

# 高压处理对碎牛肉重组特性的影响

马汉军, 董建国, 马瑞芬, 赵永红, 白腾辉, 韩延安

(河南科技学院食品学院, 河南新乡 453003)

**摘要:** 为提高低值碎牛肉的利用率, 改善其重组特性, 将碎牛肉制成牛肉肠经高压处理, 对其蒸煮损失率、非压出水分、保水性、黏结性和微观结构进行研究。通过单因素试验得出: 碎牛肉的蒸煮损失率随着压力的增大、保压时间的延长和保压温度的增加均呈先降后升趋势, 非压出水分、保水性和黏结性呈先升后降趋势, 并都在 400 MPa, 15 min, 20 °C 附近达到最佳值; 通过响应面 (SEM) 法分别得到高压改善碎牛肉蒸煮损失率 (500 MPa, 25 min, 35 °C)、非压出水分 (431 MPa, 15 °C, 18.6 min)、保水性 (500 MPa, 25 min, 35 °C) 和黏结性 (383 MPa, 35 °C, 25 min) 的最适处理条件, 并对其四项指标综合考虑进行最优化求解, 求得高压提高碎牛肉重组特性的最佳处理条件为 469 MPa、35 °C、25 min; 经研究发现, 该条件下处理后的碎牛肉各项指标明显优于对照组, 且微观结构也更加规则有序。由此可知: 适当的高压处理可以有效改善碎牛肉的重组特性, 具有较好的应用前景。

**关键词:** 碎牛肉; 高压; 响应面; 保水性; 黏结性; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2014)4-189-195

## Effects of High Pressure Treatment on the Restructured Properties of Minced Beef

MA Han-jun, DONG Jian-guo, MA Rui-fen, ZHAO Yong-hong, BAI Teng-hui, HAN Yan-an

(School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

**Abstract:** In order to improve the restructured properties and make full use of low-value minced beef, the effects of high pressure treatment on cooking loss, non-expressible water, water-holding capacity, cohesiveness and microstructure beef sausage made of minced beef were investigated. The single factor test showed that: with the pressure, temperature and time increasing, cooking loss first decreased and then increased, while non-expressible water, water-holding capacity and cohesiveness first increased and then decreased. The optimum properties were achieved under treatment conditions of about 400 MPa, 20 °C and 15min. Based on the response surface analysis, the optimum conditions for cooking loss and water-holding capacity of minced beef were determined as 500 MPa, 25 min, and 35 °C. The optimum conditions for non-expressible water and cohesiveness were determined as 431 MPa, 15 °C, 18.6 min and 383 MPa, 35 °C, 25 min, respectively. Based on the above analysis, the optimum conditions for improving the restructured properties of minced beef were set at 469 MPa, 35 °C, 25 min. Under these conditions, the major indexes of the obtained product could be significantly improved, and the microstructure was more regular. In brief, high pressure treatment was a promising technology since it could improve the restructured properties of minced beef.

**Key words:** minced beef; high pressure; response surface methodology; water-holding capacity; cohesiveness; microstructure

高压处理是一个物理加工过程, 可在不影响肉制品营养和风味的前提下延长制品的贮藏期、改善制品组织结构、调节酶活力、提高肌肉蛋白的凝胶特性等, 其操作安全可靠、耗能低、无三废污染, 是近三十年来食品领域研究的热点, 同时, 有关研究学者对高压处理对肉类品质影响作用的机理也进行了研究, 并取得了一定的成就: Tang 等研究并阐述了高压改善产品

收稿日期: 2013-11-05

基金项目: 农业部公益性行业科研专项 (201303083); 河南省高校科技创新团队支持计划资助 (13IRTSTHN006)

作者简介: 马汉军(1965-), 男, 博士, 教授, 主要从事肉品加工及品质控

制研究

保水性能的原因与机理, 指出适当的高压处理可以使蛋白质分子中的二硫键发生断裂, 产生巯基, 并通过破坏蛋白质分子的三级结构, 使更多的疏水基团和亲水基团暴露, 促进水分子发生聚合, 从而缩短分子间的距离, 致使自由水填充到蛋白质氨基酸侧链周围变成结合水, 由此提高样品的保水性能<sup>[1]</sup>; Ma 等从蛋白质溶解性和凝胶化的角度考察, 指出高压处理还可以通过促进肌肉蛋白发生凝胶化反应, 提高肌原纤维蛋白的溶解性, 使蛋白质分子间距增大, 进而改善肉品的品质特性<sup>[2]</sup>。

