.119	22	1.25	7.00	43.5	11.00	156.340
8	1.25	7.00	43.5	9.00	149.650	23	1.25	6.00	43.0	11.00	156.340
9	1.50	7.00	43.0	9.00	210.340	24	1.50	7.00	43.5	10.00	241.230
10	1.25	8.00	43.0	9.00	178.340	25	1.00	7.00	42.5	10.00	175.340
11	1.50	7.00	43.0	11.00	222.000	26	1.50	6.00	43.0	10.00	245.000
12	1.25	7.00	43.0	10.00	175.194	27	1.25	7.00	43.0	10.00	192.973
13	1.25	7.00	43.0	10.00	180.974	28	1.25	8.00	42.5	10.00	165.000
14	1.50	8.00	43.0	10.00	236.592	29	1.00	7.00	43.0	11.00	134.540
15	1.25	7.00	43.0	10.00	188.484						

实验点总计29个,其中24个分析因子、5个零点。

应用Box-Behnken软件的ANOVA程序进行方差分析,并对试验结果进行统计分析,得到响应值(硬度值)与各因变量因素(黄原胶添加量、蔗糖添加量、发酵温度、发酵时间)之间的关系,回归方程如下:

$$\begin{aligned} \text{硬度} = & 186.95 + 35.43A + 5.16B - 3.16C + 0.67D - 5.97AB + \\ & 7.47AC + 10.66AD + 5.77BC - 6.81BD - 6.08CD + \\ & 20.61A^2 - 7.87B^2 - 8.28C^2 - 20.09D^2 \end{aligned}$$

式中:A为黄原胶添加量(‰);B为蔗糖添加量(%);C为发酵温度(°C);D为发酵时间(h)。

如表3所示,凝固型复合谷物发酵乳硬度值的回归模型显著($F < 0.0001$),失拟项不显著($P = 0.4282$),说明回归模型的拟合性较好,能够真实地反映硬度值与黄原胶添加量、蔗糖添加量、发酵时间以及发酵温度之间的关系。回归模型中,各影响因子对硬度值的影响不是简单的线性关系,一次项A(黄原胶添加量)、二次项 A^2 和 D^2 对硬度值的影响极显著($P < 0.01$),交互项AD、二次项 B^2 和 C^2 对硬度值的影响显著($P < 0.05$)。随着黄原胶添加量的增加,复合谷物发酵乳的硬度值呈现增加的趋势;随着发酵时间的增加,复合谷物发酵乳的硬度值呈现先增加后降低的趋势。

Box-Behnken中心设计对凝固型复合谷物发酵乳的加工工艺优化的结果为:黄原胶添加量1.50‰、蔗糖添加量6.86%、发酵温度43.05°C、发酵时间10.29h,此条件下模型预测硬度值为244.917。考虑到实验的可操作性,将加工工艺参数进行取整处理,即黄原胶添加量1.50‰、蔗糖添加量7.0%、发酵温度43°C、发酵时间10h,此条件下进行验证性试验,试验重复3次,取平均值,得到的凝固型复合谷物发酵乳硬度值为246,凝胶强度值为22.10,硬度值与模型预测值相近,证明此模型优化的加工工艺参数具有可行性。

3 结论

单因素试验结果表明:在黄原胶添加量1.25‰、蔗糖添加量7.0%、发酵温度43°C、发酵时间10h时,凝固型复合谷物发酵乳的凝胶强度值为20.305,是对照组的2.95倍。

利用响应面设计建立了硬度值的Box-behnken模型,优化出最佳工艺条件为:黄原胶添加量1.50‰、蔗糖添加量7.0%、发酵温度43°C、发酵时间10h,此条件下凝固型复合谷物发酵乳的硬度值为246,凝胶强度值为22.10。

