

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241202002

引用格式: 崔广智, 姚娜, 张银萍, 等. 基于响应面设计优化牦牛乳酥油酶解工艺[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(2): 155-162.

CUI GZ, YAO N, ZHANG YP, *et al.* Optimization of enzymatic hydrolysis of yak milk ghee based on response surface design [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(2): 155-162. (in Chinese with English abstract).

# 基于响应面设计优化牦牛乳酥油酶解工艺

崔广智<sup>1</sup>, 姚娜<sup>2</sup>, 张银萍<sup>2</sup>, 苏德亮<sup>2</sup>, 宋礼<sup>1\*</sup>, 宋婷<sup>1</sup>

(1. 甘南牦牛乳研究院, 合作 747000; 2. 甘肃华羚乳品股份有限公司, 合作 747000)

**摘要:** **目的** 基于响应面设计优化牦牛乳酥油酶解工艺。**方法** 采用脂肪酶对牦牛乳酥油进行酶解, 通过单因素试验确定了酶的添加量、酶解时间、酶解温度 3 个因素为自变量, 并以酥油及酥油奶茶感官评分为响应指标, 采用响应面法设计优化牦牛乳酥油酶解工艺。**结果** 当脂肪酶的添加量为 0.48%、酶解时间为 3.75 h、酶解温度为 46 °C 时, 可以获得最优的酶解效果, 在此条件下酶解的牦牛乳酥油色泽光亮, 乳香味纯正, 膻味明显得到改善, 用酶解后的牦牛乳酥油配制的酥油奶茶膻味适中, 口味独特, 感官评价较佳。**结论** 采用脂肪酶对牦牛乳酥油进行酶解的方法, 可以有效改善牦牛乳酥油的滋气味、优化膻味, 提升其附加产品的感官品质, 为进一步开发藏区特色产品提供了新的思路和技术支持。

**关键词:** 牦牛乳酥油; 酶解; 响应面法; 酥油奶茶

## Optimization of enzymatic hydrolysis of yak milk ghee based on response surface design

CUI Guang-Zhi<sup>1</sup>, YAO Na<sup>2</sup>, ZHANG Yin-Ping<sup>2</sup>, SU De-Liang<sup>2</sup>, SONG Li<sup>1\*</sup>, SONG Ting<sup>1</sup>

(1. Gannan Research Institute of Yak Milk, Hezuo 747000, China; 2. Gansu Hualing Dairy Co., Ltd., Hezuo 747000, China)

**ABSTRACT: Objective** To optimization of enzymatic hydrolysis of yak butter based on response surface design. **Methods** Employed lipase to enzymatically treat yak butter. The 3 factors of enzyme addition, enzymatic hydrolysis time and enzymatic hydrolysis temperature were determined as independent variables by single factor test. The sensory score of ghee and ghee milk tea was taken as the response index, and the enzymolysis process of yak milk ghee was optimized by response surface methodology. **Results** When the addition amount of lipase was 0.48%, the enzymatic hydrolysis time was 3.75 h, and the enzymatic hydrolysis temperature was 46 °C, the optimal enzymatic hydrolysis effect could be obtained. Under these conditions, the enzymatic hydrolysis yak milk ghee had bright color, pure frankincense flavor, and the odor of ghee was significantly improved. The ghee milk tea prepared with enzymatic hydrolysis yak milk ghee had moderate smell, unique taste, and better sensory evaluation. **Conclusion** The method of enzymatic hydrolysis of yak milk ghee by lipase can effectively improve the taste and odor of yak milk ghee, optimize the smell of ghee, and improve the sensory quality of its additional

收稿日期: 2024-12-02

第一作者: 崔广智(1989—), 男, 中级工程师, 主要研究方向为乳制品开发与产业化。E-mail: 419545432@qq.com

\*通信作者: 宋礼(1984—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向为乳制品加工及产业化。E-mail: 741012761@qq.com

products, which provides new ideas and technical support for the further development of Tibetan characteristic products.

**KEY WORDS:** yak milk ghee; enzymolysis; response surface method; milk tea of ghee

## 0 引言

青藏高原地区藏族牧民采用鲜牦牛乳为原料,通过发酵或不发酵,经手工搅打分离后再将上浮的脂肪捞出,置于冰水中经揉捏、成团等步骤提炼得到的牦牛乳脂肪,即为酥油<sup>[1-2]</sup>。酥油具有显著的区域性质,是青藏高原地区特有的,在藏区的应用非常广泛,并且形成的酥油文化渗透于藏族人民生活、宗教活动、人文礼仪等各个方面,具有较高的食用价值、药用价值、文化价值,是人们生产生活的必需品<sup>[3-5]</sup>。作为食品可直接食用,也可搭配其他食物食用,如糌粑、酥油茶是藏区人民最普遍的饮食,不仅解渴润肺,而且营养丰富,并提供较大热量,能够御寒保暖使人们更好地适应高原高寒的气候环境<sup>[6]</sup>。

