

百香果—苹果复合发酵型乳饮料 工艺优化及抗氧化性研究

Study on process optimization and antioxidant properties of passion fruit and apple compound fermented milk beverage

贾庆超

JIA Qing-chao

(郑州科技学院食品科学与工程学院, 河南 郑州 450000)

(School of Food Science and Engineering, Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou, Henan 450000, China)

摘要:目的:制作一款新型百香果、苹果发酵乳饮料。方法:以百香果、苹果和纯牛奶为原料,以感官评价、蛋白质含量为指标,利用模糊数学评价法,考察苹果汁添加量、百香果汁添加量、蔗糖添加量、发酵时间、菌种接种量对百香果—苹果风味发酵乳感官品质的影响,并对发酵乳的抗氧化性及各项指标进行检测。结果:百香果—苹果风味发酵乳的最佳配方为纯牛奶 82.59%,百香果汁 2.35%,苹果汁 8.00%,蔗糖 7.00%,增稠剂 0.06%,菌种 0.002 06%,发酵时间 6.50 h。此条件下,发酵乳的感官评分为 8.99,蛋白质含量为 3.12 g/100 g,其理化指标和卫生指标均符合相关国标要求。抗氧化性结果表明,百香果—苹果乳饮料发酵后对 DPPH 自由基和羟自由基的清除率均比发酵前有所提升,分别为 77.7%,45.7%。结论:最佳配方下得到的发酵乳呈淡黄色,具有良好的组织状态,无乳清析出,不分层,具有百香果和苹果的清香和发酵乳特有风味,酸甜比例合适。

关键词:百香果;苹果;发酵乳;蛋白质;模糊数学评价法;响应面法;抗氧化性

Abstract: Objective: Using passion fruit, apple and pure milk as raw materials, the optimum preparation technology and antioxidant activity of passion fruit apple flavor fermented milk were studied. Methods: Taking sensory evaluation and protein content as indicators, the effects of apple juice addition, passion fruit juice addition, sucrose addition, fermentation time and

starter inoculation on sensory quality of passion fruit apple flavor fermented milk were studied by single factor test using fuzzy mathematics evaluation method. The fermentation process conditions of passion fruit apple flavor fermented milk were optimized by response surface methodology, and the antioxidant activity and various indexes of fermented milk were tested.

Results: The best formula of passion fruit apple flavor fermented milk was: pure milk 82.59%, passion fruit juice 2.35%, apple juice 8.00%, sucrose 7.00%, thickener 0.06%, strain 0.002 06%, fermentation time 6.50 h. The sensory score was 8.99, and the protein content was 3.09 g/100 g. The physicochemical and microbiological tests of the fermented milk met the requirements of the relevant national standards. The results of antioxidant activity showed that the scavenging effect of passion fruit apple milk beverage on DPPH · and OH · free radicals after fermentation was higher than that before fermentation, and both showed a positive correlation with the volume concentration. After fermentation, the DPPH · and OH · were 77.7% and 45.7% respectively, indicating that passion apple flavor fermented milk had good antioxidant activity.

Conclusion: The fermented milk obtained under the best formula is light yellow, with good organization state, without whey precipitation or stratification; the fermented milk also has the fragrance of passion fruit and apple with special flavor, and the proportion of sour and sweet is appropriate.

Keywords: passion fruit; apple; fermented milk; protein; fuzzy mathematical evaluation method; response surface method; antioxidant activity

基金项目:河南省教育厅高等学校重点研究项目(编号:22B550021);河南省大学生创新创业项目(编号:s202012746022)

作者简介:贾庆超(1981—),男,郑州科技学院副教授,硕士。

E-mail: someone0803@163.com

收稿日期:2022-08-06 **改回日期:**2022-11-10

百香果含有丰富的膳食纤维和维生素,具有通便润肠,清热解毒,提高身体免疫力以及美容养颜等功

效^[1-2],还含有蛋白质、脂肪、糖类和多种维生素及氨基酸等,具有“果汁之王”的美称^[3-4]。苹果中含有钙、磷、铁、维生素 B₂、维生素 C 和丰富的膳食纤维等营养物质,可以促进胃肠道蠕动,预防和缓解便秘,促进身体的新陈代谢,且具有抗氧化等功效^[5-6]。发酵乳是以生牛乳或乳粉为原料,经杀菌、发酵后制成的 pH 值降低的产品^[7]。发酵后,牛奶中的钙被转化为水溶性钙,很容易被机体吸收利用^[8]。研究拟以百香果、红富士苹果为主要原料,采用单因素、模糊数学评价和响应面相结合的方法,以感官评价和蛋白质含量为标准,制作一种新型发酵乳饮料,并分析其抗氧化性,以期进一步弥补市场发酵型乳饮料的空缺,也为发酵型乳饮料的进一步发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

百香果、红富士苹果:市售;
新鲜牧场纯牛奶:江苏光明银宝乳业有限公司;
增稠剂:食品级,丹尼斯克中国有限公司;
蔗糖:一级,广西都安永鑫糖业有限公司;
MRS、MC 培养基:青岛海博生物技术有限公司;
孟加拉红、平板计数琼脂:北京陆桥技术股份有限公司;
菌种 ABY-10:200 U/袋,科汉森(北京)贸易有限公司;

氢氧化钠、乙酸铅、磷酸氢二钠、浓硫酸、硫酸铜、氨水、盐酸萘乙二胺、亚硝酸钠标准品、硫酸钾、乙醚、石油醚、甲醇、乙腈、辛酸磺酸钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

三聚氰胺标准品:≥99%,武汉中昌国研标物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

紫外分光光度计:UV1800 型,南京科捷分析仪器有限公司;

全自动凯式定氮仪:Kjeltec8400 型,丹麦福斯分析仪器有限公司;

高效液相色谱仪:1260 型,美国安捷伦有限公司;

