

枸杞山药凝固型酸乳的发酵工艺研究

王茹^{1,2}, 方海田^{1,2,*}, 刘慧燕^{1,2}, 马若霜^{1,2}, 周婷^{1,2}, 刘予焯^{1,2}, 魏珊珊^{1,2},
李金娜^{1,2}, 赵贝贝^{1,2}, 胡晓磊^{1,2}, 安广颖^{1,2}

(1. 宁夏大学 宁夏食品微生物应用技术与安全控制重点实验室, 宁夏 银川 750021;
2. 宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:以牛奶为原料,枸杞山药为主要辅料,利用保加利亚乳杆菌,嗜热链球菌和植物乳杆菌按照体积比1:1:1进行发酵,采用单因素和Box-Behnken试验设计,结合主成分分析优化枸杞山药凝固型酸乳的生产工艺进行研究,并对酸乳中的pH值、可溶性固形物、乳酸、蛋白质、总黄酮与活菌数及感官评分进行测定分析。结果表明,枸杞山药凝固型酸乳的最佳发酵条件为在鲜牛乳中,枸杞汁添加量为12%、山药汁添加量为10%、接种量为5%。在此发酵条件下得到枸杞山药凝固型酸乳的综合得分为0.9932,与理论综合评分值0.9934接近,说明响应面结合主成分分析法优化对枸杞山药凝固型酸乳的品质的综合优化具有较好的效果,为其他食品的多参数品质分析提供一定的理论依据。

关键词:枸杞;山药;乳酸菌发酵;主成分;响应面

Study on Fermentation Technological Conditions of the Solidifying Yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam

WANG Ru^{1,2}, FANG Hai-tian^{1,2,*}, LIU Hui-yan^{1,2}, MA Ruo-shuang^{1,2}, ZHOU Ting^{1,2}, LIU Yu-xuan^{1,2},
WEI Shan-shan^{1,2}, LI Jin-na^{1,2}, ZHAO Bei-bei^{1,2}, HU Xiao-lei^{1,2}, AN Guang-ying^{1,2}

(1. Ningxia Key Laboratory for Food Microbial-Applications Technology and Safety Control, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China; 2. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: In this study, *Lycium barbarum* and Chinese yam as the main adjuvant, *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus plantarum* were used to ferment according to the volume ratio of 1:1:1. Single factor and Box-Behnken design were used to optimize the production process of *Lycium barbarum* and Chinese yam coagulated yoghurt. The pH value, soluble solids, lactic acid, protein, total flavonoids, viable bacteria and sensory score of yoghurt were determined and analyzed. The results showed that the optimum fermentation conditions of the solidifying yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam were as follows: 12% *Lycium barbarum* juice, 10% Chinese yam juice and 5% inoculation. Under this fermentation condition, the comprehensive score of yoghurt was 0.9932, which was close to the theoretical comprehensive score of 0.9934. It was concluded that response surface methodology combined with principal component analysis had a good effect on the comprehensive optimization of the quality of the solidifying yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam barbarum, and provided a theoretical basis for the quality analysis of many other food parameters.

Key words: *Lycium barbarum*; Chinese yam; lactic acid bacteria fermentation; principal component; response surface

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划项目(2017BY069);中央财政支持地方高校改革发展资金-食品学科建设项目;国家级大学生创新创业计划项目(201810749013);宁夏大学大学生创新创业计划项目;宁夏食品微生物应用技术与安全控制重点实验室平台建设项目

作者简介:王茹(1993—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品生物资源开发与利用。

*通信作者:方海田(1978—),男,副教授,博士,研究方向:食品生物资源开发与利用。

引文格式:

王茹,方海田,刘慧燕,等.枸杞山药凝固型酸乳的发酵工艺研究[J].食品研究与开发,2020,41(2):45-51

WANG Ru, FANG Haitian, LIU Huiyan, et al. Study on Fermentation Technological Conditions of the Solidifying Yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam[J]. Food Research and Development, 2020, 41(2): 45-51

枸杞,也称枸杞子,具有滋补肝肾、调节血糖血脂、提高免疫力^[1]、降低胆固醇^[2]、抑制肿瘤等多方面药理功效^[3-4]。山药为药食两用的植物^[5],具有抗氧化^[6-7]、降血糖、血脂^[8]、助消化、健脾益胃^[9-10]等功效。由于酸奶具有营养价值高、口味独特、易消化和吸收,在抑制肠道内腐败菌的繁殖、防癌、抗衰老等特点,具有一定的保健作用^[11-13]。

