

曲拉制酪蛋白酸钠的 工艺研究及功能性评价

胡涛, 丁波, 顾利, 陈大玲, 刘红娜*

(西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃兰州 730024)

摘要: 优化酪蛋白酸钠制备工艺, 提高酪蛋白酸钠功能品质。以曲拉为原料, 探究加水量、碱溶解时的 pH、加热时间等因素对酪蛋白酸钠产率和功能性质的影响。通过响应面优化实验, 得到酪蛋白酸钠的最佳工艺条件为加水量 35%, 碱溶 pH 为 7.0, 加热时间 20 min。此条件下酪蛋白酸钠的产率达到最大 45.85%, 粗蛋白 91.13%、乳糖 0.36%、脂肪 1.33%、水分 4.41%、灰分 4.83%、pH 7.50。功能性评价结果显示, 当酪蛋白酸钠浓度为 2% 时, 乳化性为 13.39%, 起泡性为 17.65%, 持水性为 0.75 (g/g), 粘度为 5.59 mPa·s。且产品具有酪蛋白酸钠特有的滋味和气味, 呈乳白色粉末; 无杂质; 颗粒大小均匀。以上研究结果表明经优化工艺制得的酪蛋白酸钠各理化指标符合 GB 1886.212-2016 标准。

关键词: 曲拉, 酪蛋白酸钠, 工艺条件, 产率, 功能性

Technological Study and Functional Evaluation of Sodium Caseinate by Qula

HU Tao, DING Bo, GU Li, CHEN Da-ling, LIU Hong-na*

(Life Science and Engineering College, Northwest Minzu University, Lanzhou 730024, China)

Abstract: In this study, the sodium caseinate processing technology were investigated. The functional properties of the sodium caseinate was improved. Qula as raw material, the amount of water, pH and heating time on the yield and functional properties of sodium caseinate was studied. Through response surface optimization experiment, the result showed that the optimum conditions of sodium caseinate technological were as follows: additional quantity of water was 35%, pH value of alkali solution was 7.0, heating time was 20 min. Under the condition, the sodium caseinate product yield was 45.85%, protein content was 91.13%, lactose content was 0.36%, fat content was 1.33%, moisture content was 4.41%, ash content was 4.83%, pH was 7.50. The results of functional evaluation indicated that when the sodium caseinate concentration was 2%, the emulsifiability was 13.39%, the foaming property was 17.65%, the water retention was 0.75 (g/g) and the viscosity was 5.59 mPa·s. Products were specific to the taste and smell of sodium caseinate, as ivory white powder, without impurities, uniform in particle size. The above results showed that the physical and chemical indicators of sodium caseinate obtained by the optimization process in this experiment meet the GB 1886.212-2016 standards.

Key words: Qula; sodium caseinate; process conditions; yield; functionality

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)19-0061-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.19.011

引文格式: 胡涛, 丁波, 顾利, 等. 曲拉制酪蛋白酸钠的工艺研究及功能性评价[J]. 食品工业科技, 2019, 40(19): 61-66.

酪蛋白酸钠是通过碱 (NaOH、NaHCO₃、NaCO₃) 中和酸性酪蛋白产生的, 其干粉完全溶解在水中, 产生一种粘稠的淡黄色的溶液^[1]。酪蛋白酸钠是集乳化性、起泡性、保水性等功能特性和高营养价值于一体的优良天然食品配料^[2-3]。制取酪蛋白酸钠的方法比较多, 就原料而言既可以从脱脂乳开始也可以从脱脂奶粉为原料进行^[4]。以脱脂乳为原料加 HCl

凝乳、NaOH 中和并最后喷雾干燥成粉。但我国鲜奶资源不足, 针对原奶产量低, 成本高的现状^[5], 曲拉是我国生产酪蛋白酸钠的主要原料。曲拉溶解后利用等电点将酪蛋白凝结, 再添加 NaOH 碱液, 调节 pH 最后经喷雾或冷冻干燥后得酪蛋白酸钠。但曲拉原料采用此法生产的产品与鲜奶原料的产品相比, 工艺流程长。以曲拉为原料生产酪氨酸钠, 其原料来

收稿日期: 2019-01-18

作者简介: 胡涛 (1997-), 男, 本科生, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: 916208423@qq.com。

* 通讯作者: 刘红娜 (1984-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: lhnxbmz@126.com。

基金项目: 国家级本科生科研创新项目 (Y17172); 引进人才专项 (xbmuyjrc201416); 中央高校专项 (31920190202-04); 科技部援助项目 (KY201501005)。