气相色谱仪:7890B 型,美国安捷伦有限公司;

pH 计:PHB-4 型,上海精科仪器有限公司;

卧式灭菌锅:XG1.CD-300M 型,山东新华医疗器械有限公司;

分析天平:XPE205DR 型,瑞士梅特勒公司;

全自动氮吹浓缩仪:N1-50 型,广州仪德精密科学仪器股份有限公司;

生化培养箱:SPX-250B-Z 型,上海博讯医疗生物器械有限公司;

乳品快速分析仪:FT1 型,丹麦福斯公司;

电热恒温培养箱:DH3600B II 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

显微镜:BX53F 型,德国蔡司股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 发酵乳的制备工艺

(1) 苹果汁的制备:

挑选→清洗、切割(1 cm)→浸泡(0.5%食盐水,5 min)→热烫(95~100 °C 热水中热烫 1.5 min)→榨汁护色(0.15%维生素 C)→过滤→冷却备用

(2) 百香果汁的制备:

挑选→清洗、切割→挤压过滤→冷却备用

(3) 发酵乳制备工艺流程^[9-10]:

器皿灭菌(120 °C,20 min)→加入新鲜牧场纯牛奶→加入辅料增稠剂和配料(蔗糖、百香果汁、苹果汁)→混匀→灭菌(70 °C,20 min)→冷却(常温冷却至 35~40 °C)→接种(40 °C 左右)→发酵(6 h)→后熟(4 °C 放置 10~12 h)→破乳→乳品成品

1.3.2 发酵乳的感官评价 根据 GB 19302—2010 从发酵乳的气味、滋味、状态和色泽 4 个方面进行感官评价,感官评定标准见表 1。

1.3.3 单因素试验 根据预试验结果,纯牛奶添加量随其他因素添加量的改变而改变,初始条件为增稠剂添加量为 0.06%,百香果添加量为 3%,蔗糖添加量为 6%,菌种添加量为 0.001 9%,发酵时间 6 h,苹果汁添加量为 6%。在此基础上设置不同苹果汁添加量(4%,6%,8%,10%,12%)、百香果汁添加量(2%,3%,4%,5%,6%)、蔗糖添加量(3%,4%,5%,6%,7%)、菌种添加量(0.001 7%,0.001 9%,0.002 1%,0.002 3%,0.002 5%)和发酵时间(4,5,6,7,8 h)5 个因素进行优化试验。

1.3.4 响应面试验设计 在单因素试验基础上,选择百香果汁添加量、蔗糖添加量、菌种接种量以及发酵时间作为主要影响因素,以感官评分和蛋白质含量为响应值,根据 Box-Behnken 基本原理,运用 Design-Expert 10.0.7 软件设计响应面试验。

1.3.5 模糊数学评价法

(1) 因素集和评语集的建立:以气味、滋味、状态和色泽为因素集,以优、良、中、差为评语集,因素集 $H = (\text{色泽, 状态, 滋味, 气味})$,评语集为 $V = (\text{优, 良, 中, 差})$ 。模糊数学评价法模型为^[11]:

$$M_i = H \times N_i, \quad (1)$$

式中:

M_i ——模糊数学评价集;

H ——权重系数;

N_i ——模糊矩阵。

表 1 感官评分标准
Table 1 Sensory scoring standards

项目	评定标准	等级
色泽 H_1	色泽均匀一致,颜色均一,有光泽	优 V_1
	色泽较均匀,颜色均一,光泽暗淡	良 V_2
	颜色过深或过浅,颜色基本均一,光泽暗淡	中 V_3
	色泽差,颜色深浅不一,光泽差	差 V_4
状态 H_2	质地好不分层,无乳清的析出,无或少量沉淀产生	优 V_1
	少量乳清析出,不分层,无或少量沉淀产生	良 V_2
	少量乳清析出,有分层但不明显,有一部分的沉淀	中 V_3
	大量乳清析出,不均匀,沉淀较多,整个状态很差	差 V_4
滋味 H_3	口感顺滑,柔和,酸甜平衡,无异味或苦味	优 V_1
	口感顺滑,酸甜基本平衡,较甜或较淡,无异味或苦味	良 V_2
	口感一般,酸甜比例不协调,过酸或过甜	中 V_3
	口感不顺滑,酸甜不平衡,过甜或过酸,有异味或苦味	差 V_4
气味 H_4	苹果、百香果香气协调,香味纯正浓郁,具有发酵乳风味	优 V_1
	苹果、百香果协调,香气稍淡,发酵乳风味淡	良 V_2
	苹果、百香果香气不协调,或无二者香味,有发酵乳风味较淡	中 V_3
	无苹果和百香果的香气,风味不佳,有涩味和苦味,气味不协调	差 V_4

(2) 权重集的确定:权重系数由 10 位感官评价人员进行确定,先采用用户调查法,然后由感官评价人员根据因素的重要性采用二元对比法^[12-13],通过影响因素的两两比较,认为重要的得 1 票,次要的得 0 票,自身对比得 1 票,一票即为一分,各项指标的得票数占各指标总票数的比率即各指标权重,各指标权重分布见表 2,各因素权重系数值 $H=(H_1, H_2, H_3, H_4)=(0.20, 0.23, 0.32, 0.25)$ 。

1.3.6 发酵乳理化指标及微生物指标的测定

- (1) 脂肪含量:按 GB 5009.6—2016 执行。
- (2) 蛋白质含量:按 GB 5009.5—2016 执行。
- (3) 乳糖、蔗糖含量:按 GB 5413.5—2016 执行。
- (4) 酸度:按 GB 5009.239—2016 执行。
- (5) 水分含量:按 GB 5009.3—2016 执行。
- (6) 非脂乳固体含量:按 GB 5413.39—2010 执行。