高压技术的优越性从被提出到被科学研究所证

实,极大地促进了高压技术的发展,随着其作用机理的进一步阐述,其在食品中的应用也更加广泛。到目前为止,高压技术已在果、肉、豆、乳、水产等各方面开展了系列性研究,并实现了一定规模的产业化,而在有关碎牛肉的研究中,大部分都集中在对其单个物化性状的探讨,如 Anne 等<sup>[3]</sup>研究了不同压力水平、温度和时间对碎牛肉微生物存活状况及色泽的影响,指出碎牛肉经 150 MPa 压力处理 10 min 后颜色开始发生变化,当压力达到 350 MPa 时,肉色开始变灰;Ma 等<sup>[4]</sup>研究了高压处理对牛肉质构特性的影响,得出当保压温度在 60 °C~70 °C 范围时 200 MPa 的压力强度能显著降低牛肉的硬度;而 Anita 等<sup>[5]</sup>从高压处理对牛肉肠蒸煮损失率和凝胶特性的影响方面进行了研究探讨,等等。然而,高压技术在低值碎肉中的工艺研究与优化等方面的报道较为少见。在当今建设“资源节约型,环境友好型”社会日益热化的背景下,若能将高压技术应用于碎肉产品的开发和利用中,对其进行加工生产,或将为碎牛肉的加工利用提供一种新的有效的途径。鉴于此,本文以牛肉分割过程中产生的剔骨肉、边角料为原料,以压力强度、保压时间和保压温度为影响因素,研究各因素对碎牛肉蒸煮损失率、非压出水分、保水性和黏结性的影响规律,并在单因素试验的基础上,采用响应面法对高压处理条件进行优化,确定最佳工艺参数,同时对该条件下碎牛肉的微观结构进行了观察,从而为高压技术在重组肉制品中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 原料

碎牛肉(购于新乡市思达连锁超市)。

#### 1.1.2 试剂

戊二醛,多聚甲醛缓冲液,乙醇,叔丁醇,磷酸缓冲液,均购于天津科密欧化学试剂有限公司。

#### 1.1.3 仪器

超高压处理设备,包头科发新型高技术食品机械有限责任公司;Quanta 200 扫描电子显微镜,美国 FEI 公司;多功能高效粉碎机,连云港市东亚机电研究所;坚磊牌 ZQ500-2SD 真空包装机,温州鹿城黄河包装机械厂;MC 牌电子天平,赛多利斯科学仪器有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样品前处理

原料肉经清洗、沥水后绞碎称重,将 1%肉重的

食盐溶于 10 mL 水中与肉混合均匀后灌入肠衣内,4 °C 下腌制 18 h,经不同压力条件处理后 85 °C 水浴 30 min,冷却后切片,放于 4 °C 冰箱中待指标测定。

#### 1.2.2 单因素试验

1.2.2.1 不同压力水平对碎牛肉重组特性的影响:室温条件下,把经前处理的样品放入超高压食品处理装置内,分别经 100 MPa、200 MPa、300 MPa、400 MPa、500 MPa、600 MPa 压力处理 15 min,取出经水浴、切片后放于 4 °C 冰箱中待指标测定,并以未经高压处理的样品作为对照。

1.2.2.2 不同保压时间对碎牛肉重组特性的影响:确定最佳压力后,室温下采用不同时间(5 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min、35 min、40 min)的高压处理,处理结束经水浴、切片后放于 4 °C 冰箱中待指标测定,并设对照。

1.2.2.3 不同保压温度对碎牛肉重组特性的影响:确定最佳压力水平和保压时间后,采用不同温度(10 °C、20 °C、30 °C、40 °C、50 °C、60 °C)的高压处理,处理结束经水浴、切片后放于 4 °C 冰箱中待指标测定,并设对照。

#### 1.2.3 指标测定

##### 1.2.3.1 质构测定

采用 TA-XTplus 质构仪对样品(Φ20 mm×20 mm)进行质构测试,探头型号为 P/50,测定条件为:测前速度 2 mm/s,测试速度 2 mm/s,测后速度 10 mm/s,压缩样品高度为 40%,时间 5 s,触发类型为自动,触发力为 10 g,所有测试均重复 6 次求平均值<sup>[6]</sup>。

##### 1.2.3.2 保水性测定

参照 Supavitpatana 等<sup>[7]</sup>方法略有改动:

蒸煮损失率(CL)的检测:室温下将形状规则的碎牛肉块拭干表面水分后称重,记为 A,肠衣质量为 B,蒸煮后质量称重为 C,  $CL/\% = 100 \times (A - B - C) / (A - B)$ ,重复检测 3 次求平均值。

非压出水分值(NW)检测:将圆柱状肉块切成 10 mm 厚度,称其质量为 D,夹于上下各三层滤纸中,用 TA-XTplus 质构仪的 Hold Until Time 测试模式进行挤压后称其质量为 E,测定参数为:探头型号为 P/50,保持 10 kg 压缩力压缩 3 min,测前速度 2 mm/s,测试速度 0.5 mm/s,返回速度 10 mm/s,触发力 Auto 为 10 g,  $NW/\% = 100 \times [1 - (D - E) / D]$ ,各处理样重复检测 3 次。