源丰富、成本低,较鲜奶容易保存,对调整企业产品结构,促进少数民族地区经济发展具有积极意义。

“曲拉”(藏语,指奶干渣)是藏区牧民利用牦牛乳预煮加热、杀菌、发酵、加热凝块、脱水所制得的酪蛋白,青藏高原牧民将牦牛乳的80%制成“曲拉”,以方便贮存。且曲拉是中国独有的资源^[3],因而备受研究者的广泛关注。目前,关于曲拉制酪蛋白酸钠的方法主要是通过浸泡温度、浸泡时间、水洗次数的方法直接浸泡法制取酪蛋白酸钠^[5]。传统工艺是再提纯法,是经点酸凝聚出酪蛋白后又经胶磨、转化中和后干燥后制取酪蛋白酸钠产品,通过酸凝沉淀后再提纯酪蛋白的同时,排出乳清。直接浸泡法比传统再提纯法减少了提取工艺,获得较好的乳糖分离效果^[6]。但以曲拉为原料制取酪蛋白酸钠的报道比较少,且工序复杂,目前对于加水量、加热时间以及温度的研究没有报道。

本实验以酪蛋白酸钠产率为指标,以牦牛乳曲拉为原料制取酪蛋白酸钠的凝乳加水量、碱溶 pH、加热时间 3 个因素对产率的影响,以单因素实验结果为基础,采用 Box-Behnken 试验设计对曲拉制酪蛋白酸钠工艺参数进行优化,并对产品进行理化、功能性评价。本文优化了原有曲拉制酪蛋白酸钠的方法及条件,得到优质的酪蛋白酸钠产品,且充分利用牦牛乳曲拉资源,发展牧区经济,增加牧民收入,最终达到促进民族经济全面增长。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

曲拉 产地西藏;植物油 金龙鱼精炼一级大豆油,陕西省咸阳市兴平食品工业园;氢氧化钠、盐酸、硫酸钾、硫酸铜、氨水、乙醚、石油醚、乙醇、冰乙酸、乙酸钠、苯酚、硫酸、无水磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、十二烷基硫酸钠(SDS) 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

PHBJ-260 型 pH 计 上海仪电科学仪器股份有限公司;LGJ-10 型真空冷冻干燥机 北京松源华兴科技发展有限公司;KND-04 型自动凯氏定氮仪 上海沛欧分析仪器公司;NDJ-1 型旋转黏度计 上海精密科学仪器有限公司;M-371450 型漩渦震荡仪 北京中西远大科技有限公司;XZ-16T 型高速离心机 长沙湘智离心机仪器有限公司;APV-60 型高压均质机 上海顺仪实验设备有限公司;V-5000 型可见分光光度计 上海元析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 曲拉溶液的制备→加酸沉淀→离心脱水→酪蛋白凝块→加水→研磨→碱溶→加热→灭菌→冷冻干燥→酪蛋白酸钠^[7]

1.2.2 操作要点 曲拉溶液的制备:曲拉粉碎过 100 目筛,按质量比 1:20 与蒸馏水配置成悬浊液,室温下浸泡 2 h。用 5 mol/L 的氢氧化钠调节体系的 pH 为 9.0。将曲拉溶液置于集热式恒温加热磁力搅拌器中以 300 r/min,55 ℃ 下加热 30 min,然后用 100 目纱布过滤,滤液待用^[8]。

加酸沉淀:向离心脱脂后的滤液中加入 1 mol/L

盐酸,调节体系的 pH 为 4.6,使酪蛋白凝块析出;加水:参照 Mulvihill 的方法,向酪蛋白凝块中加水^[7];研磨:将加水后的酪蛋白凝块移至研钵中研磨。

碱溶:向浆液中加入 5 mol/L 氢氧化钠,调节体系 pH 为 7.0,进行溶解,时间为 10 min;加热:参照 Mulvihill 的方法确定加热体系的温度为 75 ℃^[7]。冷冻干燥:预先将料液放入-80 ℃ 中冷冻,待完全冻结,移至冷冻干燥机中干燥处理 24 h。

1.2.3 单因素实验

1.2.3.1 凝乳加水量的选择 参照 Mulvihill 的方法并作适当修改,将得到的酪蛋白凝块分别加水 15%、25%、35%、45%、55%^[7],将浆液体系配制成 pH7.0,加热时间 20 min,制备酪蛋白酸钠,测定产率。

1.2.3.2 碱溶解的 pH 的选择 将酪蛋白凝块加水 35%,参照 Mulvihill 的方法并作适当修改,研磨后分别将浆体系配制成 pH6.0、7.0、8.0、9.0、10.0^[7],加热时间 20 min,最后测定酪蛋白酸钠的产率。

