

陈婉婷, 张泓麟, 王晓燕, 等. 超高压处理牡蛎开壳工艺研究[J]. 渔业研究, xxxx, xx(x): 1–8.
Chen W T, Zhang H L, Wang X Y, et al. Research on the ultra-high pressure oyster shelling process[J]. Journal of Fisheries Research, xxxx, xx(x): 1–8.

超高压处理牡蛎开壳工艺研究



陈婉婷¹, 张泓麟¹, 王晓燕¹, 苏永昌^{2*}, 王永明³,
陈绪龙³, 陈晓婷², 林河通¹, 刘智禹^{2*}

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002;
2. 福建省水产研究所, 福建省海洋生物增养殖与高值化利用重点实验室, 福建 厦门 361013;
3. 福建牡蛎科技有限公司, 福建 泉州 362141)

摘要: 【背景】牡蛎是中国重要的水产养殖品种, 营养丰富。目前, 牡蛎开壳取肉主要采用传统人工方法, 开壳效率低、成本高, 难以满足规模化加工需求。超高压技术在水产品辅助开壳中展现出良好的应用前景, 但对于其工艺方面的系统研究仍较为缺乏。【目的】本研究旨在系统探讨超高压处理中压力、保压时间与保压温度对牡蛎开壳效率及感官品质的影响, 优化其开壳工艺参数, 为产业化应用提供理论依据。【方法】以福建牡蛎 (*Crassostrea angulata*) 为原料, 通过单因素试验分析不同压力、保压时间和保压温度等条件对开壳率、开壳大小、壳肉分离率、得肉率及感官评分的影响, 并采用正交试验进一步优化参数, 筛选最佳的牡蛎开壳工艺。【结果】单因素试验结果表明, 随着压力、保压时间和保压温度的升高, 开壳率、壳肉分离率和得肉率均呈现上升趋势, 但感官评分则为先上升后下降。正交试验结果显示, 压力对感官评分具有显著的影响, 各因素对感官评分影响的主次顺序为压力>保压温度>保压时间, 最优工艺组合为压力 250 MPa、保压时间 3 min、保压温度 20 ℃。在此条件下, 开壳率为 96.67%, 壳肉分离率为 92.22%, 得肉率为 96.67%, 开壳大小为 6.91 mm, 感官评分达 32.7, 开壳综合效果最佳。【结论】超高压处理可有效实现牡蛎高效开壳并保持良好的感官品质, 优化工艺条件为 250 MPa、20 ℃、保压 3 min, 具有良好的推广应用价值。

关键词: 超高压; 牡蛎; 开壳; 工艺优化

中图分类号: S985.3; TS254.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9848 (xxxx) 00-0001-08

牡蛎是中国重要的水产养殖品种, 其富含多种营养物质, 如牛磺酸、蛋白质、维生素, 以及矿物质等人体所需微量元素, 受到广大消费者的喜爱^[1]。2024 年中国牡蛎养殖产量达 725×10^4 t, 比 2023 年增长了 8.71%^[2]。目前, 在牡蛎加工过程中, 牡蛎开壳取肉主要是以人工开壳为主, 存在人力成本高、

开壳效率低、牡蛎肉破损和杂质多等问题。随着加工产业对牡蛎肉需求量的不断增加, 寻找一种高效快捷的牡蛎开壳取肉的方法成为产业技术研究的一大热点。超高压技术 (Ultra-high pressure, UHP) 在食品中最早被用于乳制品的杀菌^[3], 随着研究的深入, 其在水产品的辅助开壳中也被广泛应用。如

收稿日期: 2025-10-17

修回日期: 2025-11-11

基金项目: 福建省促进海洋与渔业产业高质量发展专项 (FJHYF-L-2023-13); 福建省海洋与渔业综合服务专项资金项目 (FYZF-KTYJ-2025-12); 福建省自然科学基金项目 (2023J011326)

第一作者: 陈婉婷, 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: 2585012721@qq.com