目前,关于枸杞酸奶^[14-18]和山药酸奶^[19-23]等加工工艺研究越来越多,关于山药和枸杞为原料加工酸奶的研究工艺鲜少报道,且大多以感官评价作为唯一评价指标,并未全面地考虑酸奶的各个理化特性及品质。而响应面结合主成分分析是以主成分综合得分作为判定指标,将多响应问题转化为单响应问题,不仅可以降低单一目标优化试验的工作量,还能获得较好的工艺条件^[24]。

由于植物乳杆菌不仅在果蔬汁中发酵中适应性较强,而且多种果蔬汁经植物乳杆菌发酵后,在感官、卫生、营养、货架期等性质方面都得到提升^[25-26]。因此,本研究使用保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌和植物乳杆菌对鲜牛奶、枸杞汁和山药汁进行发酵,进而对枸杞山药凝固型酸乳的发酵工艺进行研究。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

枸杞、山药、鲜牛奶、白砂糖、小苏打:市售;异抗坏血酸钠(食品级):特正商贸有限公司;保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、植物乳杆菌:宁夏大学农学院生物实验室保存;考马斯亮、牛血清蛋白、浓硫酸、葡萄糖、苯酚、芦丁:北京索莱宝科技有限公司。

RZ-988eRoyalstar 打浆机:合肥荣事达小家电公司;PB-LO pH计:赛多利斯科学仪器有限公司;PLD-HDE2.0手持糖量计:陕西普洛帝测控技术有限公司;SBA-40E生物传感分析仪:山东省科学院研究所。

1.2 试验方法

1.2.1 乳酸菌的活化与扩大培养

将甘油保存的保加利亚乳杆菌,嗜热链球菌和植物乳杆菌分别在接种在MRS固体培养基上,37℃恒温培养8h~10h后取出,重复3次,使其充分活化。

用接种环挑取固体培养基上的单菌落,接入MRS液体培养基中,37℃恒温,振荡培养8h~10h后取出,按照接种量1%接入三角瓶中进行扩大培养(37℃,8h~10h),即可得到所需菌悬液,然后把3种菌液按照体积比为1:1:1混合后,备用。

1.2.2 枸杞山药乳酸菌发酵凝固型酸乳工艺流程

挑选肉厚,无腐烂的中宁枸杞和新鲜无虫害的山药,用流动水多次冲洗,洗掉粘在枸杞和山药表面的污垢,枸杞按照料液比1:5(g/mL)加水,浸泡8h~9h,加入护色剂(0.05%的异抗坏血酸钠),打浆后过滤,得到枸杞汁。山药去皮切块后,按照料液比1:5(g/mL),加入护色剂(0.05%的异抗坏血酸钠),打浆后过滤,得到山药汁。将鲜牛奶,枸杞汁,山药汁和白砂糖混匀,采取巴氏杀菌法(65℃,25min~35min)杀菌。杀菌结束后,将制备好的菌液,按一定的接种比例接入牛奶中,42℃恒温发酵4h~5h,取出,冷却后熟(4℃,12h),得到成品。

1.2.3 枸杞山药凝固型酸乳的单因素试验

固定牛奶200mL,山药汁添加量为10%,发酵剂5%,试验枸杞汁添加量在不同梯度下(8%、10%、12%、14%、16%)对枸杞山药凝固型酸乳感官评价的影响;固定牛奶200mL,枸杞汁添加量12%,发酵剂5%,考察山药汁的添加量在不同梯度下(6%、8%、10%、12%、14%)对枸杞山药凝固型酸乳感官评价的影响;固定牛奶200mL,枸杞汁添加量12%,山药汁添加量10%,试验接种量在不同梯度下(3%、4%、5%、6%、7%)对枸杞山药凝固型酸乳感官评价的影响。

1.2.4 响应面试验

基于单因素试验,确定枸杞汁添加量(A),山药汁添加量(B),接种量(C)3个因素的水平值,使用Design-Expert 10.0.7软件进行分析。具体见表1。

表1 枸杞山药凝固型酸乳工艺条件优化响应面试验因素与水平
Table 1 Test factors and levels of optimization response surface of the solidifying yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam fermentation process

