

# 牛皮明胶通过替代部分复配胶改善布丁品质

赵以宁<sup>1</sup> 何 龙<sup>1</sup> 余群力<sup>1\*</sup> 王 敏<sup>1</sup> 罗 进<sup>1</sup> 韩广星<sup>2</sup> 朱潇鹏<sup>3</sup> 张新军<sup>4</sup>

(1. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 山东绿润食品有限公司, 山东 临沂 276600; 3. 甘肃万禾草畜产业科技开发有限责任公司, 甘肃 张掖 734000; 4. 宁夏夏华肉食品股份有限公司, 宁夏 中卫 751700)

**摘要:**为提高布丁的凝胶性和牛皮的利用率,以牛皮明胶替代部分复配胶(卡拉胶、刺槐豆胶),制备高蛋白质的凝胶型布丁。以乳粉为原料,卡拉胶、刺槐豆胶、白砂糖等为辅料,对乳粉、白砂糖、复配胶添加质量分数进行单因素和响应面优化试验,确定凝胶型布丁的最佳配方。同时添加牛皮明胶替代部分复配胶(卡拉胶、刺槐豆胶),以质构特性、感官评分为评价指标,观察替代前后凝胶型布丁的品质差异。结果表明,牛皮明胶替代部分复配胶制成布丁的最佳配方为:乳粉质量分数 7.50%、白砂糖质量分数 4.50%、卡拉胶质量分数 1.08%、刺槐豆胶质量分数 0.72%、牛皮明胶质量分数 0.20%,其中复配胶配比为  $m(\text{卡拉胶}):m(\text{刺槐豆胶})=6:4$ 。在此条件下制得的布丁与传统布丁相比,硬度、弹性性能、感官评分分别提高了 2.45%、8.23% 和 2.60%,且营养价值更高。该研究为布丁产品质构特性的改善和牛皮的高值化利用提供理论支持。

**关键词:**牛皮明胶;卡拉胶;刺槐豆胶;布丁

## Quality Improvement of Cowhide Gelatin Pudding by Using Alternative Compound Gums

ZHAO Yi'ning<sup>1</sup> HE Long<sup>1</sup> YU Qunli<sup>1\*</sup> WANG Min<sup>1</sup> LUO Jin<sup>1</sup> HAN Guangxing<sup>2</sup>  
ZHU Xiaopeng<sup>3</sup> ZHANG Xinjun<sup>4</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Shandong Lorain Food Co., Ltd., Linyi 276600, China; 3. Gansu Wanhe Grass Livestock Industry Technology Development Co., Ltd., Zhangye 734000, China; 4. Ningxia Xiahua Meat Food Co., Ltd., Zhongwei 751700, China)

**Abstract:** To enhance the gelation ability of pudding from cowhide for its valorization, gelatinous pudding with high protein were prepared using cowhide gelatin by partially replacing with alternative compound gums (carrageenan and locust bean gum). With milk powder as raw material and carrageenan, locust bean gum and white sugar as auxiliary materials, the optimal formula of the gel pudding was determined based on a single-factor experiment and response surface method. Simultaneously, cowhide gelatin was added to replace part of the blended gums (carrageenan, locust bean gum), and the quality differences of the gel pudding before and after replacement are observed using textural properties and sensory scores as evaluation indicators. The results showed that the optimal ingredient formula of the cowhide gelatin partial replacement pudding was 7.50% milk powder, 4.50% sugar, 1.08% carrageenan, 0.72% locust bean gum with 0.20% cowhide gelatin. And the ratio of compound glue was  $m(\text{carrageenan}):m(\text{locust bean gum})=6:4$ . Compared with the traditional pudding, the hardness, elasticity, and sensory score of the pudding prepared under optimum conditions were increased by 2.45%, 8.23%, and 2.60%, respectively, and the nutritional value was higher. It provides a theoretical support for the high-value utilization of cowhide by improving the texture characteristics of pudding products.

**Keywords:** cowhide gelatin; carrageenan; locust bean gum; pudding

**基金项目:**国家“十四五”重点研发计划项目(2021YFD1600200);甘肃省科技计划项目(20YF3NA016);肉类加工四川省重点实验室开放基金项目(22-R-27)。

**通信作者:**余群力(1962—),男,博士,教授,博士研究生导师,主要从事畜产品加工研究。E-mail:yuqunlihl@163.com

**收稿日期:**2022-11-03 **修回日期:**2022-12-06

明胶是一种由胶原蛋白变性或水解而产生的天然高分子产物<sup>[1-2]</sup>,是一种具有重要功能性的生物聚合物<sup>[3]</sup>。明胶具有营养价值高、应用广泛等特点,现已广泛应用于食品、生物、医疗等领域<sup>[4-7]</sup>。在食品工业中,明胶是一种水溶性聚合物,其乳化作用强,能够有效抑制高蛋白质食品因酸性环境产生的凝聚反应,从而减轻乳制品等食品对消化系统的负担<sup>[8]</sup>。