保水性(WHC)  $= (100 - CL) \times NW / 100$ 。

##### 1.2.3.3 微观结构观察

参照屈平等<sup>[8]</sup>方法略有改动:用切片刀取样切条(3 mm×3 mm×6 mm),放入固定液(2.5%戊二醛,

2%多聚甲醛缓冲液)中4℃固定3h,用0.1 mol/L的磷酸缓冲液每40 min漂洗一次,共3次,然后用不同浓度的乙醇梯度系列脱水(30%、50%、70%、80%、90%)各15 min,接着100%乙醇脱水3次(各10 min),再用叔丁醇重复置换3次(10 min)后,-20℃静置15 min,然后进行冷冻干燥,粘台喷金,最后电镜观察拍照。

1.2.4 数据处理

采用IBM SPSS Statistics 19.0进行单因素数据处理,求平均值和标准差,采用Design-Expert 8.05b进行二次回归模型统计分析。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果

2.1.1 不同压力水平对碎牛肉重组特性的影响

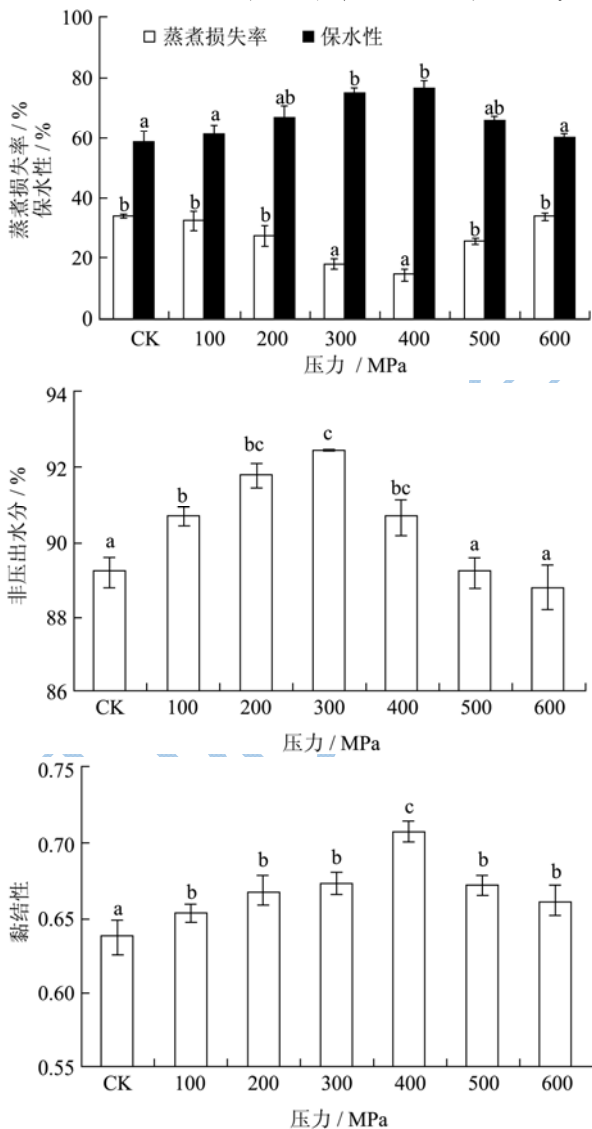


图1 压力水平对碎牛肉重组特性的影响

Fig.1 Effects of pressure on the restructured properties of

minced beef

如图1所示,在室温,保压时间15 min条件下,随着压力的增大,样品的蒸煮损失率呈先下降后上升趋势,非压出水分、保水性和黏结性呈先上升后下降趋势,且在400 MPa时蒸煮损失率最低,保水性最高,与300 MPa时处理效果差异不显著(P>0.05),但显著优于其他各组(P<0.05);黏结性在400 MPa时取得最高值,显著高于其他各组(P<0.05),其余各实验组之间差异分析不显著(P>0.05);非压出水分值在300 MPa时最高,与200 MPa、400 MPa处理组差异不显著(P>0.05),与其余各组差异显著(P<0.05)。由此可知,300 MPa~400 MPa的压力可以显著提高碎牛肉的保水性能,提高其粘结度(P<0.05),且在400MPa时效果最佳。

