

响应面法优化橙绒凝固型酸奶发酵工艺概述

文/徐广新^{1,2} 杨仁琴^{1,2} 周炜^{1,2} 杨忠良^{1,2} 刘阳^{1,2} 吴慧^{1,2,3} 印伯星^{1,2,3*}

(1 江苏省乳业生物工程技術研究中心; 2 扬州市扬大康源乳业有限公司; 3 扬州大学实验农牧场)

摘要: 以橙绒果酱和生牛乳为原料, 以感官评分为指标, 利用响应曲面法优化蔗糖、橙绒果酱及稳定剂的添加量, 确定橙绒凝固型酸奶发酵的最佳工艺参数。结果表明, 建立响应面回归模型为 $Y=95+2.25A+2.5B+2.25C+2AB-0.5AC-BC-0.75A^2-11.25B^2-6.75C^2$; 最终得出橙绒凝固型酸奶最佳生产工艺参数为: 蔗糖添加量7.00%、果酱添加量6.39%、稳定剂添加量0.61%, 在此工艺条件下制备的橙绒凝固型酸奶, 感官评分为97.00分, 与预测值97.04分一致。

关键词: 响应面; 优化; 橙绒果酱; 凝固型酸奶; 发酵工艺; 感官评分

甜橙是芸香科柑橘属植物橙树的果实, 又称黄果、柑子、金环、柳丁。甜橙果实中含有黄酮苷、内酯、生物碱和有机酸等成分, 具有开胃消食、化痰止咳和醒酒等功效, 其果肉中营养成分丰富, 尤其是维生素C含量较高, 是开发利用价值较大的水果^[1, 2]。

酸奶中富含多种人体必需的营养成分, 其中的益生菌可有效改善人体肠道微生物丰度, 有利于抵御多种疾病^[3, 4]。本试验利用橙绒果酱制成橙绒凝固型酸奶, 不仅满足了消费者对新型口味的需求, 也拓宽了橙绒果酱市场, 发展前景乐观。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 试验材料

生牛乳, 扬大康源乳业牧场; 橙

绒果酱, 保定明花食品有限公司; 发酵剂ST338-1, 上海昊特有限公司; 蔗糖, 南京甘汁园糖业有限公司; 氢氧化钠(分析纯)及溴甲酚紫(分析纯)等试剂, 科百奥生物技术公司。

1.1.2 试验仪器

GZX-9070ME数显鼓风干燥箱, 上海博迅实业有限公司; ODELTA320数显pH计梅特勒托利多国际贸易(上海)有限公司; UV-1000型紫外可见分光光度计, 上海天美科学仪器有限公司; TMS-PRO型质构仪, 美国FTC公司; SRH60-70高压均质机, 上海申鹿均质机有限公司; 超净工作台及生物培养箱, 赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

生牛乳→均质(19 MPa)→

杀菌(95℃、5 min)→冷却→添加橙绒果肉→接种→灌装→发酵(30℃、17 h)→冷藏→成品。

1.2.2 感官评价

选择10名专业人员, 按照《GB19302—2010食品安全国家标准 发酵乳》中规定的感官评价标准, 对试验所得产品进行评定^[5]。

1.2.3 乳酸菌总数测定

按照《GB4789.35—2010食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验》中规定的乳酸菌总数检验方法进行测定^[6]。

1.2.4 滴定酸度测定

氢氧化钠滴定法测定^[7]。

1.2.5 响应面试验设计

根据单因素试验结果, 以蔗糖添加量、果酱添加量、稳定剂添加量为自变量, 以感官评分值为因变量, 利用Design-Expert软件

表 1 响应面设计因素及水平

因素	水平		
	-1	0	1
A 蔗糖添加量 (%)	5	6	7
B 果酱添加量 (%)	4	6	8
C 稳定剂添加量 (%)	0.5	0.6	0.7

Box-Behnken设计法设计3因素3水平响应面分析试验,通过分析和建立数学模型确定橙绒凝固型酸奶的最佳配方,试验设计见表1^[8, 9]。

2 结果与分析

2.1 蔗糖添加量的影响

固定果酱添加量6.00%、稳定剂添加量为0.60%、蔗糖添加量分别为4.00%、5.00%、6.00%、7.00%、8.00%,经30℃发酵17h后进行感官评分,结果见图1。