此外,明胶可以作为一种配料来提高食品的弹性、稠度和稳定性<sup>[9]</sup>。生产明胶的主要原料有猪皮、牛皮、牛骨、鱼皮<sup>[10-11]</sup>。与牛皮明胶相比,鱼明胶的凝胶强度差距较大,而猪皮明胶受一些宗教因素的影响,部分地区不适宜使用,因此开发牛皮明胶有极大的潜力<sup>[12]</sup>。新鲜牛皮是指未经任何化学处理或机械加工的,直接从动物身上剥下的生牛皮<sup>[13]</sup>。牛皮作为一种常见的牛副产品,约占牛宰前总质量的 12.09%<sup>[14]</sup>,粗蛋白质约占牛皮干质量的 89.74%,其中胶原蛋白约占粗蛋白质总量的 85%<sup>[15]</sup>。俞兰秀<sup>[16]</sup>探讨了 10 种胶体对牛奶布丁的单一影响因素,证明明胶能够对牛奶布丁产生较好的凝胶作用。巫丽君等<sup>[17]</sup>通过对鱼胶进行改性,使其具备哺乳动物明胶的凝胶强度和流变性,并应用于食品保鲜材料的研究。Zhang 等<sup>[18]</sup>通过对明胶进行糖基化处理,增强了明胶的乳液稳定性,说明明胶在乳制品的生产及包装储藏中有潜在的应用价值。布丁作为一种休闲食品,因其口感和质地与果冻类似,但其营养价值却要高于果冻,从而深受消费者的喜爱。

作者通过单因素和响应面优化试验对凝胶型布丁的工艺进行优化,得到最佳配方。同时,研究牛皮明胶替代部分复配胶对凝胶型布丁的质构特性及感官评分的影响,为凝胶型布丁的开发和综合利用提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

新鲜牛皮:兰州小西湖市场;食品级卡拉胶:河南万邦实业有限公司;食品级刺槐豆胶:深圳新源生物科技有限公司;白砂糖:兰州市安宁区北京华联超市;食品级碳酸氢钠:兰州市安宁区北京华联超市;乳粉:内蒙古伊利实业集团股份有限公司;食品级牛皮明胶:郑州博远生物科技有限

公司。

### 1.2 仪器与设备

高压蒸汽灭菌锅:XY-YIDA-01 型,上海市信仪实业有限公司;电热恒温水浴锅:HHS(数显式)型,北京科伟永兴仪器有限公司产品;真空冷冻干燥机:YTLG-10A 型,上海市叶拓科技有限公司;食品级粉碎机:RRH-A750 型,永康市红太阳机电有限公司;质构仪:TA.XTC-18 型,天津创兴电子设备制造股份有限公司;电子天平:HX-202 型,慈溪市天乐衡器厂;自动凯氏定氮仪:K9840 型,济南海能仪器股份有限公司;涡旋混合器:SCI-VS 型,北京信钰仪器有限公司;匀浆机:FSH-2A 型,常州市亿能实验仪器厂;均化器:JC12-P3000 型,北京北信科仪分析仪器有限公司。

### 1.3 工艺流程及操作要点

#### 1.3.1 工艺流程

牛皮明胶制作工艺:新鲜牛皮→清洗→机械脱毛脱脂→切块→碳酸氢钠脱脂→高压、热水提取→过滤→冻干→粉碎→牛皮明胶。

布丁制作工艺:乳粉、白砂糖、复配胶混合均匀→热水溶解、均质→罐装→灭菌→低温保存。

#### 1.3.2 样品制备

牛皮明胶制备:流水冲洗新鲜牛皮后,机械脱毛脱脂,切成 1 cm×1 cm 小块,将处理后的牛皮放入烧杯中,加入 50 g/L 碳酸氢钠溶液,浸泡 6 h 进一步脱脂。取出牛皮用流水冲洗干净,将牛皮与蒸馏水按照料液比 1 g:4 mL 混合,并在高压蒸汽灭菌锅(0.1 MPa)中煮制 30 min 后取出,沸水浴 5 h,过滤胶液,冻干,研磨成粉,并置于常温下密封保存。

凝胶型布丁制备:根据预试验结果,称取一定质量的乳粉、白砂糖、卡拉胶、刺槐豆胶及牛皮明胶,加入水后在水浴条件下充分搅拌、溶解,得到布丁液。将布丁液装入容器中,密封、杀菌,最后放入 4 °C 冰箱中保存。

### 1.4 工艺优化试验

#### 1.4.1 单因素试验设计

根据预试验的结果,对复配胶、白砂糖、乳粉的添加质量分数进行单因素试验。

1)乳粉添加质量分数筛选:以水的质量计,在添加质量分数 2.00% 的复配胶(卡拉胶与刺槐豆

胶质量比 6:4)、质量分数 5.00% 的白砂糖条件下, 设置乳粉的添加质量分数分别为 6.00%、6.50%、7.00%、7.50%、8.00%, 对布丁感官进行评价, 确定乳粉的最佳添加质量分数。

2) 白砂糖添加质量分数筛选: 以水的质量计, 在添加质量分数 2.00% 的复配胶(卡拉胶与刺槐豆胶质量比 6:4)、质量分数 7.00% 的乳粉条件下, 设置白砂糖的添加质量分数分别为 3.00%、4.00%、5.00%、6.00%、7.00%, 对布丁感官进行评价, 确定白砂糖的最佳添加质量分数。