2.1.2 不同保压时间对碎牛肉蒸煮损失率、保水性和黏结性的影响

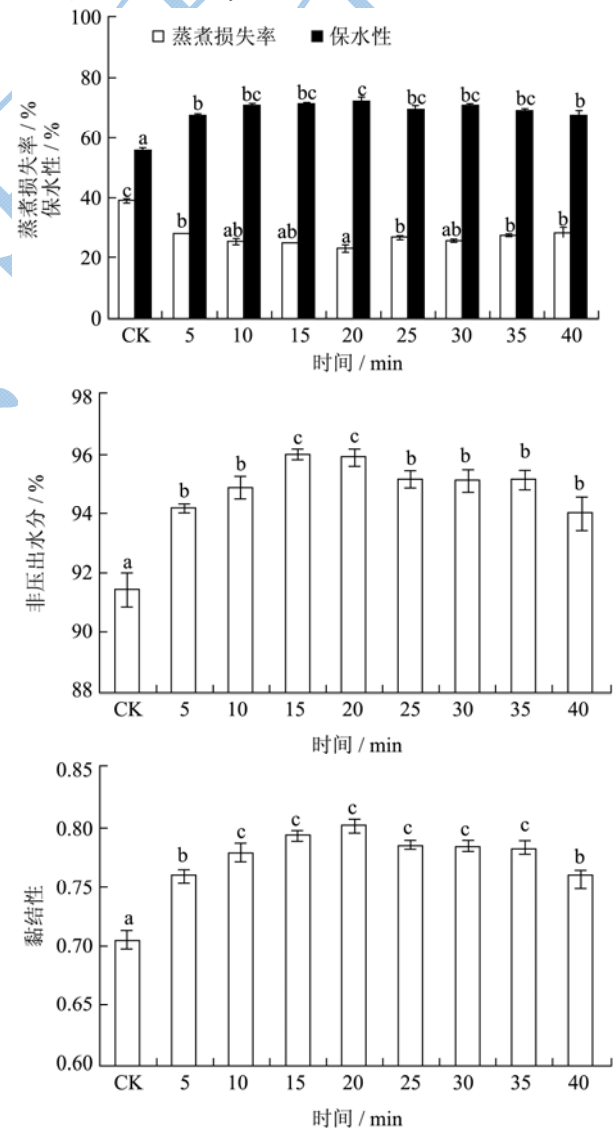


图2 保压时间对碎牛肉重组特性的影响

Fig.2 Effects of pressure-holding time on the restructured

properties of minced beef

如图2所示, 室温条件下压力水平取 400 MPa, 保压时间 5 min~40 min, 样品的非压出水分、保水性和黏结性均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 呈先上升后下降趋势; 蒸煮损失率显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 呈先下降后上升趋势。此现象与陈建良<sup>[9]</sup>和邱志敏等<sup>[10]</sup>试验结果相似。本试验中, 在样品处理 20 min 后蒸煮损失率最低, 保水性最高, 20 min 组的蒸煮损失率与 10 min、15 min、30 min 处理组差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但显著低于其他各组 ( $P < 0.05$ ); 保水性在 10 min~35 min 时间范围内差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但 20 min 组要显著高于 5 min 组、40 min 组和对照组 ( $P < 0.05$ ); 非压出水分在 15 min~20 min 时取得最高值 ( $P > 0.05$ ), 明显高于其他各处理组和对照组 ( $P < 0.05$ ); 黏结性在 10 min~35 min 时间范围内处理后各组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但要高于 5 min 组、40 min 组和对照组 ( $P < 0.05$ )。由此可见, 各指标都在 15 min~20 min 时达到最佳值, 但在 15 min 与 20 min 之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。综合保压时间对碎牛肉各指标的影响, 通过数据分析兼顾节省能耗等多方面考虑, 选定高压提高碎牛肉保水性的最佳保压时间为 15 min。

2.1.3 不同保压温度对碎牛肉重组特性的影响

保压温度对碎牛肉重组特性的影响如图3所示, 400 MPa、15 min 条件下, 碎牛肉经 10~60 °C 温度处理, 样品的蒸煮损失率均显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 呈先下降后上升趋势; 非压出水分、保水性和黏结性均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 呈现先上升后下降趋势, 其中, 20 °C 时样品的非压出水分值最高, 30 °C 时样品的黏结性最高, 50 °C 时蒸煮损失率最低, 保水性最高, 但在 20~50 °C 温度范围内各指标在各组之间的差异性并不显著 ( $P > 0.05$ )。有关保压温度对肉制品品质特性的研究相对压力水平和保压时间较少, 一是可能由于压力水平和保压时间结合温度处理后对高压设备的要求更高, 得到条件比较困难, 投入成本巨大; 而且, 压力舱周围金属容器的高导热性对压力舱内压力液及样品的温度影响较大, 导致温度测定结果会有偏差; 再者, 随着压力水平和保压时间的不等, 样品的温度容易在短时间内受高静压条件的影响而发生变化, 很难准确测定样品的受压温度<sup>[11]</sup>。本试验中不同保压温度对碎牛肉重组特性影响不明显也许受此限制, 但有研究报道: 高压对样品凝胶特性的影响, 当温度较低时, 表现出压力和时间的影响; 当温度较高时, 三者之间可能存在的协同作用对研究结果的影响将较明显<sup>[12]</sup>。因此在条件允许的情况下对其进行研究还是十分有必要的, 故本试验在条件允许范围内选定

