

基于模糊数学结合响应面法 优化双皮奶工艺研究

刘雪源¹, 陈洪华^{2*}

(1. 青岛酒店管理职业技术学院 烹饪学院, 山东 青岛 266100; 2. 扬州大学 旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225127)

摘要: 运用模糊数学原理,以蛋清与鲜奶作为主要原料,对影响双皮奶制作工艺中蛋奶比、糖奶比和鲜奶加热温度进行研究。在单因素实验的基础上,使用响应面法建立双皮奶工艺配方与感官品质、凝胶强度之间的回归模型,对双皮奶工艺参数进行优化。结果表明:在蛋清与鲜奶体积比为1:15(v/v)、白糖与鲜奶质量比为1:6(m/m)、加热温度为72℃的条件下,大火足汽蒸制10 min 高温杀菌,其模糊综合感官评价最高为87.94分,凝乳效果最佳。

关键词: 双皮奶;模糊感官评价法;响应面法;凝乳效果

中图分类号: TS 972.123.6

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2020)03-0069-05

双皮奶(Double skin milk)起源于顺德,盛传于广州,作为一种传统的方小吃,其状如膏,其色洁白,质感细腻嫩滑,口味甜香清淡因而成为一道备受人们青睐的甜品。^[1-2]但因流传范围有限,且市场上售卖的多是由果胶与添加剂调配出来的仿制品,营养欠缺并失去了其本有的味道。^[3]本研究以鸡蛋清与全脂鲜奶为主要原料,通过考察各配料之间比例关系,探究双皮奶的最佳制作工艺,以期工业化生产提供参考。

1 材料及方法

1.1 试验原料

灭菌型鲜牛奶:山东三元乳业有限公司;白糖、鲜鸡蛋:青岛欧尚超市。

1.2 主要仪器

HU8026WN 型原汁机:广州太古电子有限公司;TBS-3C 匀浆机:苏泊尔股份有限公司;S4 恒温水浴锅:广州兆丰精密仪器有限公司;分析天平:上海赞维衡器有限公司;AS8427 红外线测温仪:北京瑞丰科技仪器有限公司;TA1 质构仪:云谱仪器(上海)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 基础配方确定

经查阅资料^[2-5]确定好双皮奶的基础工艺配方,设定鲜奶恒温加热时间为15 min、温度60~90℃、双皮奶中蛋清与鲜奶的体积比为1:5~1:25、白糖与鲜奶的质量为1:4~1:8的情况下,大火足汽蒸10 min 杀菌。

1.3.2 实验流程

双皮奶的工艺流程如下:

鲜牛乳→恒温加热15 min
→撇去气泡与奶皮→过滤 } →搅拌均匀→
蛋清→加糖→搅拌→过滤 }

过滤→大火足汽蒸10 min 杀菌→降温。

1.3.3 凝胶效果的测定

采用物性测试仪对双皮奶凝胶的硬度、弹性、黏附性、咀嚼性、胶黏性及内聚性进行测试。探头P/36.5,测前速度60 mm/min,测试速度120 mm/min,测试形变量40%,触发力0.5 N。^[1]

1.3.4 模糊综合感官评分

评价组由20名有感官评分经验的师生组成,分别对4个指标进行评分(见表1)。

收稿日期:2019-05-10 *通信作者

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31701634)

作者简介:刘雪源,男,青岛酒店管理职业技术学院烹饪学院讲师,从事烹饪与食品科学研究;

陈洪华,女,扬州大学旅游烹饪学院副教授,从事中式面点研究。

表1 双皮奶感官评价标准

指标	分值	评分标准
滋味及 气味	40分	甘甜浓郁,无腥味,有奶香(30~40) 稍甜,奶香味稍淡(15~29) 甜过度,腥味过浓(0~14)
		乳白色且分布均匀,表面光滑且无杂质(15~20) 淡黄色,表面略微不平整(8~14) 颜色不均匀,发暗且混杂(0~7)
色泽	20分	凝胶完全,无液体析出,无沉淀物(8~10) 凝胶较为完全,有部分少量液体析出,略有沉淀(5~7) 凝胶不完全,液体大量析出并伴随沉淀(0~4)
		口感较好且细腻,无涩感和颗粒感(21~30) 口感一般,微涩,有颗粒感,略甜或略酸(11~20) 口感差,发涩,过甜或过酸(0~10)
组织 形态	10分	凝胶完全,无液体析出,无沉淀物(8~10) 凝胶较为完全,有部分少量液体析出,略有沉淀(5~7) 凝胶不完全,液体大量析出并伴随沉淀(0~4)
		口感较好且细腻,无涩感和颗粒感(21~30) 口感一般,微涩,有颗粒感,略甜或略酸(11~20) 口感差,发涩,过甜或过酸(0~10)
口感	30分	凝胶完全,无液体析出,无沉淀物(8~10) 凝胶较为完全,有部分少量液体析出,略有沉淀(5~7) 凝胶不完全,液体大量析出并伴随沉淀(0~4)
		口感较好且细腻,无涩感和颗粒感(21~30) 口感一般,微涩,有颗粒感,略甜或略酸(11~20) 口感差,发涩,过甜或过酸(0~10)

