

利用响应曲面法优化扣碗酪的生产工艺

黄璐, 霍贵成*

(东北农业大学, 乳品科学教育部重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:扣碗酪是利用江米酒中的凝乳酶使牛乳中的酪蛋白凝固而制成的一种传统乳制品, 其质地光滑、口味香甜, 深受消费者的喜爱。但由于其凝乳强度弱, 易析出乳清, 无法形成工业化产品。本研究的目的是利用响应曲面法探讨卡拉胶、槐豆胶与江米酒的最适添加量, 以改善凝乳的质构, 解决在贮藏和运输时易发生的乳清析出等稳定性问题。结果显示, 当添加 0.20% 卡拉胶、0.20% 槐豆胶及 11% 江米酒时, 扣碗酪的质地能够达到最优, 且其微观结构也显示为相对致密的网状结构。

关键词:扣碗酪, 响应曲面法, 卡拉胶, 槐豆胶, 江米酒

Study on optimizing the technology of Kou Woan Lao using response surface method

HUANG Lu, HUO Gui-cheng*

(Key Lab of Dairy Science, Ministry of Education, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Kou Woan Lao is an oriental-style dairy product, which was coagulated by milk-clotting enzyme from fermented rice wine. Its smooth texture and sweet taste were preferred by many customers, but its soft texture and high syneresis limited its industrial production. The aim of this study was to determine optimum addition of carrageenan, locust bean gum (LBG) and fermented rice wine by using response surface methodology (RSM), so as to solve the stability problem when storing and transporting. Results indicated that the best rheological property of Kou Woan Lao could be obtained by combination of 0.20% carrageenan, 0.20% LBG and 11% fermented rice wine. The microstructure of the curd revealed a relatively compact web-like structure.

Key words: Kou Woan Lao; RSM; carrageenan; LBG; fermented rice wine

中图分类号: TS252.59

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2009)10-0209-04

扣碗酪, 也称米酒奶、宫廷奶酪, 是我国自古相传的乳制品, 相传是清代时由蒙古进贡至宫廷, 后由宫廷厨师加工改进而成的^[1]。它是应用江米酒的滤出液与牛奶按比例混合后, 经加热, 江米酒中的凝乳酶与牛奶中酪蛋白反应, 乳蛋白凝固而制成的^[2]。该产品特点是外观洁白如雪, 入口速溶, 软嫩滑爽, 滋

味香甜, 酒香与奶香交融, 酥软爽口, 清香滑润。它以能凝结在碗壁上为最好, 将碗倒扣, 酪也不落, 所谓“扣碗酪”因此得名^[3]。目前这种传统的宫廷奶酪仅在北京奶酪店中加工并销售, 多年来在北京地区深受消费者喜爱, 但多为作坊式的手工制作产品。由于扣碗酪的凝乳强度较弱, 在激烈的晃动下容易导致组织状态被破坏、乳清析出等不良现象, 进而影响凝乳的品质与风味, 失去商品性, 因而一直未实现产品的工业化生产。增稠剂的添加可以有效改善食

收稿日期: 2009-03-20 * 通讯联系人

作者简介: 黄璐 (1983-), 女, 硕士研究生, 主要从事乳制品工艺方面的研究。

[2] 张秀青, 唐忠. 中国花生消费趋势研究[J]. 花生学报, 2008, 37(1): 32-36.

[3] 袁美, 李双铃, 任艳, 等. 正交设计法研究花生粗脂肪含量测定方法[J]. 花生学报, 2007, 36(4): 33-35.

[4] 张镜澄. 超临界流体萃取[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 134-136.

[5] 于修焯, 李志西, 杜双奎. 苹果籽油超声波辅助浸提及产品理化特性研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 1551-59.

[6] 邓红, 仇农学, 孙俊, 等. 超声波辅助提取文冠果籽油的工艺条件优化[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 2492-54.

