

胡小军, 李春兰, 王标诗, 等. 超高压处理对虾滑预制菜品质特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 88-94. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070243

HU Xiaojun, LI Chunlan, WANG Biaoshi, et al. Effect of Ultra-high Pressure on the Quality Properties of Shrimp Slips Prepared Dishes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(11): 88-94. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070243

· 研究与探讨 ·

超高压处理对虾滑预制菜品质特性的影响

胡小军¹, 李春兰¹⁺, 王标诗¹, 江敏¹, 陈美凤¹, 陈心月¹, 候文娟¹, 董庆远²

(1. 岭南师范学院食品科学与工程学院, 广东湛江 524048;

2. 广东虹宝水产开发股份有限公司, 广东湛江 524000)

摘要: 为探究超高压 (ultra-high pressure, UHP) 处理对虾滑品质特性的影响, 以对虾滑为研究对象, 考察了不同压力 (200~400 MPa) 和保压时间 (5~20 min) 对虾滑色泽、持水性、蒸煮得率、凝胶强度、质构特性和感官特性的影响。结果表明: 不同压力和保压时间对虾滑的亮度值 (L^*) 和白度值 (W) 影响不大, 而红度值 (a^*) 均较对照组显著降低, 黄度值 (b^*) 均增大。不同压力和保压时间对虾滑的持水性和蒸煮得率影响不同, 但均在 200 MPa 下保压 10 min 时达到最大值, 分别为 84.17% 和 92.80%。与对照组相比, 在不同压力和保压时间下, 虾滑的凝胶强度、硬度、咀嚼性和弹性均降低, 而内聚性无显著变化。感官评价结果表明超高压处理对虾滑的感官特性无负面影响, 且在 200 MPa 下保压 10 min 的虾滑总体可接受性最接近对照组。因此, 对虾滑进行 200 MPa 超高压处理 10 min, 可有效改善虾滑产品的蒸煮得率和质构特性。该结果为超高压技术在虾滑制品的开发中提供理论依据。

关键词: 超高压, 虾滑, 品质特性, 预制菜

中图分类号: TS254

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)11-0088-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070243

本文网刊:



Effect of Ultra-high Pressure on the Quality Properties of Shrimp Slips Prepared Dishes

HU Xiaojun¹, LI Chunlan¹⁺, WANG Biaoshi¹, JIANG Min¹, CHEN Meifeng¹, CHEN Xinyue¹,
HOU Wenjuan¹, DONG Qingyuan²

(1. College of Food Science and Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China;

2. Guangdong Hongbao Aquatic Product Development Co., Ltd., Zhanjiang 524000, China)

Abstract: To explore the effects of ultra-high pressure treatment (UHP) on the quality properties of shrimp slides, the color, water holding capacity, cooking yield, gel strength, texture properties and sensory characteristics of shrimp slides were investigated when treated by different pressure (200~400 MPa) and holding time (5~20 min). The results illustrated that the brightness (L^*) and whiteness (W) of shrimp slides were not significantly affected by the different pressures and holding times, whereas the redness (a^*) decreased significantly and the yellowness (b^*) increased compared to the control group. Meanwhile, the water holding capacity and cooking yield of shrimp slides were affected by the different pressures and holding times, and the maximum values of both properties reached to 84.17% and 92.80% when treated for 10 min under 200 MPa pressure, respectively. Compared to the control group, the gel strength, hardness, chewiness, and springiness of the shrimp slides decreased when pressure and holding time increased, while the cohesiveness did not change significantly. The results of sensory evaluation showed that the UHP treatment had no negative impact on the sensory properties of shrimp slides, and the overall acceptability of shrimp slides held at 200 MPa for 10 min was closest to that of the control group. Therefore, the cooking yield and texture characteristics of shrimp slips products could be improved upon UHP treatment at 200 MPa for 10 min. It is expected that this study will provide a theoretical basis for the development of shrimp slippery products.