权重确定:滋味及气味占比最高,其次是口感,剩余色泽大于组织形态,权重设定为:滋味及气味 > 口感 > 色泽 > 组织形态,因素权重表示为: $X = [0.4, 0.2, 0.1, 0.3]$ 。^[6]

以滋味及气味、组织形态、色泽、口感4项指标确定因素集 $A = (a_{\text{滋味及气味}}, a_{\text{色泽}}, a_{\text{组织形态}}, a_{\text{口感}})$ 。以很好、好、一般、很差确定为评语集 B , 确定100分为最优标准,分数值为85至100分为很好、分数值70至85分为较好、分数值55至70分为一般、分数值55分以下为很差,则 V 表示为: $B = (b_{\text{很好}}, b_{\text{好}}, b_{\text{一般}}, b_{\text{差}})$ 。^[6]

1.3.5 单因素实验设计

因素水平如表2所示,鲜奶量为100 mL时,选取蛋奶的体积比为(1:5、1:10、1:15、1:20、1:25),白糖与鲜奶的质量比为(1:4、1:5、1:6、1:7、1:8),加热温度(60、65、70、80、90℃)进行单因素试验,以模糊感官评价和凝胶强度为衡量标准。

1.3.6 双皮奶的响应面试验设计

根据响应面试验设计,在单因素实验基础上,对蛋奶比(A)、糖奶比(B)和加热温度(C)3个影响因素进行分析,建立以模糊感官评分 X 和凝胶强度 Y 为响应值的回归分析。^[7] 各因素与水平确定如表2所示。

表2 各因素正交试验水平设计

水平	因素		
	A:蛋奶 比/v:v	B:糖奶 比/m:m	C:加热温 度/℃
-1	1:10	1:5	65
0	1:15	1:6	70
1	1:20	1:7	75

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 蛋清与鲜奶比对双皮奶的影响

由图1可知,随蛋清添加量的不断减少,凝胶强度与感官评分都呈先升后降的趋势,其变化差异显著($P < 0.05$)。蛋清与全脂鲜奶之间比例在1:15时感官评分与凝胶强度达到最高,口感最佳;在1:10左右时,牛奶中奶香味无法掩盖住蛋清中呈腥味的物质三乙胺,导致整个样品中蛋腥味较重,掩盖住全脂新鲜牛奶独有的奶香味。^[8] 当蛋清添加量较少时,由于蛋清的卵白蛋白较少,导致凝固性与凝胶效果不佳。所以选择蛋清与鲜奶比1:15为最佳制作比例。

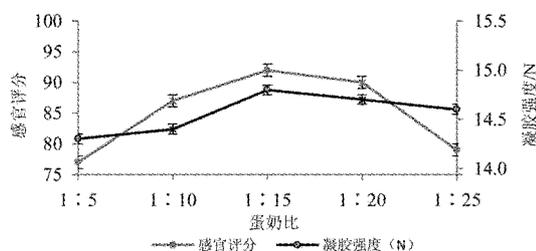


图1 蛋奶比对感官评分及凝胶强度的影响

2.1.2 糖与鲜奶比对双皮奶的影响

由图2可知,随白糖添加比例的不断减小,感官评价呈先升后降的趋势。比例为1:4时糖分过大,给人感觉发齁;随着浓度的不断稀释,口感逐渐达到人味蕾的适当点后呈下降趋势。在凝胶强度方面,糖的添加量过多时,因白糖中含有果糖成分,牛奶中含有赖氨酸,这两种物质在高温下会形成结合物——果糖基赖氨酸,不利于全脂纯牛奶中的酪蛋白与钙离子的结合,凝胶效果变差。当糖奶比为1:6的时候效果最为优,感官评分与凝胶强度基本都达到一个最高值。