1.2.3.3 加热时间的选择 酪蛋白凝块加水 35%,将浆液体系配制成 pH7.0,分别将加热时间设制成 10、15、20、25、30 min,最后测定酪蛋白酸钠的产率。

1.2.4 响应面优化实验设计 选取酪蛋白凝块的加水量(A)、碱溶解的 pH(B)、加热时间(C)为自变量,以酪蛋白酸钠的产率(Y)为响应值,根据 Box-Behnken 的中心组合实验设计对曲拉制酪蛋白酸钠的工艺进行优化,各因素水平见表 1。建立回归模拟方程,确定酪蛋白酸钠的最佳条件,并加以验证。

表 1 响应面设计因素水平表

Table 1 Factors and levels of response surface design

因素	水平		
	-1	0	1
A 加水量(%)	15	35	55
B pH	5	7	9
C 加热时间(min)	10	20	30

1.2.5 曲拉酪蛋白酸钠产率的计算 准确称取所制备的曲拉酪蛋白酸钠,测定其总的含酪蛋白量与曲拉原料中的酪蛋白总质量相比,即为曲拉酪蛋白酸钠的产率^[7-8]。蛋白含量采用凯氏定氮法(GB 5009.5-2010)测定。按下式计算曲拉酪蛋白酸钠的产率:

曲拉酪蛋白酸钠产率(%) = 曲拉酪蛋白酸钠酪蛋白的质量/曲拉中酪蛋白总质量 × 100

1.2.6 理化性质的测定 粗蛋白含量采用凯氏定氮法(GB 5009.5-2010)测定^[9];乳糖含量测定采用刘红娜的方法^[3];粗脂肪含量采用索氏抽提法(GB 5009.6-2010)测定^[10];酪蛋白酸钠的含水率的测定采用直接干燥法(GB 5009.3-2010)测定^[11];灰分含量的测定,按照 GB 5009.4-2010 方法^[12];pH 的测定:将酪蛋白酸钠配成 2% 水溶液,在温度约 20 ℃ 下,用酸度计测定^[1]。

1.2.7 功能性质的测定

1.2.7.1 酪蛋白酸钠溶液的配制 将粉碎后的酪蛋白酸钠,用 pH7.0 的 1.0 mol/L 磷酸盐缓冲溶液(磷酸氢二钠和磷酸二氢钾)配制成 2.0 mg/mL 的酪蛋

白酸钠溶液。室温磁力搅拌 3 h, 进行溶解, 备用^[13-14]。

1.2.7.2 酪蛋白酸钠乳化性及乳化稳定性的测定 取配制好的 2.0 mg/mL 的酪蛋白酸钠溶液 6 mL 于离心管中, 2 mL 植物油, 采用均质机对混合液进行分散 16000 r/min, 1 min, 立即取 50 μ L 的乳状液与 5 mL 0.1% 的 SDS 溶液混合, 采用漩涡震荡仪振荡 5 s 后, 在 500 nm 下测定其吸光值 A_0 , 乳状液静置 10 min 后采用上述相同的方法对乳状液吸光值进行测定, 记为 A_{10} , 用 0.1% 的 SDS 溶液做空白对照^[3]。按下式计算酪蛋白酸钠的乳化性 (EA) 及其乳化稳定性 (ESI):

$$EA = \frac{2 \times 2.303 \times A_0 \times 100}{C \times 0.01 \times 0.25 \times 10000}$$

$$ESI = \frac{A_0}{A_0 - A_{10}} \times 10$$

1.2.7.3 酪蛋白酸钠起泡性及泡沫稳定性的测定 取配制好的 2.0 mg/mL 的酪蛋白酸钠溶液 50 mL 于离心管中, 采用均质机对其进行分散 16000 r/min, 2 min, 迅速转入 100 mL 量筒中。记录体积 V_0 , 30 min 后记录体积 V_{30} ^[3]。按下式计算酪蛋白酸钠的起泡性及其气泡稳定性:

$$\text{起泡性}(\%) = \frac{V_0 - 50}{50} \times 100$$

$$\text{起泡稳定性}(\%) = \frac{V_{30}}{V_0} \times 100$$

1.2.7.4 酪蛋白酸钠黏度的测定 采用 NDJ-1 型旋转式黏度计, 1 号转子, 转速 30 r/min^[15]。取配制好的 2 mg/mL 的酪蛋白酸钠溶液 30 mL 注入黏度计的测量杯中, 当指针稳定后读数。按下式计算酪蛋白酸钠的黏度。重复 3 次, 取平均值。