3) 复配胶配比筛选及添加质量分数筛选: 通过预试验, 固定其他配料的添加质量分数, 设计复配胶的总添加质量分数为 2.00%<sup>[19-21]</sup>, 对复配胶的配比进行筛选, 使用卡拉胶与刺槐豆胶的质量比分别为 9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6 进行单因素试验, 并对布丁进行感官评价和质构特性分析, 确定复配胶的最佳配比。再以水的质量计, 在添加质量分数 7.00% 的乳粉、质量分数 5.00% 的白砂糖的条件下, 设置复配胶的不同添加质量分数: 0.50%、1.00%、1.50%、2.00%、2.50%, 并对布丁进行感官评价, 确定复配胶的最佳添加质量分数。

#### 1.4.2 响应面试验设计

在单因素试验的基础上, 将乳粉添加质量分数(A)、白砂糖添加质量分数(B)、复配胶添加质量分数(C)作为影响布丁品质的 3 个因素, 感官评分作为布丁响应面值, 采用 Box-Behnken 模型, 进行三因素三水平的优化试验, 对凝胶型布丁工艺参数进行优化, 试验设计水平及编码见表 1。

表 1 试验设计水平及编码

Table 1 Experimental design level and coding

水平	因素		
	A	B	C
-1	7.00	4.00	1.80
0	7.50	5.00	2.00
1	8.00	6.00	2.20

## 1.5 牛皮明胶理化特性

### 1.5.1 牛皮明胶凝胶强度的测定

参照区兑鹏<sup>[22]</sup>的方法并稍加修改。分别称取自制牛皮明胶与市售牛皮明胶, 配成质量分数为 6.67% 的明胶溶液, 置于 4 °C 凝固 16 h 后取出, 立

即用质构仪测定, 参数为: P/0.5 型探头, 下降速度 1 mm/s, 压入胶冻表面以下 4 mm, 所施加的力即为凝胶强度。

### 1.5.2 乳化活性指数和乳化稳定性指数的测定

参照张志颖等<sup>[23]</sup>的方法并适当调整。将质量分数 3% 的明胶溶液和花生油以体积比 3:1 混合, 添加到 50 mL 离心管中, 使用匀浆机, 以 10 000 r/min 剪切乳化 1 min。乳化后, 在 0 min 和 10 min 时用体积分数 0.1% 的 SDS 稀释乳化液至 100 倍, 再使用涡旋混合器彻底混合 10 s, 以 0.1% 的 SDS 作为空白对照, 在 500 nm 下测定吸光度。分别按照公式(1)和公式(2)计算乳化活性指数和乳化稳定性指数。

$$Y = \frac{2 \times 2.303 \times A_0 \times D_F}{I \times \varphi \times C \times 1000} \quad (1)$$

式中:

Y——乳化活性指数, m<sup>2</sup>/g;

A<sub>0</sub>——500 nm 处乳化液在 0 min 的吸光度;

D<sub>F</sub>——稀释倍数;

I——比色皿的路径长度, mm;

φ——油相体积分数, %;

C——水相中的蛋白质质量浓度, mg/mL。

$$L = \frac{A_0 \times \Delta t}{A_0 - A_{10}} \quad (2)$$

式中:

L——乳化稳定性指数, min;

A<sub>0</sub>——乳化液在 0 min 时的吸光度;

A<sub>10</sub>——乳化液在 10 min 时的吸光度;

Δt——10 min。

### 1.5.3 起泡性及泡沫稳定性的测定

参照张晓琳等<sup>[24]</sup>的方法并稍加修改。将质量分数 3% 的明胶溶液加到 100 mL 圆筒中, 并使用均化器在室温下以 10 000 r/min 均化 1 min, 再将样品静置 30 min。分别按照公式(3)和公式(4)计算起泡性和泡沫稳定性。

$$F_1 = (V_T - V_0) / V_0 \times 100\% \quad (3)$$

式中:

F<sub>1</sub>——起泡性, %;

V<sub>T</sub>——搅打后的总体积, mL;

V<sub>0</sub>——搅打前的原始体积, mL。

$$F_2 = (V_i - V_0) / V_0 \times 100\% \quad (4)$$

式中:

$F_2$ ——泡沫稳定性, %;

$V_t$ ——在室温下放置不同时间后的体积, mL;

$V_0$ ——搅打前的原始体积, mL。

## 1.6 牛皮明胶替代部分复配胶对布丁产品品质的影响

在 Box-Behnken 试验优化的基础上, 得到凝胶型布丁的最优制作工艺, 通过感官评价及质构特性研究不同替代质量分数 (10%、20%、30%、40%、50%) 牛皮明胶替代复配胶对布丁的影响, 优化牛皮明胶的最佳替代质量分数。

## 1.7 产品品质的测定

### 1.7.1 感官评价

参照 GB/T 19883—2018《果冻》、GB 25191—2010《食品安全国家标准 调制乳》制定评价标准, 评分为百分制。感官评价赋分见表 2。

表 2 感官评价赋分表

Table 2 Sensory evaluation scores

评定项目	评定标准	感官评分
外观 (30 分)	布丁凝固完全, 成型好, 质地软硬适中	21~30
	布丁凝固完全, 但太软或太硬,	11~20
	布丁凝固不完全, 有分层	0~10
口感 (30 分)	嫩滑爽口, 弹性适中, 口感较好	21~30
	口感适中, 无明显颗粒感, 布丁弹性适中	11~20
	口感粗糙, 布丁组织松软或过硬, 有明显颗粒感	0~10
风味 (40 分)	香甜可口, 无异味, 牛奶香味浓郁	28~40
	香甜基本适口, 牛奶香味不足或过浓	14~27
	甜味过重或过轻, 有突兀的胶味或腥味	0~13