(7) 亚硝酸盐含量:按 GB 5009.33—2016 执行。

(8) 三聚氰胺含量:按 GB/T 22388—2008 执行。

(9) 微生物、乳酸菌总数:按 GB 4789.35—2016 执行。

(10) 霉菌及酵母计数:按 GB 4789.15—2016 执行。

1.3.7 数据处理 应用模糊数学评价法计算感官评分,根据感官评分进行单因素、响应面优化分析,Origin 2018 软件绘图,Design-Expert 10.0.7 软件进行响应面优化分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

由图 1(a)可知,随着苹果汁添加量的增加,蛋白质含量逐渐降低,降幅较小。感官评价虽然呈先升高后降低的趋势,但发酵乳的感官评分变化不大,说明苹果汁对发酵乳感官评分影响较小。当苹果汁添加量 $\leq 8\%$ 时,发酵乳色泽较差,光泽较暗;当苹果汁添加量为 8% 时,发酵乳有较好的光泽,且有淡淡的苹果香味;当苹果汁添加量 $> 8\%$ 时,苹果香味较大,掩盖了百香果的香味,发酵乳色泽不佳。由于百香果香味较大,酸甜度也大于苹果^[14-15],相对而言,苹果汁对发酵乳饮料的影响较小。综上,苹果汁最适添加量为 8% 。

由图 1(b)可知,随着百香果汁添加量的增加,发酵乳的感官评分先上升后下降,当百香果汁添加量为 3% 时,感官评分达最大值,而蛋白质含量在百香果汁添加量为

表 2 权重系数
Table 2 Weight coefficient

评价指标	各因素得分					权重
	色泽	状态	滋味	气味	总计	
色泽 H_1	10	5	1	4	20	0.20
状态 H_2	5	10	4	4	23	0.23
滋味 H_3	9	6	10	7	32	0.32
气味 H_4	6	6	3	10	25	0.25

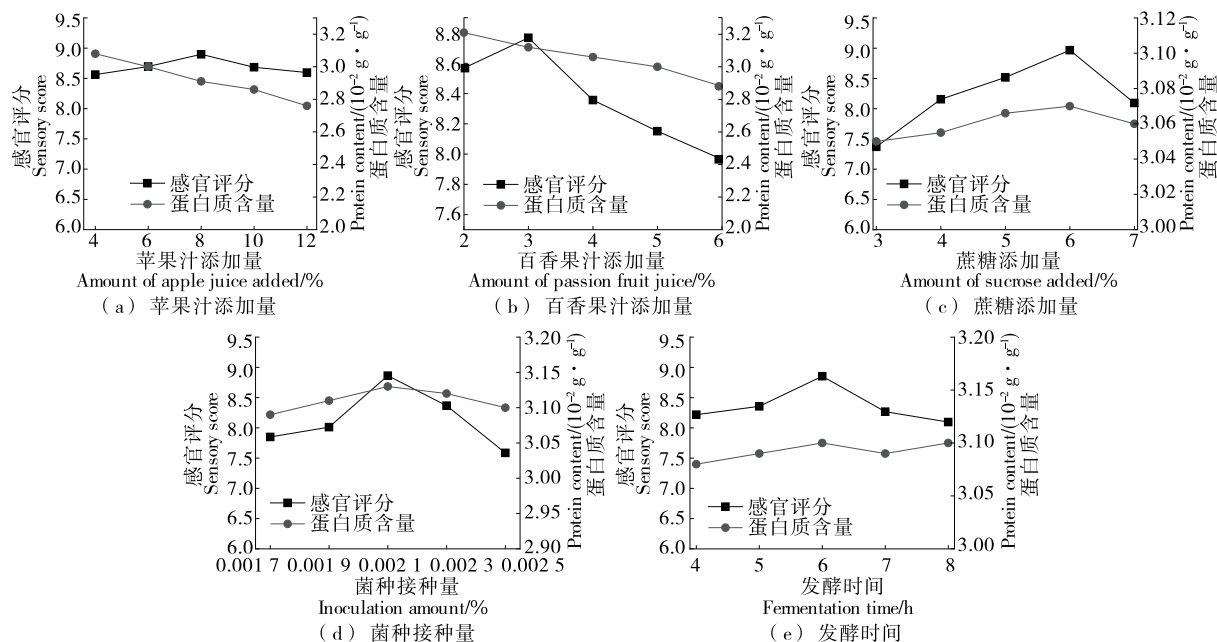


图1 各因素对发酵乳感官评分和蛋白质含量的影响

Figure 1 Effects of various factors on sensory score and protein content of fermented milk

2%~4%时稍有降低。百香果香味和酸甜度大于苹果,所以对发酵乳的气味和滋味影响相对较大,其添加量应小于苹果汁的,因此选取百香果汁添加量为2%,3%,4%进行响应面优化试验。

由图1(c)可知,随着蔗糖添加量的增加,发酵乳感官评分和蛋白质含量均呈先升高后降低的趋势,当添加量为6%时,二者均为极大值。当蔗糖添加量<6%时,发酵乳口感偏酸,而添加量>6%时,则发酵乳甜味较大,果香味变淡,均会使感官评分相对偏低。说明蔗糖对发酵乳的滋味影响较大,故选取蔗糖添加量为5%,6%,7%进行响应面优化试验。

由图1(d)可知,随着菌种接种量的增加,发酵乳的感官评分和蛋白质含量先增加后降低,当菌种接种量为0.0021%时,感官评分和蛋白质含量均达到极大值,当菌种接种量<0.0021%时,发酵不充分影响发酵乳状态,稍有乳清析出,当菌种接种量>0.0021%时,发酵乳酸味偏大,导致感官评分降低。故选取菌种接种量为0.0019%,0.0021%,0.0023%进行响应面优化试验。