$$\eta = k \cdot \alpha$$

式中: η : 粘度; k : 系数; α : 指针所指读数。

1.2.7.5 持水性的测定 准确称取酪蛋白酸钠 0.5 g, 加入 5 mL 蒸馏水于已知质量的离心管中, 涡旋混合 5 min, 室温下静置 2 h 后, 在 3000 r/min 下离心 20 min, 将上清液轻轻倒出, 称离心管和沉淀的质量^[8]。按下式计算:

$$W_{\text{HC}} = \frac{W_2 - W_1}{W_0}$$

式中: W_{HC} : 持水率, g/g; W_0 : 干样品的质量, g; W_1 : 离心管和干样品的质量, g; W_2 : 离心管和沉淀的质量, g。

1.2.7.6 感官评定 酪蛋白酸钠的感官评定, 方法参考文献[1]。选择大学本科以上的有经验型、无经验

型、训练型的人员进行评定, 评定项目参照 GB 1886.212-2016 中感官要求, 主要是色泽、颗粒状态、滋气味、杂质四项。

1.3 数据处理

采用 Box-Behnken Design 试验设计响应曲面, 统计软件 IBM SPSS Statistics 22 数据系统中的 Duncan's 法对数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 酪蛋白凝乳加水量的确定 从图 1 可知, 当加水量为 15%~35% 时, 酪蛋白酸钠产率随加水量的增加而提高。这可能是由于酪蛋白凝乳的结构具有相对不可渗透性, 附着在酪蛋白微粒表面的粘性涂层阻碍酪蛋白在碱液中的溶解, 在酪蛋白凝乳中加入水, 可与其形成的混合液能够减小其微粒从而增加了酪蛋白酸钠的产率^[7]。当凝乳加水量为 35% 时, 酪蛋白酸钠产率最大; 当加水量为 35%~55% 时, 酪蛋白酸钠的得率随加水量的增大而呈下降的趋势。综上所述, 酪蛋白凝乳的最佳加水量为 35%。

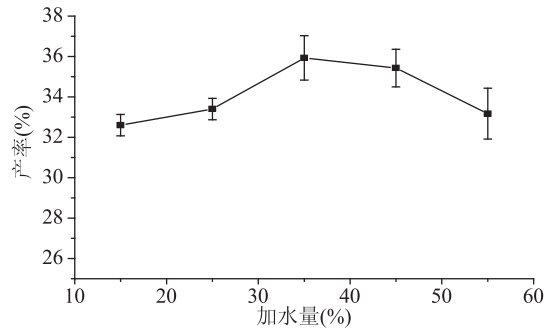


图 1 加水量对酪蛋白酸钠得率的影响

Fig.1 Effect of water addition on yield of sodium caseinate

2.1.2 碱溶 pH 的确定 从图 2 可知, 酪蛋白酸钠的产率随着 pH 的增大而降低, 在 pH 为 6.0 时, 酪蛋白酸钠产率最高; pH 过低, 凝乳溶解不彻底, 影响酪蛋白酸钠的溶解度^[16]。当 pH 大于 7 时, 凝浆中的蛋白质会以脱酰胺基和脱磷酸作用形式发生碱性降解, 使体系中能够与碱反应的蛋白质减少^[7], 从而影响酪蛋白酸钠的产率。综上所述, 碱溶最佳 pH 为 7.0。

2.1.3 加热时间的确定 从图 3 可知, 当加热时间为 10~20 min 时, 酪蛋白酸钠的产率随着加热时间延长而提高, 这可能是因为热处理导致了蛋白质分子的极化, 维持空间结构的非共价键作用力被打破, 酪蛋白分子部分展开, 蛋白质分子和溶剂相互作用加强,

表 2 感官评分标准表

Table 2 Sensory evaluation scale

分值	色泽	颗粒状态	滋气味	杂质
4.0~5.1	褐色	最大颗粒不超过 5 mm	有异味	有杂质颗粒存在
5.2~6.3	深黄色	最大颗粒不超过 4 mm	有异味	有杂质颗粒存在
6.4~7.5	黄色	最大颗粒不超过 3 mm	无异味	有杂质颗粒存在
7.6~8.7	浅黄色	最大颗粒不超过 2 mm	乳香味	无杂质颗粒存在
8.8~10.0	微白色	最大颗粒不超过 1 mm	乳香味	无杂质颗粒存在

