

# 扇贝超高压脱壳工艺参数优化研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2019.03.010

巩雪<sup>1,2</sup> 常江<sup>1,2</sup>  
李丹婷<sup>1</sup>

1. 哈尔滨商业大学  
轻工学院  
黑龙江 哈尔滨 150028
2. 哈尔滨商业大学  
包装科学与工程技术省高校  
重点实验室  
黑龙江 哈尔滨 150028

**摘要:** 为了研究超高压技术在扇贝脱壳领域的应用,对预处理过的扇贝施加 200~400 MPa 的高压并保持 0~300 s,利用均匀试验法,选择 2 因素 11 水平的均匀试验表对试验条件进行设计。通过检测扇贝的得肉率、持水率、TVB-N 值和菌落总数等指标,建立试验因素与各指标之间的回归方程,并利用响应面曲线对扇贝超高压处理时的工艺参数进行优化,求出了各指标取极值时所对应的试验压力和保压时间,以得到扇贝超高压处理的最佳工艺参数。根据计算结果,在超高压处理扇贝的过程中,试验压力设置为 300 MPa,保压时间为 180 s 时,扇贝可以得到较高的脱壳率和得肉率,又可以保持较高的营养价值和储存品质。

**关键词:** 扇贝;超高压;脱壳;响应面;参数优化

**中图分类号:** TS254 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2019)03-0068-08

**引文格式:** 巩雪,常江,李丹婷.扇贝超高压脱壳工艺参数优化研究[J].包装学报,2019,11(3):68-75.

## 0 引言

贝类凭借其肉质鲜嫩、低脂肪、高蛋白质、富含多种矿物元素和维生素等特点,深受消费者青睐<sup>[1]</sup>。我国是世界最大的贝类养殖国,2017年我国贝类养殖产量为 1 458.61 万 t,其中扇贝年养殖产量占世界扇贝类年养殖产量的 80% 以上<sup>[2]</sup>。尽管我国具有世界上规模最为庞大的海水贝类养殖产业,但其单位养殖产值偏低,养殖效益不容乐观。扇贝深加工的关键工序是开壳取肉,国外研究扇贝开壳技术较早,已经具有较为完善的工艺及设备,能够将扇贝制成各种即食产品或干制品,以延长其货架期,提高扇贝销售的灵活性<sup>[3]</sup>。而我国对扇贝深加工的研究起步较晚,贝类脱壳工艺仍以人工剥离为主,这种加工方式不仅效

率低、卫生难以保障,还不易获得完整的贝肉,使我国贝类产品的加工受到限制,因而我国需改善扇贝开壳技术<sup>[4]</sup>。

随着超高压技术的兴起,超高压脱壳技术的研究也逐渐增多。国内外研究学者发现,超高压不仅消除贝类产品中的致病菌,还能松懈扇贝闭壳肌的肌肉纤维和壳体的黏连组织,使贝肉和贝壳之间的蛋白质明胶化,失去弹性和束缚,从而达到轻松脱壳的目的<sup>[5-7]</sup>。Yi J. J. 等<sup>[8]</sup>利用超高压技术对扇贝进行脱壳,并与手工脱壳工艺进行对比,结果表明超高压技术的得肉率比手工脱壳的高了 17.26%。因此,需要对扇贝在超高压技术下的脱壳机理进行研究,为实现扇贝脱壳技术工业化生产提供理论基础和技术支持。

本研究选取新鲜的扇贝进行预处理,然后用聚

**收稿日期:** 2019-03-14

**基金项目:** 国家科技支撑计划基金资助项目(2016YFD0400301),哈尔滨市应用技术与开发基金资助项目(2017RAQXJ228)

**作者简介:** 巩雪(1981-),女,辽宁锦州人,哈尔滨商业大学副教授,硕士生导师,主要从事农产品加工技术及装备方面的研究, E-mail: gongxue@hrbcu.edu.cn

酰胺 (polyamide, PA) / 聚乙烯 (polyethylene, PE) 塑料袋对其进行包装, 并进行超高压处理; 通过测定扇贝的得肉率、持水率、挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 及菌落总数, 分析扇贝超高压脱壳工艺应用的可行性, 以期为该工艺的工业化生产提供一定的理论参考。

## 1 实验

### 1.1 实验准备

#### 1) 原材料

新鲜扇贝, 购于哈尔滨哈达海鲜市场; PA/PE 塑料袋, 购于潮州市鑫辉旺包装制品厂。

#### 2) 仪器与设备

电子天平, YP3002B 型, 上海力辰仪器科技有限公司; 台式离心机, TD4C 型, 常州金坛良友仪器有限公司; 恒温恒湿试验箱, HWS-50B 型, 上海双旭电子有限公司; 半自动凯氏定氮仪, KDN-04A 型, 上海力辰仪器科技有限公司; 半自动菌落计数器, TENLIN-J-2 型, 江苏天翎仪器有限公司。