### 1.7.2 质构特性的测定

参照 Mihaylova 等<sup>[25]</sup>、刘怡等<sup>[26]</sup>的方法并稍加修改。采用质构仪进行测定, 具体测试参数为: P/36R 探头, 测前速度 2 mm/s, 测试速度 1 mm/min, 测后速度 1 mm/min, 压缩程度 50%, 停留时间 5 s, 触发力 3 g, 测距 10 cm。

### 1.7.3 理化指标的检测

将替代后的布丁与未替代的布丁进行理化指标检测和微生物指标检测。

1) 可溶性固形物的测定: 可溶性固形物的测定参照 GB/T 19883—2018《果冻》中可溶性固形物的测定方法。

2) 蛋白质质量分数的测定: 蛋白质质量分数测定参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准

食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法进行测定。

### 1.7.4 微生物指标测定

1) 菌落总数测定: 参照 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》中的方法测定菌落总数。

2) 大肠杆菌数测定: 根据 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》的方法对大肠菌群数进行测定。

## 1.8 数据分析

利用 Microsoft Office Excel 2019 和 Origin 2018 对试验所得数据进行处理和作图, 用 Design-Expert 13 软件的 Box-Behnken 进行响应曲面设计及优化试验分析, 使用 IBM SPSS Statistic 20.0 进行多因素方差分析 (Duncan 法,  $P < 0.05$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单因素试验

#### 2.1.1 乳粉添加质量分数对布丁的影响

乳粉添加质量分数对布丁感官的影响见图 1(a)。随着乳粉添加质量分数的增加, 布丁感官评分呈现先上升后下降的趋势。当其他因素固定不变, 乳粉的添加质量分数为 7.50% 时, 布丁的感官评分最高。当乳粉的添加质量分数较少时, 布丁的乳制品风味不足导致感官评分降低, 当乳粉的添加质量分数较高时, 布丁黏度增大, 过于黏稠且乳制品风味过重, 从而导致感官评分下降。

#### 2.1.2 白砂糖添加质量分数对布丁的影响

白砂糖添加质量分数对布丁感官的影响见图 1(b)。随着白砂糖添加质量分数的增加, 布丁感官评分呈现先上升后下降的趋势, 所得最佳白砂糖添加质量分数的范围为 4.00%~6.00%。当其他因素相同, 白砂糖添加质量分数为 5.00% 时, 布丁的感官评分最高。当白砂糖的添加质量分数较少时, 布丁的甜度不足使感官评分降低。当白砂糖的添加质量分数较高时, 布丁太甜且易产生沉淀, 导致感官评分下降。

#### 2.1.3 复配胶的配比筛选及其添加质量分数对布丁的影响

不同凝胶对布丁产品的色泽、口感、质地以及风味都有较大影响, 因此首先对卡拉胶、果胶、黄原胶、刺槐豆胶、魔芋胶进行单一使用。结果表明, 单一使用卡拉胶成胶性好, 但是胶体偏硬、偏脆、易断

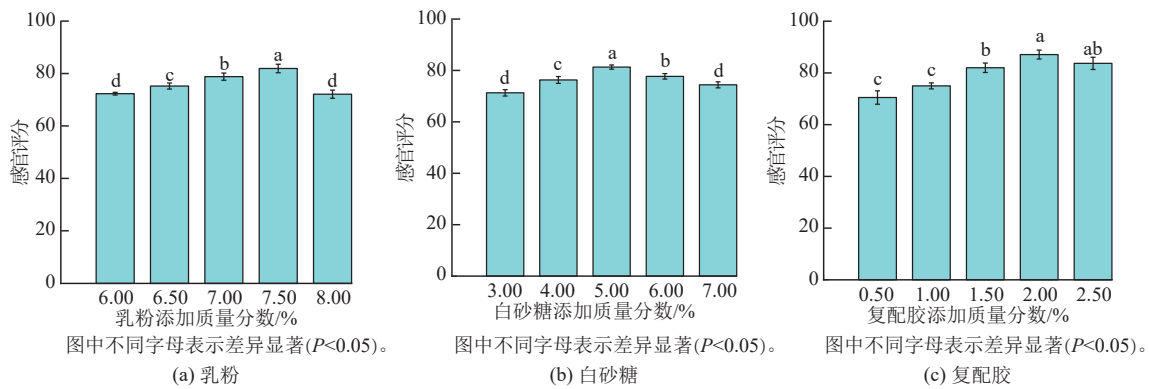


图1 各单因素对布丁感官评分的影响

Fig. 1 Effect of individual factor on the sensory score of pudding

裂;单一使用果胶、黄原胶、刺槐豆胶、魔芋胶都太黏稠且成胶性差,果胶和刺槐豆胶的胶味较浓,这一结果与相关研究一致<sup>[27]</sup>。

对上述胶体进行复配,结果表明:卡拉胶+果胶的成胶性较差,黏度较大;卡拉胶+魔芋胶、卡拉胶+黄原胶的溶解性较差,需提前复水溶解;卡拉胶+刺槐豆胶的溶解性适中,且溶解后复配胶的胶味得到了一定改善,成胶性好,黏稠度适中,这与冯李院等<sup>[20]</sup>的结论相近。