通信作者: 苏永昌, 男, 副研究员, 博士, 研究方向为海洋活性物质开发。E-mail: suyongchang5@126.com

刘智禹, 男, 教授级高级工程师, 博士, 研究方向为水产品加工与综合利用。E-mail: 13906008638@163.com

李彩璐等^[4]的研究表明,超高压处理有助于缩短小龙虾(*Procambarus clarkii*)的脱壳时间,并提高虾仁完整率;吕鸣春等^[5]发现,超高压条件处理下的泥蚶(*Tegillarca granosa*)脱壳率均能达到100%,且对其感官没有太大影响;陈启航等^[6]发现,250 MPa、3 min的超高压处理条件能够提高虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)的脱壳效果,但压力太高会导致其肌原纤维蛋白含量、结构等发生变化。超高压在牡蛎开壳方面也有一定的效果,如Puertolas等^[7]发现,高压处理能有效地促进日本牡蛎(*Magallana gigas*)开壳,分别在300、325和350 MPa,以及处理时间为2 min的条件下,日本牡蛎的开壳率均高于对照组,并能保持其感官品质;李学鹏等^[8]研究发现,超高压处理大连湾牡蛎(*Ostrea talienwhanensis Crosse*)的最佳条件为300 MPa、处理时间1 min,且其对外观品质影响较小。目前,超高压处理牡蛎的研究主要以灭菌杀菌^[9-11]为主,对于开壳工艺的优化研究还较少。因此,本文以福建牡蛎(*Crassostrea angulata*)为原料,研究不同压力、保压时间和保压温度对福建牡蛎开壳效率和感官品质的影响,并通过正交试验得出最佳开壳工艺条件,旨在为超高压技术在牡蛎开壳方面的应用提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

鲜活带壳福建牡蛎(以下简称牡蛎):体质量均值为(80±20) g,产于福建省漳州市漳浦县。将新鲜牡蛎清洗后,置于4℃低温保存备用。福建省水产研究所科技伦理(审查)委员会批准动物试验,批准编号为FRIF21-2510-04。

1.1.2 仪器设备

HPP.L1-500/10超高压设备,天津市华泰森森生物工程技术有限公司;BSA 8201电子天平,德国赛多利斯有限公司;TP677食品温度计,温州米特尔智能科技有限公司;HWS-28电热恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 牡蛎超高压开壳工艺

鲜活带壳牡蛎称重后,置于超高压设备的高压容器内,以自来水为高压传递介质,分别设置不同压力、保压时间和保压温度进行超高压处理。经超高压处理后,取出牡蛎,分别测定各牡蛎的开壳

率、开壳大小、壳肉分离率和得肉率,并结合感官评分对牡蛎肉品质进行分析。

1.2.2 单因素试验

1) 压力对牡蛎开壳效果的影响

在保压时间为3 min、保压温度为20℃条件下,分别设定不同压力150、200、250、300、350 MPa对牡蛎进行超高压处理,分析压力对牡蛎开壳效果的影响。

2) 保压时间对牡蛎开壳效果的影响

在压力250 MPa、保压温度为20℃条件下,分别设定不同保压时间1、2、3、4、5 min对牡蛎进行超高压处理,分析保压时间对牡蛎开壳效果的影响。

3) 保压温度对牡蛎开壳效果的影响

在压力250 MPa、保压时间为3 min条件下,分别设定不同保压温度20、30、40、50、60℃对牡蛎进行超高压处理,分析保压温度对牡蛎开壳效果的影响。

1.2.3 正交试验

在单因素试验研究结果的基础上,采用L₉(3⁴)正交试验对牡蛎超高压开壳工艺进行优化,以保压时间、压力和保压温度为3个影响因素,以感官评分为参考指标,开壳指标为辅助,最终以开壳效率高且感官评分高的条件确定为牡蛎超高压开壳最佳工艺。正交试验因素水平见表1。

表1 正交试验因素与水平

Tab. 1 Orthogonal test factors and levels

水平 Levels	因素 Factors		
	(A) 保压时间/min Holding time	(B) 压力/MPa Pressure	(C) 保压温度/℃ Holding temperature
1	2	200	20
2	3	250	30
3	4	300	40

1.2.4 牡蛎开壳指标的测定

1) 开壳率

参考欧阳杰等^[12]的方法,采用厚度为1.5 mm的标准开壳刀进行测定。将刀尖置于处理后牡蛎的壳缝处,若其可自然切入,则判定为已开壳;若刀片无法顺利切入,则判定为未开壳。开壳率按以下公式计算:

$$\text{开壳率} = \frac{\text{已开壳牡蛎数量}}{\text{试验组牡蛎总数量}} \times 100\% \quad (1)$$

2) 开壳大小

参考欧阳杰等^[12]的方法, 将开壳大小定义为牡蛎两壳之间的垂直距离。使用游标卡尺测量开壳后牡蛎在壳体张开最大部位的尺寸。各牡蛎开壳程度存在一定的差异, 因此最终以处理组全部样本测定结果的平均值作为该组的开壳大小。