收稿日期: 2022-07-20 +并列第一作者

基金项目: 广东省农业科技创新平台湛江科技计划项目 (2019A03022); 湛江市科技计划项目 (2019A03003); 2022 年广东省科技创新战略专项资金 (“大专项+任务清单”) 项目 (2022A05035)。

作者简介: 胡小军 (1977-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品加工与预制菜产品开发, E-mail: yan2001j@126.com。

李春兰 (1995-), 女, 硕士, 助理实验师, 研究方向: 食品加工与质量安全控制, E-mail: 13414858022@163.com。

Key words: ultra-high pressure; shrimp slips; quality properties; prepared dishes

海鲜含有优质的蛋白质和其他功能成分^[1], 是一种健康的日常食材。虾属于海产品中的甲壳类动物, 其热量和饱和脂肪酸含量低, 富含蛋白质、均衡的氨基酸、矿物质和功能性多不饱和脂肪酸, 如二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸等^[2-3]。此外, 虾还富含对人体有益的活性成分, 包括虾青素、维生素 B12、磷、类胡萝卜素等, 这些活性化合物可以增强免疫力, 降低心血管疾病、中风和糖尿病的风险^[4-6]。目前, 我国虾的加工产品主要以冻虾仁、虾丸、蝴蝶虾、冻全虾等冷冻制品为主^[7-8]。

近年来, 伴随着预制菜的崛起和火锅餐饮方式的盛行, 以虾滑等为主的即烹类预制菜掀起了新一轮的餐饮变革。虾滑是以南美白对虾、黑虎虾等为原料, 经过脱壳、斩拌, 添加少量淀粉和蛋清等配料混匀而成的一款调味水产制品^[9], 其蛋白含量高、脂肪含量低、肉质鲜美, 嫩滑爽口, 营养价值极高, 深受消费者的青睐^[10]。然而, 目前虾滑产品加工没有专门的国家标准, 加工过程层次不齐, 企业加工的虾滑仍存在弹性不足、凝胶性不佳, 甚至贮藏过程出现变色和微生物超标等问题, 成为制约虾滑发展的因素。因此, 为了解决这些问题, 寻找合适的处理方法改善虾滑的品质特性具有重要意义。

超高压(ultra-high pressure, UHP)技术是一种新型非热食品加工技术, 除了可以在常温下灭活食品中的病原微生物, 还可以有效改善肉基质的质地和保水性能, 近年来被广泛地应用于水产制品、肉制品、水果和蔬菜汁的加工中^[11-12]。超高压会破坏蛋白质构象和分子间/分子内相互作用, 导致蛋白质结构变化和功能修饰, 如蛋白质增溶、聚集、变性、凝胶化或解聚^[13], 从而改变肉基质的质地和保水性^[12]。肉产品的蛋白质结构、质地特性和鲜嫩多汁的口感影响产品的最终品质, 一定程度上影响消费者的接受度^[14]。因此, 国内外科研人员研究超高压处理对产品的理化特性、感官特性等的影响。Wang 等^[15]研究超高压和低盐对食品蛋白质的构象和凝胶特性的影响, 发现中等的 UHP 处理(≤ 300 MPa)增强肌球蛋白凝胶的保水性和结构性能, 而较强的 UHP 处理(≥ 450 MPa)则削弱肌球蛋白凝胶的保水性和结构性能, 证明了 UHP 处理在改善低盐浓度下肌球蛋白的胶凝特性方面的潜在用途。Liu 等^[16]的研究表明超高压能改变蛋白质构象, 影响肌原纤维蛋白凝胶性能, 从而改善海产品香肠的凝胶强度、持水性和咀嚼性。Zhu 等^[13]研究超高压(100~400 MPa)对乳化香肠的微生物、质地和感官特性的影响, 结果表明, UHP 处理可以改善低盐香肠的物理化学、质构和感官特性, 且 200 MPa 处理 15 min 的香肠的感官评价是最接近对照组的, 也是消费者能接受的。Kaur 等^[17]的研究表明适当的压力水平和保压时间可以有效改善虾