由图1(e)可知,随着发酵时间的延长,发酵乳的感官评分先增加后降低,酸度增大,影响发酵乳的口感,当发酵时间为6h时,感官评分达最大值,而蛋白质含量在发酵5~7h时变化较小,故选取发酵时间为5,6,7h进行响应面优化试验。

2.2 响应面优化

依据单因素试验结果,选择百香果汁添加量、蔗糖添加、菌种接种量和发酵时间为影响因素进行响应面优化

试验。试验因素水平见表3,响应面试验设计与结果见表4。

以10名感官评价人员对发酵乳的色泽、状态、滋味和气味评价的得票数建立模糊评价矩阵,以1号产品为例,其模糊矩阵为:

$$N_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0.0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.0 & 0.3 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据模糊数学计算原理,按1.3.5中模糊数学评价方法,1号样品感官评分结果根据矩阵乘法计算 $M_1 = H \times N_1 = (0.525, 0.223, 0.137, 0.115)$,将优、良、中、差4个等级分别赋值为9,8,7,6分, M_1 中计算的各数值分别乘以相应赋值,再相加,即1号样品感官评分为 $0.525 \times 9 + 0.223 \times 8 + 0.137 \times 7 + 0.115 \times 6 = 8.158$,同理可计算出2~29号样品的感官得分。

利用响应面软件 Design-Expert 10.0.7 对试验数据结果进行多元回归拟合,得回归模型方程分别为:

表3 发酵乳响应面试验因素与水平

Table 3 Response surface test factors and levels of fermented milk

水平	A 百香果汁 添加量/%	B 蔗糖 添加量/%	C 菌种 接种量/%	D 发酵 时间/h
-1	2	5	0.001 9	5
0	3	6	0.002 1	6
1	4	7	0.002 3	7

$$R_1 = 8.86 + 0.37A + 0.26B + 0.52C + 0.16D - 0.25AB + 0.36AC - 0.72AD - 0.065BC - 0.033BD - 0.025CD - 0.38A^2 - 0.29B^2 - 0.252C^2 - 0.68D^2, \quad (3)$$

$$R_2 = 3.03 - 0.21A - 0.033B - 0.022C + 7.9E - 003D - 0.032AB + 0.025AC - 0.022AD + 3.1E - 3.0BD + 0.035CD - 0.065A^2 - 0.052B^2 - 0.026C^2 - 1.8E - 002D^2. \quad (4)$$

表 4 响应面试验设计与结果

Table 4 Design and results of response surface experiments

试验号	A	B	C	D	R_1 感官 评分	R_2 蛋白质含量/ ($10^{-2} \text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	试验号	A	B	C	D	R_1 感官 评分	R_2 蛋白质含量/ ($10^{-2} \text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
1	1	1	0	0	8.158	2.68	16	0	0	0	0	8.917	3.06
2	1	0	1	0	8.602	2.75	17	0	0	-1	1	8.503	3.08
3	0	0	-1	-1	7.126	3.05	18	0	-1	-1	0	7.985	2.98
4	1	0	-1	0	8.629	2.78	19	0	0	0	0	8.909	2.96
5	-1	0	-1	0	7.898	3.20	20	0	-1	0	1	8.508	3.07
6	0	0	0	0	8.899	3.08	21	-1	0	0	-1	7.101	3.09
7	0	1	0	-1	8.107	2.95	22	0	1	1	0	8.568	2.89
8	-1	1	0	0	8.668	3.16	23	0	0	1	1	7.788	2.98
9	0	0	0	0	8.968	3.05	24	0	1	-1	0	8.636	3.00
10	0	0	1	-1	8.212	3.01	25	1	0	0	1	7.965	3.05
11	0	1	0	1	8.656	2.99	26	-1	-1	0	0	8.089	3.02
12	-1	0	0	1	8.395	3.11	27	0	-1	1	0	8.679	3.06
13	-1	0	1	0	7.896	3.02	28	0	0	0	0	8.912	3.07
14	0	-1	0	-1	7.803	3.08	29	1	0	0	-1	8.306	2.78
15	1	-1	0	0	8.739	2.96							

表 5 以感官评分为响应值的回归模型方差分析[†]

Table 5 Analysis of variance results of regression model with sensory score as evaluation index

来源	均方差	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	6.98	14	0.62	3 526.39	<0.000 1	* *
A	0.61	1	0.73	3 982.36	<0.000 1	* *
B	0.36	1	0.29	1 288.23	<0.000 1	* *
C	0.28	1	0.22	983.25	<0.000 1	* *
D	1.05	1	0.98	5 987.52	<0.000 1	* *
AB	0.06	1	0.06	286.36	<0.000 1	* *
AC	0.04	1	0.05	169.75	<0.000 1	* *
AD	0.72	1	0.73	4 653.20	<0.000 1	* *
BC	0.29	1	0.25	980.26	<0.000 1	* *
BD	0.02	1	0.02	98.76	<0.000 1	* *
CD	0.78	1	0.69	5 023.51	<0.000 1	* *
A ²	0.82	1	0.72	5 313.25	<0.000 1	* *
B ²	1.20E-003	1	1.20E-003	8.10	0.021 1	*
C ²	1.11	1	1.23	7 521.30	<0.000 1	* *
D ²	2.62	1	2.66	17 500.26	<0.000 1	* *
残差	2.15E-003	14	1.63E-004			
失拟项	1.78E-003	10	1.78E-004	3.02	0.106 8	不显著
纯误差	3.06E-004	4	6.33E-005			
总离差	6.99	28				

[†] * 表示差异显著($P < 0.05$); * * 表示差异极显著($P < 0.01$); $R^2 = 0.983\ 2$; $R_{adj}^2 = 0.995\ 6$; $CV = 0.82\%$ 。