3) 壳肉分离率

统计开壳牡蛎中肉壳粘连的情况, 牡蛎肉自然脱壳占试验组牡蛎总数的比例记为壳肉分离率。壳肉分离率按以下公式计算:

$$\text{壳肉分离率} = \frac{\text{自然脱壳牡蛎数量}}{\text{试验组牡蛎总数量}} \times 100\% \quad (2)$$

4) 得肉率

参考 Cruz-Romero 等^[13]和李学鹏等^[8]的方法并稍作修改, 分别记录开壳后牡蛎肉 (M_1) 和残留在牡蛎壳上的肉 (M_2) 的质量。得肉率按以下公式计算:

$$\text{得肉率} = (M_1 - M_2)/M_1 \times 100\% \quad (3)$$

式(3)中: M_1 为开壳后牡蛎肉的质量; M_2 为开壳后残留于牡蛎壳上的肉的质量。

1.2.5 感官评价

将不同处理开壳后的牡蛎肉在沸水中煮 3 min, 捞出, 由 10 人组成感官评价小组, 从牡蛎肉的色泽、气味、组织状态、滋味四个方面, 对牡蛎肉的感官品质进行评价, 每个指标占 10 分, 满分为 40 分, 取平均值。评分标准如表 2 所示。

1.3 数据处理

每组试验平行 3 次, 将所得的试验数据通过 SPSS 27 和 Excel 2019 软件进行整理和分析, 并使用 Origin 2021 软件进行数据图的制作, 采用邓肯法分析其显著性。

2 结果与分析

2.1 压力对牡蛎开壳效果和感官评分的影响

采用不用压力对牡蛎进行处理, 测定结果如图 1 所示。试验结果表明, 随着压力的增大, 开壳率和得肉率均呈现逐渐增加的趋势, 并在压力为 300 MPa 时达到 100% 开壳和 100% 得肉; 在压力为 150 MPa 时, 牡蛎闭壳肌无法与壳完全分离, 无法实现壳肉分离; 随着压力的增加, 壳肉分离率也随之提高至 98.89%; 开壳大小随着压力的增加而逐渐增大, 在 350 MPa 时达到最大, 达 8.69 mm。这可能是因为较低的压力对牡蛎闭壳肌的影响较小, 闭壳肌变性程度低使其与牡蛎壳之间仍保持紧密连

接的状态, 而压力越高, 对闭壳肌的影响越大^[14], 使得牡蛎开口程度高, 壳肉更易分离。

表 2 牡蛎感官评分标准

Tab. 2 The sensory evaluation standard of oysters

评价指标 Evaluation indices	评分标准 Scoring criteria	分值 Scores
色泽 Color and luster	乳白或浅灰, 光泽自然均匀	9~10
	浅灰或微黄, 色泽稍暗	6~8
	颜色不均, 光泽不足, 略浑浊	3~5
	发黄、发暗或褐变, 无光泽	0~2
气味 Odor	牡蛎香气浓郁清新, 无异味	9~10
	气味较淡, 无异味	6~8
	略带金属味或腥味	3~5
	有明显酸败或腐败味	0~2
组织状态 Organization status	肉质紧实富弹性, 按压回弹快, 表面光滑均匀	9~10
	肉质基本紧实, 略有弹性, 按压后回弹较慢	6~8
	肉质稍松散, 表面欠光滑, 按压后不易恢复	3~5
	肉质松散, 伴有黏液或异物, 质地不均	0~2
滋味 Taste	鲜甜味突出, 咸淡适中, 余味清爽	9~10
	鲜甜味明显, 咸味略有偏差	6~8
	鲜甜味弱, 有金属锈味	3~5
	无鲜甜味, 有苦涩等异味	0~2

对不同压力处理的牡蛎肉进行感官评价, 结果如图 1e 所示。试验发现, 压力是决定牡蛎肉感官品质的关键因素。随着处理压力的增大, 牡蛎肉感官评分呈现出先上升而后下降的趋势。在较低压力(如 150 MPa)下, 牡蛎肉气味较浓, 组织状态的弹性和回复性欠佳, 滋味中可能残留轻微腥味。当压力增加至 250 MPa 时, 感官综合评分达到峰值, 此时牡蛎肉的色泽呈自然的乳白色, 气味清新浓郁, 组织状态紧实且具有良好的弹性, 滋味呈现出浓郁的甜鲜味且无异味。然而, 当压力过高(如 350 MPa)时, 虽然其可能有利于开壳, 但过强的机械作用会导致肌肉蛋白过度变性, 组织状态变得僵硬或破损, 汁液流失, 并可能引发明显的金属锈味, 导致牡蛎肉综合感官品质劣变。