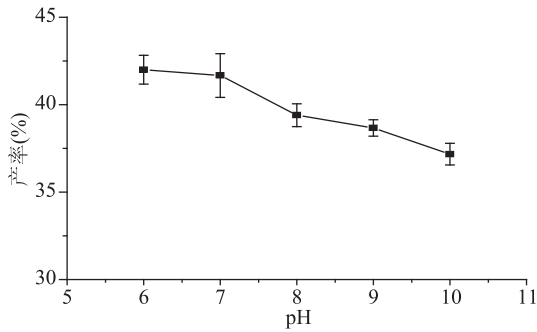


图2 碱溶 pH 对酪蛋白酸钠得率的影响

Fig.2 Effect of pH on yield of sodium caseinate

从而提高酪蛋白与氢氧化钠的接触面积^[17-19],使酪蛋白酸钠的产率增加。当加热时间为 20 min 时,酪蛋白酸钠产率达到最大,此时酪蛋白疏水性最大。当加热时间为 20~30 min 时,酪蛋白酸钠的产率随着加热时间的延长而逐渐降低。可能是随着加热时间的延长,酪蛋白酸钠吸收热量由原来的有序状态变为无序状态,分子的相互作用被破坏,多肽链展开^[3]。综上所述,最佳加热时间为 20 min。

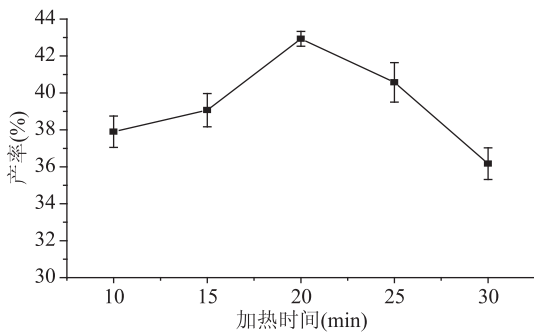


图3 加热时间对酪蛋白酸钠得率的影响

Fig.3 Effect of heat-up time on yield of sodium caseinate

2.2 响应面优化实验试验与分析

2.2.1 模型建立与方差分析 在单因素试验的基础上以凝乳的加水量(A)、碱溶 pH(B)和加热时间(C)3个因素为自变量,以酪蛋白酸钠产率(Y)为响应值利用 Box-Behnken 设计 17 个试验点的响应面分析试验,分为 12 个析因点和 5 个零点,中心试验重复 5 次,用以估计试验误差,如表 3 所示。

从表 3 可知,利用 Design Expert 8.0.6 软件对数据进行二次多元回归拟合,得到酪蛋白酸钠的产率(Y)对自变量加水量(A)、碱溶 pH(B)和加热时间(C)之间的二次多项回归方程为: $Y(\%) = 47.25 + 0.27A + 0.28B + 2.27C - 0.48AB + 0.50AC - 2.59BC - 4.57A^2 - 6.68B^2 - 3.91C^2$ 。

2.2.2 多元回归模型分析 为了说明回归方程的有效性及各因素对酪蛋白酸钠产率的影响程度,对回归方程进行了方差分析。由表 4 可以看出回归模型的 $F = 113.64$, $P < 0.0001$,说明响应面回归模型极显著,失拟项 $F = 6.58$, $P > 0.05$,说明该模型失拟不显著,与实际拟合良好。模型中一次项 C、交互项 BC、二次项(A^2 、 B^2 、 C^2)的 $P \leq 0.0001$,表明对实验结果影响极显著。多元相关系数 $R^2 = 0.9864$,说明相关性较

表3 响应面试验设计方案与结果

Table 3 Design and results of response surface experiment

试验号	A	B	C	Y 酪蛋白酸钠产率 (%)
1	-1	0	1	38.89
2	-1	-1	0	34.58
3	-1	0	-1	36.96
4	-1	1	0	37.03
5	0	1	-1	36.48
6	0	-1	-1	31.69
7	0	-1	1	42.01
8	0	1	1	36.45
9	1	1	0	36.45
10	1	-1	0	35.92
11	1	0	-1	36.65
12	1	0	1	41.56
13	0	0	0	47.68
14	0	0	0	47.56
15	0	0	0	46.98
16	0	0	0	46.85
17	0	0	0	47.19

表4 响应面方差分析

Table 4 Anova analysis of response surface model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P
模型	448.63	9	49.85	113.64	<0.0001
A	0.56	1	0.56	1.28	0.2950
B	0.61	1	0.61	1.39	0.2766
C	41.09	1	41.09	3.67	<0.0001
AB	0.92	1	0.92	2.10	0.1905
AC	0.98	1	0.98	2.23	0.1786
BC	26.78	1	26.78	61.05	0.0001
A ²	88.12	1	88.12	200.88	<0.0001
B ²	188.01	1	188.01	428.60	<0.0001
C ²	64.45	1	64.45	146.91	<0.0001
残差	3.07	7	0.44		
失拟项	2.55	3	0.85	6.58	0.0502
存误差	0.52	4	0.13		
总和	451.70	16			