由表 5 可知,模型 $P<0.000\ 1$,失拟项 $P=0.106\ 8>0.05$,说明模型极显著且数据具有较高的可靠性; $R^2=0.983\ 2$,说明模型可信度极高,拟合度较好,且 $R^2_{\text{adj}}=0.995\ 6$,说明有 99.56% 的试验符合该模型, $CV=82\%$,说明模型重现性极好。由 F 值可知,各因素对试验结果

影响大小顺序为 $D>A>B>C$,即发酵时间>蔗糖添加量>百香果汁添加量>菌种接种量。

由图 2 可知,交互项 CD、AD 的响应面最陡峭,影响最显著,且任意二者之间均存在一定的交互作用,与方差分析结果一致。

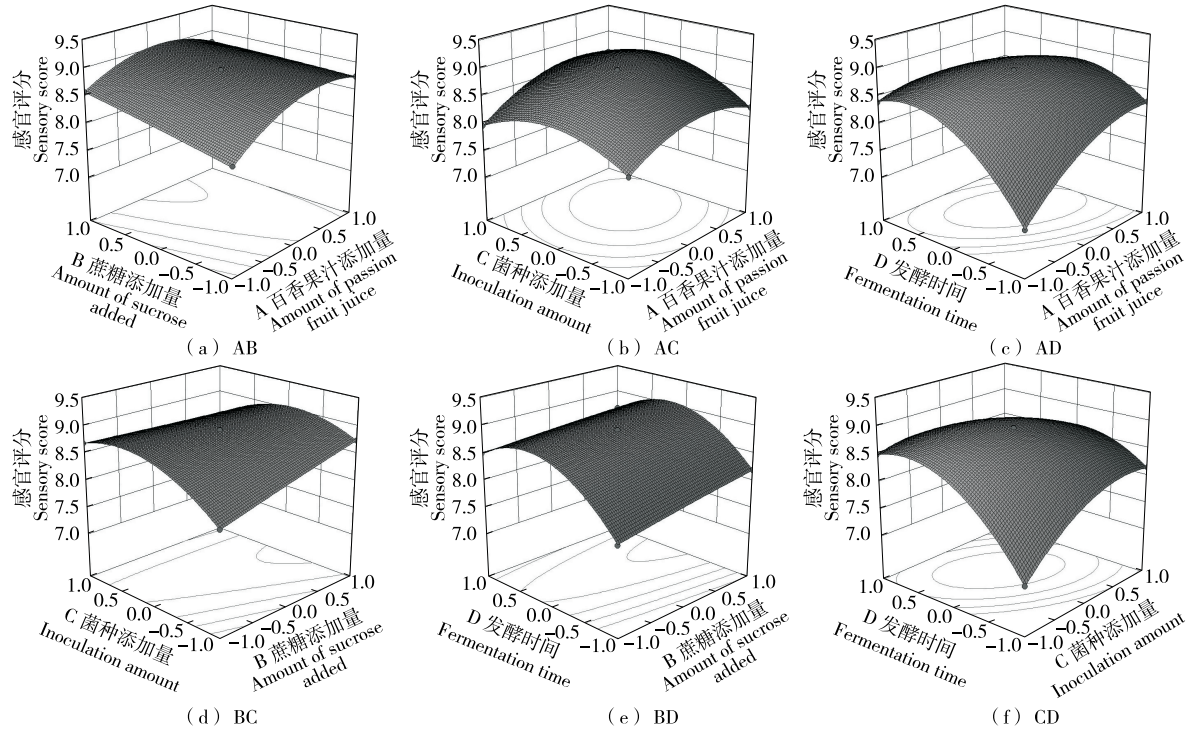


图 2 以感官评分为响应值的响应面及等高线图

Figure 2 Response surface and contour map of sensory score

表 6 以蛋白质含量为响应值的回归模型方差分析[†]

Table 6 The results of the analysis of variance of the regression model with protein as the evaluation index

来源	均方差	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.350	14	0.025	79.38	<0.000 1	显著
A	0.300	1	0.300	960.75	<0.000 1	* *
B	6.075E-003	1	6.075E-003	19.20	0.000 6	* *
C	4.408E-003	1	4.408E-003	13.93	0.002 2	* *
D	8.333E-006	1	8.333E-006	0.03	0.873 4	
AB	2.025E-003	1	2.025E-003	6.40	0.024 0	*
AC	6.250E-004	1	6.250E-004	1.98	0.181 7	
AD	6.250E-004	1	6.250E-004	1.98	0.181 7	
BC	0.000	1	0.000	0.00	1.000 0	
BD	1.000E-004	1	1.000E-004	0.32	0.582 9	
CD	1.600E-003	1	1.600E-003	0.21	0.623 5	
A ²	0.028	1	0.028	89.29	<0.000 1	* *
B ²	6.234E-003	1	6.234E-003	19.70	0.000 6	* *
C ²	2.220E-003	1	2.220E-003	7.02	0.019 1	*
D ²	6.486E-006	1	6.486E-006	0.02	0.888 2	
残差	4.430E-003	14	3.164E-004			
失拟项	3.750E-003	10	3.750E-004	2.21	0.231 8	不显著
纯误差	6.800E-004	4	1.700E-004			
总离差	0.360	28				

[†] * 表示差异显著($P<0.05$); * * 表示差异极显著($P<0.01$); $R^2=0.987\ 6$; $R^2_{\text{adj}}=0.975\ 1$; $CV=59\%$ 。

由表 6 可知,模型 $P < 0.001$,失拟项 $P = 0.2318 > 0.05$,模型显著, R^2 为 0.9876,说明模型可信度较高,可以用来评价试验结果且较合理。由 F 值可知,各因素对试验结果影响大小顺序为 $A > B > C > D$ 。由图 3 可知,任意两个交互项响应面图均存在极大值,说明响应面因素水平选择合理,极大值在因素水平范围内。AB 响应面较陡峭,影响最显著。