的质地和色泽, 并灭活微生物, 提高海产品的质量和安全性。然而, 关于超高压技术对虾滑品质特性的影响研究还相对较少。

鉴于此, 本研究以虾滑为研究对象, 探索不同压力(200~400 MPa)、保压时间(5~20 min)对虾滑色泽、持水性、蒸煮得率、凝胶强度、质构特性和感官评价的影响, 旨在为超高压技术在虾滑制品加工中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

虾滑 由广东虹宝水产开发股份有限公司提供(主要由对虾虾糜、玉米淀粉、少量糖和盐组成)。

W1-400 MPa/1 超高压设备 天津华泰森森生物工程技术股份有限公司; LQ-A 20002 电子天平 瑞安市安特称重设备有限公司; SC-80 C 全自动色差计 大龙兴创实验仪器(北京)有限公司; GH-120 型号分析天平 广州市红图仪器有限公司; TMS-PRO 食品质构仪 美国 FTC 公司; BCD-218 SDGW 冰箱 青岛海尔股份有限公司; PSH-200 生化培养箱 Rowsen 公司; YX-280 B 型手提式高压蒸汽灭菌器 合肥华泰医疗设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 取适量贮藏于 -18 °C 冰柜中的虾滑, 用流水解冻 10 min 至室温, 用聚乙烯袋真空分装约 100 g 的虾滑, 在室温下进行高压处理: 不同压力处理(常压、200、300 和 400 MPa, 保压时间 10 min), 分别记为对照组、UHP-200、UHP-300 和 UHP-400, 不同保压时间(5、10、15 和 20 min, 压力为 200 MPa), 分别记为 UHP-5、UHP-10、UHP-15、UHP-20, 以常压未处理组为对照组。将超高压处理后的虾滑在 90 °C 下煮制 30 min, 晾至室温后用于色泽、持水性、蒸煮得率、凝胶强度和质构特性的检测。

1.2.2 色泽的测定 将加热后的虾滑剪切成 5 mm 高的薄片, 均匀装入透明检测玻璃片中, 采用校正后的 SC-80 C 全自动色差计分析虾滑的 L^* 值(亮度), a^* 值(红绿度)和 b^* 值(黄蓝度), 并根据公式(1)计算白度。每组至少平行测 6 次。

$$W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad \text{式 (1)}$$

1.2.3 持水性(water holding capacity, WHC)的测定

参考曹莹莹等^[18]的方法并略作修改, 准确称量质量为 W_1 (3.50~4.50 g)的虾滑样品, 置于两层滤纸上, 将样品放入 50 mL 离心管中, 在 4 °C, 4000 r/min 条件下离心 15 min, 记录离心后样品的质量, 记为 W_2 , 按公式 2 计算持水性, 每组样品至少重复测量 3 次取平均值。

$$\text{WHC}(\%) = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

式中, W_1 : 离心前的质量(g); W_2 : 离心后的质量(g)。

1.2.4 蒸煮得率的测定 将 10 g 左右超高压处理的虾滑分装至蒸煮袋中, 记录质量为 M_1 , 在 90 °C 下煮制 30 min 后趁热倒出流失的水分, 晾至室温后, 称量样品的质量, 记录为 M_2 , 虾滑的蒸煮得率计算公式为:

$$\text{蒸煮得率(\%)} = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

式中, M_1 表示蒸煮前的质量(g); M_2 表示蒸煮后的质量(g)。

1.2.5 凝胶强度的测定 将加热后的虾滑样品切成 2 cm×2 cm×1.5 cm 的长方体, 利用质构仪的 P/0.5S 柱形金属探头对其进行凝胶强度的测定。测前、测中和测后的速度均为 60 mm/min, 触发力为 0.05 N, 压缩形变为 50%。每组至少 6 个平行。

1.2.6 质构特性的测定 将加热后的虾滑样品切成 2 cm×2 cm×1.5 cm 的长方体, 利用质构仪对其进行质构特性的分析, 测定其硬度、弹性、内聚性、咀嚼性和粘性。测试条件为: P/5 金属柱形探头、形变量 40%、测试速度 60 mm/s、两次压缩时间间隔 15 s, 触发力为 0.1 N, 每组至少 6 个平行。