牦牛乳酥油的气味、口感较为独特,与普通奶油相比酥油香味稍淡并伴有明显的膻味<sup>[7]</sup>。由于酥油的膻味过重,在藏区之外其口感不被大众所接受,致使其附加值降低,大规模推广使用受限。扎西穷达等<sup>[8]</sup>采用同时蒸馏萃取结合气相色谱质谱联用分析的方法鉴定出牦牛乳酥油中 65 种挥发性物质,并分析了体现酥油独特风味的 3 种酯类成分。YANG 等<sup>[9]</sup>、MARQUARDT 等<sup>[10]</sup>、雷有娟等<sup>[11]</sup>和谢司伟等<sup>[12]</sup>对牦牛乳酥油的脂肪酸组成进行了研究,得到牦牛乳酥油脂肪酸结构主要是由棕榈酸(C16:0)、油酸(C18:1)、硬脂酸(C18:0)、肉豆蔻酸(C14:0)等构成的中长链脂肪酸。而体现乳香风味的脂肪酸多为短链脂肪酸,故可增加牦牛乳酥油中短链脂肪酸的占比,使其香气增强,以减少膻味。

酶解方法是提升奶香味安全有效的方法,脂肪酶可作用于酥油脂肪甘油三酯的酯键,将中长链脂肪酸酶解为具有奶香味、干酪味的多种短链脂肪酸及其他风味物质,可在一定程度上改善牦牛乳酥油风味<sup>[13-15]</sup>。响应面法是采用多元二次回归方程来拟合影响因素与响应值之间的函数关系,通过对多因素交互回归方程结果的分析,以探寻最优解<sup>[16-18]</sup>。本研究通过对酥油酶解条件的单因素研究,分析得到影响酥油感官风味的主要酶解条件因素,采用响应面分析方法分析各因素的交互对牦牛乳酥油感官品质的影响,筛选得到最佳酶解工艺参数条件,通过将酥油系统化的单因素与多因素交互分析,探索一种牦牛乳酥油脱膻增香技术,实现了对酶解过程的精细化控制,达到膻味脱除并提升奶香,从而优化改善酥油气味及口感,提高大众消费者对牦牛乳制品的接受度,相较于以往较为粗放的应用方式,本研究展示了更高的科学性和精确度,也为藏区牦

牛乳资源的利用及其高值产品的研究与开发提供理论依据和技术基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

牦牛乳酥油购自甘肃省甘南藏族自治州合作市,散装包装。

脂肪酶 LBK-800(酶活 8000 U/g,安徽绿微康生物科技有限公司);盐酸(食品级,四川西陇科学有限公司);氢氧化钠(食品级,天津市大茂化学试剂厂);全脂乳粉[新西兰,恒天然商贸(上海)有限公司];白砂糖(市售);红茶粉(湖州方路茶业有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

FA2004B 电子天平(精度 0.1 mg,上海精密仪器仪表有限公司);DK-98-1 电热恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司);DZKW-2 电热恒温不锈钢水浴锅(金坛市大地自动化仪器厂);XZ-2 破壁料理机(中山市欣泽电器有限公司);FE28 pH 计[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 工艺流程

酥油→灭菌→冷却→调 pH→调温→添加脂肪酶→酶解反应→灭酶→冷却→感官品评(酶解酥油)→感官品评(酥油奶茶)。

#### 1.3.2 工艺操作说明

##### (1)酥油灭菌

将酥油置于温度 80 °C 条件下保温 10 min,进行灭菌操作,防止微生物对酶解过程的影响。

##### (2)调 pH

将酥油冷却至常温,加入酸或碱,根据试验要求调节 pH,使用 pH 计进行测量,保证 pH 的准确。

##### (3)脂肪酶的添加

根据试验温度要求调节水浴锅温度,将脂肪酶用少量水溶解后加入酥油中,搅拌均匀后进行酶解反应。

##### (4)灭酶

将酶解结束后应立即进行灭酶处理,于 85 °C 的条件下保温 20 min,进行灭酶。

##### (5)感官品评

配制酥油奶茶:将酶解后的酥油与全脂奶粉、白砂糖、红茶粉按一定配比加水混合,使用破壁料理机进行均质,保证酥油奶茶混合体系均匀一致。

对酶解后的酥油进行感官品评;对酥油奶茶进行感官品评。

### 1.3.3 单因素试验设计

单因素试验用以考察酶解过程中 pH、酶的添加量、酶解时间、酶解温度这 4 个酶解反应条件对感官品评的影响及影响程度。

#### (1) pH 对酶解酥油感官的影响

试验固定酶的添加量为 0.5%、酶解时间 3 h、酶解温度 45 °C 的条件下,调节 pH 分别为 5.5、6.0、6.5、7.0、7.5 进行牦牛乳酥油酶解试验,考察 pH 对感官的影响。

#### (2)酶的添加量对酶解酥油感官的影响

试验固定 pH 为 6.5、酶解时间 3 h、酶解温度 45 °C 的条件下,酶的添加量分别为 0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、0.9%进行牦牛乳酥油酶解试验,考察酶的添加量对感官的影响。

#### (3)酶解时间对酶解酥油感官的影响

试验固定酶的添加量为 0.5%、pH 6.5、酶解温度 45 °C 的条件下,酶解时间分别为 2、3、4、5、6 h 进行牦牛乳酥油酶解试验,考察酶解时间对感官的影响。

#### (4)酶解温度对酶解酥油感官的影响

试验固定酶的添加量为 0.5%、pH 6.5、酶解时间 3 h 的条件下,酶解温度分别为 35、40、45、50、55 °C 进行牦牛乳酥油酶解试验,考察酶解温度对感官的影响。