编码水平	A 枸杞汁添加量/%	B 山药汁添加量/%	C 接种量/%
-1	10	8	4
0	12	10	5
1	14	12	6

1.3 测定方法

1.3.1 感官评价

枸杞山药凝固型酸乳加工后,请 15 位有丰富评定经验的专业人员组建感官评定小组,通过表 2 分别从色泽、滋味、协调性和组织状态对枸杞山药凝固型酸乳进行综合评定,总分为 100 分,最后取平均值,具体见表 2。

表 2 枸杞山药凝固型酸乳感官品质评分标准

Table 2 Evaluation standard of sensory quality of the solidifying yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam

色泽(20)	滋、气味(30)	组织状态(30)	总分(100)	等级
呈现均匀的淡粉色,颜色均一,富有光泽	有淡淡的枸杞和山药的清香,酸甜适口,有浓郁的发酵乳风味	凝乳均匀,表面细腻,无气孔,无乳清析出	≥90	优秀
颜色过深或过浅,颜色基本均一,有色泽	具有枸杞味道或山药的味道,偏酸或偏甜,有发酵乳特有的风味	凝乳均匀,表面细腻,无气孔,略有分层,无乳清析出	70~89	良好
色泽不均匀,光泽较淡	无明显枸杞和山药风味,特别酸或特别甜,发酵乳特有的风味不明显	组织粗糙,有少量气孔,明显分层,有微量乳清析出,	60~69	合格
颜色深浅不一,无光泽	不具枸杞和山药风味,有令人不愉快的苦味和涩味,有奶腥味	组织粗糙,有大量气孔,分层严重,有大量乳清析出	≤59	不合格

1.3.2 理化指标的测定

pH 值的测定:精密 pH 计;可溶性固形物测定:手持糖量计;乳酸测定:生物传感分析仪直接测定;蛋白质测定:考马斯亮蓝 G-250 法测定^[27];总黄酮测定:紫外分光光度法测定^[28];总糖测定:苯酚-浓硫酸法测定^[29]。

1.3.3 微生物指标的测定

GB/T 4789.18-2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳与乳制品检验》^[30]。

1.3.4 主成分提取与数据处理

对枸杞山药凝固型酸乳的各个指标进行主成分分析,提取特征值大于 1 的因子,得到特征值、贡献率和累积贡献率,枸杞山药凝固型酸乳的综合评分和规范化综合评分分别按照公式(1)和公式(2)计算。

$$F = (F_1Y_1 + F_2Y_2 + F_3Y_3)/C \quad (1)$$

$$Z = (F - F_{\min}) / (F_{\max} - F_{\min}) \quad (2)$$

式中:F 为综合得分;F₁、F₂和 F₃分别为主成分 1、2 和 3 的得分;Y₁、Y₂、Y₃分别为各个主成分的特征值;C 为累积特征值;Z 为规范化综合得分;F_{max}为综合得分最大值;F_{min}为综合得分最小值。

对响应面的试验设计和结果分析使用 Design-

Expert 10.0.7 软件进行处理,采用 IBM SPSS Statistics 17.0 软件对主成分^[31-34]进行因子分析。

2 结果与分析

2.1 单因素结果与分析

2.1.1 枸杞汁添加量对枸杞山药凝固型酸乳感官评分的影响

枸杞汁添加量对枸杞山药凝固型酸乳感官评分的影响见图 1。

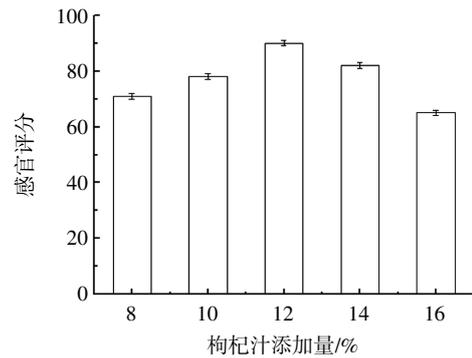


图 1 枸杞汁添加量对枸杞山药凝固型酸乳感官评分的影响

Fig.1 Effect of *Lycium barbarum* juice addition on sensory score of the solidifying yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam

由图 1 可知,添加的枸杞汁为 12% 时,感官评分为 92.3 分,达到最大值,随后感官评分迅速下降。可能是因为当添加的枸杞汁低于 12% 时,复合酸乳风味不显著,突出山药风味,缺少枸杞的香甜,当添加的枸杞汁高于 12% 时,随着枸杞汁添加量的增大,出现枸杞臭,奶香味较淡,且酸奶的凝乳效果不佳,从而影响感官评分,故选取最佳的枸杞汁添加量为 10%、12%、14%。