表3 方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	Prob > F	显著性
回归模型	24 230.83	14	1 730.77	17.96	<0.000 1	显著
A. 黄原胶添加量	15 063.49	1	15 063.49	156.31	<0.000 1	
B. 蔗糖添加量	318.98	1	318.98	3.31	0.090 3	
C. 发酵温度	119.92	1	119.92	1.24	0.283 4	
D. 发酵时间	5.41	1	5.41	0.056	0.816 1	
AB	142.62	1	142.62	1.48	0.243 9	
AC	223.11	1	223.11	2.32	0.150 4	
AD	454.97	1	454.97	4.72	0.047 5	
BC	133.06	1	133.06	1.38	0.259 6	
BD	185.64	1	185.64	1.93	0.186 8	
CD	147.99	1	147.99	1.54	0.235 6	
A ²	2 756.06	1	2 756.06	28.60	0.000 1	
B ²	401.27	1	401.27	4.16	0.060 6	
C ²	444.62	1	444.62	4.61	0.049 7	
D ²	2 617.98	1	2 617.98	27.17	0.000 1	
残差	1 349.14	14	96.37			
失拟项	1 033.19	10	103.32	1.31	0.4282	不显著
净误差	315.95	4	78.99			
总和	25 579.97	28				

开发以多种谷物为原料的凝固型复合谷物发酵食品具有现实意义, 研究结果丰富了发酵豆制品的原料以及营养品质, 为凝固型复合谷物发酵乳的产业化生产提供理论依据。

参考文献:

- [1] 唐传核, 彭志英. 大豆功能性成分的开发现状[J]. 中国油脂, 2000, 25(4): 44-48.
- [2] 崔蕊静, 毛秀杰, 蔡金星, 等. 紫背天葵酸豆奶的研制[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(7): 90-95.
- [3] 陈璐. 酸豆奶稳定性研究及配方设计[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [4] 高雪丽, 梁保安. 酸豆奶的研究现状及展望[J]. 农产品加工(创新版), 2009(12): 59-60.
- [5] Tang Y, Tsao R. Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review[J]. Mol Nutr Food Res, 2017, 61(7): 1-16.
- [6] 王启明, 张继刚, 郭仕平, 等. 藜麦营养功能与开发利用进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 340-346, 354.
- [7] 郭红珍, 陈苗苗. 小米酸奶加工工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(2): 117-120.
- [8] 许寅生, 郭亚丽, 王玉祥, 等. 谷子的营养价值及产品开发[J]. 农业科技通讯, 2018(3): 152-155.
- [9] 迟展忠. 关于蛋白质氨基酸的评分及设计食物配方的计算[J]. 食品科学, 1986(9): 10-14.
- [10] 刘香英, 田志刚, 范杰英, 等. 大豆品种籽粒品质与酸豆奶品质相关性研究[J]. 东北农业科学, 2016, 41(4): 100-105.
- [11] 乌雪岩. 酸奶感官评价与质构的相关性研究[J]. 中国乳品工业, 2015, 43(10): 52-54.
- [12] 林海知. 凝固型酸豆乳品质改良及冷藏稳定性研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [13] 崔蕊静, 高海生, 李凤英, 等. 无腥大豆加工酸豆奶工艺条件的研究[J]. 中国粮油学报, 2004, 19(4): 46-49.
- [14] 张冰. 红豆凝固型酸奶制备工艺研究[J]. 中国奶牛, 2014(8): 32-33.
- [15] 熊拯. 阴离子多糖对大豆分离蛋白功能特性的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2007.
- [16] 崔蕊静, 李润丰, 刘素稳. 增稠剂对发酵酸豆乳品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(2): 86-91.
- [17] 曹婷. 发酵凝固型黑豆豆奶的制备及贮藏特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [18] 雷文平, 吴诗敏, 李彩虹, 等. 响应面法优化凝固型发酵椰奶工艺[J]. 中国酿造, 2019, 38(2): 212-216.
- [19] 曹艳芬, 叶存玲, 陈婧, 等. 转谷氨酰胺酶交联作用对凝固型酸乳品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(1): 248-252.
- [20] 崔蕊静, 申淑琦, 高海生. 凝固型山楂酸豆乳配方及发酵工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(10): 93-97.
- [21] 王鹤霖, 刘文静, 张雪, 等. 葵花籽蛋白及乳粉蛋白复配制备凝固型酸奶[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(1): 35-37.

(责任编辑: 王昱)