### 1.3.4 响应面试验设计

以单因素试验情况为指导,选取对感官影响较大的酶的添加量(A)、酶解时间(B)、酶解温度(C)为因素,以酶解酥油及酥油奶茶的感官品评得分为响应值,通过响应面试验设计对牦牛乳酥油酶解工艺参数进行优化<sup>[19-20]</sup>。试验因素与水平见表 1。

表 1 牦牛乳酥油酶解试验因素与水平表  
Table 1 Factors and levels of enzymatic hydrolysis test of yak butter

水平	因素		
	A 酶的添加量/%	B 酶解时间/h	C 酶解温度/°C
-1	0.3	3	40
0	0.5	4	45
1	0.7	5	50

### 1.3.5 感官品评标准

选取 8 人(男女各 4 名),对酶解酥油及酥油奶茶进行感官评价,采取两者的综合评分,其中对酶解酥油的色泽、气味进行评分,对酥油奶茶的组织状态、色泽、气味、口感进行评分<sup>[21]</sup>。

同时以未经酶解的酥油及其酥油奶茶作为空白,进行对比评价。感官评价评分标准见表 2。

表 2 牦牛乳酥油及酥油奶茶感官评价评分标准  
Table 2 Sensory evaluation criteria for yak butter and yak butter milk tea

项目	指标	评分标准	分数
酥油	色泽 (20 分)	呈现乳黄色,色泽均匀一致,具有透亮光泽	14~20
		呈现乳黄色,色泽基本均匀,具有一定光泽	7~13
		颜色异常,暗淡无光泽	0~6
	气味 (20 分)	具有纯正乳香味,膻味明显改善,无其他不良气味	14~20
		乳香味适中,膻味有所改善,无其他不良气味	7~13
		乳香味较淡或不纯正,膻味改善不大,略有异味	0~6
组织 状态 (15 分)	状态均一细腻,组织稳定,无不溶絮状物,无脂肪分离现象	11~15	
	状态较为细腻,组织较为稳定,有少量絮状物,无脂肪分离现象	6~10	
	状态粗糙,组织稳定性差,有较多絮状物,明显脂肪分离现象	0~5	
酥油奶茶	色泽 (15 分)	呈均一淡褐红色,色泽光亮	11~15
		呈淡红褐色,色泽较为光亮	6~10
		呈淡褐红色,色泽暗淡	0~5
	气味 (15 分)	具有酥油奶茶特有气味,膻味适中,奶味、茶味适中,无异味	11~15
		具有酥油奶茶特有气味,膻味有所改善,奶味、茶味略有不足,无明显异味	6~10
		具有酥油奶茶特有气味,膻味无明显改善,或有其他异味	0~5
口感 (15 分)	口感丝滑,膻味适中,不腻口,无异味	11~15	
	口感较为丝滑,膻味有所改善,稍有腻口感,无明显异味	6~10	
	口感较为丝滑,膻味无明显改善,腻口感重,或存在其他异味	0~5	

## 1.4 数据处理

采用 Excel 2021 软件对单因素试验结果进行数据分析, 建立因素影响统计图。采用 IBM SPSS Statistics 27 软件进行单因素试验数据显著性分析。采用 Design-Expert 12 软件对响应面进行试验设计、数据分析及处理, 根据数据建立回归方程与图表模型。

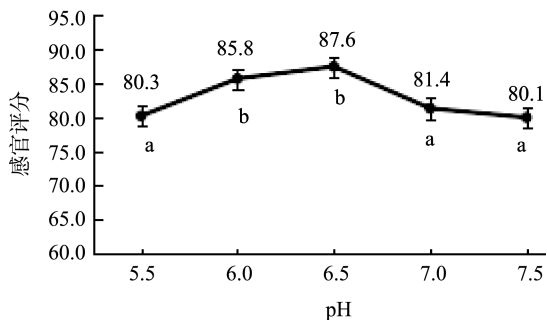
## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验分析

#### 2.1.1 pH 对酶解酥油感官品质的影响分析

pH 对酶解后酥油及酥油奶茶感官品质的影响见图 1。

由图 1 可看出, pH 在处于弱酸性环境下感官评分较好, pH 在 6.5 时为最佳。通过方差分析及多重比较得到 pH 在 6.0 和 6.5 与其他水平存在显著差异( $P < 0.05$ )。通过变异系数(coefficient of variation, CV)分析, 结合实际感官感受, 拟定在 5% 范围内, 可表示数据离散度小, 差异可被接受, 将所测试的 pH 范围内的 5 组感官评分数据, 计算 CV 为 4.10%, 可表明并没有显示出明显差异, pH 对酶解过程及感官评价结果的影响较弱, pH 并不是影响酶解过程及感官评价的主要因素。且试验在未调节 pH 前测得牦牛乳酥油的 pH 为 6.2, 可见牦牛乳酥油酶解过程本身就处于弱酸环境, 因此, 酶解酥油过程无需对整个体系进行 pH 调节。



注: 不同小写字母代表差异显著,  $P < 0.05$ , 下同。

图 1 pH 对酶解后酥油及酥油奶茶感官品质的影响

Fig.1 Effects of pH on sensory quality of ghee after enzymatic hydrolysis and ghee milk tea

