

# 基于响应面法的牛蹄筋低压涨发工艺优化

董芝杰

(江苏旅游职业学院 烹饪工艺与营养学院, 江苏 扬州 225127)

**摘要:** 将涨发工艺与低压技术相结合, 以干制牛蹄筋为研究对象, 将其在低压环境下进行涨发处理。在单因素试验基础上, 选取压力值、保压时间、保压温度 3 因素 3 水平进行中心组合试验, 建立胶原蛋白含量的二次回归方程, 通过响应面分析得出低压环境下牛蹄筋的最佳涨发工艺。结果表明: 当压力值 30 kPa、保压时间 91 min、保压温度 74℃ 时涨发效果最好, 其涨发牛蹄筋的胶原蛋白含量高达 13.17%。

**关键词:** 牛蹄筋; 低压涨发; 响应面法; 烹饪工艺

中图分类号: TS 972.125.1

文献标识码: A

文章编号: 2095-8730(2019)01-0045-04

牛蹄筋是牛脚掌部位的块状筋腱, 新鲜牛蹄筋因不易运输与储存, 通常将其脱水干制后保藏。<sup>[1]</sup>干制牛蹄筋因组织坚硬, 并不符合食用要求, 需先进行涨发加工。<sup>[2]</sup>目前, 有关干制牛蹄筋的涨发方式较多, 较为常见的主要有油发、水发、碱发、混合涨发等。牛蹄筋的主要蛋白成分是胶原蛋白, 其含量的高低是衡量牛蹄筋营养价值的重要指标。<sup>[3]</sup>综合现有文献, 有关干制牛蹄筋的低压涨发工艺鲜有研究。本试验以牛蹄筋中的胶原蛋白含量为响应值, 探究涨发压力值、保压时间、保压温度对胶原蛋白含量的影响, 获得低压涨发牛蹄筋的最佳工艺条件, 以期为后续对干制牛蹄筋低压涨发工艺的深入研究提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

干制牛蹄筋: 广州众珍元贸易有限公司; 浓硫酸(AR): 上海虹光化工厂; 浓盐酸(GR)、氢氧化钠(AR)、氯胺 T(AR)、高氯酸(AR): 中国恒利试剂厂; 甲基红(AR)、二甲基氨基苯甲醛(AR): 南京天芯化工; 羟脯氨酸标准液(GR): 河北冀海生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

755S 型紫外可见分光光度计: 上海棱光技术有限公司; BS210S(1/10 000) 电子分析天平: 北京赛多利斯仪器系统有限公司; Grant 低压烹饪

机: 西班牙 ICC 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 样品前处理

洗净干制牛蹄筋表面脏物, 并剔除可见脂肪, 晾干后称重, 于蒸馏水中浸泡 24 h, 沥水待用。

#### 1.3.2 低压处理

将浸泡好的牛蹄筋真空包装后置于低压烹饪机中, 并加入 2 L 蒸馏水, 通过控制压力值、保压时间、保压温度对蹄筋样品进行低压处理, 待样品完全膨胀饱满软糯时取出, 冷却至室温(20 ± 2)℃ 待用。

#### 1.3.3 胶原蛋白含量的测定

牛蹄筋中胶原蛋白含量的测定按照 CHANG 等<sup>[4]</sup>的方法进行。样品经过消化后, 消化液中羟脯氨酸含量测定按照 GB/T 9695.23—2008 的方法进行。

#### 1.3.4 单因素实验

试验以牛蹄筋胶原蛋白含量为考察指标, 分别对涨发压力值( $X_1$ )、保压时间( $X_2$ )、保压温度( $X_3$ )进行单因素试验。在此基础上, 根据 Box-Behnken 中心组合试验设计原理,<sup>[5]</sup>进行 3 因素 3 水平的响应面试验, 确定低压环境下的最佳涨发条件。试验因素水平见表 1。