由图1可知,随着蔗糖添加量的增加,感官分数先上升后下降,分数最高时对应的蔗糖添加量为6.00%,此时产品结构稳定、感官特性优异。这主要由于蔗糖在酸奶发酵过程中会促进形成22种挥发性成分,有利于改善产品风味感官质量^[10]。

2.2 果酱添加量的影响

固定蔗糖添加量6.00%、稳定剂添加量为0.60%、果酱添加量分别为2.00%、4.00%、6.00%、8.00%、10.00%,经30℃发酵17h后进行感官评分,结果见图2。

由图2可知,随着果酱添加量的增加,感官评分先增加后降低,果酱添加量为6.00%时感官评分最高。此时,产品色泽均匀、风味怡人、质地厚实,仅有

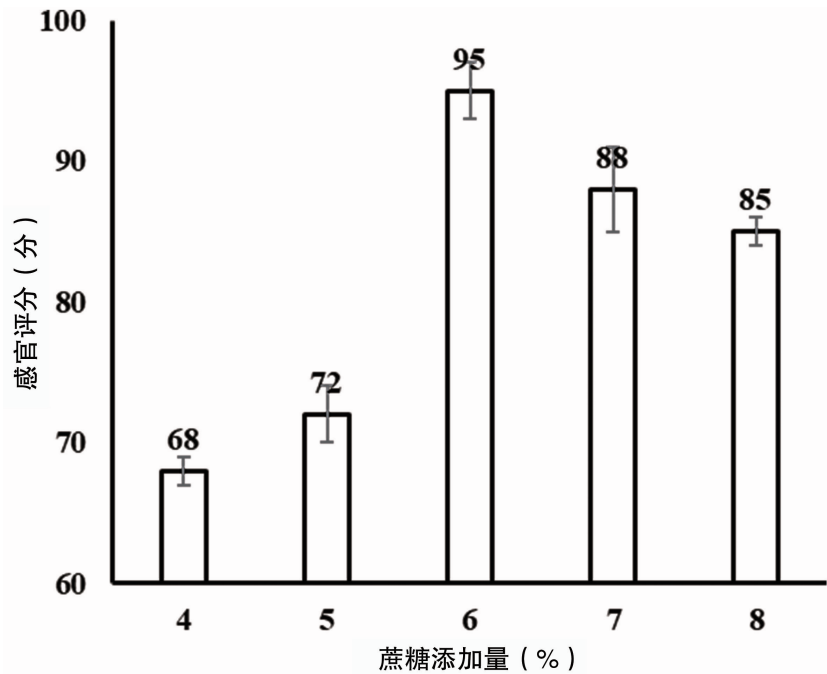


图 1 蔗糖添加量对橙绒凝固型酸奶感官评分的影响

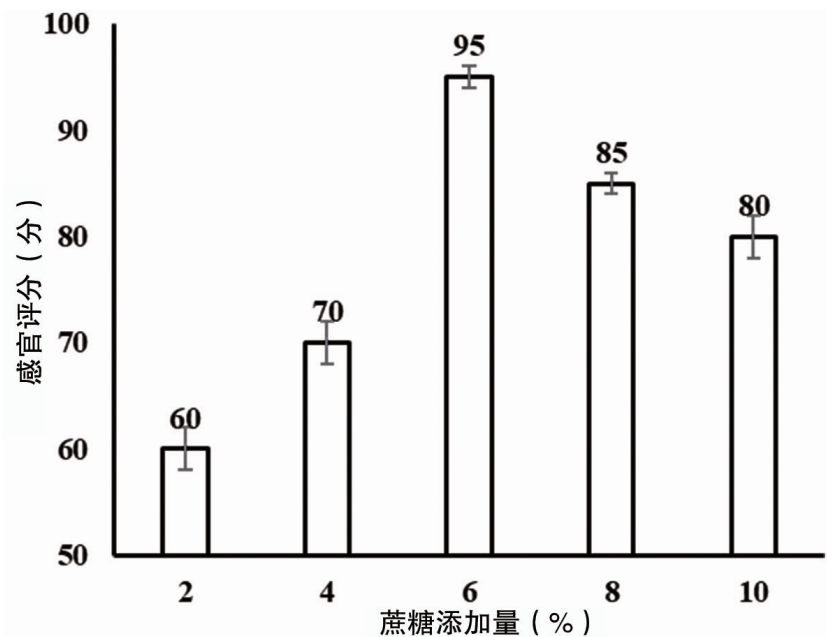


图 2 果酱添加量对橙绒凝固型酸奶感官评分的影响

表2 Box-behnken 试验及结果

试验号	A 蔗糖添加量	B 果酱添加量	C 稳定剂添加量	感官评分 (分)
1	0	0	0	95.00
2	0	1	1	80.00
3	0	0	0	95.00
4	1	1	0	90.00
5	-1	1	0	82.00
6	-1	0	1	88.00
7	0	-1	-1	72.00
8	0	0	0	95.00
9	1	0	1	92.00
10	0	0	0	95.00
11	1	0	-1	88.00
12	-1	-1	0	80.00
13	0	0	0	95.00
14	-1	0	-1	82.00
15	0	1	-1	78.00
16	1	-1	0	80.00
17	0	-1	1	78.00

少量乳清析出。果酱添加量增加或减少时，橙绒酸奶中乳清析出量增加。另外，果酱添加量较高时，果酱会沉到杯底影响感官。这与阴芳冉等对苹果渣制备凝固型酸奶的研究结论相似^[11]。