#### 2.1.2 酶的添加量对酶解酥油感官品质的影响分析

酶的添加量对酶解后酥油及酥油奶茶感官品质的影响见图 2。酶的用量对酶解反应过程至关重要, 可控制酶解反应的剧烈程度, 用量不足则造成风味物质不足, 奶香味欠缺, 用量过大则酶解过程过快, 致使酸度升高及产生不良风味, 或使整个体系组织状态发生改变, 进而影响整体感官<sup>[22]</sup>。由图 2 可看出, 酶的添加量在 0.1% 时, 酶解反应过于温和, 随着添加量的提升, 风味物质的释放逐渐充分, 当酶的添加量在 0.5% 时, 感官评分达到最大, 随着添加量增大感官出现了降低情况, 反映出用量在 0.5% 之后酶解反应逐渐剧烈, 对整体感官产生不良影响<sup>[23]</sup>。通过方差

分析及多重比较得到酶的添加量各水平间均存在显著差异。通过 CV 分析, 在酶的添加量条件范围内的 5 组感官评分数据, 计算 CV 为 8.57% ( $CV > 5%$ ), 表明酶的添加量对感官评价具有差异性。

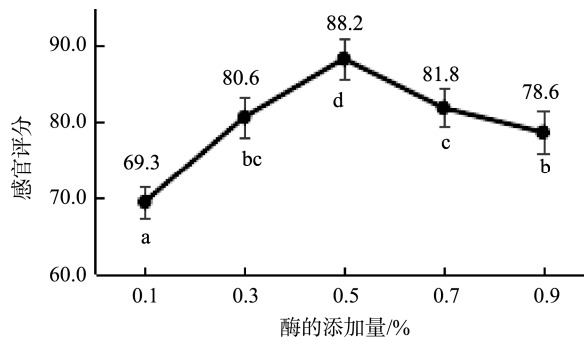


图 2 酶的添加量对酶解后酥油及酥油奶茶感官品质的影响

Fig.2 Effects of enzyme dosage on sensory quality of ghee after enzymatic hydrolysis and ghee milk tea

#### 2.1.3 酶解时间对酶解酥油感官品质的影响分析

酶解时间通常是酶解过程重要的控制条件之一, 时间长短影响脂肪酸的水解度, 随着时间的增长水解得到的挥发性脂肪酸及风味物质逐步释放, 时间过长则水解过度, 一些风味物质发生转变, 生成的羧酸类物质过高, 导致酶解产物气味变得不柔和, 并伴有刺激性酸臭味<sup>[24]</sup>。

酶解时间对酶解后酥油及酥油奶茶感官品质的影响见图 3。由图 3 可看出, 酶解时间在 2 h 时感官评分较低, 这是由于酶解时间不足导致风味物质释放不够, 使酶解酥油整体改善不明显; 5~6 h 感官评分降低, 则是由于进一步水解产生出了过多的酸臭味, 使气味口感逐渐变得不柔和; 较为适宜的酶解时间为 3~4 h。通过方差分析及多重比较得到酶解时间在 3h 和 4h 与其他水平间存在显著差异。通过 CV 分析, 在酶解时间条件范围内的 5 组感官评分数据, 计算 CV 为 12.61% ( $CV > 5%$ ), 表明酶解时间对感官评价具有差异性。

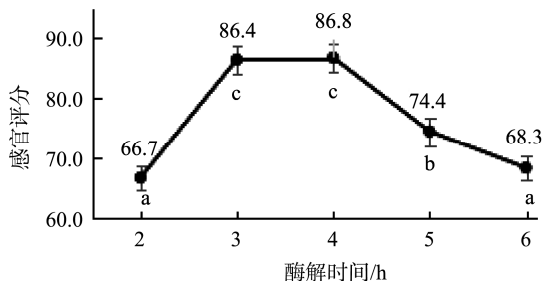


图 3 酶解时间对酶解后酥油及酥油奶茶感官品质的影响

Fig.3 Effects of enzymolysis time on sensory quality of ghee after enzymatic hydrolysis and ghee milk tea

#### 2.1.4 酶解温度对酶解酥油感官品质的影响分析

酶解温度对酶解后酥油及酥油奶茶感官品质的影响见图 4。图 4 反映了温度对酶解酥油的影响, 在 45 °C 时温

度最适, 酶解酥油感官评分达到最佳, 低于或高于 45 °C 酶的催化活性减弱。通过方差分析及多重比较得到酶解温度各水平间均存在显著差异。通过 CV 分析, 在酶解温度条件范围内的 5 组感官评分数据, 计算 CV 为 7.53% (CV>5%), 表明酶解温度对感官评价具有差异性。

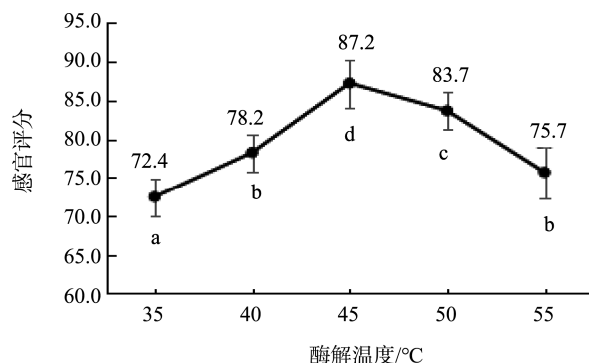


图 4 酶解温度对酶解后酥油及酥油奶茶感官品质的影响  
Fig.4 Effects of enzymolysis temperature on sensory quality of ghee after enzymatic hydrolysis and ghee milk tea