#### 3) 原料预处理

将扇贝外壳的泥沙及其他杂物清洗干净, 并用滤纸擦干; 随机挑选 2 个扇贝, 称重后分别置于 PA/PE 塑料袋中, 各加入 50 mL 淡盐水, 再对包装袋进行热封口; 最后对包装好的扇贝进行超高压处理。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 主要指标的测定方法

##### 1) 得肉率

扇贝的两片贝壳通过闭壳肌与贝肉相连<sup>[9]</sup>, 在没有经过超高压处理时, 贝肉和贝壳较难分离, 只能采用人工或机械的方法强行分离, 这些方法会破坏贝肉的完整性, 在贝壳上残留一部分贝肉, 造成浪费。因此, 得肉率是衡量扇贝在超高压处理后, 贝肉与贝壳的脱离程度和贝肉的完整性的重要参数。

本研究参考 M. Cruz-Romero 等<sup>[10]</sup>的研究方法测定扇贝的得肉率。具体操作方法如下: 扇贝称重后进行超高压处理, 将处理后扇贝的贝肉与贝壳分离, 用滤纸吸干贝肉后进行称重。根据式 (1) 即可计算出扇贝的得肉率。

$$R_{M-S} = \frac{m_M}{m_S}, \quad (1)$$

式中:  $R_{M-S}$  为扇贝的得肉率, %;

$m_M$  为脱壳之后所得贝肉的质量, g;

$m_S$  为脱壳前整个扇贝的质量, g。

##### 2) 持水率

持水率表示扇贝的水分含量, 它直接决定了扇贝的口感和质地, 是衡量扇贝质量优劣的重要指标<sup>[11]</sup>。其测定方法如下: 将称重后的贝肉放在底部填有棉花的离心管中, 离心处理 6 min 后取出, 称取此时贝肉质量, 并根据式 (2) 计算贝肉的持水率。

$$C_{WH} = \frac{(m_M - m_C)}{m_M}, \quad (2)$$

式中:  $C_{WH}$  为扇贝持水率, %;

$m_C$  为离心后贝肉的质量, g。

##### 3) TVB-N

TVB-N 是指扇贝在储藏过程中, 贝肉中的蛋白质在微生物作用下被分解成具有挥发性的氨及胺类的碱性化合物。因此, 贝肉中 TVB-N 的含量可以反映出蛋白质被分解的程度, 从而反映贝肉的新鲜度。

扇贝的 TVB-N 值的测定是参照 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》<sup>[12]</sup> 中的方法进行。

##### 4) 菌落总数

菌落总数是一种判定食品等被细菌污染程度和卫生质量情况的重要指标。菌落总数的测定是参照 GB/T 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定方法》<sup>[13]</sup> 中的方法进行, 采用平板计数法, 计算每克待检扇贝的菌落总数。

#### 1.2.2 因素水平表的确定

本课题组在之前单因素试验研究<sup>[14]</sup>的基础上, 确定本研究的试验压力范围为 200~400 MPa, 保压时间为 0~300 s, 分别以 20 MPa, 30 s 为梯度, 设计的 2 因素 11 水平明细表如表 1 所示。

表 1 试验因素水平明细表

Table 1 Detailed table of experimental factors

试验号	试验压力 /MPa	保压时间 /s
1	200	0
2	220	30
3	240	60
4	260	90
5	280	120
6	300	150
7	320	180
8	340	210
9	360	240
10	380	270
11	400	300

由于本研究的试验因素数少于水平数, 故采用均

匀试验法进行重复试验<sup>[15]</sup>。通过对试验数据进行分析,达到优化试验条件的目的。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验结果

本研究根据 $U_{11}(11^{10})$ 均匀试验表和使用表进行试验,所得结果如表2所示,其中 $x_1$ 为试验压力, $x_2$ 为保压时间, $x_1 \times x_2$ 为试验压力和保压时间的交互性, $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ 、 $y_4$ 分别为扇贝的得肉率、持水率、TVB-N、菌落总数。

表2 试验安排与结果

Table 2 Arrangement and results of experiments

序号	$x_1$	$x_2$	$x_1 \times x_2$	$y_1/\%$	$y_2/\%$	$y_3/(\text{mg} \cdot (100 \text{g})^{-1})$	$y_4/(10^4 \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1})$
1	1	5	7	84	15.1	8.6	4.3
2	2	10	3	79	18.2	5.3	3.8
3	3	4	10	86	21.5	7.5	4.7
4	4	9	6	94	24.1	6.8	4.2
5	5	3	2	97	22.3	7.3	4.6
6	6	8	9	92	22.6	5.9	3.9
7	7	2	5	98	21.8	6.9	4.4
8	8	7	1	93	19.7	5.6	3.8
9	9	1	8	89	18.4	7.1	4.0
10	10	6	4	94	17.8	6.4	3.9
11	11	11	11	88	16.2	5.1	3.3