1.2.7 感官评价 参考 Wang 等^[19-20] 方法并作适当修改, 对 10 名在校学生进行培训, 按照一定的评价

表 1 虾滑感官评价标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of shrimp slips

评价指标	评分标准	得分
色泽	柔和均匀的虾红色	7~9
	虾红色一般, 轻微偏白色	5~6
	轻微虾红色, 基本偏白灰色	3~4
	几乎无虾红色, 颜色暗淡	1~2
	基本无腥味, 有浓厚的虾鲜味	7~9
气味	轻微腥味, 虾鲜味较浓	5~6
	少许腥味, 虾鲜味较淡	3~4
	腥味较浓, 无虾鲜味	1~2
弹性	中指稍微按压凹陷但不破裂, 松开恢复原状	7~9
	中指需用力按压凹陷不破裂, 松开恢复原状	5~6
	中指用力压后破裂	3~4
组织表面和切面状态	中指稍微按压后破裂、松散	1~2
	表面光滑, 无气孔, 结构紧密均匀, 不散落; 切面无较大气孔, 有微小气孔	7~9
	表面光滑, 有小气孔, 结构较均匀紧密, 虾滑轻微散落; 切面无大气孔, 有少量小孔	5~6
	表面光滑, 有大气孔, 结构较松散, 虾滑部分散落; 切面有大气孔	3~4
	表面粗糙, 有空洞, 结构松散, 几乎不成型; 切面呈浆状, 松软	1~2
质地与口感	咀嚼无砂状感和残留, 口感细腻	7~9
	咀嚼无砂状感和残留, 口感较细腻	5~6
	咀嚼略有砂状感和残留, 口感较粗糙	3~4
	咀嚼有砂状感和残留, 口感粗糙	1~2
总体可接受性	乐意接受, 可接受度高	7~9
	可以接受, 可接受度较高	5~6
	一般接受, 可接受度一般	3~4
	不乐意接受, 可接受度低	1~2

标准(表 1)对样品的色泽、气味、弹性、组织表面和切面状态、质地与口感及总体可接受性进行打分。虾滑样品经超高压处理后在 90 °C 水浴 30 min 后冷却至室温, 切成 1.5 cm×1.5 cm×1 cm 的长方体, 置于白色不透明的感官杯中, 每个样品分别装在独立的杯中。每个样品用 3 个数字随机编码。期间感官过程中禁止小组成员之间的交流, 并提供温水, 以便在样品评估中间漱口。

1.3 数据处理

本研究中所有实验数据每组至少设置 3 个平行。所有数据均采用 SPSS2020 进行差异显著性分析, 用 Origin2018 进行作图。

2 结果与分析

2.1 色泽

颜色是食品重要质量属性, 能影响食品外观, 进而影响消费者的接受程度和购买决策^[21]。不同压力处理和不同保压时间对虾滑色泽和白度的影响如表 2 所示, 经过不同压力处理, 虾滑的 L^* 和 W 值总体上差异不大, 仅在 400 MPa 条件下, 虾滑的 L^* 和 W 值显著增大($P<0.05$)。可能因为在 400 MPa 高压条件下, 虾滑的肌原纤维蛋白和肌浆蛋白的变性程度更大, 蛋白质凝固改变样品表面特性, 增加反光和产生白色^[17, 22]。王芝妍等^[23] 在研究超高压辅助对中华管鞭虾脱壳和肌肉品质影响时发现, 虾表面的 L^* 值在 100~300 MPa 间呈现无显著差异地缓慢增长, 在 400~500 MPa 的增长趋势与本文研究结果一致。此外, 随着保压时间的增大, 高压处理组的 L^* 值逐渐增大, 这表明随着超高压作用时间的增长, 虾滑蛋白质逐渐发生变性, 产生凝结, 失去透明度。这与 Kaur 等^[17] 报道一致, 他们发现对斑节虾随着保压时间的延长, L^* 值逐渐增大。

表 2 不同压力处理和保压时间对虾滑色泽的影响

Table 2 Effects of different pressure treatments and holding time on the color of shrimp slips