## 2.2 响应面试验分析

### 2.2.1 响应面试验设计与结果及方差分析

经过单因素试验, 选取酶的添加量、酶解时间、酶解温度 3 个对感官影响较大的因素, 采用响应面分析方法对酶解工艺条件进行优化。使用 Design-expert 12 软件进行试验设计、数据的处理, 具体试验设计及结果见表 3。

对试验得到的数据进行响应结果回归分析, 得到了酶的添加量、酶解时间、酶解温度 3 个因素对感官的影响情况, 其二次多项回归方程为:  $Y=88.02-1.37A-2.75B+0.9C-1.33AB+0.025AC-0.825BC-4.6A^2-5.35B^2-4.45C^2$ 。

表 4 为回归模型的方差分析结果, 由表 4 可知, 回归模型  $P<0.01$ , 呈现出极显著, 失拟项  $P>0.05$ , 呈现出不显

著, 表明该模型可靠性良好; 回归模型其相关系数  $R^2=0.9832$ , 信噪比为 19.8499, 信噪比大于 4 是理想的<sup>[25]</sup>, 这说明该模型的拟合度和可信度较高。从响应面回归模型方差分析结果可知 C、AB 项的影响为显著, A、B、 $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$  项的影响为极显著, 其他项则不显著。表中各相关因素的 F 可以反映出对试验响应值的影响程度, F 越大, 表明该因素的影响程度越大<sup>[26-27]</sup>。通过对各因素 F 分析可得到影响酥油及酥油奶茶感官品质的因素主次顺序为: 酶解时间>酶的添加量>酶解温度。

表 3 响应面试验设计与结果

Table 3 Experimental design and results of the response surface

试验号	因素			感官评分
	A 酶的添加量 /%	B 酶解时间 /h	C 酶解温度 /°C	
1	-1	-1	0	81.1
2	1	-1	0	81.4
3	-1	1	0	77.4
4	1	1	0	72.4
5	-1	0	-1	79.8
6	1	0	-1	76.6
7	-1	0	1	81.3
8	1	0	1	78.2
9	0	-1	-1	78.7
10	0	1	-1	75.7
11	0	-1	1	82.4
12	0	1	1	76.1
13	0	0	0	87.5
14	0	0	0	89.7
15	0	0	0	86.6
16	0	0	0	87.9
17	0	0	0	88.4

表 4 响应面回归模型方差分析结果

Table 4 Variance analysis results of response surface regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	418.64	9	46.52	45.49	<0.0001	**
A	15.12	1	15.12	14.79	0.0063	**
B	60.5	1	60.5	59.16	0.0001	**
C	6.48	1	6.48	6.34	0.04	*
AB	7.02	1	7.02	6.87	0.0344	*
AC	0.0025	1	0.0025	0.0024	0.9619	不显著
BC	2.72	1	2.72	2.66	0.1468	不显著
A <sup>2</sup>	89	1	89	87.03	<0.0001	**
B <sup>2</sup>	120.4	1	120.4	117.75	<0.0001	**
C <sup>2</sup>	83.29	1	83.29	81.45	<0.0001	**
残差	7.16	7	1.02			
失拟项	1.89	3	0.63	0.4784	0.7145	不显著
纯误差	5.27	4	1.32			
总变异	425.8	16				