### 2.2 试验因素对扇贝得肉率的影响

#### 2.2.1 回归方程的建立

根据表2中的试验结果,利用Minitab软件建立了扇贝得肉率与试验因素的回归方程,根据单因素试验结果<sup>[14]</sup>,得肉率( $y_1$ )与试验压力( $x_1$ )和保压时间( $x_2$ )呈非线性关系,考虑试验因素交互性( $x_1 \times x_2$ )建立二元二次回归方程,

$$y_1 = 0.1 + 0.624x_1 - 0.0417x_2 + 0.000226x_1 \times x_2 - 0.00103x_1^2 - 0.000126x_2^2 \quad (3)$$

#### 2.2.2 回归方程显著性分析

本研究对得肉率与试验压力,保压时间所建立的回归方程进行方差和显著性分析,结果如表3所示。其中 $df$ 表示自由度, $SS$ 表示方差, $MS$ 表示均方, $F$ 值表示组间均方与组内均方的比值。

表3 得肉率回归方程误差分析

Table 3 Error analysis of regression equation for meat yield of scallop

方差来源	$df$	$SS$	$MS$	$F$ 值	显著性
回归	5	255.08	51.021		
剩余	5	19.46	3.892	13.11	**
总计	10	274.54	54.912		

由扇贝得肉率的回归方程得出该方程的相关系数 $r_1 = 0.901 > r_{0.05}(5, 5) = 0.898$ ,由此说明该回归方程的水平比较显著。由 $df_1 = 5$ 、 $df_2 = 5$ ,查得该方程的临界 $F$ 值 $F_{0.01}(5, 5) = 10.97$ ,由于 $F$ 值大于 $F_{0.01}(5, 5)$ ,这说明经过超高压处理的扇贝得肉率( $y_1$ )与试验压力( $x_1$ )和保压时间( $x_2$ )存在极显著的非线性关系,所建立的二元二次回归方程可以较好地反映出扇贝得肉率的变化规律。

#### 2.2.3 扇贝得肉率试验因素的响应面曲线

根据扇贝得肉率所建立的回归方程,利用MATLAB软件绘制了扇贝得肉率与试验因素的响应面曲线,如图1所示。

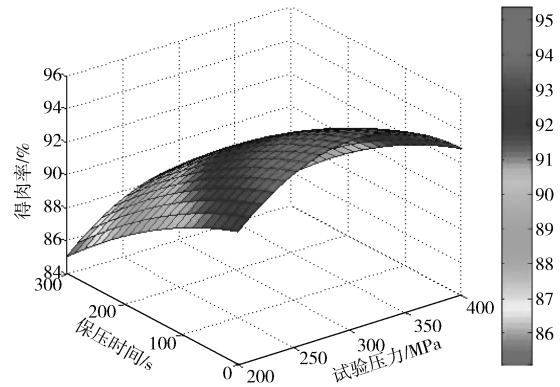


图1 扇贝得肉率与试验因素的响应面曲线

Fig. 1 Response surface curve of meat yield and experimental factors of scallop

彩图

由图1可以看出,试验压力为200~350 MPa,保压时间为0~150 s时,扇贝的得肉率随着试验压力和保压时间增加而增加,这主要是由于超高压作用使扇贝的闭壳肌蛋白质发生了变性,失去原有的弹性而变得松弛<sup>[16]</sup>,从而使贝肉与贝壳剥离,达到脱壳的目的。根据单因素试验结果,当试验压力达到300 MPa时,贝肉可以在没有任何外力的作用下,自主地从贝壳上脱离下来,提高了扇贝得肉率的同时,也使贝肉的完整性显著提升<sup>[17]</sup>;当试验压力超过350 MPa时,随着试验压力和保压时间的增加,扇贝得肉率反而呈现下降的趋势,这主要是由于试验压力过大,使贝肉及闭壳肌的肌纤维蛋白结构被破坏,从而造成了贝肉的损失<sup>[18]</sup>。

#### 2.2.4 扇贝得肉率工艺参数优化

为探索扇贝得肉率最佳的工艺参数,本研究对式(3)求偏导,求得 $x_1 = 304$  MPa,  $x_2 = 118$  s时, $y_1$ 的极大值为96.04%。该得肉率回归方程计算得到的结果与表2中所得试验结果(得肉率最大值为98%)