综上,选用卡拉胶与刺槐豆胶进行初步的复配胶配比筛选。不同复配胶配比对布丁质构的影响见表3,当卡拉胶与刺槐豆胶的质量比为6:4,其他因素相同时,布丁的硬度和咀嚼性最佳,这与陈璐等<sup>[28]</sup>的结论一致。

复配胶添加质量分数对布丁感官的影响见图1(c)。在其他因素不变的情况下,随着复配

量分数范围为1.50%~2.50%。当其他因素相同时,复配胶添加质量分数为2.00%时布丁的感官评分最高。当复配胶添加质量分数较少时,布丁的弹性不足或难以成型,导致感官评分降低。当复配胶的添加质量分数较多时,布丁的弹性太强,口感太差且易产生絮状沉淀导致感官评分下降。

## 2.2 响应面法对布丁制作工艺的优化

利用Design-Expert软件,以感官得分( $Y$ )为响应值,对试验数据进行二次多项回归拟合,得到布丁制作工艺的回归方程:

$$Y=90.76+0.755\ 0A+0.717\ 5B+0.312\ 5C-0.067\ 5AB+0.227\ 5AC-0.407\ 5BC-3.39A^2-2.76B^2-1.12C^2。$$

响应面试验结果见表4,试验选用的回归模型极显著( $P < 0.000\ 1$ ),失拟项中 $P$ 值为0.549 2( $P > 0.05$ );模型回归系数 $R^2$ 为0.990 8,决定系数 $R^2_{Adj}$ 为0.978 9,说明选用的模型与实际相契合,此方程对试验拟合度较好,误差较小,能较好地反映出各因素与布丁感官评分之间的关系。3个因素中对布丁感官评分影响最为显著的是乳粉添加质量分数,白砂糖添加质量分数次之。比较3个因素的 $F$ 值可知,在试验范围内各因素对布丁产品感官影响的顺序依次是 $A$ (乳粉添加质量分数) $> B$ (白砂糖添加质量分数) $> C$ (复配胶添加质量分数)。

综合单因素及响应面试验结果,得到布丁产品最佳配方为乳粉质量分数7.47%、白砂糖质量分数4.49%、复配胶质量分数2.02%,预测感官评分为89.66。为便于实际应用操作,将工艺参数调整为

表3 不同复配胶配比对布丁质构的影响

Table 3 Effects of different proportions of compound gums on pudding texture properties

$m$ (卡拉胶): $n$ (刺槐豆胶)	硬度/g	弹性	咀嚼性
9:1	108.296±4.36 <sup>bc</sup>	0.921±0.06 <sup>a</sup>	35.711±1.38 <sup>d</sup>
8:2	115.842±1.37 <sup>ab</sup>	0.835±0.03 <sup>a</sup>	40.676±1.48 <sup>c</sup>
7:3	109.804±5.06 <sup>bc</sup>	0.742±0.03 <sup>b</sup>	48.004±1.73 <sup>b</sup>
6:4	126.594±4.38 <sup>a</sup>	0.693±0.02 <sup>cd</sup>	53.593±0.99 <sup>a</sup>
1:1	100.212±7.73 <sup>c</sup>	0.627±0.01 <sup>d</sup>	43.266±2.40 <sup>c</sup>

注:硬度、弹性、咀嚼性表示为平均值±标准差;同一列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

胶添加质量分数的增加,布丁感官评分呈现先上升后下降的趋势,所得复配胶的最佳添加质

乳粉质量分数 7.50%、白砂糖质量分数 4.50%、复配胶质量分数 2.00%，验证试验得到产品感官评分为 88.34，与预测值相近，说明回归方程可较好反映各因素对布丁感官评分的影响。

表 4 布丁二次回归方程模型方差分析

Table 4 Analysis of variance of pudding products using quadratic regression equation model

方差来源	总方差	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	104.22	9	11.58	83.35	<0.000 1	**
A	4.56	1	4.56	32.82	0.000 7	
B	4.12	1	4.12	29.64	0.001 0	
C	0.78	1	0.78	5.62	0.049 5	
AB	0.02	1	0.02	0.13	0.727 9	
AC	0.21	1	0.21	1.49	0.261 7	
BC	0.66	1	0.66	4.78	0.065 0	
A <sup>2</sup>	48.38	1	48.38	348.23	<0.000 1	**
B <sup>2</sup>	32.07	1	32.07	230.82	<0.000 1	**
C <sup>2</sup>	5.28	1	5.28	38.00	0.000 5	*
残差	0.97	7	0.14			
失拟项	0.37	3	0.12	0.81	0.549 2	不显著
纯误差	0.60	4	0.15			
总和	105.20	16				

注：\*代表差异显著( $P<0.05$ )；\*\*代表差异极显著( $P<0.01$ )。

### 2.3 自制明胶与市售明胶数据的显著性

自制牛皮明胶的凝胶强度为 371.8 g，与市售牛皮明胶相比提高了 40.4 g，乳化活性指数及乳化稳定性指数分别提高了 0.56 m<sup>2</sup>/g 和 2.7 min；而起泡性和泡沫稳定性差异不明显，见表 5。以上结果表明，自制牛皮明胶较市售牛皮明胶有更好的凝胶特性，这与 He 等<sup>[29]</sup>的报道一致。与传统工艺相