响应面温度范围为 15~35 °C。

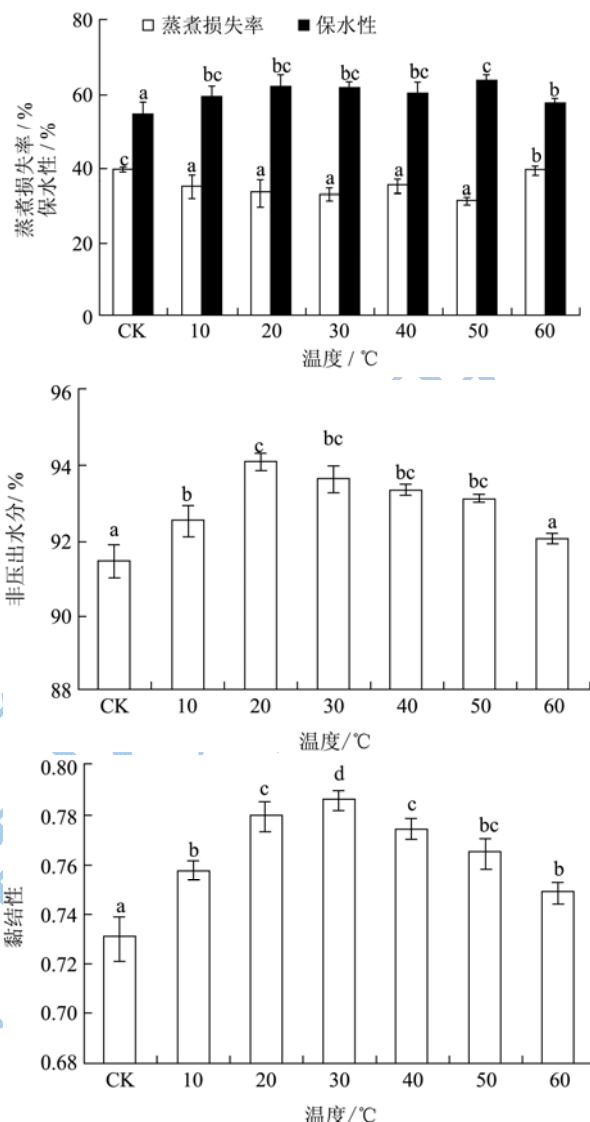


图3 保压温度对碎牛肉重组特性的影响

Fig.3 Effects of temperature on the restructured properties of minced beef

2.2 响应面法优化高压处理条件

2.2.1 响应面试验设计

表1 响应面试验设计因素编码及水平表

Table 1 Codes and levels of response surface experimental design

水平	因素		
	A (压力/MPa)	B (时间/min)	C (温度/°C)
-1	200	10	15
0	350	17.5	25
1	500	25	35

根据单因素试验结果, 分析不同压力水平、保压时间和保压温度对碎牛肉重组特性的影响, 确定响应

面试验条件, 如表 1 所示。

### 2.2.2 回归模型

确定响应面试验条件后, 对各指标进行测定, 试验结果如表 2 所示。

表 2 响应面试验设计与结果

Table 2 Response surface experimental design and results

试验号	A	B	C	蒸煮损失率/%	非压出水分/%	保水性/%	黏结性
1	-1	-1	-1	44.44	87.08	48.39	0.69
2	1	-1	-1	35.09	91.18	59.18	0.75
3	-1	1	-1	42.54	86.05	49.49	0.72
4	1	1	-1	38.01	92.53	57.36	0.76
5	-1	-1	1	38.81	81.03	49.55	0.72
6	1	-1	1	29.28	88.25	62.38	0.77
7	-1	1	1	34.61	84.71	55.55	0.78
8	1	1	1	26.04	91.66	67.78	0.80
9	-1	0	0	40.15	85.04	50.91	0.72
10	1	0	0	28.72	88.96	63.41	0.75
11	0	-1	0	32.80	85.08	57.18	0.76
12	0	1	0	33.23	89.91	60.04	0.77
13	0	0	-1	40.88	93.80	55.44	0.77
14	0	0	1	31.71	89.43	61.14	0.76
15	0	0	0	34.40	91.94	60.31	0.75
16	0	0	0	31.55	87.79	60.10	0.78
17	0	0	0	35.52	89.45	57.68	0.78
18	0	0	0	31.52	88.94	60.90	0.78
19	0	0	0	31.58	90.22	61.73	0.80
20	0	0	0	32.40	89.09	60.22	0.78

由回归模型可得各项指标回归方程如下:

蒸煮损失率:  $Y=68.52-0.06A+0.38B-1.41C+6.42 \times 10^{-4}AB-3.52 \times 10^{-4}AC-0.01BC+3.93 \times 10^{-5}A^2-9.51 \times 10^{-3}B^2+0.03C^2$