2.2 保压时间对牡蛎开壳效果和感官评分的影响

采用不同保压时间对牡蛎进行处理, 测定结果如图 2 所示。随着保压时间的增加, 开壳率和得肉率均呈现逐渐增加的趋势, 在 4 min 时达到 100% 开壳和 100% 得肉; 壳肉分离率随保压时间的延长

而逐渐增加，在5 min时达到最高，为98.89%；开壳大小也随着保压时间的延长而逐渐增大，在5 min时达到最大，为11.49 mm。保压时间越长，牡蛎肉闭壳肌受到压力的作用越大，说明增加保压时

长，越容易达到牡蛎壳肉分离的目的，使牡蛎肉能够完全从壳上脱离，但是时间过长也可能会造成牡蛎壳的破损，这可能是由牡蛎壳天然的结构太脆导致的^[15]，因而保压时间不宜过长。

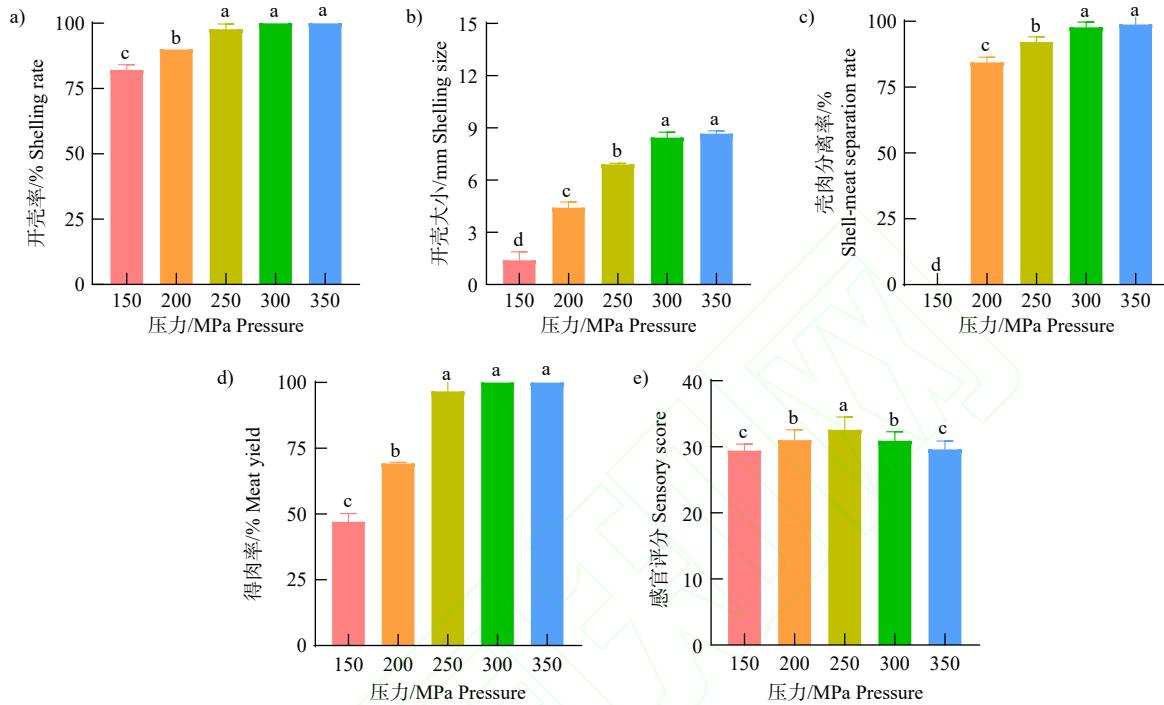


图 1 压力对牡蛎开壳效果和感官评分的影响

Fig. 1 Effects of pressure on shelling efficiency and sensory score of *C. angulata*

注：a. 开壳率；b. 开壳大小；c. 壳肉分离率；d. 得肉率；e. 感官评分。不同小写字母表示组间差异显著 ($P<0.05$)；相同小写字母表示组间无显著差异 ($P>0.05$)。图 2、图 3 同此。

Notes: a. Shell-opening rate; b. Shell-opening size; c. Shell-meat separation rate; d. Meat yield; e. Sensory score. Different lowercase letters mean there are significant differences between the groups ($P<0.05$); the same lowercase letters mean there are no significant differences between the groups ($P>0.05$). It's the same as figure 2 and figure 3.