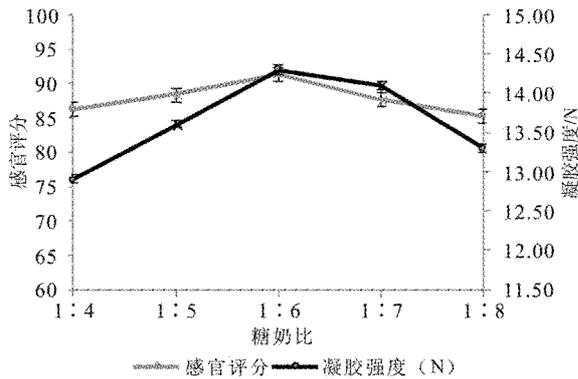


图2 糖奶比对感官评分及凝胶强度的影响

2.1.3 全脂鲜牛奶加热温度对双皮奶的影响

由图3可知,预制过程中鲜奶加热温度对感官评价和凝胶强度有明显影响,主要是随着温度的增高,导致牛奶中蛋白质受高温作用,由溶胶状态变成凝胶状态,温度过低导致凝胶无法完全形成,过高导致牛奶中沉积物出现,且造成乳糖的流失,根据单因素实验可知,当预制过程中新鲜纯牛奶温度为70℃时,感官评分和凝胶强度趋于一个顶峰,由此条件下,制作的双皮奶效果最佳。

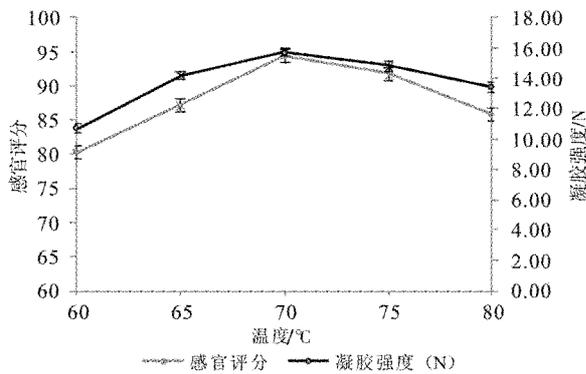


图3 温度对感官评分及凝胶强度的影响

2.2 响应面试验结果与分析

使用统计分析软件 Design Expert 8.0.6,对表3数据进行二次多项式的拟合,获得双皮奶制作工艺的二次回归方程。

用 Design Expert 分析软件对表3 所得试验数据采取回归拟合分析,得方程: $X = -1258.13 + 15.21A + 162.47B + 19.89C + 0.72AB - 0.62AC - 0.28BC - 0.35A^2 - 13.25B^2 - 0.09C^2$, $Y = -119.89 + 1.88A + 12.02B + 2.34C - 3.79B - 0.15AB - 6.57C - 0.04AC - 0.12BC - 0.06A^2 - 0.48B^2 - 0.03C^2$ 。由方程可知 A、B 项系数为正数,则该 2 个变量正向变化可以使得相应值增加, C 项系数为负数,说明有极大值的存在,能够进行

最优值的分析,如表4 所示。

由表4 可以看出,两个衡量标准的回归方程和响应面的模型呈极显著状态,这表明交互项 ABC 对双皮奶感官评分影响极其显著, ($P < 0.0001$),表明存在交互作用。且 R^2 达到了95% 以上,说明该模型与本实验所得数据的拟合度很高,该方程可以作为双皮奶配方参数的数学模型并确定双皮奶的最佳配方。

表3 响应面试验结果

试验号	A	B	C	X:感官评价/分	Y:凝胶强度/N
1	0	1	-1	77.64	13.75
2	0	-1	-1	76.65	12.65
3	1	-1	0	68.25	12.43
4	1	1	0	71.40	12.76
5	1	0	1	81.80	12.43
6	-1	1	0	69.30	12.65
7	0	-1	1	80.75	13.33
8	-1	0	-1	79.80	12.66
9	0	0	0	95.45	13.97
10	1	0	-1	80.85	12.76
11	0	0	0	94.50	14.09
12	0	0	0	95.55	13.97
13	0	0	0	94.50	13.86
14	0	1	1	77.68	12.87
15	-1	0	1	87.15	13.09
16	-1	-1	0	79.80	12.42
17	0	0	0	94.50	13.97