比，高压辅助制备牛皮明胶可以显著缩短加工时间，且所提取的明胶具有相似的物理、化学和功能性性质。同时，高压处理导致牛皮的结构被破坏，从而增强了胶凝过程中明胶结构的重排，使其具有更好的凝胶特性。除此之外，高压辅助提取作为一种低成本、高效率的提取方法，在大规模工业生产和牛皮明胶质量控制方面显示出巨大潜力。

表 5 牛皮明胶理化特性

Table 5 Physical and chemical characteristics of cowhide gelatin

明胶种类	凝胶强度/g	乳化性/(m <sup>2</sup> /g)	乳化稳定性指数/min	起泡性/%	泡沫稳定性/%
自制牛皮明胶	371.80±4.90	6.87±0.10	97.6±0.80	5.04±0.06	2.34±0.04
市售牛皮明胶	331.40±9.50	6.31±0.12	94.9±0.40	5.26±0.08	2.71±0.08

### 2.4 牛皮明胶替代部分复配胶

#### 2.4.1 牛皮明胶替代部分复配胶对质构的影响

参照 2.2 中凝胶型布丁的最佳配方：乳粉质量分数 7.50%、白砂糖质量分数 4.50%、复配胶质量分数 2.00%（卡拉胶与刺槐豆胶质量比 6:4），将最佳配方中的复配胶部分替换成牛皮明胶后，其质构变化见表 6。随着替代质量分数的增加，布丁的硬度呈现逐渐下降的趋势，弹性呈现逐渐上升的趋势，咀嚼性也呈现逐渐上升的趋势。在替代质量分数为 10% 和 20% 时，布丁硬度降低的趋势与

替代质量分数为 30%、40%、50% 时相比较小。因此，在替代质量分数为 20% 时，硬度变化较小，同时弹性和咀嚼性与替代前的质构相比，具有更高的强度，在一定程度上增强了布丁产品的稳定性。在此条件下制得的布丁与传统布丁相比，硬度、弹性和感官评分分别提高了 2.45%、8.23%、2.60%。参照李晓艺等<sup>[30]</sup>的研究结果，出现这一现象可能是由于明胶与卡拉胶以不同配比混合后，通过氢键发生了不同程度的交互作用，从而使得复配胶体系的质构特性发生变化，也可能是由于产品中

不同阳离子的浓度对复配胶中胶体的微观结构及流变特性产生了影响<sup>[31-32]</sup>。

表6 牛皮明胶替代部分复配胶所制布丁的质构变化

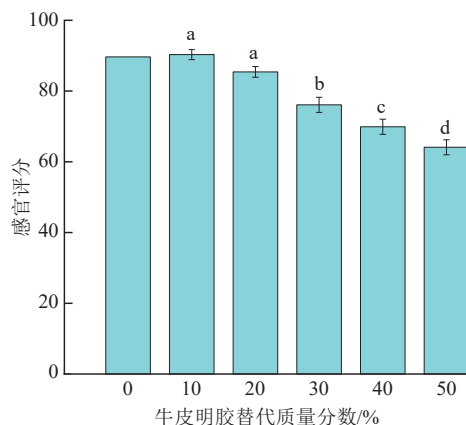
Table 6 Texture properties of pudding made from cowhide gelatin instead of partial compound gum

牛皮明胶 替代质量分数/%	硬度/g	弹性	咀嚼性
10	129.70±6.96 <sup>b</sup>	0.75±0.02 <sup>c</sup>	50.84±1.23 <sup>a</sup>
20	138.75±1.05 <sup>a</sup>	0.79±0.01 <sup>d</sup>	48.06±1.09 <sup>a</sup>
30	133.69±2.02 <sup>ab</sup>	0.83±0.01 <sup>c</sup>	38.06±0.91 <sup>b</sup>
40	127.64±3.41 <sup>bc</sup>	0.88±0.02 <sup>b</sup>	35.43±1.80 <sup>b</sup>
50	115.61±1.88 <sup>c</sup>	0.91±0.01 <sup>a</sup>	30.77±4.52 <sup>c</sup>

注:硬度、弹性、咀嚼性表示为平均值±标准差;同一列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

#### 2.4.2 牛皮明胶替代部分复配胶对布丁感官评分的影响

随着牛皮明胶替代质量分数的增加,布丁的感官评分呈现先上升后下降的趋势,见图2。当牛皮明胶替代质量分数为20%时,感官评分下降的趋势比其他3个替代质量分数的下降趋势小,特别是在牛皮明胶替代质量分数为10%时,布丁的感官变化最小,且与最佳配方制成的布丁相比,感官评分略有上升。



不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

图2 不同牛皮明胶替代质量分数对布丁感官的影响

Fig. 2 Effects of different gelatin substitution mass fractions on the sensory score of pudding

#### 2.5 牛皮明胶替代部分复配胶所制布丁的理化指标

所表7所示,牛皮明胶替代复配胶所制布丁中的蛋白质质量分数为6.5%,可溶性固形物的质量分数为17.8%,均符合国家标准。

#### 2.6 牛皮明胶替代部分复配胶所制布丁的微生物指标

牛皮明胶替代部分复配胶所制布丁的微生物指标为菌落总数、大肠菌群数,如表7所示,其检出量分别为26 CFU/g、3 MPN/100 g,均符合国家标准。

表7 牛皮明胶替代部分复配胶所制布丁各项质量指标

Table 7 Quality indicators of pudding made from cowhide gelatin instead of partial compound gum