图 2e 显示了不同保压时间对牡蛎肉感官评分的影响。试验发现，随着保压时间的延长，牡蛎肉的感官评分先升高后降低。当保压时间过短时，处理不充分，可能导致杀菌不足或组织改良效果不佳，致使气味和组织状态评分较低；而当保压时间过长时，则可能因过度处理，导致肉质变硬、失去弹性，并引发不良的风味，使得组织状态和滋味指标显著下降。当保压时间达到3 min时，牡蛎肉感官综合评分最高，此时其色泽呈自然的乳白色，气味清新，组织状态紧实有弹性，滋味的甜鲜味最为浓郁。

2.3 保压温度对牡蛎开壳效果和感官评分的影响

采用不同保压温度对牡蛎进行处理，测定结果如图3所示。随着保压温度的升高，开壳率和壳肉分离率均呈现逐渐增加的趋势，当保压温度为

40 °C时，开壳率和壳肉分离率均达到100%；得肉率也随着保压温度的升高而增加，在30 °C时达到最高，为100%；开壳大小随着保压温度的升高而逐渐增大，在60 °C时达到最大，为14.93 mm。试验结果表明，在低温下，牡蛎开壳大小较小，而温度越高，开壳大小越大，壳肉分离越容易，这可能是高温使蛋白质变性，闭壳肌收缩程度大，但温度过高会使牡蛎肉感官品质变差，肉质发白，因此保压温度不宜过高。

图3e 显示了不同保压温度对牡蛎肉感官评分的影响。试验发现，处理温度对超高压处理后的牡蛎肉感官品质有显著的影响。感官评分随保压温度的升高先略有改善而后急剧下降。较低保压温度（如20 °C）的处理能更好地维持牡蛎肉的新鲜气味和清爽滋味。当保压温度升高至30 °C时，牡蛎

肉感官评分达到较高水平。然而,当保压温度进一步升高至40℃及以上时,牡蛎肉感官评分特别是气味和滋味两项指标出现显著下降。这可能是高温

高压加速脂质氧化和微生物活动,产生令人不悦的鱼腥味、酸败味,同时使肉质失去弹性,色泽发黄变暗,从而损害牡蛎肉整体的可接受度。

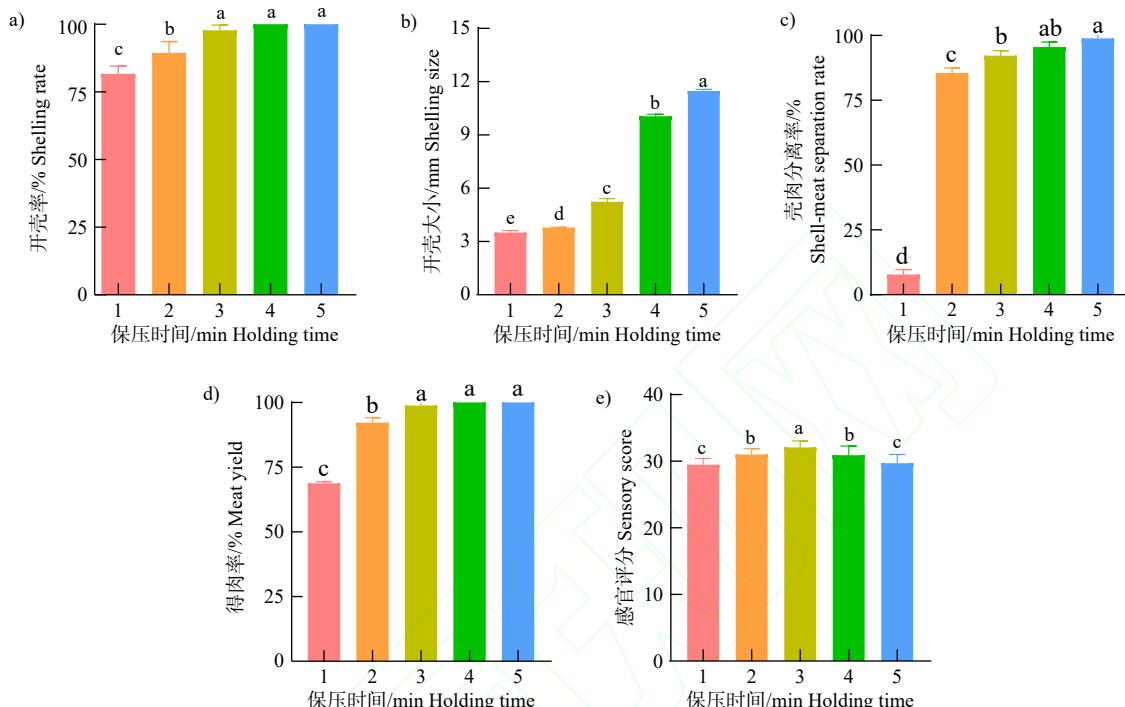


图2 保压时间对牡蛎开壳效果和感官评分的影响

Fig. 2 Effects of holding time on shelling efficiency and sensory score of *C. angulata*