注: $R^2 = 0.9864$, $R_{Adj}^2 = 0.9692$, $R_{Pred}^2 = 0.8241$ 。

好;证明该回归模型能充分说明酪蛋白酸钠的工艺优化过程。各因素对酪蛋白酸钠产率影响的主次顺序为: $C > B > A$,即加热时间 > 碱溶 pH > 凝乳加水量。

2.2.3 响应面优化实验结果分析 由图 4 可知,随着加水量和碱溶 pH 的增加,酪蛋白酸钠的产率均呈先上升后下降的趋势。由表 4 可知,加水量和碱溶 pH 的交互作用不显著。在加水量为 35%,碱溶 pH = 7.0 时,酪蛋白酸钠的产率达到最大值。由曲面坡度的陡峭情况得知,碱溶 pH 的曲面比加水量的曲面更陡,说明碱溶 pH 对酪蛋白酸钠产率影响更加显著,响应面图形呈钟形。

由图 5 可知,随着凝乳加水量的增加,酪蛋白

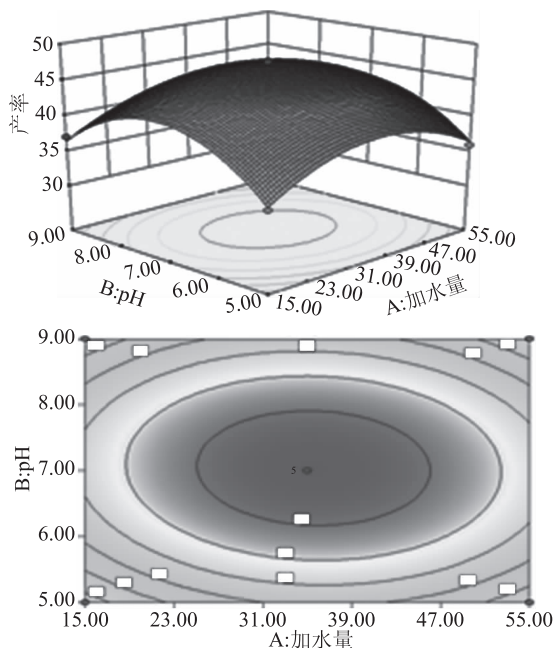


图4 加水量和碱溶 pH 对产率的响应面和等高线图
Fig.4 Response surface and contour of water addition and pH on yield

酸钠产率呈先上升后下降的趋势,而随着加热时间的延长,酪蛋白酸钠产率呈先上升后缓慢下降的趋势。由表 4 可知,凝乳加水量和加热时间的交互作用不显著。由曲面坡度的陡峭情况得知,加热时间的曲面比凝乳加水量的曲面更陡,说明加热时间对酪蛋白酸钠产率影响更加显著,响应面图形呈钟形。

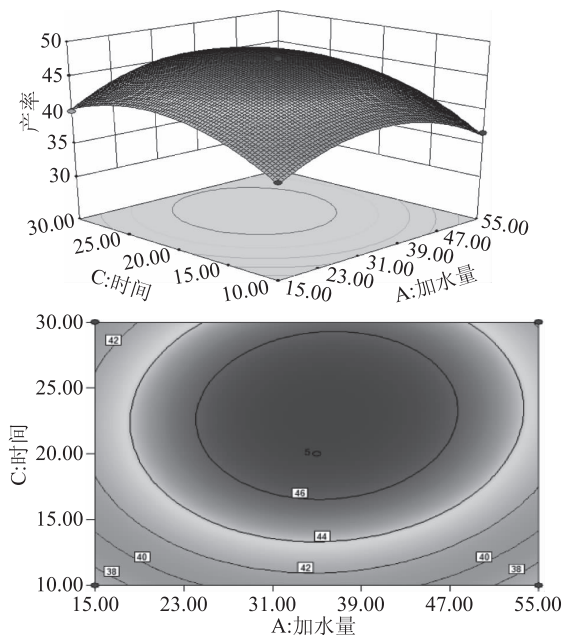


图5 加水量和加热时间对产率的响应面和等高线图
Fig.5 Response surface and contour of water addition and heat-up time on yield