经 Design-Expert 10.0.7 优化,百香果—苹果发酵乳的最佳配方为百香果汁添加量 2.35%,蔗糖添加量 7%,菌种接种量 0.002 06%,发酵时间 6.52 h。此优化条件下,发酵乳的感官评分预测值为 8.999 分,蛋白质含量预

测值为 3.11 g/100 g。考虑到实际工艺,将发酵时间调整为 6.5 h,其他工艺条件不变,进行 3 次平行验证实验,发酵乳的感官评分为 8.960;蛋白质含量为 3.12 g/100 g,与预测值接近,说明该模型可以用于优化此发酵乳配方。因此,百香果—苹果发酵乳的最佳配方为纯牛奶 82.59%,百香果汁 2.35%,苹果汁 8.00%,蔗糖 7.00%,增稠剂 0.06%,菌种 0.002 06%,发酵时间 6.50 h。

2.3 抗氧化性

由图 4 可知,百香果—苹果发酵乳饮料在发酵前、后对 DPPH 自由基和羟自由基的清除率随着体积浓度的增大而增大,呈正相关的量效关系,与程宏桢等^[16]的结论一

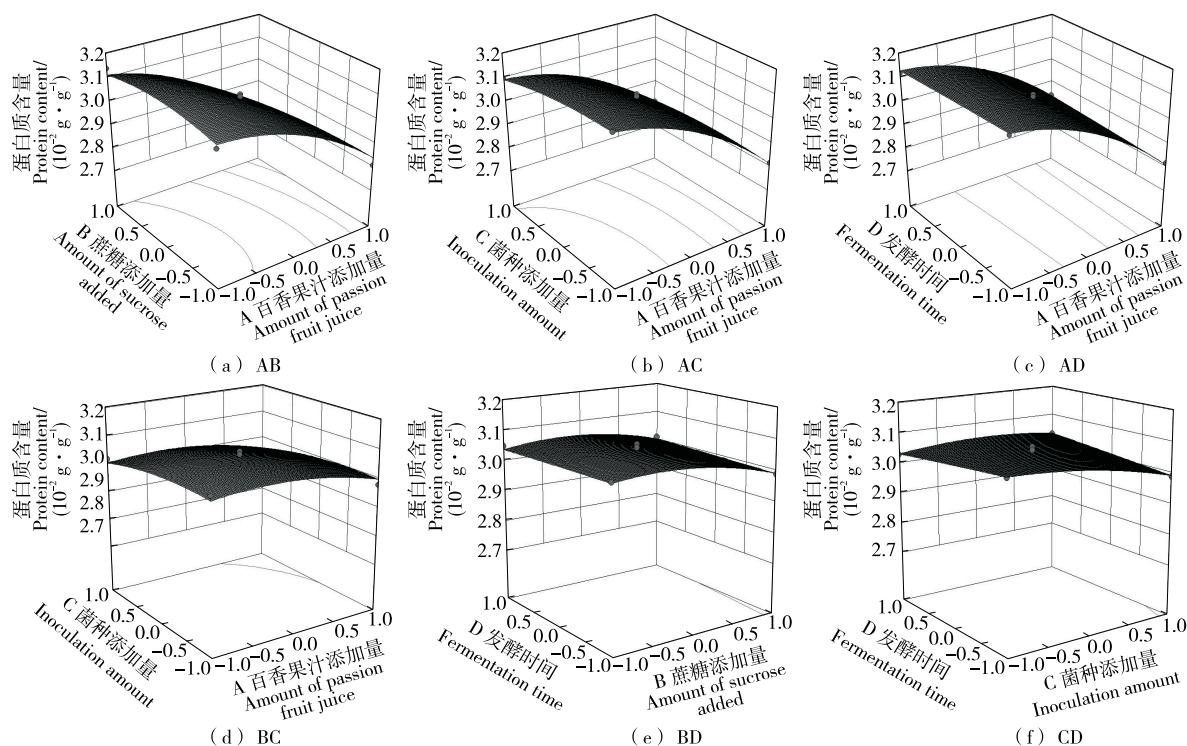


图 3 以蛋白质含量为响应值的响应面及等高线图

Figure 3 Response surface and contour map of protein content

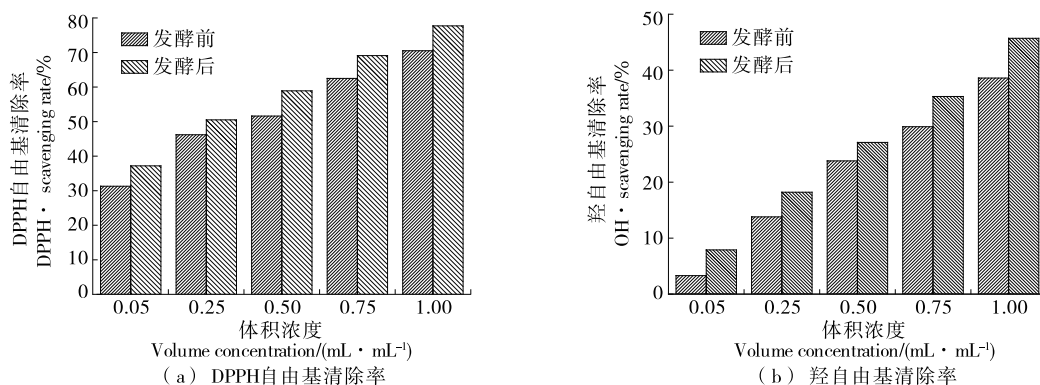


图 4 抗氧化性测定结果

Figure 4 Antioxidant activity test results

致。发酵后对 DPPH 自由基和羟自由基的清除率比发酵前的均有提升,可能是发酵引起了异黄酮和酚类物质的增加^[17-18],因此发酵促使乳饮料 DPPH 自由基和羟自由基的清除率提升,当样液体积浓度为 1 mL/mL 时,发酵前、后对 DPPH 自由基的清除率分别为 70.5%,77.7%,对羟自由基的清除率分别为 38.6%,45.7%。