[7] 刘苗苗, 王晓东, 赵兵, 等. 利用水解酶提取文冠果油脂[J]. 过程工程学报, 2007, 7(4): 778-781.

[8] 张德权, 吕飞杰, 台建祥. 超临界 CO₂ 流体萃取技术萃取山苍籽油的研究[J]. 食品与发酵工业, 2000, 26(2): 54-57.

[9] 吴彩娥, 师杰, 寇晓虹, 等. 超临界 CO₂ 流体萃取技术提取核桃油的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 135-138.

[10] 董海洲, 万本屹, 李宏, 等. 葡萄籽油超临界 CO₂ 流体萃取的研究[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(3): 35-39.

[11] 王丰俊, 王建中, 王宪昌, 等. 超临界 CO₂ 流体萃取核桃油工艺条件研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(3): 67-71.

品的质地^[4],它们主要通过增加粘度以及改变凝乳的凝胶结构而起着防止乳清析出的作用^[5]。本研究旨在通过添加卡拉胶、槐豆胶的复合增稠剂,以期缩短扣碗酪的制作周期,并改善凝乳在激烈摇动或长时间晃动下容易分层、乳清析出的稳定性问题。利用响应曲面法(RSM)寻求江米酒、卡拉胶和槐豆胶的最适添加量,使产品的质构和保水性达到最优,便于今后的工业化生产。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

糯米,安琪甜酒曲,鲜牛乳,进口脱脂乳,砂糖,卡拉胶,槐豆胶。

电子天平,恒温培养箱,小型离心机,恒温水浴锅,pH计,质构仪 TA.XT。

1.2 实验方法

1.2.1 江米酒的制作^[6] 糯米 500g→洗净并用蒸馏水浸泡 12h→置于锅中蒸 15~20min(以熟为度)→冷却到 30℃左右拌入适量酒曲→封口后置于 35℃左右恒温培养 3d→加入适量经灭菌并冷却到 30℃的清水→封口并继续在 30℃培养 3d→用 4 层纱布过滤即可获得澄清液江米酒,即扣碗酪的凝乳剂

1.2.2 扣碗酪的制作 鲜牛乳经过滤后预热,将卡拉胶和槐豆胶按一定比例与蔗糖干混,其目的是使胶体分散开,然后将牛乳加入到盛有胶和蔗糖的烧杯中,快速搅拌以防止胶体凝聚,溶解后将牛乳进行巴氏杀菌(65℃,30min),冷却至 37℃后加入一定量江米酒,37℃培养 2h 左右,待凝乳后置 4℃冰箱中冷却,后熟 12h,即为成品。

1.2.3 保水性的测定^[7] 用离心管取待测样 5mL 并测定样重 W_0 ,然后放入离心机以 3000r/min 离心 5min,取出离心管静置 10min,除去上清液,测出残余的重量 W ,按下式计算:

$$\text{保水性}(\%) = W/W_0 \times 100\%$$

1.2.4 质构测定^[8] 采用流变仪测定,选用 p/0.5 探头,测试前速度 2mm/s,测试速度 1mm/s,测试后速度 5mm/s,感应力 3.0N,下压距离 10mm,将样品切成 2cm 的立方体,在室温下回复 10min,每个样品测定三次,取平均值。

1.2.5 扣碗酪微观结构的观察^[9] 挑取扣碗酪中心的凝块,于 4℃温度条件下固定在 2.5%的戊二醛溶液中 1h 以上;用 pH=6.8 的磷酸缓冲液清洗两次,每次 10min;样品在液氮中迅速冷冻,然后捶击使之自然断裂;分别用 50%、70%、90%、100% 乙醇梯度脱水,每次 10min;用叔丁醇置换乙醇,然后利用叔丁醇进行冷冻干燥,最后采用离子溅射方法镀金。通过扫描电子显微镜对制备好的样品进行分析、观察,得到相应的扫描电镜照片。