2.1.2 山药汁添加量对枸杞山药凝固型酸乳感官评分的影响

山药汁添加量对枸杞山药凝固型酸乳感官评分的影响见图 2。

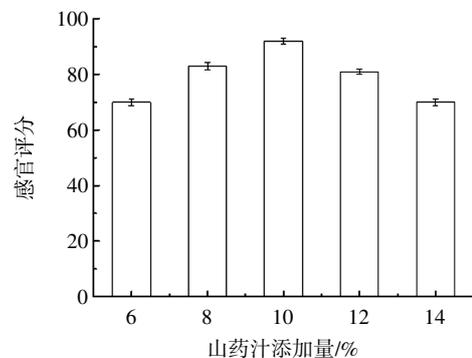


图 2 山药汁添加量对枸杞山药凝固型酸乳感官评分的影响

Fig.2 Effect of Chinese yam juice addition on sensory score of the solidifying yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam

由图2可知,添加的山药汁为10%时,感官评分为91.8分,达到最高,随后感官评分迅速下降。可能是因为当添加的山药汁低于10%时,山药风味不显著,仅有酸奶固有的奶香味和枸杞的甜味,当添加的山药汁高于10%时,随着山药汁添加量的增大,奶香味较淡,酸奶的凝乳效果变差,从而影响感官评分,故选取山药汁添加量为10%左右最为合适。

2.1.3 接种量对枸杞山药凝固型酸乳感官评分的影响

接种量对枸杞山药凝固型酸乳感官评分的影响见图3。

由图3可知,当接种量5%时,产品的感官评分为92分,达到最高值。当接种量低5%时,酸奶的硬度不够,凝乳效果不佳,当接种量高于5%时会造成酸奶的硬度过大,口感粗糙,酸奶会带有本身的酸臭感,从而会影响感官评分,因此,最适的接种量的范围在5%左右。

2.2 响应面试验结果

根据 Box-Behnken 中心组合设计,在单因素试验

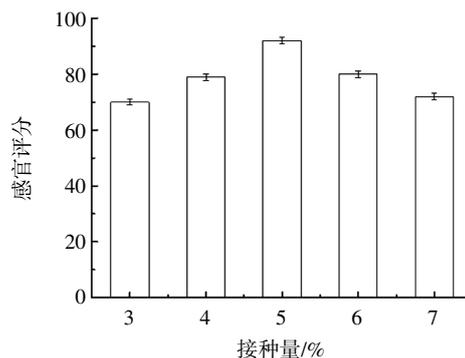


图3 接种量对枸杞山药凝固型酸乳感官评分的影响

Fig.3 Effect of inoculation amount on sensory score of the solidifying yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam

基础上,以枸杞汁添加量(A),山药汁添加量(B),接种量(C)为试验因素,进行响应面设计,共17个试验点,试验设计及结果见表3。

2.3 枸杞山药凝固型酸乳主成分分析

采用 IBM SPSS Statistics 17.0 软件对表3中枸杞

表3 响应面试验设计及结果

Table 3 Box-Behnken experimental design and results

试验号	A 枸杞汁添加量/%	B 山药汁添加量/%	C 接种量/%	乳酸含量/(mg/100 mL)	蛋白质含量/(g/100 g)	乳酸菌数/(CFU/mL)	感官评分
1	-1	0	-1	322	3.3	2.9	92.4
2	0	-1	-1	318	3.3	2.9	91.9
3	0	-1	1	290	3.8	2.2	87.7
4	-1	1	0	311	3.4	2.8	88.2
5	-1	0	1	273	3.5	2.2	81.9
6	0	0	0	321	3.3	2.8	90.5
7	-1	-1	0	293	3.6	2.5	85
8	0	0	0	266	4	2.1	85.6
9	0	1	1	313	3.1	2.5	83.8
10	0	0	0	279	4.1	1.5	91.7
11	1	0	-1	301	3.7	2.5	82.5
12	0	0	0	320	3.3	2.8	92.6
13	1	1	0	256	4.2	1.8	88
14	1	0	1	307	3.5	2.1	84.1
15	1	-1	0	321	3.2	2.8	91.8
16	0	0	0	320	3.4	2	81.5
17	0	1	-1	270	4.5	2.4	89.2