将数值通过 Design Expert V 8.0.6 软件进行三维绘制,得到响应面图(图4)。

分析蛋奶比(A)、糖奶比(B)、加热温度(C)3 因素交互作用对感官评价及凝胶性的曲面图,结合图4、表4 可以看出,三维曲面图都为一直面,说明各因素间具有一定的交互作用。等高线形似于椭圆形,三维曲面图坡度也比较大,存在一个最高点。感官评分和凝胶强度随着蛋清添加量的增加而增大,呈先升后降的趋势。说明 A、B、C 3 因素的交互作用都较为显著。且随着 A、B、C 3 因素的不断变化,三维曲面图的波动也比较明显,期间虽然有一段时间较为平缓,但仍然是存在一个高点,交互作用显著,和方差分析结果一致。当取适宜比例替代时,对研究对象的感官评价与凝胶性有极大值,该极大值存在于响应面的顶端。根据软件可得最佳工艺配方为:奶蛋比值 15.29、奶糖比值 4.47、温度 72.6℃,在此条件下得到感官

评分最高为 88.45,凝胶强度最佳为 12.85 g。经换算为蛋奶比 6.54 : 100.00,糖奶比 16.34 :

100.00,可以确定该模型参数准确,可以用于双皮奶工艺理论推测与分析。

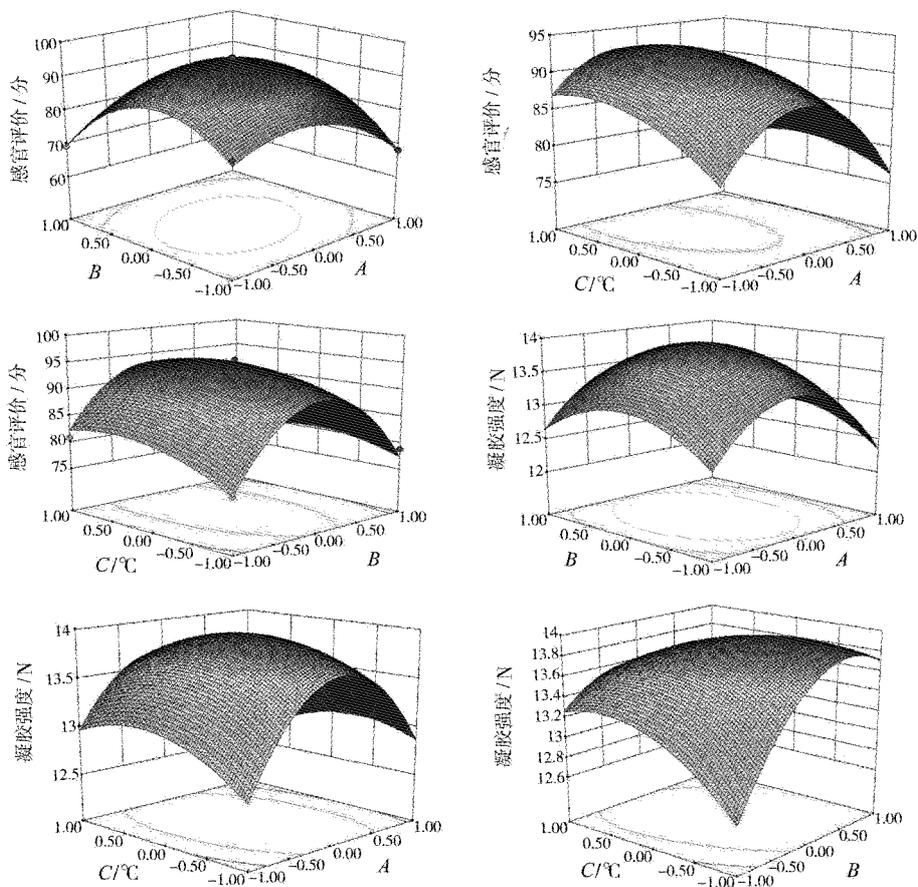


图4 蛋奶比、糖奶比、加热温度对双皮奶感官评分和凝胶强度的响应面分析

表4 响应面试验结果方差分析

变异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1 368.12/6.62	9	153.47/0.68	83/38.54	<0.000 1/ <0.000 1	**/* **
A	23.52/0.029	1	(22.64/1.90) × 10 ⁻²	11.87/1.41	0.008 9/0.312 4	*/
B	8.64/0.35	1	8.58/0.35	4.69/13.00	0.078 3/0.014 7	/*
C	(15.97/6.12) × 10 ⁻²	1	(17.21/6.21) × 10 ⁻⁵	8.65/0.29	0.022 5/0.529 7	*/
AB	(46.38/2.85) × 10 ⁻¹²	1	(45.72/2.78) × 10 ⁻¹³	(22.97/1.52) × 10 ⁻¹²	0.002 1/1	*/
AC	9.76/0.21	1	9.97/0.14	5.16/5.00	0.047 6/0.436 5	*/
BC	6.78/0.47	1	6.78/0.42	3.69/32.65	0.079 2/0.000 6	/*
A ²	382.41/3.42	1	381.43/3.26	194.96/192.31	<0.000 1/ <0.000 1	**/* **
B ²	752.03/1.14	1	747.29/1.06	396.87/62.31	<0.000 1/ <0.000 1	**/* **
C ²	40.21/0.28	1	39.85/0.33	22.13/21.12	0.003 1/0.002 7	*/*
残差	13.25/0.15	7	(2.02/2.40) × 10 ⁻²			
失拟	11.94/0.10	3	(4.21/3.37) × 10 ⁻³	11.76/5.54	0.017 9/0.062 7	
误差	(1.32/2.40) × 10 ⁻²	4	(0.28/6.02) × 10 ⁻²			
总和	1 362.26/6.27	16				