比较接近, 故本研究所建立的得肉率回归方程成立。为使扇贝的得肉率最大, 试验应设置的最佳工艺参数为试验压力 304 MPa, 保压时间 118 s。

### 2.3 试验因素对扇贝持水率的影响

#### 2.3.1 回归方程的建立

根据表 2 中的试验结果, 利用 Minitab 软件建立了扇贝持水率与试验因素的回归方程, 根据单因素试验结果<sup>[14]</sup>, 持水率( $y_2$ )与试验压力( $x_1$ )和保压时间( $x_2$ )呈非线性关系, 考虑试验因素交互性( $x_1 \times x_2$ )建立二元二次回归方程,

$$y_2 = -44.1 + 0.466x_1 - 0.0254x_2 + 0.000070x_1 \times x_2 - 0.000811x_1^2 + 0.000032x_2^2 \quad (4)$$

#### 2.3.2 回归方程显著性分析

本研究对扇贝持水率与试验压力, 保压时间所建立的回归方程进行了方差和显著性分析, 分析结果如表 4 所示。

表 4 持水率回归方程误差分析

Table 4 Error analysis of regression equation of water holdup

方差来源	df	SS	MS	F 值	显著性
回归	5	74.038	14.808		
剩余	5	9.011	1.802	8.22	*
总计	10	83.049	16.611		

由扇贝持水率的回归方程得出该方程的相关系数  $r_2 = 0.954 > r_{0.01}(5, 5) = 0.949$ , 由此说明该回归方程的水平比较显著。由  $df_1 = 5$ 、 $df_2 = 5$ , 查得该方程的临界  $F$  值  $F_{0.05}(5, 5) = 5.05$ , 由于  $F$  值大于  $F_{0.05}(5, 5)$ , 这说明经过超高压处理的扇贝持水率( $y_2$ )与试验压力( $x_1$ )和保压时间( $x_2$ )存在比较显著的非线性关系, 所建立的二元二次回归方程可以较好地反映出扇贝持水率的变化规律。

#### 2.3.3 扇贝持水率试验因素的响应面曲线

根据扇贝持水率所建立的回归方程, 利用 MATLAB 软件绘制了扇贝持水率与试验因素的响应面曲线, 如图 2 所示。

结合图 2 和表 2 的试验结果可以看出, 试验压力低于 300 MPa 时, 扇贝的持水率随着压力的增加而增加, 这主要是由于在较低的压力作用下, 蛋白酶催化部分盐桥, 使其消失, 导致贝肉的离子浓度增加<sup>[19-20]</sup>, 从而增强了蛋白质与水的结合能力, 提高了贝肉的持水率; 当压力超过 300 MPa 时, 在高压作用下, 贝肉细胞的细胞膜结构发生变化, 使细胞膜的流动性增加, 改变了细胞膜的渗透性, 从而使细胞

内容物泄漏, 持水率降低<sup>[21]</sup>。

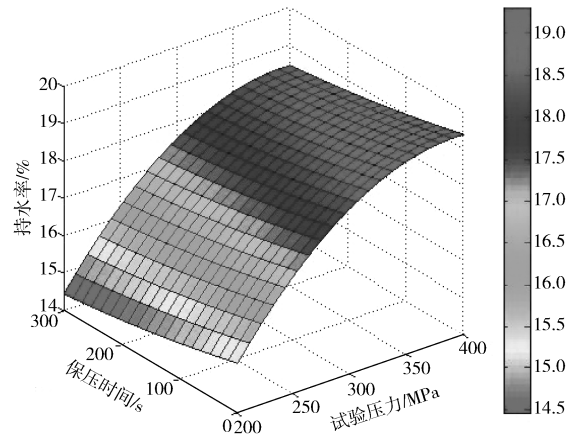


图 2 扇贝持水率与试验因素的响应面曲线  
Fig. 2 Response surface curves of scallop water holding capacity and experimental factors



彩图

#### 2.3.4 扇贝持水率工艺参数优化

为探索扇贝持水率最佳的工艺参数, 本研究对式(4)求偏导, 求得  $x_1 = 291$  MPa,  $x_2 = 179$  s 时,  $y_2$  的极大值为 24.63%。该持水率回归方程计算得到的结果与表 2 中所得试验结果(持水率最大值为 24.1%)比较接近, 误差仅为 2.2%, 故本研究所建立的持水率回归方程成立。为使扇贝的持水率最大, 试验应设置的最佳工艺参数为试验压力 291 MPa, 保压时间 179 s。

### 2.4 试验因素对扇贝 TVB-N 的影响

#### 2.4.1 回归方程的建立

根据表 2 中的试验结果, 利用 Minitab 软件建立了扇贝 TVB-N 与试验因素的回归方程, 根据单因素试验结果<sup>[14]</sup>, TVB-N( $y_3$ )与试验压力( $x_1$ )和保压时间( $x_2$ )呈非线性关系, 考虑试验因素交互性( $x_1 \times x_2$ )建立二元二次回归方程,

$$y_3 = 13.7717 - 0.0381x_1 + 0.0098x_2 - 0.000016x_1 \times x_2 + 0.000053x_1^2 - 0.000051x_2^2 \quad (5)$$