山药凝固型酸乳各指标数据进行主成分分析。根据大于85%的累积贡献率原则,提取了2个主成分,累计贡献率达到89.05%,可以较全面反映枸杞山药凝固型酸乳的品质信息。由各个指标特征向量绝对值的大小看出,决定第1主成分的主要指标是乳酸含量、蛋白质含量和乳酸菌数;决定第2主成分的主要指标是感

官评价。结果见表4。

为消除量纲的影响,对综合评分进行规范化处理,得到规范化综合评分,见表5,再以该评分作为响应值进行响应面分析。

2.4 规范化综合评分的响应面分析

根据 Box-Behnken 中心组合设计原理,以规范化

表 4 枸杞山药凝固型酸乳中主成分的特征值及贡献率

Table 4 Characteristic value and contribution rate of principal components in the solidifying yoghurt with *Lycium barbarum* and Chinese yam

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	2.539	63.482	63.482
2	1.023	25.568	89.05
3	0.326	8.156	97.206
4	0.112	2.794	100

表 5 主成分得分与规范化综合评分

Table 5 Principal component scores and standardized score

序列号	第 1 主成分得分	第 2 主成分得分	综合得分	规范化综合得分
1	1.457 3	1.209 2	0.055 4	1.000 0
2	1.372 2	1.098 6	0.051 7	0.973 0
3	-0.825 9	0.048 1	-0.023 0	0.427 9
4	1.088 0	0.254 6	0.033 9	0.843 2
5	-0.458 2	-1.460 0	-0.029 8	0.378 0
6	1.423 2	0.710 1	0.048 7	0.951 1
7	0.078 3	-0.520 5	-0.003 7	0.568 3
8	-1.847 4	-0.342 4	-0.056 6	0.182 7
9	1.590 6	-1.138 6	0.032 3	0.831 0
10	-2.628 3	0.743 2	-0.066 4	0.111 3
11	0.255 9	-1.044 2	-0.004 7	0.561 3
12	1.283 9	1.196 1	0.050 3	0.962 8
13	-2.930 9	0.165 5	-0.081 7	0.000 0
14	0.266 8	-1.055 5	-0.004 5	0.562 7
15	1.532 4	0.946 9	0.054 6	0.993 6
16	0.838 5	-1.796 7	0.003 3	0.619 5
17	-2.496 4	0.985 4	-0.059 9	0.159 0

综合得分为响应值,利用 Box-Behnken 10.0.7 对数据分析,回归拟合后,得到回归方程为:

$$Y=0.98+0.016A+0.009575B+0.19C-0.12AB+0.045AC+0.093BC-0.11A^2-0.15B^2-0.55C^2$$

该模型 $P<0.01$,说明该模型极显著;失拟误差 $P>0.05$,说明没有产生失拟现象。 R^2 为 0.998 6,说明拟合度良好,方程的显著性及可靠性极高,进一步说明该方程模拟的试验分析是可行的。对规范化综合评分有极显著影响的有一次项 C ,交互项 AB,AC,BC ,平方项 A^2,B^2,C^2 ,对规范化综合评分有显著影响有一次项 A 。根据 F 值大小,可知影响枸杞山药凝固型酸乳质量的排序: $C>A>B$,即接种量>枸杞汁添加量>山药汁添加量。回归模型及方差分析见表 6。

各因素间交互作用见图 4。

由图 4 可知,枸杞、山药添加量的响应曲面等高线

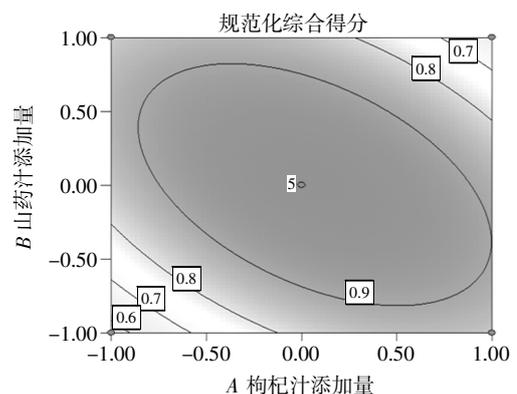
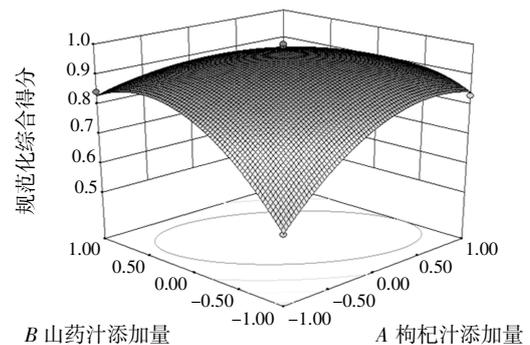
呈椭圆形,表明枸杞汁和山药汁两者交互作用变化明显。由接种量与枸杞汁添加量的响应曲面坡度可知,接种量的响应曲面坡度和枸杞汁添加量的响应曲面