2.3 稳定剂添加量对凝固型酸奶品质的影响

固定蔗糖添加量6.00%、果酱添加量为6.00%、稳定剂添加量分别为0.40%、0.50%、0.60%、0.70%、0.80%，经30℃发酵17h后进行感官评分，结果见图3。

由图3可知，随着稳定剂添加量的增加，感官评分先增加后降低，稳定剂添加量为0.60%时感官评分最高。这主要由于稳定剂在凝固型酸奶中可显著改善持水力、黏度和综合感官评分^[12]，适量的稳定剂不仅有利于橙绒在酸奶中分布均

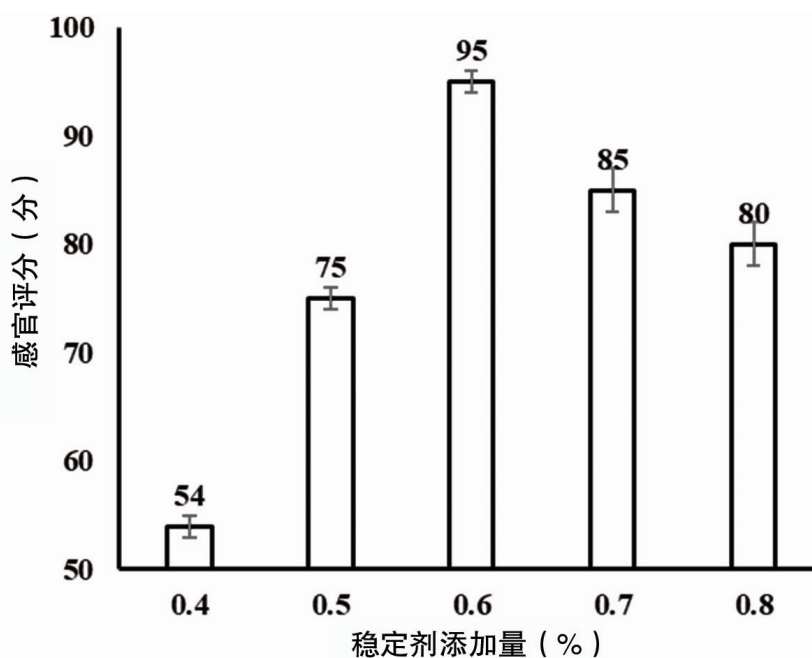


图3 稳定剂添加量对橙绒凝固型酸奶感官评分的影响

匀，也有利于酸奶凝乳的稳定性。稳定剂添加量较低时，橙绒果酱无法均匀分散在酸乳体系中；添加量较高时，产品口感粗糙，感官评分较低。

2.4 响应面优化试验结果

响应面优化试验结果见表2。

表3 回归模型方差分析

项目	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	925.47	9	102.83	239.94	< 0.0001	**
A	40.5	1	40.5	94.5	< 0.0001	**
B	50	1	50	116.67	< 0.0001	**
C	40.5	1	40.5	94.5	< 0.0001	**
AB	16	1	16	37.33	0.0005	**
AC	1	1	1	2.33	0.1705	
BC	4	1	4	9.33	0.0185	*
A ²	2.37	1	2.37	5.53	0.0510	
B ²	532.89	1	532.89	1243.42	< 0.0001	**
C ²	191.84	1	191.84	447.63	< 0.0001	**
总和	928.47	16				