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

2.2.2 各因素间交互作用的响应面分析

响应面分析图能够更加直观的反映各因素之间的交互

互情况<sup>[28-29]</sup>, 图 5 展示了各自变量因素之间的交互作用对感官品评的响应面分析图。

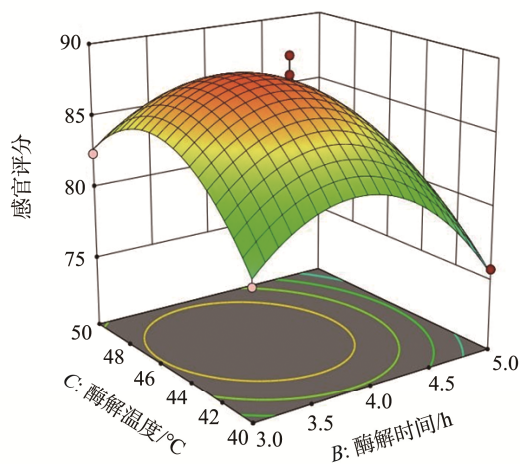
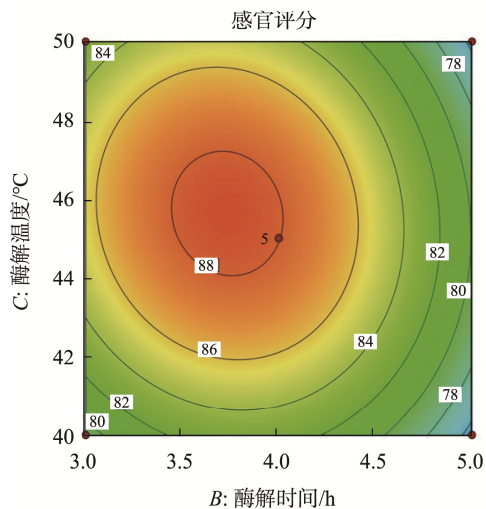
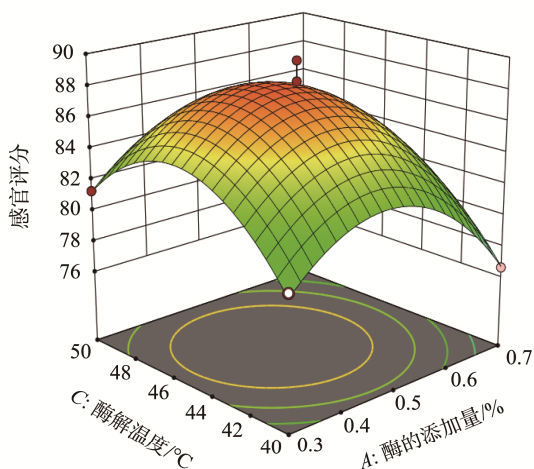
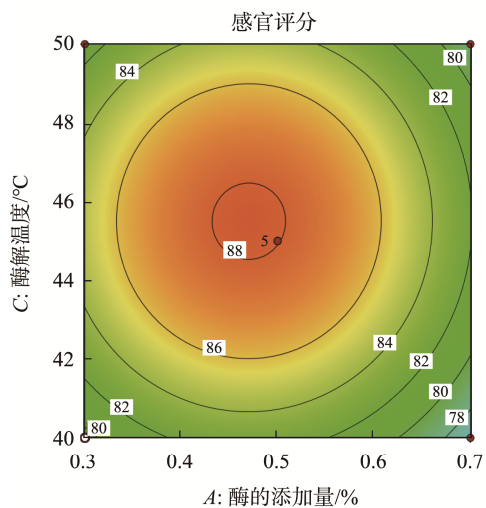
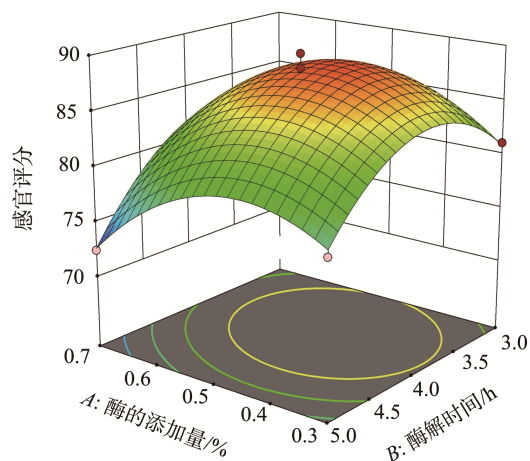
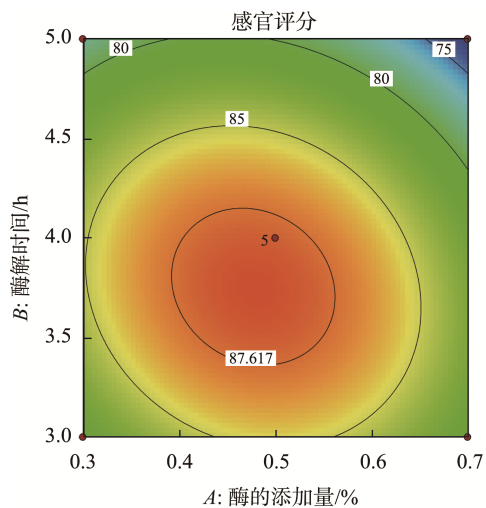


图 5 3 组因素相互交互作用对感官评分影响的等高线及 3D 曲面图  
Fig.5 Contour and 3D surface map of the interaction of 3 groups of factors on sensory score

响应面 3D 曲面图中曲面的斜率越大,相关因素的变化对响应值影响就越大;等高线图展现了各因素间交互作用的强度,当趋向于椭圆时两因素交互更显著,趋于圆时则不显著<sup>[30-31]</sup>。由图 5 可看出,酶的添加量、酶解时间、酶解温度 3 组相互交互过程中,酶的添加量与酶解时间等高线图相对其他两组交互作用呈现更明显的椭圆,表明了对响应值的影响显著;3 组因素间交互作用的 3D 曲面图均呈现较大的斜率,直观地反映出酶的添加量在逐渐增加的过程中响应值由低升高再降低,酶解时间逐渐延长的过程中响应值由低升高再降低的变化情况,酶解温度逐渐升高的过程中响应值由低升高再降低的变化情况,并明显的展现出因素交互的凸面,即最佳响应值。

### 2.2.3 最佳酶解工艺参数条件及验证

利用响应面法对酶解工艺条件进行优化,根据二次回归方程,得到最佳酶解工艺参数条件为酶的添加量 0.477%、酶解时间 3.747 h、酶解温度 45.622 °C,在此条件下预测的酥油及酥油奶茶感官评分为 88.501,高于 13~17 组中位值的平行试验平均值,排除了第 14 组试验中可能出现的偶然波动。为证明预测的可靠性,对此最佳酶解工艺参数条件进行验证,考虑试验的可操控性及便捷性,将最佳酶解工艺参数条件调整为酶的添加量 0.48%、酶解时间 3.75 h、酶解温度 46 °C,通过试验,得到感官评分为 89.2,与预测值相接近,两者之间拟合度良好,表明该工艺条件可靠。