#### 1.3.5 数据处理

数据用平均值 ± 标准差表示, 采用 Design-Expert 8.0.5 软件进行响应面分析。

收稿日期: 2018-12-05

作者简介: 董芝杰(1984-) 男, 山西临汾人, 江苏旅游职业学院烹饪工艺与营养学院讲师, 从事烹饪专业理论与实践研究。

表1 响应面试验因素水平

水平	$X_1$ (kPa)	$X_2$ (min)	$X_3$ (°C)
1	20	80	70
2	30	90	75
3	40	100	80

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验

#### 2.1.1 涨发压力对牛蹄筋胶原蛋白含量的影响

在85°C条件下涨发90 min,比较不同压力值下牛蹄筋的胶原蛋白含量,结果见图1。由图1可知,在20~40 kPa的压力范围内,蹄筋胶原蛋白含量无明显差异( $P > 0.05$ )。在40~70 kPa的压力范围内,胶原蛋白含量降低明显( $P < 0.05$ )。由于在20 kPa压力下达最大值13.26%,在70 kPa的压力值下达最小值11.68%。因此,压力值以选用20 kPa为宜。

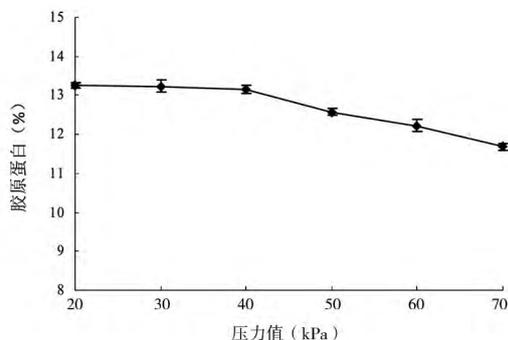


图1 涨发压力值对蹄筋胶原蛋白含量的影响

#### 2.1.2 保压时间对牛蹄筋胶原蛋白含量的影响

在压力值为20 kPa、85°C条件下涨发,比较不同保压时间下蹄筋胶原蛋白含量,结果见图2。

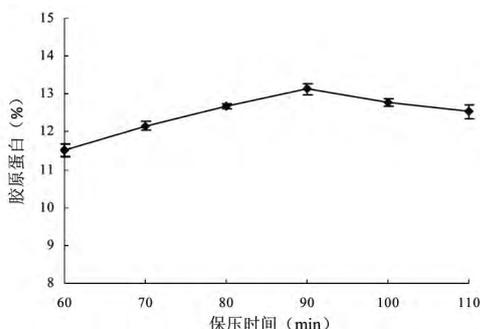


图2 保压时间对牛蹄筋胶原蛋白含量的影响

由图2可知,在保压时间为60~90 min时,蹄筋胶原蛋白含量随着时间的延长而升高,可能跟蛋白质的溶胀程度有关,在同等条件下蛋白质

的溶胀程度越大,胶原蛋白含量越高。在保压时间为90~120 min范围内,蹄筋胶原蛋白含量随着时间的延长而有所降低。在保压时间为90 min时,蹄筋胶原蛋白含量达最大值13.13%。因此,保压时间以选用90 min为宜。

#### 2.1.3 保压温度对蹄筋胶原蛋白含量的影响

在压力值为20 kPa条件下涨发90 min,比较不同保压温度下蹄筋胶原蛋白含量,结果见图3。由图3可知,在保压温度为65~75°C时,蹄筋胶原蛋白含量逐渐升高。在75~90°C时,蹄筋胶原蛋白含量逐渐降低,保压温度为75°C时,蹄筋胶原蛋白含量达最大值13.21%。因此,保压温度以选择75°C为宜。

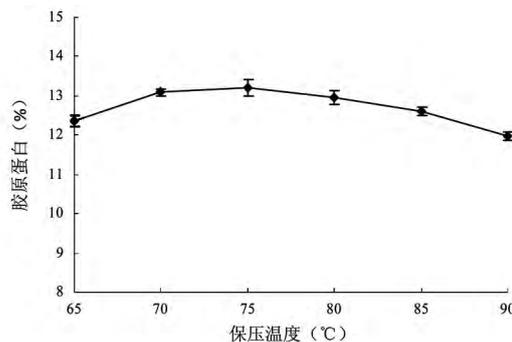


图3 保压温度对蹄筋胶原蛋白含量的影响

### 2.2 响应面优化模型的建立与显著性分析

经响应面中心组合试验分析,可得胶原蛋白含量( $Y$ )为响应值,以涨发压力值( $X_1$ )、保压时间( $X_2$ )、保压温度( $X_3$ )为自变量的多元二次回归方程: $Y = 13.32 - 0.10X_1 + 0.064X_2 - 0.044X_3 + 0.092X_1X_2 + 0.032X_1X_3 + 0.045X_2X_3 - 0.37X_1^2 - 0.44X_2^2 - 0.24X_3^2$ 。