1.2.6 实验设计和数据分析 根据 Box 和 Behnken (1960)的三因素三水平的响应曲面设计^[10]研究各变量对扣碗酪质构的影响,以江米酒的添加量(X_1)、卡拉胶的用量(X_2)、槐豆胶的用量(X_3)作为变量因子,实验因素水平如表 1 所示。以凝乳的硬度(Y_1)、粘着性(Y_2)和保水性(Y_3)作为应答因子(response)。

表 1 实验因素水平表

因素	水平		
	-1	0	1
X_1 江米酒的添加量(%)	8	10	12
X_2 卡拉胶的用量(%)	0.1	0.15	0.2
X_3 槐豆胶的用量(%)	0.1	0.15	0.2

利用 Design-Expert 软件对实验数据进行回归分析和绘图。

2 结果与讨论

2.1 响应曲面模型的建立

根据 Box 和 Behnken (1960)的三因素三水平响应曲面设计,实验共计 17 次,包括中心部分重复 5 次,实验设计及测定结果如表 2 所示,数据以 Design-Expert 软件进行二次回归分析结果,得到各响应指标的方差分析结果,如表 3 所示。

表 2 响应面分析实验设计及结果

实验号	X_1	X_2	X_3	硬度(g)	粘着性(g·s)	保水性(%)
1	-1	0	1	103.2	133.4	92.9
2	1	0	1	109.5	135.6	95.8
3	-1	0	-1	100.7	111.9	86.5
4	-1	1	0	102.9	131.6	91.2
5	0	-1	-1	104.2	116.5	89.5
6	0	-1	1	105.1	131.8	94.2
7	1	1	0	108.7	132.9	93.7
8	0	1	1	109.1	138.9	96.1
9	0	0	0	108.3	131.2	95.2
10	0	0	0	107.3	132.5	94.8
11	1	0	-1	106.8	119.2	90.2
12	-1	-1	0	101.1	123.1	92.3
13	0	0	0	107.8	132.1	94.2
14	1	-1	0	105.3	127.8	93.8
15	0	0	0	108.9	130.8	93.9
16	0	1	-1	104.5	121.3	88.3
17	0	0	0	108.5	131.9	94.5

由表 3 各因素的方差分析可知,各响应指标的回归模型均为极显著($P < 0.01$),而模式失拟项(lack of fit)为不显著($p > 0.05$),说明此数学模式适合响应指标的分析。各响应性状的相关系数(R^2)均在 98%以上,说明预测值与实测值之间具有高度的相关性;信噪比(Adeq Precision)均远远大于 4,说明方程的可信度很高,可用于预测相应的响应值。CV(Y 的变异系数)表示实验的精确度,CV 值越高,实验的可靠性越低,本设计实验中各指标的 CV 均较低,说明实验操作可信。

2.2 扣碗酪关键生产工艺的优化

2.2.1 单因素效应分析 要分析各因素对响应指标的影响,可从两方面来看,一是观察建立的数学模型是否有显著效应,另一方面可观察其响应曲面图。从表 3 可知,除 X_2 对保水性的影响不显著($p > 0.05$)外,其余一次项均为极显著($p < 0.01$)。

采用降维分析方法,将其他两因子固定在 0 水平,根据回归方程,分别得到各响应性状的单因子效应曲线,如图 1~图 3 所示。从图 1a 可以看出,江米酒的添加量对凝乳硬度的影响最大,开始时,硬度随江米酒含量的增加而增大,当达到 0.5 水平后则呈现