检测项目	蛋白质质量 分数/%	可溶性固形 物质量分数/%	细菌总数/ (CFU/g)	大肠菌群数/ (MPN/100g)
检测值	6.5	17.8	26	3
标准要求	≥1.0	≥15.0	≤100	≤10

### 3 结论

以卡拉胶与刺槐豆胶作为复配胶的凝胶型布丁为研究对象,研究以牛皮明胶替代部分复配胶后对凝胶型布丁的质构及感官的影响。结果显示,以水的质量计,当添加乳粉质量分数7.50%、白砂糖质量分数4.50%、复配胶(卡拉胶与刺槐豆胶)质量比6:4)质量分数2.00%时,所得产品的感官评分最佳,质构特性最好。在此基础上,当牛皮明胶替代质量分数为10%时,布丁质构得到进一步改善。替代后的高蛋白质布丁的感官得分与替代前的感官和质构相近,在可接受范围内。结果表明,牛皮明胶替代部分复配胶的布丁最佳配方为:乳粉质量分数7.50%、白砂糖质量分数4.50%、卡拉胶质量分数1.08%、刺槐豆胶质量分数0.72%、牛皮明胶质量分数0.20%。按照此配方所制布丁的感官评分和质构特性与替代前的布丁相近,同时蛋白质质量分数高于替代前的布丁,具有更高的营养价值。该研究为布丁产品的质构特性改善和牛皮高值化利用提供了理论依据。

#### 参考文献

- [1] CAI L Y, NIAN L Y, CAO A L, et al. Effects of xylitol and stevioside on the physical and rheological properties of gelatin from cod skin[J]. Food Science and Technology International, 2018, 24(8): 639-650.
- [2] TRINDADE ALFARO A, FONSECA G G, BALBINOT E, et al. Yield, viscosity, and gel strength of wami tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum*) skin gelatin:

- optimization of the extraction process[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2014, 23(3):765-773.
- [3] GÓMEZ-ESTACA J, GÓMEZ-GUILLÉN M C, FERNÁNDEZ-MARTÍN F, et al. Effects of gelatin origin, bovine-hide and tuna-skin, on the properties of compound gelatin-chitosan films[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(6):1461-1469.
- [4] 贾雪婷, 孙佳明, 张辉. 从生物体中获得胶原蛋白的研究进展[J]. *吉林中医药*, 2013, 33(10):1034-1035, 1048.
- JIA X T, SUN J M, ZHANG H. Research progress in obtaining collagen from organisms[J]. *Jilin Journal of Chinese Medicine*, 2013, 33(10):1034-1035, 1048. (in Chinese)
- [5] 孙爱平. 牦牛皮胶原蛋白的提取工艺研究[J]. *生物化工*, 2021, 7(5):50-53.
- SUN A P. Study on extraction technology of collagen from yak skin [J]. *Biological Chemical Engineering*, 2021, 7(5):50-53. (in Chinese)
- [6] 肖瑞祺. 不同物种皮肤来源的胶原蛋白和糖胺聚糖的结构与免疫活性研究[D]. 济南: 山东大学, 2021:1-92.
- [7] HANJABAM M D, KANNAIYAN S K, KAMEI G, et al. Optimisation of gelatin extraction from Unicorn leatherjacket (*Aluterus monoceros*) skin waste: response surface approach [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(2):976-983.
- [8] 宋健. 乳制品明胶检测技术研究进展[J]. *中国乳品工业*, 2021, 49(11):37-40.
- SONG J. Analysis on the development of detection technology of gelatin for dairy products[J]. *China Dairy Industry*, 2021, 49(11):37-40. (in Chinese)
- [9] DAS M P, SUGUNA P R, PRASAD K, et al. Extraction and characterization of gelatin: a functional biopolymer[J]. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2017, 9(9):239-42.
- [10] KUAN Y H, NAFCHI A M, HUDAN, et al. Comparison of physicochemical and functional properties of duck feet and bovine gelatins[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(5):1663-1671.
- [11] YANG H J, WANG H F, HUANG M, et al. Repurposing fish waste into gelatin as a potential alternative for mammalian sources: a review [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022, 21(2):942-963.
- [12] SAMATRA M Y, NOOR N Q I M, RAZALI U H M, et al. Bovidae-based gelatin: extractions method, physicochemical and functional properties, applications, and future trends[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022, 21(4):3153-3176.
- [13] 李天婵, 张松山, 张志胜, 等. 3种牛皮加热过程中食用品质变化规律及其胶原蛋白结构差异性[J]. *肉类研究*, 2020, 34(12):18-23.
- LI T C, ZHANG S S, ZHANG Z S, et al. Changes in eating quality and differences in collagen structure of cattle and yak hide during heating[J]. *Meat Research*, 2020, 34(12):18-23. (in Chinese)
- [14] 高艳蕾, THEODORA O, 杨超, 等. 超高压技术辅助优化牛皮胶原低脂牛肉饼工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(2):86-93.
- GAO Y L, THEODORA O, YANG C, et al. Ultra-high pressure technology assists optimizing the process of cowhide collagen low-fat beef patties [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(2):86-93. (in Chinese)
- [15] 吴茜, 刘芳芳, 苗宇, 等. 牦牛皮在食品领域的利用现状及应用前景分析[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(13):305-309.
- WU Q, LIU F F, MIAO Y, et al. Analysis of utilization status and application prospect of yak skin in food field [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(13):305-309. (in Chinese)
- [16] 俞兰秀. 亲水胶体在牛奶布丁中的应用[J]. *食品工业*, 2015, 36(7):116-120.
- YU L X. Application of hydrophilic colloids in milk pudding[J]. *The Food Industry*, 2015, 36(7):116-120. (in Chinese)
- [17] 巫丽君, 黄邵丰, 周涛, 等. 鱼明胶改性技术及其产品在食品包装中应用研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(21):341-348.
- WU L J, HUANG S F, ZHOU T, et al. Research process on fish gelatin modification technologies and its application in food packaging [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(21):341-348. (in Chinese)
- [18] ZHANG Y Y, XU J M, ZHANG T, et al. Effect of carbon numbers and structures of monosaccharides on the glycosylation and emulsion stabilization ability of gelatin[J]. *Food Chemistry*, 2022, 30(389):133128.
- [19] 潘晓筱, 郑晓玲, 闫洁, 等. 橘皮桃胶果冻制备的关键技术[J]. *科技创新与应用*, 2022, 12(22):36-39.
- PAN X X, ZHENG X L, YAN J, et al. Key technology of preparation of orange peel peach gum jelly[J]. *Technology Innovation and Application*, 2022, 12(22):36-39. (in Chinese)
- [20] 冯李院, 侯洪波, 施丽芬, 等. 木糖醇单一胶南瓜果冻的研制[J]. *食品工业*, 2022, 43(6):203-207.
- FENG L Y, HOU H B, SHI L F, et al. Preparation of xylitol & single gel agent pumpkin jelly[J]. *The Food Industry*, 2022, 43(6):203-207. (in Chinese)