#### 2.4.2 回归方程显著性分析

本研究对扇贝 TVB-N 与试验压力, 保压时间所建立的回归方程进行了方差和显著性分析, 分析结果如表 5 所示。

表 5 TVB-N 回归方程误差分析

Table 5 Error analysis of regression equation for TVB-N variation

方差来源	df	SS	MS	F 值	显著性
回归	5	17.1049	3.4210		
剩余	5	1.7406	0.3481	9.83	*
总计	10	18.8455	3.7691		

由扇贝 TVB-N 的回归方程得出该方程的相关系数  $r_3=0.953 > r_{0.01}(5, 5)=0.949$ , 由此说明该回归方程的水平比较显著。由  $df_1=5$ 、 $df_2=5$  查得该方程的临界  $F$  值  $F_{0.05}(5, 5)=5.05$ , 因  $F$  值大于  $F_{0.05}(5, 5)$ , 这说明经过超高压处理的扇贝 TVB-N ( $y_3$ ) 与试验压力 ( $x_1$ ) 和保压时间 ( $x_2$ ) 存在比较显著的非线性关系, 所建立的二元二次回归方程可以较好地表明 TVB-N 的变化规律。

#### 2.4.3 扇贝 TVB-N 与试验因素的响应面曲线

根据扇贝 TVB-N 所建立的回归方程, 利用 MATLAB 软件绘制了扇贝 TVB-N 与试验因素的响应面曲线, 如图 3 所示。

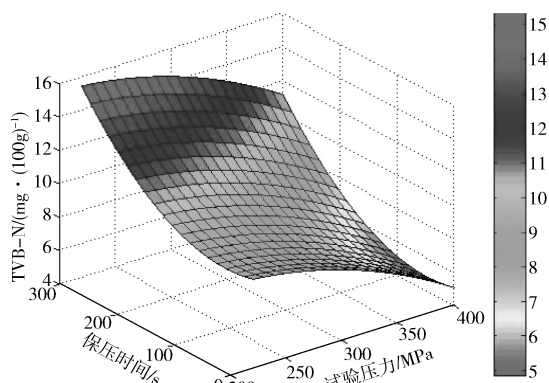


图3 扇贝 TVB-N 值与试验因素的响应面曲线  
Fig. 3 Response surface curves of scallop TVB-N values and experimental factors



彩图

由图 3 可知, 随着试验压力的增大和保压时间的延长, 扇贝的 TVB-N 值逐渐减小, 这主要是因为高压作用下, 扇贝中的微生物数量减少, 对蛋白质的分解作用减弱, 所生成的碱性物质较少<sup>[22]</sup>, 使扇贝存储的初始条件得到优化, 可以有效地提高扇贝的存储品质, 延长货架期。

#### 2.4.4 扇贝 TVB-N 工艺参数优化

为探索扇贝 TVB-N 最佳的工艺参数, 本研究对式 (5) 求偏导, 求得  $x_1=365$  MPa,  $x_2=49$  s 时,  $y_3$  极小值为 5.43 mg/(100 g)。表 2 中所得 TVB-N 的极小值为 5.1 mg/(100 g), 两者试验结果比较接近, 误差仅为 6.47%, 故本研究建立的扇贝 TVB-N 回归方程成立。为使扇贝的 TVB-N 值最小, 试验应设置的最佳工艺参数为试验压力 365 MPa, 保压时间 49 s。

### 2.5 试验因素对扇贝菌落总数的影响

#### 2.5.1 回归方程的建立

根据表 2 中的试验结果, 利用 Minitab 软件建立了扇贝菌落总数与试验因素的回归方程, 根据单因

素试验结果<sup>[14]</sup>, 菌落总数 ( $y_4$ ) 与试验压力 ( $x_1$ ) 和保压时间 ( $x_2$ ) 呈非线性关系, 考虑试验因素交互性 ( $x_1 \times x_2$ ) 建立二元二次回归方程,

$$y_4=3.54+0.013 2x_1-0.006 56x_2+0.000 017x_1 \times x_2-0.000 032x_1^2-0.000 004x_2^2 \quad (6)$$

#### 2.5.2 回归方程显著性分析

本研究对扇贝菌落总数与试验压力, 保压时间所建立的回归方程进行了方差和显著性分析, 分析结果如表 6 所示。

表 6 菌落总数回归方程误差分析

Table 6 Error analysis of regression equation for total plate count

方差来源	df	SS	MS	F 值	显著性
回归	5	1.490 86	0.298 17		
剩余	5	0.165 50	0.033 10	9.01	*
总计	10	1.656 36	0.331 27		