非压出水分:  $Y=85.52+0.08A+0.90B-1.63C+2.34 \times 10^{-4}AB+3.00 \times 10^{-4}AC+0.01BC-1.01 \times 10^{-4}A^2-0.03B^2+0.02C^2$

保水性:  $Y=26.94+0.10A+0.22B+0.21C-3.91 \times 10^{-4}AB+5.33 \times 10^{-4}AC+0.02BC-9.35 \times 10^{-5}A^2-0.01B^2-9.72 \times 10^{-3}C^2$

黏结性:  $Y=0.51+1.07 \times 10^{-3}A+2.97 \times 10^{-3}B-6.60 \times 10^{-4}C-5.78 \times 10^{-6}AB-8.06 \times 10^{-7}AC+7.17 \times 10^{-5}BC-1.17 \times 10^{-6}A^2-2.45 \times 10^{-5}B^2+2.12 \times 10^{-5}C^2$

### 2.2.3 拟合模型可信度分析

拟合模型的可信度分析见表 3, 在试验设计范围内, 对于各项指标 R<sup>2</sup> 值分别达到 0.94、0.90、0.97、0.80, 表示方程拟合比可信。变异 (CV) 系数越小, 说明试

验操作可信度越大。本试验中各项指标 CV 数值较小, 说明试验操作可信。

表 3 拟合模型的可信度分析

Table 3 Reliability analysis of two established regression models

项目	平均值	复相关系数 R <sup>2</sup>	校正后的复相关系数 R <sub>Adj</sub> <sup>2</sup>	变异系数/%
蒸煮损失率	34.66	0.94	0.89	4.60
非压出水分	88.61	0.90	0.82	1.50
保水性	57.94	0.97	0.95	2.01
黏结性	0.76	0.80	0.62	2.24

### 2.2.4 拟合模型方差分析

对于各指标模型, P 值均小于 0.05, 表明模型显著, 模型失拟值均大于 0.05, 表明试验的误差较小。回归方程系数显著性检验可知: 一次项 A (压力) 对样品四项指标的影响极为显著 (P<0.01); 一次项 B (时间) 对样品保水性的影响极为显著 (P<0.01), 且对非压出水分和黏结性的影响显著 (P<0.05); 一次项 C (温度) 对样品保水性能三项指标的影响极为显著 (P<0.01), 对黏结性的影响显著 (P<0.05); 二次项 A (压力) 对样品非压出水分、保水性和黏结性影响显著 (P<0.05); 二次项 C (温度) 对样品蒸煮损失率和非压出水分影响显著 (P<0.05), 交互项 BC 对样品的保水性的影响极为显著 (P<0.01), 其它系数项均不显著 (P>0.05) (见表 4)。

表 4 拟合模型的方差分析

Table 4 Variance analysis of two established regression models

项目	p-value (Prob>F)			
	蒸煮损失率	非压出水分	保水性	黏结性
模型	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
失拟	0.64	0.60	0.78	0.50
A-压力	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
B-时间	0.26	0.02	<0.01	0.03
C-温度	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
AB	0.23	0.59	0.31	0.30
AC	0.37	0.36	0.08	0.84
BC	0.09	0.10	<0.01	0.39
A <sup>2</sup>	0.38	0.02	0.01	0.03
B <sup>2</sup>	0.59	0.05	0.38	0.90
C <sup>2</sup>	0.02	0.01	0.20	0.84

### 2.2.5 响应面优化

运用软件 Design-Expert 8.05b (原版) 对各指标分别进行最优化求解, 结果如表 5 所示。

对四项指标综合考虑进行最优化求解, 得到高压提高碎牛肉重组特性的最适处理条件为压力水平 469 MPa、保压温度 35 °C、保压时间 25 min, 此时蒸煮损

失率为  $26.88 \pm 0.82\%$ 、非压出水分值为  $91.96 \pm 0.21\%$ 、保水性为  $67.13 \pm 1.48\%$ 、黏结性为  $0.80 \pm 0.005$ ，实现可能性达到 91.3%，对照得知其重组性能远优于对照组（蒸煮损失率为  $34.09 \pm 0.81\%$ 、非压出水分值为  $89.21 \pm 0.09\%$ 、保水性为  $58.85 \pm 2.51\%$ 、黏结性为  $0.64 \pm 0.01$ ）。试验因素及其交互作用对样品各指标影响的响应曲面图见图 4~7。

表 5 响应面优化结果

Table 5 The optimization results of response surface experiment

指标	优化压力 /MPa	优化时间 /min	优化温度 /°C	最优值
蒸煮损失率	500	25	35	15
非压出水分	431	18.6	15	95
保水性	500	25	35	80
黏结性	383	25	35	0.81