组别	L^*	a^*	b^*	W
对照组	53.27±0.44 ^{bb}	3.09±0.89 ^{aa}	4.17±0.47 ^{bb}	52.98±0.42 ^{bb}
UHP-200	53.68±0.16 ^b	1.84±0.09 ^b	4.28±0.11 ^b	53.45±0.15 ^b
UHP-300	53.56±0.20 ^b	1.52±0.14 ^b	4.85±0.12 ^a	53.29±0.18 ^b
UHP-400	54.32±0.29 ^a	1.22±0.81 ^b	5.29±0.27 ^a	54.00±0.32 ^a
UHP-5	51.68±0.53 ^c	1.68±0.27 ^b	4.26±0.14 ^b	51.46±0.54 ^c
UHP-10	53.68±0.16 ^{AB}	1.84±0.09 ^b	4.28±0.11 ^b	53.45±0.15 ^{AB}
UHP-15	53.95±0.08 ^A	1.93±0.19 ^b	4.79±0.13 ^A	53.67±0.07 ^A
UHP-20	54.09±0.13 ^A	1.84±0.09 ^b	4.82±0.09 ^A	53.80±0.12 ^A

注: 同列不同小写字母和大写字母分别表示不同压力 and 不同保压时间的结果差异显著($P<0.05$), 表3~表6同。

a^* 值由负到正表示绿色到红色^[23]。由表 2 可知, 与对照组相比, 虾滑的 a^* 值在不同压力处理下均显著降低($P<0.05$), 但各高压处理组的 a^* 值均无显著差异($P>0.05$)。这与多数研究报道一致, 经高压处理后, 中华管鞭虾^[23]、鲤鱼鱼糜^[24]、未漂洗金线鱼糜^[25] 等水产品的 a^* 值均显著低于对照组, 且中华管鞭虾

的 a^* 值在 200~400 MPa 间无显著差异且均显著低于对照组(常压组)。然而, 保压时间并没有显著影响虾滑的 a^* 值。正如对斑节虾在超高压处理下, a^* 值经不同的保压时间处理后无显著差异^[17]。

b^* 值由负到正表示蓝色到黄色^[23]。由表 2 可知, 经不同压力和保压时间处理, 虾滑 b^* 值呈现增大趋势, 与对照组相比, UHP-200、UHP-5 和 UHP-10 组的 b^* 值变化均不明显, 但是 UHP-300、UHP-400 和 UHP-15、UHP-20 组的 b^* 值变化显著($P < 0.05$)。李肖婵等^[10] 研究超高压处理能增大即食小龙虾 b^* 值, 与本文结果一致。但 Bindu 等^[26] 发现印度白对虾的 b^* 值在 270~600 MPa 下显著增大, 但均显著低于常压组。可见, 超高压对不同种类虾和样品 b^* 值的影响不一, 原因可能是在超高压作用下, 虾滑色泽的变化是色素失活和蛋白质变性共同作用的结果^[27]。

2.2 持水性

持水性反映了蛋白质结合水的能力^[28]。经不同压力和保压时间处理后的虾滑持水性如表 3 所示。在不同的处理压力与保压时间下, 虾滑持水性都随着压力和时间的增加呈现出先增大后降低的趋势, 且在 200 MPa, 10 min 时, 持水性达到最大值 84.17%。持水性一开始的增加可能是由于超高压处理促进了蛋白质发生解聚, 提高了自身溶解性, 有助于蛋白质的展开和交联, 使得更多水分子与蛋白质结合, 从而增强持水性^[24-25]; 但随着压力和时间的持续提高(300~400 MPa 和 15~20 min), 持水性均降低, 原因可能是超高压能迫使水分子进入虾滑的蛋白质网络结构中, 导致蛋白质发生变性, 使排列紧密的肌原纤维空隙增加, 从而造成虾滑的持水性降低^[29]。而在 400 MPa 处理下, 没有观察到持水性的显著降低($P > 0.05$), 原因可能是虾滑水分流失已达到最大极限, 且超高压处理也可能通过加强肌肉蛋白的水合作用促进水分吸收, 因此整个复杂系统最终处于相对平衡状态^[30]。这与 Liu 等^[16] 的研究结果类似, 他们发现小龙虾在经 100~200 MPa 处理后, 滴水损失较对照组减少, 持水性提高, 而经 300~400 MPa 处理后, 滴水损失则增大, 持水性降低。本研究在 200 MPa、10 min 条件下时的虾滑持水性最好, 因此可知处理压力为 200 MPa, 保压时间为 10 min 是提高虾滑持