由扇贝菌落总数回归方程得出该方程的相关系数  $r_4=0.952 > r_{0.01}(5, 5)=0.949$ , 由此说明该回归方程的水平比较显著。由  $df_1=5$ 、 $df_2=5$ , 查得该方程的临界  $F$  值  $F_{0.05}(5, 5)=5.05$ , 由于  $F$  值大于  $F_{0.05}(5, 5)$ , 这说明经过超高压处理的扇贝, 其菌落总数 ( $y_4$ ) 与试验压力 ( $x_1$ ) 和保压时间 ( $x_2$ ) 存在比较显著的非线性关系, 所建立的二元二次回归方程可以较好地反映出菌落总数的变化规律。

#### 2.5.3 扇贝菌落总数与试验因素的响应面曲线

根据扇贝菌落总数所建立的回归方程, 利用 MATLAB 软件绘制了扇贝菌落总数与试验因素的响应面曲线, 如图 4 所示。

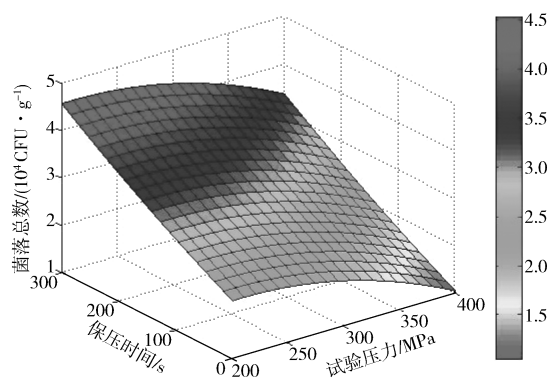


图4 扇贝菌落总数与实验因素响应面曲线  
Fig. 4 Response surface curve of scallop colony number and experimental factors



彩图

由图 4 可以看出, 随着压力的增加和保压时间的延长, 扇贝的菌落总数逐渐减小, 这主要是由于在超高压作用下, 扇贝中微生物细胞膜的磷脂分子横切面

积缩小, 脂类双分子层结构受到破坏, 改变了细胞膜的流动性和渗透性<sup>[23]</sup>, 破坏了微生物原本稳定的内环境, 从而影响了微生物正常的代谢活动, 引起微生物的死亡<sup>[24]</sup>。经过超高压处理的扇贝所携带的微生物数量降低, 提高了扇贝的储存品质, 优化了扇贝保鲜的初始条件。

#### 2.5.4 扇贝菌落总数初始值工艺参数优化

为探索扇贝菌落总数最佳的工艺参数, 本研究对式(6)求偏导。求得 $x_1=271$  MPa,  $x_2=244$  s时,  $y_4$ 极小值为 $3.33 \times 10^4$  CFU/g。表2中所得菌落总数最小值为 $3.3 \times 10^4$  CFU/g, 两者试验结果比较接近, 误差仅为0.9%, 故本研究建立的扇贝菌落总数回归方程成立。为使扇贝的菌落总数达到最小值, 试验应设置的最佳工艺参数为试验压力271 MPa, 保压时间244 s。

### 3 结论

超高压技术是现阶段比较热门的一项冷加工技术, 可以使扇贝轻松脱壳, 并且得到比较完整的贝肉。本研究主要通过均匀试验法对试验条件进行设计, 利用Minitab和MATLAB软件对试验数据进行分析 and 优化, 结合扇贝的得肉率、持水率、TVB-N及菌落总数, 通过对扇贝各品质指标所建立的回归方程求偏导, 得到了各指标取极值时的最佳试验压力( $x_1$ )和保压时间( $x_2$ ), 从而得出以下结果: 当 $x_1=304$  MPa,  $x_2=118$  s时, 扇贝的得肉率取最大值为96.04%; 当 $x_1=291$  MPa,  $x_2=179$  s时, 扇贝的持水率取最大值为26.63%; 当 $x_1=365$  MPa,  $x_2=49$  s时, 扇贝的TVB-N取最小值为5.43 mg/(100 g); 当 $x_1=271$  MPa,  $x_2=244$  s时, 扇贝的菌落总数取最小值为 $3.33 \times 10^4$  CFU/g。

综合参数优化结果, 在扇贝超高压脱壳过程中, 得肉率是考查扇贝脱壳效果的重要指标, 因此, 以得肉率的优化参数为依据, 扇贝超高压脱壳的加工过程中试验压力设置为300 MPa, 保压时间设置为180 s。在此试验条件下进行重复试验, 得到扇贝得肉率为95.9%、持水率为24.6%, TVB-N为6.93 mg/(100 g), 菌落总数为 $4.32 \times 10^4$  CFU/g, 该条件下扇贝脱壳后的品质指标与各个指标的最优值比较接近, 满足扇贝的生产要求。