表3 各响应因素的方差分析结果

方差来源	自由度 (df)	硬度		黏度		保水性	
		平方和	Prob > F	平方和	Prob > F	平方和	Prob > F
模型	9	128.62	<0.0001 **	855.93	<0.0001 **	117.52	<0.0001 **
X ₁	1	62.72	<0.0001 **	30.03	0.0009 **	14.05	0.0003 **
X ₂	1	11.28	0.0007 **	81.28	<0.0001 **	0.03	0.7694
X ₃	1	14.31	0.0003 **	626.58	<0.0001 **	75.03	<0.0001 **
X ₁ X ₂	1	0.64	0.2128	2.89	0.1310	0.25	0.4173
X ₁ X ₃	1	0.01	0.8688	6.50	0.0373 *	0.16	0.5127
X ₂ X ₃	1	3.42	0.0157 *	1.32	0.2853	2.40	0.0319 *
X ₁ ²	1	19.78	0.0001 **	25.79	0.0014 **	6.29	0.0035 **
X ₂ ²	1	9.38	0.0012 **	0.59	0.4642 *	1.26	0.0940
X ₃ ²	1	3.74	0.0129 *	74.27	<0.0001 **	15.97	0.0002 **
误差	7	2.38		6.92		2.36	
失拟项	3	0.83	0.5923	5.02	0.1277	1.33	0.2999
纯误差	4	1.55		1.90		1.03	
R ² (%)		98.18		99.20		98.04	
信噪比		18.598		35.118		20.313	
CV(%)		0.55		0.77		0.63	

注：* 表示在 5% 水平显著；** 表示在 1% 水平显著。
下降趋势，卡拉胶和槐豆胶的添加对凝乳硬度也存在显著影响 ($p < 0.01$) (见表 3)，且三因素均在 0.5 水平附近出现最大值。从图 1b 可以看出，黏度随卡拉胶和槐豆胶含量的增加呈现上升的趋势，其中槐豆胶对黏度影响较大，而随江米酒用量的加大，黏度呈现先上升后下降的趋势，但变化幅度不明显。从图 1c 可以看出，槐豆胶的添加量对凝乳保水性影响最大，而卡拉胶的影响不显著 ($p > 0.05$)。

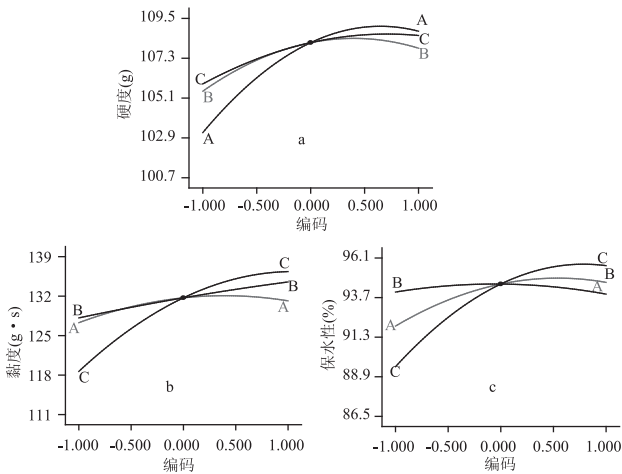


图1 扣碗酪凝乳硬度、黏度、保水性的单因素效应曲线
注：A,B,C 分别代表江米酒浓度、卡拉胶浓度、槐豆胶浓度。

2.2.2 交互效应分析 从表 3 的方差分析数据可知，X₂ 和 X₃ 对扣碗酪凝乳硬度和保水性存在显著的交互作用，X₁ 和 X₃ 对黏度存在显著的交互作用，而其他因子之间的交互作用不显著 ($p > 0.05$)。结合单因素效应图，将 X₁ 固定在 0.5 水平，得到 X₂ 和 X₃ 对凝乳硬度和保水性的响应曲面图和等高线图 (如图 2 和图 4)；将 X₂ 固定在 1 水平，得到 X₁ 和 X₃ 对凝乳黏度的响应曲面图和等高线图 (图 3)，分析各因素对响应因子的交互影响。

通过对图 2~图 4 的分析可看出，当卡拉胶和槐豆胶的添加量均达到 0.18%~0.20% 时，凝乳硬度可达到最大值 110.4g；当江米酒的用量在 10% 左右，槐豆