注: ** $P < 0.01$ 表示差异极显著, * $P < 0.05$ 表示差异显著

2.5 方差分析

利用软件对表2的数据进行方差分析后可得到模型的二次多项回归方程: $Y=95+2.25A+2.5B+2.25C+2AB-0.5AC-BC-0.75A^2-11.25B^2-6.75C^2$ 。回归模型方差分析见表3。

由表3可知, 试验选择的模型差异极显著($P < 0.01$), 失拟项不限制($P=0.43 > 0.01$), 说明模型适合本试验。3个因素对橙绒凝固型酸奶感官评分顺序为 $B > C > A$, 即橙绒果酱添加量对感官评分的影响最大。该模型的校正决定系数为 $R^2=0.9968$, $R^2_{Adj}=0.9926$, 表明感官评分的实测值与预测值之间具有较高的拟合度, 同时该模型能够很好地对橙绒凝固型酸奶的感官评分进行分析和预测。

2.6 多因素交互作用的响应面分析

根据回归方程得到响应面的3D

图形, 通过分析图形得出橙绒凝固型酸奶的最佳工艺。如图4~6所示, 随着各交互因素添加量的增加, 产品的感官评分值均呈现先增大后减小的趋势。经分析可得, 橙绒酸奶发酵的最佳工艺参数为: 蔗糖添加量7.00%、果酱添加量6.39%、稳定剂添加量0.61%, 橙绒酸奶的感官评分预测值可达97.04分。

2.7 试验产品的品质

试验产品的理化及微生物指标分别见表4和表5。由表可知, 产品酸度、脂肪、总可溶性固形物、蛋白质含量及持水力均符合国家标准规定的理化值; 乳酸菌数远远高于国家标准, 致病菌没有检出, 微生物指标符合国家标准。

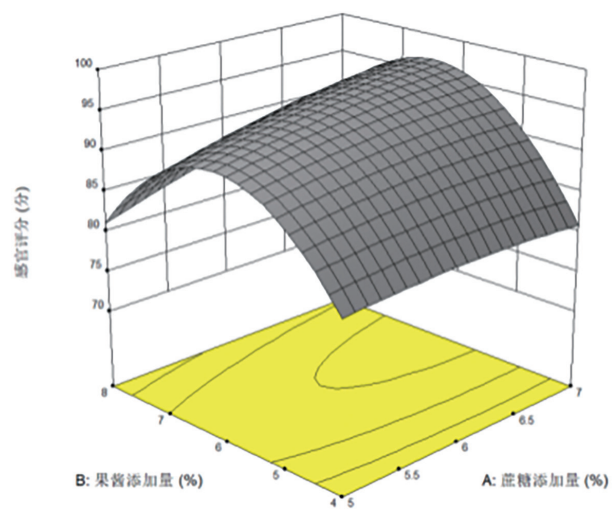


图4 蔗糖添加量与果酱添加量的交互作用

3 小结

以单因素试验为基础, 利用Box-Behnken软件进行中心组合设计, 对蔗糖添加量、果酱添加量、稳定剂添加量3个因素进行响应面分析, 得出最佳的发酵工艺条件为蔗糖添加量为7.00%、果酱添加量为6.39%、稳定剂添加量为0.61%。在此基础上进行验证试验, 得出质地风味最佳的橙绒凝固

表4 理化指标

项目	酸度(°T)	脂肪含量(%)	总固形物含量(%)	蛋白质含量(%)	持水力(%)
橙绒凝固型酸奶	85	3.7	26.7	3.4	22.47
国家标准	≥ 70	≥ 2.5	≥ 17	≥ 2.3	≥ 18