由图 6 可知,随着碱溶 pH 的增加,酪蛋白酸钠产率呈先增加后下降的趋势,而随着加热时间的延长,酪蛋白酸钠产率呈先增加后下降的趋势。由表 4

可知,凝乳加水量和加热时间的交互作用显著。由曲面坡度的陡峭情况得知,加热时间的曲面比碱溶 pH 的曲面更陡,说明加热时间对酪蛋白酸钠产率影响更加显著。

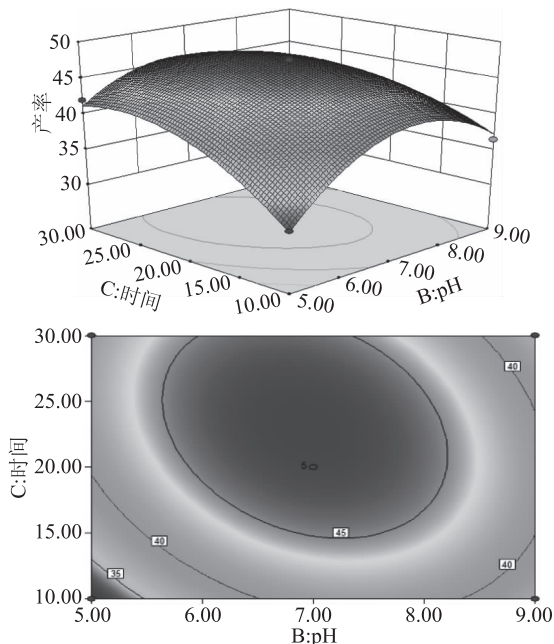


图6 加热时间和 pH 对产率的响应面和等高线图
Fig.6 Response surface and contour of heat-up time and pH on yield

2.2.4 验证实验 通过 Design Expert 软件分析结果可知,酪蛋白酸钠的优化工艺条件为:凝乳加水量 35%,碱溶 pH 为 7.0,加热时间 20 min。在最佳工艺条件下进行三组验证性试验,平均值为 45.85%,与对应条件下的酪蛋白酸钠的理论产率 47.68% 相差 1.83 个百分点,表明实际值与模型预测的最佳值基本接近,说明采用响应面优化的生产工艺参数准确可靠,按照建立的模型进行试验在实践中是可行的。

2.3 酪蛋白酸钠理化指标

为了考察优化后的酪蛋白酸钠的相关理化指标及感官指标是否合格,测定了成品的粗蛋白、乳糖、粗脂肪、含水率、灰分、pH 与 GB 1886.212-2016 相比较,结果列于表 5。

由表 5 可以看出,酪蛋白酸钠经优化加工处理后粗蛋白含量高;其灰分含量与朱雄英等^[6]通过浸洗法所制得的酪蛋白酸钠的灰分含量相近,证明经过优化后的加工工艺可以直接代替原料的多次浸洗法,并且其乳糖含量低,便于后期长期贮藏。

2.4 酪蛋白酸钠功能性质

酪蛋白酸钠制品在食品工业的应用性能取决于其功能特性^[20-22],本试验利用浓度为 2% 的酪蛋白酸钠进行其乳化性、起泡性、黏度、持水性研究,利用最优工艺的条件下所生产的酪蛋白酸钠的功能性质测定结果见表 6。已有学者报道,pH7 时曲拉酪蛋白黏度 2 mPa·s 以下,乳化力不同温度下为 15%~30%,起泡性为 7%~18%^[15]。酪蛋白酸钠与曲拉酪蛋白相比,功能性良好。

表5 酪蛋白酸钠的成分

Table 5 The composition of the sodium caseinate

理化指标	GB 1886.212-2016	曲拉制酪蛋白酸钠	曲拉
粗蛋白含量(g/100 g)	≥88.0	91.13 ± 0.69	80.74 ± 0.45
乳糖含量(g/100 g)	≤1.0	0.36 ± 0.04	5.23 ± 0.09
粗脂肪含量(g/100 g)	≤2.0	1.33 ± 0.02	4.24 ± 0.12
含水率(%)	≤6.0	4.41 ± 0.13	7.38 ± 0.08
灰分含量(g/100 g)	≤6.0	4.83 ± 0.05	3.21 ± 0.06
pH	6.0~7.5	7.50 ± 0.27	6.92 ± 0.34

表6 酪蛋白酸钠功能性结果

Table 6 Results of functional properties of sodium caseinate

项目	平均值
乳化性(%)	13.39 ± 0.56
乳化稳定性(%)	85.02 ± 0.50
起泡性(%)	17.65 ± 0.50
泡沫稳定性(%)	88.62 ± 0.28
黏度(mPa·s)	5.59 ± 0.45
持水性(g/g)	0.75 ± 0.03