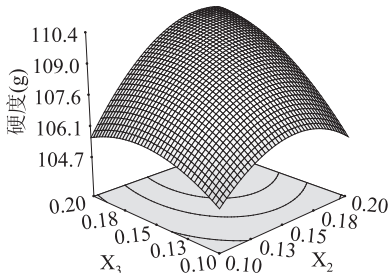


图2 Y₁ = f(X₂, X₃) 响应曲面图

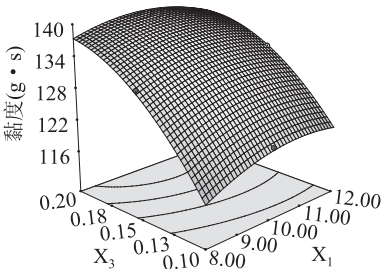


图3 Y₂ = f(X₁, X₃) 响应曲面图

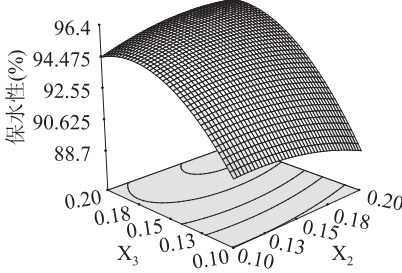


图4 Y₃ = f(X₂, X₃) 响应曲面图

胶添加量达 0.20% 时，凝乳黏度达到最大值 140g · s；当卡拉胶和槐豆胶的添加量在 0.20% 左右时，凝乳保水性达到最大值 96.2%。

2.3 最佳生产模式及验证

综上所述，经过响应曲面的分析，当江米酒、卡拉胶和槐豆胶添加量分别为 11.5%、0.18%、0.20% 时，硬度达到最大值 110.4g；当江米酒、卡拉胶和槐豆胶添加量分别为 10%、0.20%、0.20% 时，黏度达到最

表4 扣碗酪的最佳生产模式

实验号	江米酒(%)	卡拉胶(%)	槐豆胶(%)	硬度(g)	黏度(g·s)	保水性(%)	满意度
1	10.97	0.20	0.20	110.28	138.79	96.21	0.91
2	11.08	0.19	0.19	110.34	138.06	96.23	0.90

表5 扣碗酪最佳生产模式的验证

	江米酒(%)	卡拉胶(%)	槐豆胶(%)	硬度(g)	黏度(g·s)	保水性(%)
预测值	10.97	0.20	0.20	110.28 ^a	138.79 ^a	96.21 ^a
实验值	11.00	0.20	0.20	109.70 ^a	139.20 ^a	96.50 ^a

注:表中 a,b 表示差异显著性,字母不同表示差异显著,相同表示差异不显著,显著水平为 $p < 0.05$ 。

大值 $139.6\text{g} \cdot \text{s}$;当江米酒、卡拉胶和槐豆胶添加量分别为 11%、0.19%、0.19% 时,保水性达到最大值 96.23%;利用 Design-Expert 软件分析得到两组扣碗酪最佳模式,使凝乳硬度、黏度和保水性均达到相对较好的水平,结果见表 4。选择第一组最佳生产模式进行实验验证,结果如表 5 所示,在凝乳硬度、黏度和保水性方面均无显著性差异,因此可认为最佳模式具有实用价值。