2.4 百香果—苹果发酵乳理化指标及微生物指标

由表 7 可知,风味发酵乳的各项指标均符合 GB 19302—2010 关于风味发酵乳的指标要求。

表 7 发酵乳的理化和微生物指标检测结果
Table 7 Physical and chemical test results

项目	单位	国标标准 规定	测定结果	是否符合 国标标准
脂肪	g/100 g	≥2.5	3.42	符合
蛋白质	g/100 g	≥2.3	3.12	符合
酸度	T°	≥70.0	76.2	符合
亚硝酸盐	g/100 g	<0.02	0.005 13	符合
乳酸菌	CFU/mL	>1×10 ⁶	1.62×10 ⁹	符合
大肠菌群及致病菌		无	无	符合
蔗糖	g/100 g		6.32	符合
乳糖	g/100 g		5.11	符合
非脂乳固体	g/100g		7.6	符合
灰分	g/100 g		0.556	符合
总固	g/100 g		20.22	符合
三聚氰胺			0	符合

3 结论

以百香果、苹果和纯牛奶为主要原料,以感官评分、蛋白质含量为指标,基于模糊数学评价法对百香果—苹果风味发酵乳的最佳工艺条件进行了优化。结果表明,百香果—苹果风味发酵乳的最佳配方为纯牛奶 82.59%,百香果汁 2.35%,苹果汁 8.00%,蔗糖 7.00%,增稠剂 0.06%,菌种 0.002 06%,发酵时间 6.50 h;百香果—苹果发酵乳饮料对 DPPH 自由基和羟自由基的最大清除率分别为 77.7%和 45.7%,具有良好的抗氧化性;发酵乳的理化、微生物指标均满足相关国标要求。后续应丰富百香果发酵乳饮料的种类开发,如百香果紫薯、百香果蓝莓、百香果核桃等发酵乳饮料,以期实现百香果发酵乳饮料的市场化。

参考文献

[1] 胡来丽, 秦礼康, 王玉珠. 百香果全果与果汁发酵酒滋味成分及香气成分对比[J]. 食品与机械, 2021, 37(12): 10-19.
HU L L, QIN L K, WANG Y Z. Comparison of taste and aroma

components between whole passion fruit and fruit juice fermented wine[J]. Food & Machinery, 2021, 37(12): 10-19.

[2] BARBOSA S T, DEARAUJO F P, NETO A F, et al. Phytochemical compounds and antioxidant activity of the pulp of two brazilian passion fruit species: *Passiflora Cincinnata* Mast. and *Passiflora Edulis* Sims[J]. Int J Fruit Sci, 2021, 21(1): 255-269.

[3] WENDY T C P, EDWIN T M, STANISLAV M, et al. Physiological responses of purple passion fruit (*Passiflora Edulis* Sims F. *Edulis*) plants to deficiencies of the macronutrients, Fe, Mn, and Zn during vegetative growth[J]. Int J Fruit Sci, 2021, 21(1): 344-358.

[4] RIBEIRO D N, ALVES F, RAMOS V, et al. Extraction of passion fruit (*Passiflora cincinnata* Mast.) pulp oil using pressurized ethanol and ultrasound: Antioxidant activity and kinetics [J]. J Supercrit Fluid, 2020, 165: 104944.

[5] 高代代, 冉军舰, 赵功玲, 等. 乳酸菌发酵苹果汁工艺研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2021, 49(3): 31-38.
GAO D D, RAN J J, ZHAO G L, et al. Study on the technology of apple juice fermented by lactic acid bacteria[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2021, 49(3): 31-38.

[6] 李凤霞, 雷清玉, 盛红叶, 等. 工艺参数对苹果果脯护色效果的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 207-211, 215.
LI F X, LEI Q Y, SHENG H Y, et al. Effects of different processing parameters on the color protecting of candied apple[J]. Food & Machinery, 2020, 36(4): 207-211, 215.

[7] 马先红, 王莹, 张清环, 等. 谷物酸奶的研究现状[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(10): 6-8.
MA X H, WANG Y, ZHANG Q H, et al. Research progress of cereal yogurt[J]. Cereals & Oils, 2017, 30(10): 6-8.

[8] 贾庆超, 梁艳美. 模糊数学感官评价结合响应面法优化黑枸杞-刺梨风味发酵乳发酵工艺[J]. 中国酿造, 2021, 40(12): 125-132.
JIA Q C, LIANG Y M. Optimization of fermentation process of fermented black wolfberry-Rosa roxburghii flavor milk by fuzzy mathematics sensory evaluation combined with response surface methodology[J]. China Brewing, 2021, 40(12): 125-132.

[9] 陈钢, 简素平, 徐静. 苹果汁发酵乳饮料的研制[J]. 乳业科学与技术, 2012, 35(1): 32-35.
CHEN G, JIAN S P, XU J. Development of a fermented apple dairy beverage[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2012, 35(1): 32-35.

[10] 贾庆超, 朱玲. 基于模糊数学评价的黑枸杞百香果乳饮料研制及抗氧化性研究[J]. 中国酿造, 2022, 41(10): 165-171.
JIA Q C, ZHU L. Development of black wolfberry and passion fruit milk beverage based on fuzzy mathematics evaluation and its antioxidant activity[J]. China Brewing, 2022, 41(10): 165-171.

[11] 苏智敏, 黄小平, 刘飞, 等. 电子舌技术在食用盐模糊感官评价中的应用[J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 53-56.
SU Z M, HUANG X P, LIU F, et al. Application of electronic tongue technology for fuzzy sensory evaluation of edible salts[J]. Food & Machinery, 2020, 36(8): 53-56.