表5 微生物指标

项目	乳酸菌数	致病菌
橙绒凝固型酸奶	1.7×10^9	未检出
国家标准	$\geq 1.0 \times 10^6$	不得检出

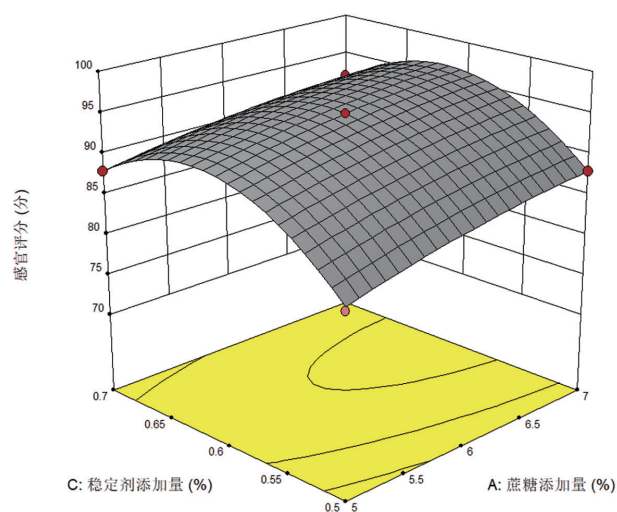


图5 蔗糖添加量与稳定剂添加量的交互作用

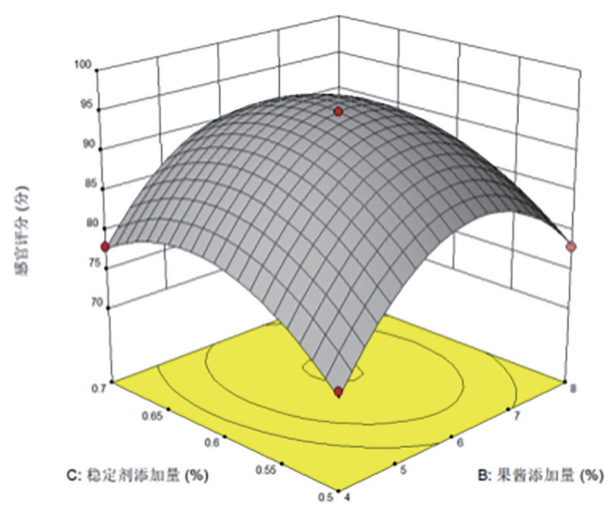


图6 果酱添加量与稳定剂添加量的交互作用

型酸奶。因此,利用响应曲面法对橙绒凝固型酸奶的工艺进行优化,可以获得最优的工艺参数,可有效地降低试验操作的盲目性。■

参考文献

- [1] 杨香玉,余兆硕,唐琦,等.甜橙果酒酿造工艺[J].农业工程,2015,5(6):58-60,64.
- [2] 李变.甜橙果肉型酸奶的研制[J].安徽农业科学,2016,44(12):94-95,110.
- [3] 潘蕾,高飞,李树森,等.酸奶对慢性肾功能衰竭辅助治疗作用的研究[J].食品工程,2018(1):27-33.
- [4] 魏明颖,王玉涵,杨倩,等.肠道益生菌功能特性研究进展[J].粮食与油脂,2020,33(4):14-16.
- [5] 中华人民共和国卫生部.GB19302—2010 食品安全国家标准 发酵乳[S].2010-03-26.
- [6] 中华人民共和国卫生部.GB4789.35—2010 食品安全国家标准.食品微生物学检验.乳酸菌检验[S].2010-03-26.
- [7] 中华人民共和国卫生部.GB 5009.239—2016 食品安全国家标准.食品酸度的测定[S].2016-08-31.
- [8] 董悦阳,韩玮钰,席佳锋,等.响应面法优化麻山药酸奶发酵工艺的研究[J].中国乳品工业,2020,48(2):61-64.
- [9] 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.
- [10] 杨昭,姚玉静,梁志理,等.木糖醇和蔗糖对酸乳品质的影响及风味成分分析[J].食品科技,2019,44(4):71-75.
- [11] 阴芳冉,李颖,于宏伟,等.凝固型树莓果渣酸奶的研制[J].农产品加工,2019(8):1-4,8.
- [12] 蒙六妹,何宗民,李勃.CG复配稳定剂在凝固型酸奶中的应用[J].食品与发酵科技,2017,53(4):45-48.

{基金项目:江苏省现代农业(奶牛)产业技术体系建设专项资金[编号:JATS(2019)253];扬州市科技计划项目(编号:YZ2017143)}

作者简介:

徐广新(1990-),男,江苏省扬州市人,硕士,工程师,研究方向为乳制品研究与开发。

★通信作者:印伯星(1971-),男,江苏省泰州市人,博士,高级工程师,研究方向为乳品科学。