表 6 以规范化综合评分为响应值的回归模型及方差分析

Table 6 Regression model and variance analysis with sensory score as response value

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1.87	9	0.21	554.64	<0.000 1	**
A 枸杞汁添加量	0.002 1	1	0.002 1	5.67	0.048 8	*
B 山药汁添加量	0.000 7	1	0.000 7	1.96	0.204 4	
C 接种量	0.27	1	0.27	733.69	<0.000 1	**
AB	0.061	1	0.061	161.62	<0.000 1	**
AC	0.008 2	1	0.008 2	21.9	0.0023	**
BC	0.035	1	0.035	92.89	<0.000 1	**
A ²	0.055	1	0.055	147.9	<0.000 1	**
B ²	0.091	1	0.091	244.02	<0.000 1	**
C ²	1.26	1	1.26	3 358.83	<0.000 1	**
残差	0.002 6	7	0.000 4			
失拟误差	0.000 9	3	0.000 3	0.74	0.582 9	
纯误差	0.001 7	4	0.000 4			
合计	1.87	16				

注:* 表示差异显著, $P<0.05$;** 表示差异极显著, $P<0.1$ 。



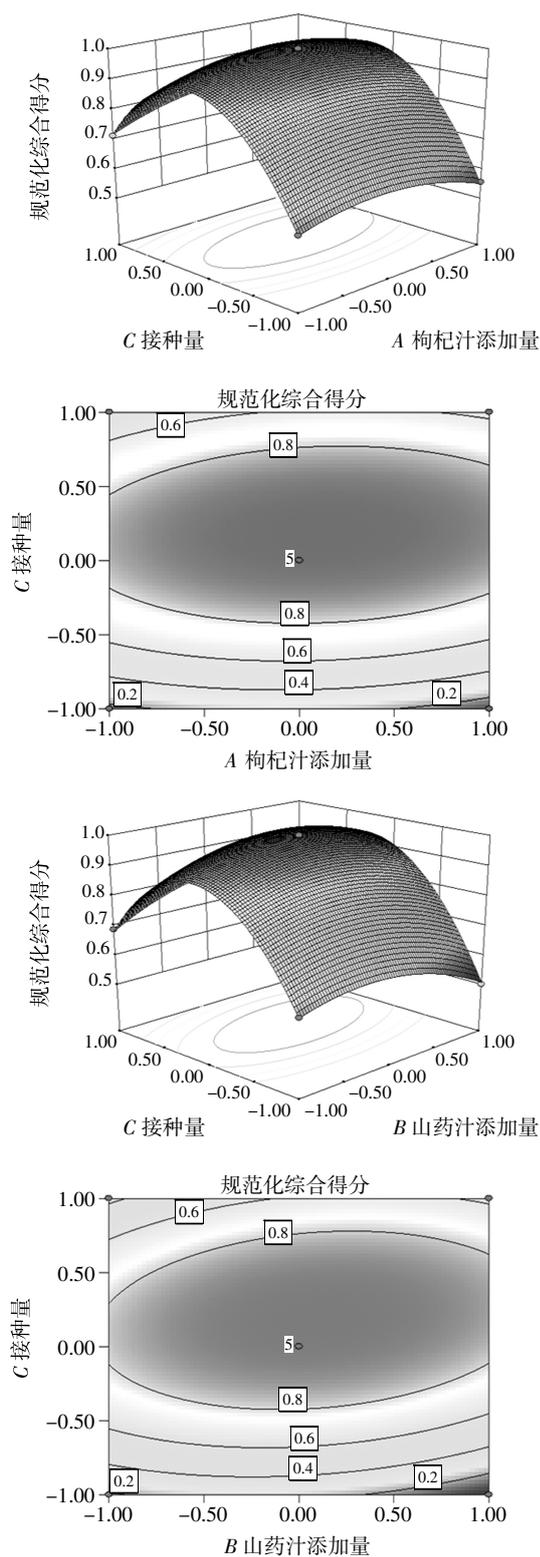


图4 各因素间的交互作用

Fig.4 Interactions between the reaction factors

坡度较明显,其等高线呈椭圆形,表明接种量与枸杞汁添加量两者交互作用变化非常明显。由接种量与山药汁添加量的响应曲面坡度可知,接种量的响应曲面坡度和山药汁添加量的响应曲面坡度较明显,其等高