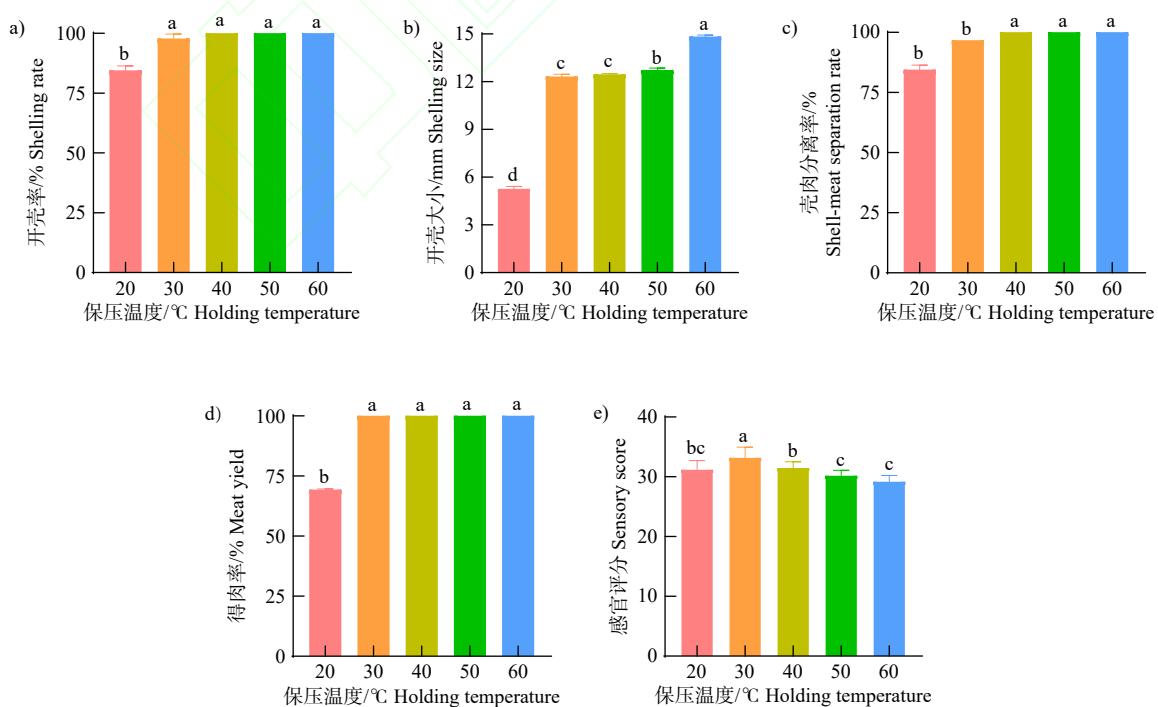


图3 保压温度对牡蛎开壳效果和感官评分的影响

Fig. 3 Effects of holding temperature on shelling efficiency and sensory score of *C. angulata*

2.4 牡蛎超高压开壳工艺试验优化

根据开壳指标结果, 可知除了 1 号试验(开壳率和得肉率分别为 71.1%、59.9%)以外, 其他试验的开壳率和得肉率均达到 90.0% 以上, 开壳大小均在 11 mm 以上; 除 1 号试验(50.0%)、4 号试验(85.6%)外, 其他试验的壳肉分离率均达 100%。感官评分结果如表 3 所示, 极差 R 值的大小顺序为 B>C>D>A, 由此可知影响牡蛎肉感官品质最大的因素为压力, 其次是保压温度, 保压时间对感官品质的影响最小。由表 4 可看出, 影响牡蛎开壳品质的因素由大到小依次为压力、保压温度、保压时间, 且压力大小对开壳品质具有显著的影响。根据 K1、K2、K3 值, 可知牡蛎开壳工艺的最优组合为 A₂B₂C₁, 即压力为 250 MPa、保压时间为 3 min、保压温度为 20 ℃。该结果未在正交试验表中体现, 因此进行验证实验。

表 3 牡蛎超高压开壳工艺正交试验结果

Tab. 3 Orthogonal test results of ultra-high pressure shelling process of *C. angulata*