综上所述, 扇贝在300 MPa的压力下保持180 s, 可以获得较好的营养品质和脱壳效果。扇贝超高压脱

壳工艺是行之有效的脱壳技术, 期望本研究能为实现扇贝的工业化生产提供一定的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 刘书成, 郭明慧, 黄万有, 等. 超高压技术在虾类保鲜与加工中的应用[J]. 食品工业科技, 2015, 36(9): 376-383, 390.  
LIU Shucheng, GUO Minghui, HUANG Wanyou, et al. Application of Ultra High Pressure in Preservation and Processing of Shrimp[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(9): 376-383, 390.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局. 2017年全国渔业经济统计公报[EB/OL]. [2018-11-20]. [http://www.fishdata.cn/web/moa/fishtotal/Show.aspx?Id=215&tdsourcetag=s\\_pcqq\\_aiomsg](http://www.fishdata.cn/web/moa/fishtotal/Show.aspx?Id=215&tdsourcetag=s_pcqq_aiomsg).  
Fisheries Administration Bureau, Ministry of Agriculture, Rural Areas and Villages. National Fishery Economic Statistics Bulletin in 2017[EB/OL]. [2018-11-20]. [http://www.fishdata.cn/web/moa/fishtotal/Show.aspx?Id=215&tdsourcetag=s\\_pcqq\\_aiomsg](http://www.fishdata.cn/web/moa/fishtotal/Show.aspx?Id=215&tdsourcetag=s_pcqq_aiomsg).
- [3] 芦新春, 孙星钊, 王伟. 双壳贝类脱壳预处理技术现状及发展趋势[J]. 当代农机, 2015(9): 74-76.  
LU Xinchun, SUN Xingzhao, WANG Wei. Current Status and Development Trend of Shelling Pretreatment Technology for Bivalves[J]. Contemporary Farm Machinery, 2015(9): 74-76.
- [4] 李秋实, 王家忠, 弋景刚, 等. 海湾扇贝闭壳肌剥离设备的发展现状与展望[J]. 广东农业科学, 2013, 40(10): 198-201.  
LI Qiushi, WANG Jiazong, YI Jinggang, et al. Development State and Prospect of Bay Scallop's Adductor Splitting Sevice[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(10): 198-201.
- [5] 朱松明, 苏光明, 王春芳, 等. 水产品超高压加工技术研究与应用[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 168-177.  
ZHU Songming, SU Guangming, WANG Chunfang, et al. Research and Application on High-Pressure Processing of Aquatic Products[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 168-177.
- [6] 弋景刚, 吴红雷, 姜海勇, 等. 蒸汽式扇贝开壳装置工作参数优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18): 70-77.  
YI Jinggang, WU Honglei, JIANG Haiyong, et al. Optimization of Operating Parameters on Steam-Shelling Device for Scallop[J]. Transactions of the Chinese Society