由表2、表3可知,回归模型的 $P$ 值 $< 0.0001$ ,且失拟项不显著( $P > 0.05$ ),相关系数 $R^2$ 高达0.9964,具有极显著的统计学意义,能较高程度反映牛蹄筋胶原蛋白含量与各因素之间的关系。此外,设定的3个单因素对蹄筋的胶原蛋白含量均有极显著影响( $P < 0.01$ )。各因素对胶原蛋白影响的主次顺序为 $X_1$ (压力值) $> X_2$ (保压时间) $> X_3$ (保压温度)。

### 2.3 交互作用项分析

图4反映压力值和保压时间对蹄筋胶原蛋白含量的影响。由两者的交互作用可知,当保压温度为85°C,保压时间不变时,随着压力值的增加,蹄筋胶原蛋白含量呈逐渐减小趋势。压力不变时,

表 2 响应面设计结果

试验号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Y( 胶原蛋白/%)
1	1	1	0	12.54
2	-1	-1	0	12.68
3	0	0	0	13.33
4	0	0	0	13.28
5	-1	0	-1	12.88
6	1	0	-1	12.65
7	0	0	0	13.34
8	1	-1	0	12.26
9	0	-1	-1	12.65
10	-1	0	1	12.72
11	0	0	0	13.33
12	-1	1	0	12.59
13	0	1	1	12.73
14	1	0	1	12.62
15	0	1	-1	12.72
16	0	-1	1	12.48
17	0	0	0	13.34

随着保压时间的延长,蹄筋胶原蛋白含量呈先增大后减小趋势,此与单因素结果相符。回归模型分析显示保压时间和保压温度的交互作用对蹄筋

胶原蛋白含量有极显著影响( $P < 0.01$ ),表明二者有非常明显的交互作用。

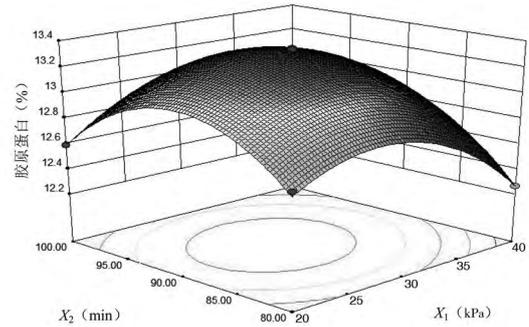


图 4 压力值和保压时间对牛蹄筋胶原蛋白含量的影响

图 5 反映压力值和保压温度对蹄筋胶原蛋白含量的影响。当保压时间为 90 min,保压温度不变时,随着压力值的增加,蹄筋的胶原蛋白含量呈先增大后减小趋势。压力不变时,随着保压温度的升高,蹄筋胶原蛋白含量变化幅度较小,大致呈先增大后减小趋势。回归模型分析显示压力值和保压温度的交互作用对蹄筋胶原蛋白含量影响不显著( $P < 0.05$ ),表明二者交互作用并不明显。

表 3 试验结果的回归分析

项目	平方和	自由度	均方	F - value	P - value	显著性
Model	1.97	9	0.22	213.24	<0.000 1	**
$X_1$	0.08	1	0.08	77.83	<0.000 1	**
$X_2$	0.033	1	0.033	31.63	0.000 8	**
$X_3$	0.015	1	0.015	14.9	0.006 2	**
$X_1X_2$	0.034	1	0.034	33.3	0.000 7	**
$X_1X_3$	$4.23 \times 10^{-3}$	1	$4.23 \times 10^{-3}$	4.11	0.082 2	
$X_2X_3$	$8.10 \times 10^{-3}$	1	$8.10 \times 10^{-3}$	7.88	0.026 3	*
$X_1^2$	0.57	1	0.57	551.74	<0.000 1	**
$X_2^2$	0.81	1	0.81	791.26	<0.000 1	**
$X_3^2$	0.24	1	0.24	234.97	<0.000 1	**
残差	$7.20 \times 10^{-3}$	7	$1.03 \times 10^{-3}$			
失拟项	$4.68 \times 10^{-3}$	3	$1.56 \times 10^{-3}$	2.47	0.201 1	
纯误差	$2.52 \times 10^{-3}$	4	$6.30 \times 10^{-4}$			
总和	1.98	16				