试验号 Experiment number	A	B	C	D (空列) None	感官评分 Sensory scores
1	1	1	1	1	30.3±3.25
2	1	2	2	2	30.4±2.05
3	1	3	3	3	28.0±2.87
4	2	1	2	3	30.3±2.34
5	2	2	3	1	31.7±2.08
6	2	3	1	2	28.4±2.83
7	3	1	3	2	29.7±3.00
8	3	2	1	3	32.1±2.63
9	3	3	2	1	28.0±2.19
K1	88.7	90.3	90.8	90.0	
K2	90.4	94.2	88.7	88.5	
K3	89.8	84.4	89.4	90.4	
k1	29.57	30.10	30.26	30.00	
k2	30.13	31.40	29.57	29.50	
k3	29.93	28.13	29.80	30.13	
R	0.56	3.27	0.69	0.63	
主次顺序 Order of priority				B>C>D>A	
最优组合 Optimal combination				A ₂ B ₂ C ₁ D ₃	

表 4 正交试验方差分析

Tab. 4 Analysis of variance for orthogonal test

方差来源 Source of variances	离差平方和 Sum of squared dispersions	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F-value	P 值 P-value	显著性 Significance
A	0.496	2	0.248	0.741	0.574	
B	16.229	2	8.114	24.262	0.040	*
C	0.762	2	0.381	1.140	0.467	
D (误差) Error	0.669	2	0.334			

注: 表中*表示影响显著, $P<0.05$ 。

Note: In the table, * indicates significant effect ($P<0.05$).

2.5 验证实验

采用压力 250 MPa、保压时间 3 min、保压温度 20 ℃ 工艺条件对牡蛎进行开壳处理, 得到牡蛎

肉感官评分为 32.7, 优于正交试验获得最佳效果的 8 号试验(32.1), 其开壳率、壳肉分离率、开壳大小和得肉率分别为 96.67%、92.22%、6.91 mm

和 96.67%。因此, 正交试验得出的牡蛎超高压开壳工艺条件确定为最佳工艺条件。

3 结论

本研究采用超高压方法对牡蛎开壳工艺进行研究, 与传统的人工开壳、热力开壳等方法相比, 超高压开壳优势明显。传统方法开壳效率低, 还易损伤牡蛎肉, 影响感官品质。本研究结果表明, 超高压压力、保压时间和保压温度均对牡蛎开壳效果有较大的影响; 采用正交试验对牡蛎超高压开壳工艺进行优化, 获得的最佳工艺条件为保压时间 3 min、压力 250 MPa、保压温度 20 ℃。采用此开壳工艺进行牡蛎加工具有开壳效率高、牡蛎肉完整性高、感官品质优良等优点, 为超高压技术在牡蛎工业化开壳生产提供了依据。

参考文献 (References):