2.5 酪蛋白酸钠感官评定

由表7可知,在最优工艺下制备出来的酪蛋白酸钠产品颜色呈乳白色,有微量的黄色颗粒,无杂质;颗粒大小均匀,粉末状;气味温和,有特别的奶香味,符合GB 1886.212-2016要求。

表7 酪蛋白酸钠感官评定结果

Table 7 Results of sensory evaluation of sodium caseinate

项目	成品
色泽	乳白色
颗粒状态	最大颗粒不超过2 mm
滋气味	乳香味,气味温和
杂质	无杂质

3 结论

通过单因素和Box-Behnken Design 试验设计响应曲面法优化,确定了曲拉制酪蛋白酸钠的生产工艺的最佳条件为:加水量35%,碱溶pH7.0,加热时间为20 min。该条件下酪蛋白酸钠的产率较高为45.85%,粗蛋白91.13%、乳糖0.36%、脂肪1.33%、水分4.41%、灰分4.83%;乳化性为13.39%、起泡性为17.65%、粘度为5.59 mPa·s、持水性为0.75 g/g。且产品具有酪蛋白酸钠特有的滋味和气味,呈乳白色粉末;无杂质;颗粒大小均匀。本试验实现了以曲拉为原料,用最简步骤得到酪蛋白酸钠产品。通过对最优工艺条件的探索,使酪蛋白酸钠产率提高,且功能性良好。

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部.GB/T 1886.212-2016 食品添加剂酪蛋白酸钠(又名酪朊酸钠)[S].
- [2] 梁琪.酪蛋白酸钠功能性的研究[J].食品科学,2002,23(3):30-33.

- [3] H N Liu, F Z Ren. pH treatment as an effective tool to select the functional and structural properties of yak milk caseins[J]. Journal of Dairy Science, 2013, 96: 5494-5500.

- [4] 雷海平, 刘建中, 刘化冰, 等. 粗干酪素制取酪朊酸钠研究报告[J]. 中国乳品工业, 1985(2): 14-24.

- [5] 刘现庆. 中国乳品行业分析与发展对策[D]. 大连: 大连理工大学, 2002.

- [6] 朱雄英, 甘伯中, 高维东, 等. 曲拉制取酪朊酸钠直接法工艺研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(5): 134-137.

- [7] Mulvihill D M, Fox P F. Caseins and caseinates: Manufacture [M]. London: Elsevier Applied Science, 1989: 365-368.

- [8] 张聪, 碱溶 pH 对曲拉酪蛋白结构及功能特性的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.

- [9] 中华人民共和国卫生部.GB/T 5009.5-2010 食品中蛋白质的测定[S].

- [10] 中华人民共和国卫生部.GB/T 5413.3-2016 婴幼儿食品和乳品中脂肪的测定[S].

- [11] 中华人民共和国卫生部.GB/T 5009.3-2010 食品中水分的测定[S].

- [12] 中华人民共和国卫生部.GB/T 5009.4-2010 婴幼儿食品和乳品中灰分的测定[S].

- [13] 史莹. 谷氨酰胺转氨酶对牦牛乳曲拉酪蛋白交联作用的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.

- [14] 王国骄, 甘伯中, 文鹏程, 等. 热处理和酸诱导对鲜牦牛乳酪蛋白功能性质的影响[J]. 甘肃农大学学报, 2013, 48(1): 129-134.

- [15] 李旭敏, 曹劲松, 高建华. 牦牛酪蛋白理化及功能特性的研究[J]. 中国乳品工业, 2005, 33(9): 17-20.

- [16] Mulvihill DM. Advanced dairy chemistry [M]. London: Elsevier Applied Science, 1992: 369-404.

- [17] 常海军, 韩玲, 余群力. 食品级牦牛“曲拉”干酪素生产工艺条件优化[J]. 甘肃农大学学报, 2016, 51(6): 143-148.

- [18] 纪银莉, 何潇, 宋礼, 等. 曲拉凝乳酶干酪素生产工艺研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 1-4.

- [19] 张聪, 甘伯中, 文鹏程, 等. 碱溶 pH 对曲拉酪蛋白结构的影响[J]. 甘肃农大学学报, 2013, 48(1): 125-128.

- [20] 刘志皋, 张泽生, 凌恩福, 等. 酪蛋白酸钠的生产与应用[J]. 中国乳品工业, 1989(2): 50-56.

- [21] 王盼盼. 食品加工中的增稠剂(二) 动物来源的增稠剂[J]. 肉类研究, 2009(11): 74-80.

- [22] 刘志皋, 何涛. 酪蛋白酸钠的功能特性及其应用[J]. 中国食品添加剂, 1996(1): 18-21.