$R^2 = 0.996 4$

注: \*\*表示有显著差异。

图 6 反映保压时间和保压温度对蹄筋胶原蛋白含量的影响。当压力值为 20 kPa,保压温度不变时,随着保压时间的延长,蹄筋胶原蛋白含量呈先增大后减小趋势。保压时间不变时,随着保压

温度的增加,蹄筋胶原蛋白含量变化幅度较为缓和。回归模型分析显示保压时间和保压温度的交互作用对蹄筋涨发率影响显著( $P < 0.05$ ),表明二者交互作用较明显。

## 2.4 最佳工艺验证

响应面预测模型的最优条件为: 涨发压力值 32 kPa、保压时间90.8 min、保压温度73.7℃, 为考虑实际操作的便利, 将最优条件调整为: 涨发压力值 30 kPa、保压时间 91 min、保压温度 74℃。在此条件下进行 3 次平行实验, 得到蹄筋的胶原蛋白含量为 13.17%, 与模型预测理论值 13.33% 仅相差 0.16%。

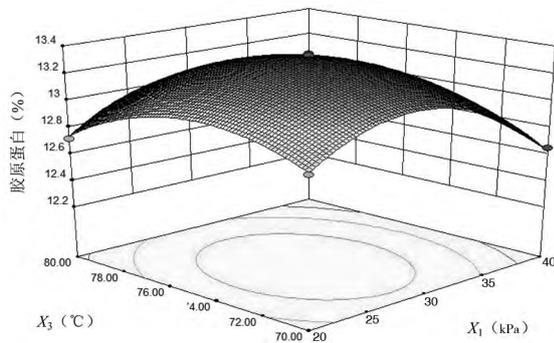


图5 压力值和保压温度间对牛蹄筋胶原蛋白含量的影响

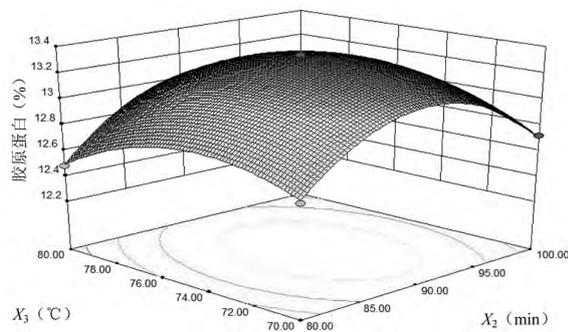


图6 保压时间和保压温度对牛蹄筋胶原蛋白含量的影响

## 3 结论

经 Design Expert 软件分析可知, 各因素对牛蹄筋胶原蛋白含量影响的主次顺序为: 涨发压力值 > 保压时间 > 保压温度。得到的最佳工艺条件为: 压力值 30 kPa、保压时间 91 min、保压温度 74℃。在此条件下, 牛蹄筋的胶原蛋白含量高达 13.17%。利用低压技术对干制牛蹄筋进行涨发处理, 试验条件温和, 可有效避免高温溶胀带来的诸多弊端, 低压环境还对涨发牛蹄筋的胶原蛋白具有良好的保护作用。

### 参考文献:

- [1] 靳义超, 李升升, 吴海玥, 等. 涨发方式对牦牛蹄筋品质的影响[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2013, 43(5): 4-5.
- [2] 周晓燕. 烹调工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 48-50.
- [3] GROSS M, JAENICK R. Proteins under pressure, influence of high hydrostatic pressure on structure, function and assembly of proteins and protein complexes[J]. Eur J Biochem, 1994, 221: 617-630.
- [4] CHANG H J, CAO Y Y, WANG Q, et al. Effects of thermal treatment mode and temperature on meat quality of beef semitendinosus muscle[J]. Food science, 2010, 31(11): 42-46.
- [5] BOX G E P, HUNTER W G. Statistics for experiments: an introduction to design, data analysis and model building[M]. New York: Wiley, 1990: 57-58.

## Low-pressure beef tendon swelling process optimized using response surface methodology

DONG Zhijie

(College of Cuisine Technology and Nutrition, Jiangsu College of Tourism, Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

**Abstract:** Dry beef tendons were swollen at low pressure. Based on single-factor experiments with pressure value, time and temperature as variables, the response surface methodology with the central composite design was exploited to establish a quadric regression equation for describing the relationship between the collagen content and the variables. The results showed that at 0.3 bar and 74℃ for 91 min, the tendon collagen content was 13.17%.

**Key words:** beef tendon; low-pressure swelling; response surface methodology; cooking technology

(责任编辑: 赵勇)