## 3 结 论

本研究采用响应面分析法进行试验设计,对酥油酶解工艺参数进行优化,经试验研究,确定了影响酶解品质的因素主次顺序为:酶解时间(B)>酶的添加量(A)>酶解温度(C),得到了酥油最佳酶解工艺参数,即酶的添加量 0.48%、酶解时间 3.75 h、酶解温度 46 °C,在此条件下酶解的酥油色泽均匀,具有透亮光泽,乳香味纯正,膻味明显得到改善,由此配制的酥油奶茶具有独特奶茶香味,膻味适中,口感良好,感官评价较佳,适宜大众人群饮用。将原有酥油通过酶解的方式改善其气味及口感,降低膻味,使其制品具有独特的味道,解决了这一地方特色乳产品口感不为大众所接受进而制约其推广应用的问题,使其价值得以提升,同时也为香精的开发提供指导帮助。

### 参考文献

- [1] 周雨,孟胜亚,陈锋. 牦牛酥油生产技术规程[J]. 中国乳业, 2019(11): 19-21.  
ZHOU Y, MENG SY, CHEN F. Technical specification for yak butter production [J]. China Dairy, 2019(11): 19-21.
- [2] 王露. 云南玉湖村纳西族酥油制作工艺研究[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023.
- [3] 杨群. 浅谈藏族酥油文化的传承与发展[J]. 边疆经济与文化, 2016(1): 48-49.  
YANG Q. On the inheritance and development of Tibetan butter culture [J]. Frontier Economy and Culture, 2016(1): 48-49.
- [4] 杨群. 浅谈酥油文化与藏族精神生活之间的关系[J]. 新西部(理论版), 2015(35): 38-39.  
YANG Q. On the relationship between butter culture and Tibetan spiritual life [J]. New Western (Theoretical Version), 2015(35): 38-39.
- [5] 张梅梅, 王亚涛. 民族协作与传统市场的现代转型——甘南—拉萨民间酥油贸易田野考察[J]. 北方民族大学学报, 2021(4): 61-70.  
ZHANG MM, WANG YT. Ethnic collaboration and modern transformation of traditional market-field investigation of Gannan-Lhasa folk butter trade [J]. Journal of Northern University for Nationalities, 2021(4): 61-70.
- [6] 赵国栋. 饮食人类学与酥油茶[J]. 西藏研究, 2024(2): 31-47, 156.  
ZHAO GD. Anthropology of diet and ghee tea [J]. Tibetan Studies, 2024(2): 31-47, 156.
- [7] PAL TS, KR GD, JOKEN B, *et al.* A comparative appraisal of traditional “Ghee” derived from the three genotypes (arunachali yak, yak-cow hybrid, and cow) reared under semi-intensive conditions [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2021, 124(3). DOI: 10.1002/ejlt.202100101
- [8] 扎西穷达, 刘吉爱, 曹叶伟, 等. 同时蒸馏萃取结合气质联用分析牦牛酥油中特征挥发性物质[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(13): 224-231.  
ZHAXI QD, LIU JAI, CAO YW, *et al.* Simultaneous distillation extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry was used to analyze the characteristic volatile substances in yak ghee [J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(13): 224-231.
- [9] YANG F, WEN X, XIE S, *et al.* Characterization of lipid composition and nutritional quality of yak ghee at different altitudes: A quantitative lipidomic analysis [J]. Food Chemistry: X, 2024, 1: 2110-1166.
- [10] MARQUARDT S, BARSILA RS, AMELCHANKA LS, *et al.* Fatty acid profile of ghee derived from two genotypes (cattle yak vs yak) grazing different alpine Himalayan pasture sites [J]. Animal Production Science, 2018, 58(2): 358-368.
- [11] 雷有娟, 孙万成, 罗毅皓. 牦牛酥油磷脂提取工艺研究及脂肪酸成分分析[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(9): 18-23.  
LEI YJ, SUN WC, LUO YH. Study on extraction process of yak butter phospholipid and fatty acid composition analysis [J]. China Dairy Industry, 2019, 47(9): 18-23.
- [12] 谢司伟, 刘春爱, 孙术国, 等. 西藏不同海拔牦牛酥油的营养、风味及功能特性比较[J]. 食品与机械, 2021, 37(2): 19-23, 33.  
XIE SW, LIU CAI, SUN SG, *et al.* Comparison of nutritional, flavor and functional characteristics of yak butter at different altitudes in Tibet [J]. Food and Machinery, 2021, 37(2): 19-23, 33.
- [13] 李扬, 李妍, 王筠钠, 等. 不同酶水解对乳脂挥发性化合物的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 1-5.  
LI Y, LI Y, WNG JN, *et al.* Effects of different enzymatic hydrolysis on volatile compounds in milk fat [J]. Food Science, 2019, 40(2): 1-5.
- [14] 张宁, 赵金利, CYRIL SUSENO, 等. 不同脂肪酶酶解奶油制备奶味香基的研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(4): 74-78.