$R^2 = 98.52\% / 97.64\%$

注: * 表示数值间差异显著(P < 0.05), ** 表示数值间差异极显著(P < 0.000 1)。

2.3 验证实验

为确定模型预测的准确性,按照最佳点的配比,蛋奶比为5.27:100.00,糖奶比16.34:100.00,加热温度72.6℃,但考虑到加工的可操作性和真实性,将蛋奶比调整为1:15,糖奶比1:6,温度72℃,在此条件下进行双皮奶工艺制作,并进行3组平行实验,进行模糊综合感官评价。结果表明双皮奶工艺的感官评分为87.94,结果与预测值具有良好的吻合性,确定了该模型的真实性和最优配方进行的双皮奶表面光洁度较高,质感细腻嫩滑,口味甜香,颜色呈牛奶中乳蛋白凝固后的亮白色,凝聚结构完整,组织紧密,弹性适宜等特点,达到预期要求,可作为双皮奶的最佳配方。

3 结论

通过单因素实验确定了双皮奶配方工艺中蛋奶比、糖奶比、加热温度的范围,运用响应面设计对双皮奶制作工艺中3种原料的添加量进行了优化,采用模糊数学原理对双皮奶的气味、组织形态、色泽、口感的感官进行了评价。通过建立各成分配方与产品感官品质与凝胶性之间的回归模型,对原料各组分间交互作用进行分析,得到双皮

奶最佳配料比为蛋奶体积比1:20、糖奶质量比1:6、加热温度72℃,在此条件下制作出的双皮奶,气味、组织形态、色泽、口感都达到最优状态,以为工业化生产提供理论依据。

参考文献:

- [1] 豁银强,袁佰华,汤尚文,等.大米谷蛋白对大米淀粉凝胶化及凝胶特性的影响[J].中国粮油学报,2019,34(6):1-5.
- [2] 张婷,巩桂花.双皮奶的研究与开发[J].统计与管理,2016(6):170-171.
- [3] 陈霞,王娜,包一枫,等.益生菌乳制甜点的开发与研究现状[J].美食研究,2017,34(2):47-52.
- [4] 李绍波,蒋艳.红豆双皮奶的研究[J].中国乳业,2013(3):60-61.
- [5] 施琦良,程义强,王茂山.响应面法优化“夫妻肺片”调味工艺[J].美食研究,2016,33(4):43-45.
- [6] 张荣春.模糊数学感官评价法优化青团制作工艺[J].美食研究,2019,36(3):36-40.
- [7] 戴阳军,胡舰,周莹,等.响应面法优化鱼糜肉纸制作工艺[J].美食研究,2018,35(3):48-53.
- [8] 卢芸,周莹,施淑文,等.响应面法优化青稞桃酥配方工艺[J].美食研究,2019,36(1):58-62.

Optimization of double skin milk technology based on fuzzy mathematics and response surface methodology

LIU Xueyuan¹, CHEN Honghua²

(1. Qingdao Vocational College of Hotel management, Qingdao, Shandong 266100, China;

2. College of Tourism and Culinary Science, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

Abstract: Using the principle of fuzzy mathematics, with egg white and fresh milk as the main raw materials, the influence of egg-to-milk ratio, sugar-to-milk ratio and fresh milk heating temperature on the production process of double skin milk was studied. Based on the single factor experiments, the response surface methodology was used to establish a regression model between the formula and sensory quality and gel strength, parameters were optimized. The results showed that with the ratios of egg white to fresh milk 1:15 (v/v), white sugar to fresh milk 1:6 (m/m), at the heating temperature of 72℃, and sterilized with steam for 10 min, the coagulation led to a curd with the highest fuzzy comprehensive sensory score of 87.94 points.

Key words: double skin milk; fuzzy sensory evaluation method; response surface method; coagulation effect
(责任编辑:赵勇)