- [1] 施恬, 李东萍. 牡蛎的营养价值及加工利用 [J]. 中国水产, 2023 (6): 95–96.
Shi T, Li D P. Nutritional value, processing and utilization of oysters [J]. China Fisheries, 2023(6): 95–96.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2025 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2025.
Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2025 China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2025.
- [3] Hite B H. The effect of pressure in the preservation of milk [J]. Morgantown, West Virginia: Bulletin of West Virginia University Agricultural Experiment Station, 1899, 58: 15–35.
- [4] 李彩璐, 沈建, 欧阳杰, 等. 鲜活小龙虾超高压剥壳预处理工艺比较及其对虾仁品质的影响 [J]. 渔业现代化, 2023, 50 (3): 104–112.
Li C L, Shen J, Ou Y J, et al. Comparison of ultra-high pressure pretreatment techniques before shucking of fresh crayfish and its effect on the quality of meat [J]. Fishery Modernization, 2023, 50(3): 104–112.
- [5] 吕鸣春, 李高尚, 陈燕婷, 等. 超高压辅助脱壳处理对泥蚶肉品质的影响 [J]. 核农学报, 2020, 34 (5): 1012–1019.
Lü M C, Li G S, Chen Y T, et al. The effects of high pressure assisted shucking on the quality of *Tegillarca granosa* meat [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(5): 1012–1019.
- [6] 陈启航, 文丽华, 陈小娥, 等. 超高压辅助脱壳对虾夷扇贝肌原纤维蛋白生化特性及结构的影响 [J]. 食品科学, 2021, 42 (11): 102–107.
Chen Q H, Wen L H, Chen X E, et al. Effect of ultra-high pressure assisted shelling on biochemical characteristics and structure of myofibrillar protein in *Patinopecten yessoensis* [J]. Food Science, 2021, 42(11): 102–107.
- [7] Puértolas E, García-Muñoz S, Caro M, et al. Effect of different cold storage temperatures on the evolution of shucking yield and quality properties of offshore cultured Japanese oyster (*Magallana gigas*) treated by high pressure processing (HPP) [J]. Foods, 2023, 12(6): 1156.
- [8] 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 X P, Zhou K, Wang Q, 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.
- [9] Cruz-Romero M, Kelly A L, Kerry J P. Effects of high-pressure treatment on the microflora of oysters (*Crassostrea gigas*) during chilled storage [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008, 9(4): 441–447.
- [10] Fletcher G C, Youssef J F, Gupta S. Research issues in inactivation of *Listeria monocytogenes* associated with New Zealand greenshell mussel meat (*Perna canaliculus*) using high-pressure processing [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2008, 17(2): 173–194.
- [11] Cao R, Zhao L, Sun H H, et al. Characterization of microbial community in high-pressure treated oysters by high-throughput sequencing technology [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 45: 241–248.
- [12] 欧阳杰, 马田田, 沈建. 五种开壳方式对牡蛎开壳效率和品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43 (7): 43–49.
Ou Y J, Ma T T, Shen J. Effects of five shucking methods on efficiency and quality of oyster [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 43–49.
- [13] 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 & Emerging Technologies, 2007, 8(1): 30 – 38.
- [14] 文丽华, 陈启航, 宣晓婷, 等. 超高压处理对虾夷扇贝脱壳及其品质影响的研究 [J]. 浙江海洋大学学报 (自然科学版), 2020, 39 (2): 117 – 122.
Wen L H, Chen Q H, Xuan X T, et al. Effects of ultra-
- high pressure treatment on shucking and quality of *Patinopecten yessoensis* [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 2020, 39(2): 117 – 122.
- [15] 苗建银, 赵海培, 李超柱, 等. 牡蛎壳的开发利用 [J]. 水产科学, 2011, 30 (6): 369 – 372.
Miao J Y, Zhao H P, Li C Z, et al. The exploitation of oyster shells [J]. Fisheries Science, 2011, 30(6): 369 – 372.

Research on the ultra-high pressure oyster shelling process

CHEN Wanting¹, ZHANG Honglin¹, WANG Xiaoyan¹, SU Yongchang^{2*}, WANG Yongming³, CHEN Xulong³, CHEN Xiaoting², LIN Hetong¹, LIU Zhiyu^{2*}

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province,

Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China;

3. Fujian Oyster Technology Co. Ltd., Quanzhou 362141, China)

Abstract: **[Background]** Oysters (*Crassostrea* spp.) are a major aquaculture species in China, valued for their high nutritional content, with a national production exceeding 7.25 million tonnes in 2024. However, industrial-scale processing is often hindered by the conventional manual shelling method, which is inefficient and labor-intensive. Ultra-high pressure (UHP) technology, a non-thermal process, has shown promise for shelling aquatic products. Nevertheless, comprehensive studies focusing on the efficacy, optimization, and mechanisms of UHP for oyster shelling are still lacking, limiting its industrial adoption. **[Objective]** This study aimed to systematically investigate the effects of UHP parameters—pressure, holding time, and holding temperature on the shelling efficiency and sensory quality of oysters. The goal was to optimize the shelling process and establish a theoretical foundation for industrial implementation. **[Methods]** Single-factor experiments were conducted to evaluate the effects of different pressure, holding times, and holding temperatures on the shelling rate, shelling size, shell-meat separation rate, meat yield, and sensory score. Orthogonal test was then employed to optimize and identify the best shelling parameters. **[Results]** The single-factor experiments demonstrated that increasing holding time, pressure, and holding temperature improved the shelling rate, shell-meat separation rate, and meat yield, while excessively high levels of these parameters adversely affected sensory score. Analysis of the orthogonal test indicated that pressure had the greatest influence on the sensory score, followed by holding temperature and holding time. The optimal conditions were determined to be a 3 minutes holding time, 250 MPa pressure, and 20 °C holding temperature. Under these conditions, the process achieved a 96.67% shelling rate, 92.22% shell-meat separation rate, 96.67% meat yield, a 6.91 mm shelling size, and a sensory score of 32.7. **[Conclusion]** UHP treatment proved to be an efficient method for shelling oysters while maintaining their sensory quality. The optimal process (3 min, 250 MPa, 20 °C) demonstrates significant potential for industrial promotion and application.

Key words: ultra-high pressure; oysters; shelling; process optimization