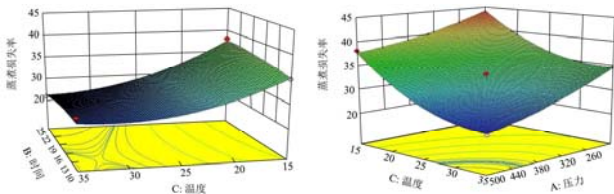


图 4 试验因素及其交互作用对样品蒸煮损失率影响的响应曲面图

Fig.4 Response surface of the effect of experimental factors and their mutual interact on cooking loss of minced beef

由图 4 可知，处理条件在取定范围内，样品的蒸煮损失率随着压力的增加、温度的提高、时间的延长，均呈下降趋势。研究表明压力和温度均能显著降低碎牛肉的蒸煮损失率 ( $P < 0.0001$ )。

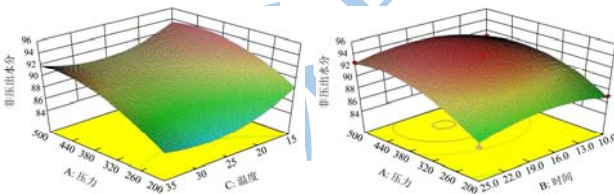


图 5 试验因素及其交互作用对样品非压出水分影响的响应曲面图

Fig.5 Response surface of the effect of experimental factors and their mutual interact on non-expressible water of minced beef

由图 5 可知，处理条件在取定范围内，样品的非压出水分随着压力的增加、时间的延长，均呈先升高后下降趋势，随着温度的增大呈先下降后升高趋势。研究表明压力水平、保压时间和保压温度均能够显著提高碎牛肉的非压出水分 ( $P < 0.05$ )。

由图 6 可知，处理条件在取定范围内，样品的保水性随着压力的增加、温度的提高、时间的延长，均呈逐渐上升趋势。研究表明压力水平和保压温度能显

著提高碎牛肉的保水性 ( $P < 0.01$ )。

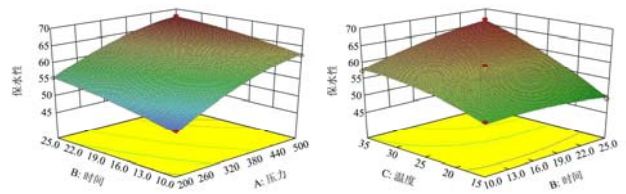


图 6 试验因素及其交互作用对样品保水性影响的响应曲面图  
Fig.6 Response surface of the effect of experimental factors and their mutual interact on water-holding capacity of minced beef

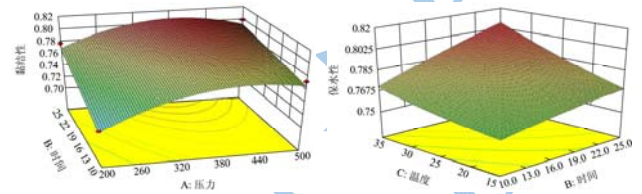


图 7 试验因素及其交互作用对样品黏结性影响的响应曲面图  
Fig.7 Response surface of the effect of experimental factors and their mutual interact on cohesiveness of minced beef

由图 7 可知，处理条件在取定范围内，样品的黏结性随着压力的增加，呈先升高后下降趋势，随着时间的延长和温度的升高呈逐渐上升趋势。研究表明压力水平、保压时间和保压温度均能够显著提高碎牛肉的黏结性 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 高压处理对碎牛肉微观结构的影响

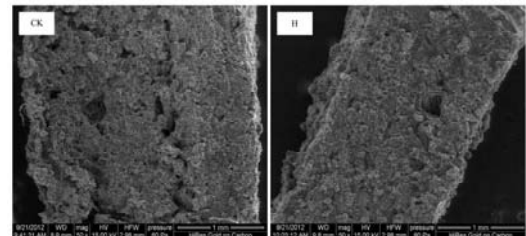


图 8 碎牛肉的扫描电镜图 ( $\times 50$ )  
Fig.8 SEM micrographs of minced beef ( $\times 50$ )

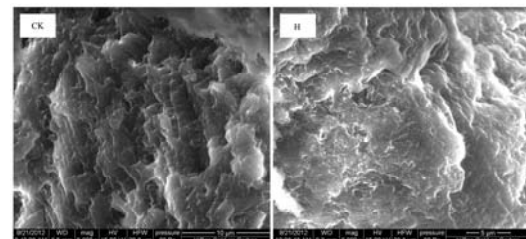


图 9 碎牛肉的扫描电镜图 ( $\times 5000$ )

Fig.9 SEM micrographs of minced beef ( $\times 5000$ )

碎牛肉经高压 (469 MPa、25 min、35 °C) 处理，放大不同倍数后与对照组相比，由图 8~10 不难发现，高压处理后的碎牛肉横截面表面较对照组平坦致密、均匀有序、气孔结构小且较少，而对照组则表现出不平整，粗糙，坑坑洼洼，出现有较多的空穴，并有较大