- [12] 林致通, 张东霞, 雷雯, 等. 基于模糊数学与感官质构分析建立鲜凉皮食用品质评价标准[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(7): 225-233.
- LIN Z T, ZHANG D X, LEI W, et al. Establish comprehensive quality standard of fresh Liangpi based on sensory evaluation combined with fuzzy mathematics [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(7): 225-233.
- [13] 贾庆超, 梁艳美. 模糊数学评价结合响应面法优化枸杞鸡枞菌复合饮料配方[J]. 中国酿造, 2021, 40(4): 115-121.
- JIA Q C, LIANG Y M. Optimization of *Lycium barbarum* and *Termitomyces albuminosus* compound beverage formula by fuzzy mathematics evaluation combined with response surface methodology[J]. China Brewing, 2021, 40(4): 115-121.
- [14] 王标明. 百香果的营养特性及栽培管理措施[J]. 中国果菜, 2020, 40(7): 111-113, 117.
- WANG B M. Nutritional characteristics and cultivation management measures of passion fruit[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(7): 111-113, 117.
- [15] 唐美玲, 段伟文, 段振华, 等. 超高压处理对百香果—火龙果复合饮料品质的影响及杀菌工艺优化[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 182-186, 236.
- TANG M L, DUAN W W, DUAN Z H, et al. Effect of ultra high pressure treatment on the quality of passion fruit-pitaya compound beverage and optimization of sterilization process [J]. Food & Machinery, 2020, 36(2): 182-186, 236.
- [16] 程宏桢, 蔡志鹏, 王静, 等. 百香果全果酒发酵工艺优化及体外抗氧化性比较分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(4): 91-97.
- CHENG H Z, CAI Z P, WANG J, et al. Optimization of fermentation process for whole passion fruit wine and comparative analysis of antioxidant activity in vitro[J]. China Brewing, 2020, 39(4): 91-97.
- [17] 李佩佩, 颜向红, 王聪, 等. 不同发酵方式下枸杞饮料主要成分及其抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24): 90-97.
- LI P P, XIE X H, WANG C, et al. Main components and antioxidant activities of *Lycium barbarum* L. beverages using two different fermentation processes [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(24): 90-97.
- [18] JULIA M C O, EVANDRO L S, KAÍQUE Y G L, et al. Physicochemical parameters, phytochemical profile and antioxidant properties of a new beverage formulated with Xique-Xique (*Pilosocereus gounellei*) cladode juice[J]. Foods, 2021, 10(9): 1-17.

(上接第 139 页)

- [22] 范三红, 胡雅喃, 何亚. 响应面法优化菊芋渣酶解制备抗氧化肽工艺[J]. 食品科学, 2015, 36(8): 49-53.
- FAN S H, HU Y N, HE Y. Optimization of enzymatic hydrolysis of jerusalem artichoke residue for preparing antioxidant peptides by response surface methodology [J]. Food Science, 2015, 36(8): 49-53.
- [23] 刘东伟, 袁玮琼, 柳梅, 等. 核桃粕蛋白抑菌肽的制备工艺及纯化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(2): 185-191.
- ZHANG D W, YU W Q, LIU M, et al. Preparation and isolation of antibacterial peptides from walnut dregs protein[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(2): 185-191.
- [24] 张维, 胡馨月, 赵行, 等. 响应面法优化紫贻贝鲜味肽酶法制备工艺[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 206-214.
- ZHANG W, HU X Y, ZHAO X, et al. Response surface methodology for optimization of enzymatic preparation of umami peptides from *Mytilus edulis*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(8): 206-214.
- [25] 王安凤, 赵永强, 陈胜军, 等. 响应面法优化合浦珠母贝肉水解工艺[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(11): 165-171.
- WANG A F, ZHAO Y Q, CHEN S J, et al. Optimization of hydrolysis process of *Pinctada fucata* by response surface method [J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(11): 165-171.
- [26] GUHA S, MAJUMDER K. Structural-features of food-derived bioactive peptides with anti-inflammatory activity: A brief review [J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(1): e12531.
- [27] CHEN X, CHEN Y, DAI L, et al. MiR-96-5p alleviates inflammatory responses by targeting NAMPT and regulating the NF- κ B pathway in neonatal sepsis[J]. Bioscience Reports, 2020, 40(7): BSR20201267.

(上接第 158 页)

- [27] WANG Y, LI X, CHEN X, et al. Effect of stir-frying time during *Angelica Sinensis* Radix processing with wine on physicochemical, structure properties and bioactivities of polysaccharides[J]. Process Biochemistry, 2019, 81: 188-196.
- [28] SOUSSI N, BOUGHRIBA S, ABDELHEDI O, et al. Extraction, structural characterization, and thermal and biomedical properties of sulfated polysaccharides from razor clam *Solen marginatus*[J]. RSC Advances, 2019, 9(20): 11 538-11 551.
- [29] HAJJI M, HAMDI M, SELLIMI S, et al. Structural characterization, antioxidant and antibacterial activities of a novel polysaccharide from *Periploma laevigata* root barks [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 206: 380-388.
- [30] 林军, 李高阳, 黄帆, 等. 分级醇沉紫薯多糖抗氧化活性与稳定性[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 189-196.
- LIN J, LI G Y, HUANG F, et al. Antioxidant and stability of polysaccharides from purple sweet potato by fractional alcohol precipitation[J]. Food & Machinery, 2022, 38(3): 189-196.
- [31] 张秋红. 超声细胞破碎仪辅助提取桑葚多糖及其抗氧化性分析[J]. 食品与机械, 2022, 38(6): 168-172.
- ZHANG Q H. Extraction of mulberry polysaccharide by ultrasonic cell crusher-assisting and its antioxidant activity analysis[J]. Food & Machinery, 2022, 38(6): 168-172.