2.4 凝乳的微观结构观察

采用扫描电子显微镜(SEM),对扣碗酪未添加增稠剂的对照样品和添加不同浓度增稠剂的样品的微观结构进行对照、分析,结果如图 5a~图 5d 所示。

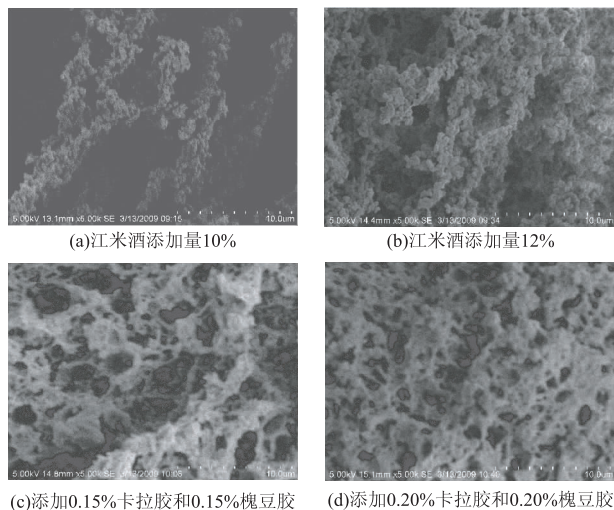


图5 不同扣碗酪凝乳的微观结构

从图 5a 和图 5b 可以观察到,未添加增稠剂的样品是由酪蛋白粒子簇形成的不规则结构,这些簇是由一些裸露的、大小不同的球形酪蛋白粒子堆积而成,而且各簇之间存在较大的空隙,有游离末端的暴露,没有形成网状结构,这种结构势必会导致扣碗酪的质地过软,使乳清容易析出。图 5b 相对于图 5a 来说,其结构相对致密,说明增加江米酒的添加量,有助于部分改善扣碗酪的凝乳质地。

如图 5c 和图 5d 所示,向扣碗酪中添加卡拉胶与槐豆胶的复合增稠剂后,由于增稠剂与乳蛋白间的相互作用,在其微观结构中形成了连续的、致密的、更加坚固的网状结构,这种结构能够有效地保留、滞留水相,有助于提高扣碗酪的保水性,并且这种结构没有游离末端,有很好的弹性空间,也在一定

程度上增加了凝乳的硬度和黏度。将图 5c 和图 5d 比较可见,随着卡拉胶和槐豆胶添加量的增加,其结构也更加的均匀、致密,说明其硬度和保水性也更高。由此可见,扣碗酪的质构与其微观结构存在一种必然的相关性,扣碗酪凝乳所具有的空间网状结构,是决定其品质的重要因素,增稠剂是通过影响凝乳的微观结构,最终显著地影响了扣碗酪产品的质地。

3 结论

采用响应曲面法对扣碗酪的生产工艺进行优化,结果显示,当添加 0.20% 卡拉胶、0.20% 槐豆胶及 11% 江米酒时,可以使扣碗酪的硬度、黏度和保水性分别达到 110.28g 、 $138.97\text{g} \cdot \text{s}$ 和 96.21%。通过扫描电镜分析可以看出,增稠剂可以通过影响空间网状结构而改善凝乳的质地。凝乳微观结构中存在均匀、致密的网状结构,将有利于凝乳的流变学性质,以及降低其乳清析出。

参考文献

- [1].林莉,宋小红,陈历俊.宫廷奶酪的加工工艺研究[J].中国乳业,2007(8):28-30.
- [2].刘振民,骆承庠.江米酒乳凝固机理研究[J].食品科学,2000,21(7):13-15.
- [3].马征.古老宫廷奶席散发现代魅力[J].中国食品,2000(6):6.
- [4].Arnaud J P, L Choplin, C Lacrox. Rheological behavior of Kappa-carrageenan/Locust bean gum mixed gels [J]. J Texture Stud, 1989, 19: 419-430.
- [5].凌光庭.天然食品添加剂手册[M].北京:化学工业出版社,2001:600-612.
- [6].张和平,孙天松,郑宏旺.扣碗酪的初步研究[J].中国乳品工业,1995,23(1):6-9.
- [7].刘振民,程涛,骆承庠.即食甜凝乳的研制[J].食品科学,2001,22(2):38-40.
- [8].屠康,赵艺泽,洪莹,等.利用质构仪对不同类型干酪质地品质的研究[J].中国乳品工业,2006,32(12):16-18.
- [9].马力,张国栋,谢林.酸凝乳超微结构的电镜观察[J].食品科学,2004,25(1):63-66.
- [10].Box G E P, D W Behnken. Some new three level designs for the study of quantitative variables [J]. Technometrics, 1960(2): 455-475.