线呈椭圆形,表明接种量与山药汁添加量两者交互作用非常显著。

2.5 优化发酵工艺条件的确定及验证

使用 Design-Expert 10.0.7 软件中的 optimization 分析,得到枸杞山药凝固型酸乳优化工艺条件:在鲜牛乳中,枸杞汁添加量 12.18%,山药汁添加量 10.12%,接种量 5.18%,此条件下枸杞山药凝固型酸乳的规范化综合得分为 0.993 4。为了验证模型预测理论值的准确性和真实性,同时为了方便实际操作,将最佳发酵工艺的条件调整为枸杞汁添加量为 12%、山药汁添加量为 10%、接种量为 5%,在此优化条件下试验,得到规范化综合评分 0.993 2,与预测值误差很小,因此,运用响应面法对枸杞山药凝固型酸乳的工艺条件的优化更准确合理,更具有实际指导意义。

2.6 发酵乳产品质量指标

2.6.1 感官指标

呈现均匀的淡粉色,凝乳均匀,光滑细腻,酸甜爽口,有淡淡的枸杞和山药的风味,具有发酵乳独特的香味。

2.6.2 理化指标

pH 值 4.15,可溶性固形物 23.5%,乳酸含量达 321 mg/100 mL,蛋白质量 3.2 g/100 g,总黄酮含量 6.81 mg/100 mL。

2.6.3 微生物指标

乳酸菌数为 2.8×10^8 CFU/mL,致病菌,未检出。

3 结论

本试验以鲜牛乳,枸杞汁和山药汁为试验材料,并选择保加利亚乳杆菌,嗜热链球菌和植物乳杆菌进行发酵来优化枸杞山药凝固型酸乳的发酵工艺。得到的最优发酵条件为:在鲜牛乳中,枸杞汁添加量为 12%、山药汁添加量为 10%、接种量为 5%。

枸杞山药凝固型酸乳的研制不仅增加了牛奶的营养成分和保健功能,还丰富了乳品市场,丰富了枸杞和山药的加工途径。本研究通过响应面-主成分分析法枸杞山药凝固型酸乳的理化指标和感官评分结合起来,有效解决了多指标评价参数的问题。解决了以感官评价作为酸乳品质评定的单一性,相较于其他酸乳的工艺而言,本研究更加全面地考虑了枸杞山药酸乳的各个理化特性对枸杞山药酸乳的品质影响,使得到的枸杞山药凝固型酸乳的工艺条件更可靠,更具有实际生产意义。

参考文献:

- [1] 杨永利,明磊国,林浩,等.枸杞养肝明目功效研究进展[J].中国食物与营养,2015,21(7): 75-78
- [2] 程昊,张帅,董基,等.蜂蜜杭白菊饮料的研制[J].广西工学院学报,2013,24(2): 81-84
- [3] 钱彦丛,宇文萍.枸杞子的化学成分及药理研究新进展[J].中医学报,2000(4): 33-35
- [4] 如克亚·加帕尔,孙玉敬,钟烈州,等.枸杞植物化学成分及其生物活性的研究进展[J].中国食品学报,2013, 13(8): 161-172
- [5] WANG S J, LIU H Y, GAO W Y. Characterization of new starches separated from different Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars[J]. Food Chemistry, 2006,99(1): 30-37
- [6] 刘杭达,马千苏,王傑,等.紫山药粗多糖提取工艺的优化及其抗氧化性的研究[J].食品工业科技,2015, 36(23): 208-213
- [7] Liu Y, Li H, Fan Y, et al. Antioxidant and antitumor activities of the extracts from Chinese Yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) flesh and peel and the effective compounds[J]. Food Science, 2016, 81(6): H1553-H1564
- [8] 关倩倩,宗爱珍,祁瑜婷,等.基于主成分分析的糖尿病专用山药品种筛选[J].食品工业科技,2018,39(4): 38-43
- [9] CHIU C S, DENG J Y. Antioxidant and anti-inflammatory properties of taiwanese yam (*Dioscorea japonica* Thunb. var. *pseudojaponica* (Hayata) Yamam.) and its reference compounds[J]. Food Chemistry, 2013,141(2): 1087-1096
- [10] WANG S J, YU J L. Characterisation and preliminary lipid-lowering evaluation of starch from Chinese yam[J]. Food Chemistry, 2008, 108(1): 176-181
- [11] 赵丽,李倩,朱丹实,等.膳食纤维的研究现状与展望[J].食品与发酵科技,2014,50(5): 76-86
- [12] 赵泰霞,张明玉.超声波辅助酶法提取红豆中的膳食纤维[J].农产品加工,2016(7): 8-11
- [13] 宗宪峰.酸乳的营养价值与保健功能[J].中国食物与营养,2008(9): 60-61
- [14] 杨希,叶明.高钙菊花枸杞酸乳的研制及其体外抗氧化降血糖功能[J].广西科技大学学报,2018, 29(3): 108-114, 128
- [15] 王维维,曹文琪.凝固型沙棘枸杞汁酸乳的研制[J].宿州学院学报,2018,33(1): 1-4
- [16] 成堃,刘凤红,高星,等.虫草枸杞风味酸乳的研制[J].齐鲁工业大学学报,2018,32(1): 42-46
- [17] 曹文琪,王维维.凝固型沙棘枸杞汁酸乳的研制[J].宿州学院学报,2018,33(1): 118-121
- [18] 李培睿,张晓伟,王加华,等.凝固型枸杞蜂蜜酸乳的研制[J].食品研究与开发,2015,36(13): 32-34
- [19] 蒋萌蒙,贾彦杰,钱志伟,等.响应面法优化香蕉山药酸乳发酵工艺研究[J].中国乳品工业,2018,46(6): 51-54
- [20] 张秀凤,申晓琳,杨海宁.南瓜籽、山药复合酸乳的研制[J].现代牧业,2018,38(2): 18-21
- [21] 钱志伟,周志强,曹乐民,等.山药香蕉风味酸乳发酵工艺研究[J].河南农业,2018(15): 55-57
- [22] 贾彦杰,魏楠,李宗泽,等.响应面法优化菊粉山药酸乳发酵工艺研究[J].中国酿造,2018,37(2): 189-193
- [23] 张东京,胡国强,孙玉雪,等.山药凝固型酸乳的加工工艺研究[J].兰州文理学院学报(自然科学版),2017, 31(3): 59-62
- [24] 何桢,张迎冬.基于主成分分析的多响应稳健性优化方法研究[J].工业工程与管理,2012,17(6): 47-54
- [25] Espirito-Santo A, Carlin F, Cmgc R. Apple, grape or orange juice: Which one offers the best substrate for lactobacilli growth?—A screening study on bacteria viability, superoxide dismutase activity, folates production and hedonic characteristics[J]. Food Research International, 2015, 78: 352-360
- [26] Nualkaekul S, Charalampopoulos D. Survival of *Lactobacillus plantarum* in model solutions and fruit juices[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 146(2): 111-117
- [27] 贺建华,鹿麟,邵纯君,等.福林酚法与考马斯亮蓝法测定甘露聚糖肽口服溶液中蛋白质含量的比较[J].中国药师,2017,20(10): 1861-1863
- [28] 张旭,张蕾,马媛媛.甘肃山楂与山里红总黄酮的提取及含量测定方法研究[J].中国兽药杂志,2018(6): 34-39
- [29] 薛丹,黄豆豆,姚风艳,等.中药木瓜中总糖及还原糖的含量测定[J].中国医药导报,2015,12(12): 121-124
- [30] 中华人民共和国卫生部.食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳与乳制品检验:GB/T 4789.18-2010[S].北京:中国标准出版社,2010: 143-146
- [31] Guillen-Casla V, Rosales-Conrado N, León-González M E, et al. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam irradiation on ready-to-eat food[J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2011, 24(3): 456-464
- [32] Chun M H, Kim E K, Kang R L, et al. Quality control of *Schizonepeta tenuifolia* Briq by solid-phase microextraction gas chromatography/mass spectrometry and principal component analysis[J]. Microchemical Journal, 2010, 95(1): 25-31
- [33] Beatriz S, Siqueira, Priscila Z, et al. Analyses of technological and biochemical parameters related to the HTC phenomenon in carioca bean genotypes by the use of PCA[J]. LWT—Food Science and Technology, 2016,65(1): 939-945
- [34] 吴泽河,熊双丽.响应面-主成分分析法优化低糖菊芋饼干配方[J].核农学报,2018,32(3): 539-547