- [21] 张林婷, 韩维, 许兴华, 等. 杏鲍菇微粉果冻的研制及品质评价[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(11): 135-141.  
ZHANG L T, HAN W, XU X H, et al. Preparation and quality evaluation of *Pleurotus eryngii* micro powder jelly[J]. Food Research and Development, 2022, 43(11): 135-141. (in Chinese)
- [22] 区兑鹏. 鱼皮明胶及其复配薄膜的研究与应用[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2022: 1-108.
- [23] 张志颖, 张琳璐, 白英, 等. 提取方法对亚麻籽胶提取率及理化性质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(18): 219-226.  
ZHANG Z Y, ZHANG L L, BAI Y, et al. Effects of extraction methods on the extraction rate and physicochemical properties of flaxseed gum [J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(18): 219-226. (in Chinese)
- [24] 张晓琳, 刘颖, 窦博鑫, 等. TGase改善SPI起泡性及泡沫稳定性研究[J]. 农产品加工, 2020, (2): 13-17.  
ZHANG X L, LIU Y, DOU B X, et al. TGase improves foaming capacity and foaming stability of SPI[J]. Farm Products Processing, 2020(2): 13-17. (in Chinese)
- [25] MIHAYLOVA D, POPOVA A, GORANOVA Z, et al. The perspective of nectarine fruit as a sugar substituent in puddings prepared with corn and rice starch[J]. Foods, 2021, 10(11): 2563.
- [26] 刘怡, 刘帅, 李颖, 等. 果醋酸奶双层布丁的研制[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(16): 5668-5675.  
LIU Y, LIU S, LI Y, et al. Development of double-layer pudding with fruit vinegar yogurt[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(16): 5668-5675. (in Chinese)
- [27] 丰暑敏, 张波, 李丽, 等. 红葡萄酒夹心果冻的制作工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(24): 144-150.  
FENG S M, ZHANG B, LI L, et al. Processing optimization of red wine sandwich jelly[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(24): 144-150. (in Chinese)
- [28] 陈璐, 王兴娜, 李文芳, 等.  $\kappa$ -卡拉胶与刺槐豆胶复配胶的流变学特性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 108-111, 115.  
CHEN L, WANG X N, LI W F, et al. Study on rheological properties of the  $\kappa$ -carrageenan gum and locust bean gum complex[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(22): 108-111, 115. (in Chinese)
- [29] HE L, GAO Y F, HAN L, et al. Enhanced gelling performance of oxhide gelatin prepared from cowhide scrap by high pressure-assisted extraction[J]. Journal of Food Science. 2021, 86(6): 2525-2538.
- [30] 李晓艺, 苏现波, 韩霜, 等. 大目金枪鱼皮明胶与 $\kappa$ -卡拉胶复配胶凝胶特性探究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(19): 13-19.  
LI X Y, SU X B, HAN S, et al. Characteristics analysis of the compound gel of big-eye tuna skin gelatin and  $\kappa$ -carrageenan gel[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(19): 13-19. (in Chinese)
- [31] 康莎莎, 辛颖, 陈复生. 添加物对明胶改性作用研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 225-228.  
KANG S S, XIN Y, CHEN F S. Progress on effects of different additives on gelatin modification[J]. Food and Machinery, 2016, 32(5): 225-228. (in Chinese)
- [32] THRIMAWITHANA T R, YOUNG S, DUNSTAN D E, et al. Texture and rheological characterization of kappa and iota carrageenan in the presence of counter ions [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 82(1): 69-77.  
(责任编辑: 闫林红)