- ZHANG N, ZHAO JL, CYRIL S *et al.* Study on the preparation of milky flavor base by enzymatic hydrolysis of cream with different lipases [J]. *China Oils and Fats*, 2015, 40(4): 74-78.
- [15] 崔广智, 宋礼, 罗丽, 等. 一种牦牛乳酥油脱膻增香方法: 中国, CN202210548411.9[P]. 2024-05-14.
- CUI GZ, SONG L, LUO L, *et al.* A method for deodorization and aroma enhancement of yak milk butter: China, CN202210548411.9 [P]. 2024-05-14.
- [16] 何为, 薛卫东. 优化试验设计方法及数据分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- HE W, XUE WD. Optimizing experimental design methods and data analysis [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2014.
- [17] 马成章, 刘杨, 刘腾霄, 等. 响应面法优化菊粉粗粮饼干配方及其通便功效研究[J]. *保鲜与加工*, 2024, 24(8): 66-73.
- MA CZ, LIU Y, LIU TX, *et al.* Optimization of inulin coarse grain biscuit formula by response surface methodology and its laxative efficacy [J]. *Storage and Process*, 2024, 24(8): 66-73.
- [18] JIAN YY, CHUN HH, JIN FB, *et al.* Novel combined freeze-drying and instant controlled pressure drop drying for restructured carrot-potato chips: Optimized by response surface method [J]. *Journal of Food Quality*, 2018, 1: 1-13.
- [19] 黎海彬, 姚正晓, 刘慧娟, 等. 响应面法优化乳脂肪酶解的工艺[J]. *食品科学*, 2013, 34(14): 108-112.
- LI HB, YAO ZX, LIU HJ, *et al.* Optimization of enzymatic hydrolysis of milk fat by response surface methodology [J]. *Food Science*, 2013, 34(14): 108-112.
- [20] CJ L, WJ L, JS P, *et al.* Optimization of the preparation method of citron(*Citrus junos* Sieb.) beverage containing hibiscus using response surface methodology [J]. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 2021, 53(2): 187-194.
- [21] 罗丽, 崔广智, 苏德亮, 等. 甘南牦牛乳酥油茶加工技术[J]. *食品工业*, 2022, 43(1): 29-33.
- LUO L, CUI GZ, SU DL, *et al.* Processing technology of Gannan yak milk butter tea [J]. *Food Industry*, 2022, 43(1): 29-33.
- [22] 孔凌, 刘超, 喻麟, 等. 酶解奶油增香物制备工艺及其在奶香饲料调味剂中的应用[J]. *饲料工业*, 2012, 33(15): 22-25.
- KONG L, LIU C, YU L, *et al.* Preparation technology of enzymolysis cream flavor enhancer and its application in milk flavor feed flavoring agent [J]. *Feed Industry*, 2012, 33(15): 22-25.
- [23] 杨少丽, 唐甜, 卓越. 脂肪酶酶解奶粉制备天然乳味香精的研究[J]. *香料香精化妆品*, 2017(5): 17-20.
- YANG SL, TANG T, ZHUO Y. Study on the preparation of natural milk flavor by lipase enzymatic hydrolysis of milk powder [J]. *Fragrance Flavor Cosmetics*, 2017(5): 17-20.
- [24] 陈清, 黄卓尧, 汪薇, 等. 酶解奶油制备乳酪味奶香基料的研究[J]. *农产品加工*, 2022(15): 10-14.
- CHEN Q, HUANG ZY, WANG W, *et al.* Study on the preparation of cheese flavor base by enzymatic hydrolysis of cream [J]. *Agricultural Products Processing*, 2022(15): 10-14.
- [25] 张妍, 高蕾, 王正红, 等. 响应面法优化喷雾干燥制备核桃分心木速溶粉及其冲调性分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(18): 47-51.
- ZHANG Y, GAO L, WANG ZH, *et al.* Optimization of spray drying preparation of walnut distractor instant powder by response surface methodology and its solubility analysis [J]. *Food Science*, 2016, 37(18): 47-51.
- [26] 郭敏瑞, 王元熠, 陈国刚. 喷雾干燥速溶红枣粉工艺优化及其冲调性分析[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(6): 90-95.
- GUO MR, WANG YY, CHEN GG. Optimization of spray drying process for instant jujube powder and analysis of its solubility [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(6): 90-95.
- [27] 陈光宇, 宋毓涛, 刘又嘉, 等. 响应面设计试验法优化沙棘固本速溶茶低温喷雾干燥工艺[J]. *中国现代应用药学*, 2019, 36(12): 1516-1521.
- CHEN GY, SONG YT, LIU YJ, *et al.* Optimization of low-temperature spray drying process of sea buckthorn instant tea by response surface design [J]. *Chinese Modern Applied Pharmacy*, 2019, 36(12): 1516-1521.
- [28] ATHANASIADIS V, KALOMPATSIOS D, MANTINIOTOU M, *et al.* Investigation into the reduction of palm oil in foods by blended vegetable oils through response surface methodology and oxidative stability tests [J]. *Antioxidants*, 2024, 13(8): 929-929.
- [29] 褚明娟, 赵蕙新, 尚鹤婷, 等. 藜麦水溶蛋白的提取工艺优化及其酶解多肽抗氧化活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(11): 301-309.
- CHU MJ, ZHAO HX, SHANG HT, *et al.* Optimization of extraction process of quinoa water-soluble protein and antioxidant activity of enzymatic hydrolysis peptides [J]. *Journal of Food Safety & Quality Inspection*, 2024, 15(11): 301-309.
- [30] 刘哲, 叶英, 李珊, 等. 基于响应面设计的藜麦酒糟饼干配方优化[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(17): 129-136.
- LIU Z, YE Y, LI S, *et al.* Formula optimization of quinoa distiller's grains biscuits based on response surface design [J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(17): 129-136.
- [31] 谢婧. 响应面法优化香芋豌豆饼干配方[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(2): 116-121.
- XIE J. Optimization of taro pea biscuit formula by response surface methodology [J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(2): 116-121.

(责任编辑: 蔡世佳 于梦娇)