的簇出现。该观察结果与高压处理对碎牛肉重组特性的数据分析结果基本一致。

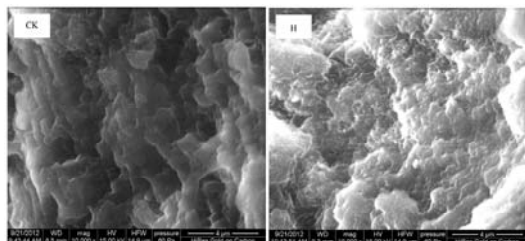


图9 碎牛肉的扫描电镜图( $\times 10000$ )

Fig.9 SEM micrographs of minced beef ( $\times 10000$ )

### 3 结论

3.1 将碎牛肉经高压处理, 研究发现其蒸煮损失率随着压力水平的增加, 时间的延长, 温度的提高呈先下降后上升趋势, 非压出水分、保水性和黏结性均呈现先升高后下降趋势, 并都在 400 MPa、15 min、20 °C 附近各项指标普遍取得了最佳值, 明显优于对照组 ( $P < 0.05$ )。

3.2 响应曲面法优化得到高压提高碎牛肉保水性, 降低其蒸煮损失率的最适处理条件都是: 500 MPa、35 °C、25 min; 高压提高碎牛肉非压出水分和黏结性的最适处理条件分别为: 431 MPa、15 °C、18.6 min 和 383 MPa、35 °C、25 min。综合四项指标进行最优化求解, 得出高压提高碎牛肉重组特性的最适处理条件为 469 MPa、35 °C、25 min, 且在该条件下处理后的碎牛肉各项指标明显优于对照组, 微观结构也更加规则有序。

3.3 高压对碎牛肉蛋白凝胶形成机理及内部微结构排列分布的影响有待进一步研究论证。此外, 更高压力水平和保压温度对设备要求非常高, 而且规模化大量生产中条件也很难得到, 所以本试验只在目前国内常规条件允许的情况下进行了初步的研究与探讨, 相信随着科技的进步和机电一体化的成熟, 高强压力水平和高温条件下高压技术的应用将受到更多的重视和青睐。

### 参考文献

- [1] Tang C, Ma C. Effect of high pressure treatment on aggregation and structural properties of soy protein isolate [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(2): 606-611
- [2] Ma H, Zhou G, Ledward D A, et al. Effect of combined high pressure and thermal treatment on myofibrillar proteins solubilization of beef muscle [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2011, 12(5): 3034-3041
- [3] Carlez A, Veciana-Nogues T, Cheftel J C. Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing [J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(5): 528-538
- [4] Ma H J, Ledward D A. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle [J]. Meat Science, 2004, 68(3): 347-355
- [5] Sikes A L, Tobin A B, Tume R K. Use of high pressure to reduce cook loss and improve texture of low-salt beef sausage batters [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(4): 405-412
- [6] 董建国, 刘勤华, 段虎, 等. 高压对含TG的鸡肉糜相关特性的影响[J]. 食品工业, 2012, 33(7): 15-18
- [7] Dong G, Liu Q, Duan H, et al. Effects on high pressure treatment on correlative properties of the minced chicken containing transglutaminase [J]. Food Industry, 2012, 33(7): 15-18
- [8] Supavitpatana T, Apichartsrangkoon A. Combination effects of ultra-high pressure and temperature on the physical and thermal properties of ostrich meat sausage (yor) [J]. Meat Science, 2007, 76(3): 555-560
- [9] 屈平, 彭增起, 陈德倡, 等. 牛肉制品的扫描电镜观察[J]. 电子显微学报, 2001, 20(4): 529-530
- [10] QU P, PENG Z, CHEN D, et al. Scanning electron microscope observation of beef products [J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2001, 20 (4): 529-530
- [11] 陈建良. 高压处理下高分子亲水胶体对鸡肉糜制品品质的影响研究[D]. 广州, 华南理工大学, 2010
- [12] CHEN J. Effects of high polymer hydrophilic colloid on the quality of minced chicken products under high hydrostatic pressure [D]. Guang Zhou, South China University of Technology, 2010
- [13] 邱志敏, 芮汉明. 超高压处理对添加变性淀粉鸡肉糜制品品质的影响[J]. 现代食品科技, 2010, 26(7): 688-692
- [14] QIU Z, RUI H. Effects of ultra high pressure treat on the properties of ground chicken meat products containing modified starch [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(7): 688-692
- [15] Otero L, Guignon B, Aparicio C, et al. Modeling thermophysical properties of food under high pressure [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2010, 50(4): 344-368
- [16] 胡飞华, 陆海霞, 陈青, 等. 超高压处理对梅鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 329-335
- [17] HU F, LU H, CHEN Q, et al. Effects of ultra-high pressure on gel properties of big head croaker (*Collichthys lucidus*)

surimi[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(3): 329-335

现代食品科技