- of Agricultural Engineering, 2014, 30(18): 70-77.
- [7] 李珍妮, 邓字巍. 仿贻贝黏附性多巴胺的研究与应用进展 [J]. 高分子材料科学与工程, 2015, 31(1): 185-190.  
LI Zhenni, DENG Ziwei. Progress in Research and Application of Mussel-Inspired Adhesive Dopamine[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(1): 185-190.
- [8] YI J J, XU Q, HU X S, et al. Shucking of Bay Scallop (*Argopecten Irradians*) Using High Hydrostatic Pressure and Its Effect on Microbiological and Physical Quality of Adductor Muscle[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 18: 57-64.
- [9] 廖智, 孙琦, 姜雨婷. 贝类闭壳肌-贝壳连接界面的分子组成及连接机制 [J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2018, 37(4): 313-319, 326.  
LIAO Zhi, SUN Qi, JIANG Yuting. Molecular Composition and Mechanism of Muscle-Shell Attachment of Shellfish[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2018, 37(4): 313-319, 326.
- [10] CRUZ-ROMERO M, KELLY A L, KERRY J P. Effects of High-Pressure and Heat Treatments on Physical and Biochemical Characteristics of Oysters (*Crassostrea Gigas*)[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8(1): 30-38.
- [11] 李学鹏, 周凯, 王祺, 等. 牡蛎超高压脱壳效果的研究 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(15): 210-214.  
LI Xuepeng, ZHOU Kai, WANG Qi, et al. The Effect of Ultra High Pressure Treatment on the Shucking of Oysters[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(15): 210-214.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.228—2016: 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 3-10.  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.228—2016: National Food Safety Standard Determination of Volatile Base Nitrogen in Food[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016: 3-10.
- [13] 中华人民共和国卫生部. GB/T 4789.2—2016: 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 2-13.  
The Ministry of Health of the people's Republic of China. GB/T 4789.2—2016: National Food Safety Standard Microbiological Examination[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016: 2-13.
- [14] 巩雪, 常江, 孙智慧, 等. 扇贝超高压保鲜包装实验 [J]. 包装工程, 2017, 38(7): 49-52.  
GONG Xue, CHANG jiang, SUN Zhihui, et al. Scallop Ultra-High Pressure Fresh-Keeping Packaging Experiment[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(7): 49-52.
- [15] 李志西, 杜双奎. 试验优化设计与统计分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 21-27.  
LI Zhixi, DU Shuangkui. Optimum Design of Test and Statistical Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2010: 21-27.
- [16] 王敏. 超高压对贻贝脱壳及品质的影响研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2012.  
WANG Min. The Effect of High Pressure Treatment on the Shucking of Mussels and Meat Quality[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [17] VOISIN E A. Process of Elimination of Bacteria in Shellfish and of Shucking Shellfish: United States, 6537601[P]. 2003-03-25.
- [18] 易俊杰, 董鹏, 丁国微, 等. 鲍鱼超高压脱壳工艺的优化及品质研究 [J]. 高压物理学报, 2014, 28(2): 239-246.  
YI Junjie, DONG Peng, DING Guowei, et al. Process Optimization of Abalone Shucking by High Hydrostatic Pressure Processing and Quality Assessment[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2014, 28(2): 239-246.
- [19] BELTRÁN-LUGO A I, MAEDA-MARTÍNEZ A N, PACHECO-AGUILAR R, et al. Seasonal Variations in Chemical, Physical, Textural, and Microstructural Properties of Adductor Muscles of Pacific Lions-Paw Scallop (*Nodipecten Subnodosus*)[J]. Aquaculture, 2006, 258(1/2/3/4): 619-632.
- [20] CRUZ-ROMERO M, SMIDDY M, HILL C, et al. Effects of High Pressure Treatment on Physicochemical Characteristics of Fresh Oysters (*Crassostrea Gigas*)[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2004, 5(2): 161-169.
- [21] 王莹莹, 张德权, 李淑荣, 等. 高密度 CO<sub>2</sub> 处理对 *E.coli* 细胞膜渗透性的影响 [J]. 核农学报, 2012, 26(1): 86-90, 85.  
WANG Yingying, ZHANG Dequan, LI Shurong, et al. Effect Of Dense Phase Carbon Dioxide On Membrane Permeabilization of *E.Coli*[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(1): 86-90, 85.
- [22] GOULAS A E, KONTOMINAS M G. Effect of Modified Atmosphere Packaging and Vacuum Packaging on the Shelf-Life of Refrigerated Chub Mackerel (*Scomber Japonicus*): Biochemical and Sensory Attributes[J]. European Food Research and Technology, 2007, 224(5): 545-553.
- [23] 王蓉蓉, 孙传范, 王婷婷, 等. 超高压杀菌机制研究

进展[J]. 高压物理学报, 2012, 26(6): 700-708.

WANG Rongrong, SUN Chuanfan, WANG Tingting, et al. Research on Mechanism of Ultra-High Pressure Sterilization[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2012, 26(6): 700-708.

- [24] 王春芳, 毛明, 王为民, 等. 微生物在超高压下的致变机理和影响因素研究现状[J]. 中国食品学报, 2013, 13(7): 164-169.

WANG Chunfang, MAO Ming, WANG Weimin, et al. Research Status of Micro-Organisms' Mutagenic Mechanism and Influencing Factors by the Ultra-High Pressure[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(7): 164-169.

(责任编辑: 李玉华)

## Technological Parameter Optimization of Scallop Shelling Under Ultra High Pressure

GONG Xue<sup>1,2</sup>, CHANG Jiang<sup>1,2</sup>, LI Danting<sup>1</sup>

(1. School of Light Industry, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China;

2. Key Laboratory of Provincial Colleges and Universities of Packaging Science and Engineering Technology, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

**Abstract:** In order to study the application of ultra-high pressure technology in scallop shelling, 200~400 MPa high pressure has been applied to the pretreated scallops for 0~300 seconds. The x-uniform test table with 2 factors and 11 levels was selected to design the test conditions according to the uniform experimental design method. The regression equation of the experimental factors and the total number of colony was established by measuring the meat yield, water holding capacity, TVB-N value and other indicators of scallops. The processing parameters of scallop under ultra-high pressure were optimized by using response surface curve. The optimal processing parameters were determined according to the test pressure and holding time corresponding to the extreme values of each index. According to the calculation results, in the process of ultra-high pressure scallop treatment, with the experimental pressure being 300 MPa and the holding time about 180 seconds, a higher shelling rate and meat yield could be obtained, while a higher nutritional value and storage quality of scallop were maintained as well.

**Keywords:** scallop; ultra-high pressure; shelling; response surface; parameter optimization