表 3 不同压力处理和保压时间对虾滑持水性的影响

Table 3 Effects of different pressure treatments and holding time on the water-holding capacity of shrimp slips

组别	持水性(%)
对照组	81.94±0.92 ^{abAB}
UHP-200	84.17±1.33 ^a
UHP-300	80.28±2.48 ^b
UHP-400	79.98±1.42 ^b
UHP-5	78.72±2.19 ^c
UHP-10	84.17±1.33 ^a
UHP-15	82.02±1.82 ^{ab}
UHP-20	80.50±1.10 ^{bc}

水性的较佳处理条件。

2.3 蒸煮得率

蒸煮得率是虾滑制品重要的指标, 决定着产品的品质和性价比^[31]。由表 4 可知, 随着压力的升高, 虾滑的蒸煮得率呈现先升高后降低的趋势, 并在 200 MPa 时达到最高值 92.80%, 但与对照组相比, 变化不显著($P > 0.05$), 出现该现象的原因归咎于: 一方面, 高压处理可以促使蛋白质形成一种紧密的网状结构, 减缓水分的透过^[32-33]; 另一方面, 超高压对蛋白质的修饰可能影响了肌原纤维蛋白的水结合位点, 进而影响了蛋白质和水分子之间的相互作用, 从而提高虾滑的蒸煮得率^[34]。然而, 虾滑在 300~400 MPa 时, 蒸煮得率显著降低($P < 0.05$), 但两者之间无显著差异($P > 0.05$), 且在 400 MPa 时达到最小值 83.07%, 其原因可能是过大的压力反而破坏了紧密蛋白网络结构, 使得蛋白质结构展开, 导致水分析出, 虾滑的蒸煮得率显著降低^[35-36]。这与黄群等^[37] 利用超高压处理低盐海藻鸡胸肉糜后的蒸煮损失率结果类似。此外, 随着保压时间的增加, 虾滑的蒸煮得率无明显变化, 且在保压时间为 10 min 有最大值。因此, 虾滑在 200 MPa 保压 10 min 时蒸煮得率效果最好, 与持水性研究结果相一致。

表 4 不同压力处理和保压时间对虾滑蒸煮得率的影响
Table 4 Effects of different pressure treatments and holding time on the cooking yield of shrimp slips

组别	蒸煮得率(%)
对照组	91.19±1.94 ^{ab}
UHP-200	92.80±1.82 ^a
UHP-300	85.47±1.50 ^b
UHP-400	83.07±0.77 ^b
UHP-5	90.48±2.72 ^{ab}
UHP-10	92.80±1.82 ^a
UHP-15	89.04±3.08 ^{ab}
UHP-20	87.22±1.76 ^b

2.4 凝胶强度

凝胶强度是反映产品品质的重要指标之一^[38]。不同压力处理及保压时间对虾滑凝胶强度的影响如表 5 所示。不同的压力和保压时间处理均降低了虾滑的凝胶强度。随着压力的增大, 虾滑的凝胶强度呈现逐渐降低的趋势。与对照组相比, UHP-200 和 UHP-400 的凝胶强度分别下降了 5.80% 和 16.72%。凝胶强度下降的原因可能是超高压处理导致肌球蛋白分子结构展开, 降低蛋白质中的 β -折叠等有序结构而增加 β -转角等无序结构^[18], 此外, 肌球蛋白分子间的氢键作用逐渐减小, 分子间的相互作用逐渐减弱^[39]。在不同的保压时间下, 虾滑的凝胶强度均低于对照组, 但随着保压时间的延长, 凝胶强度呈现先降低后增加再降低的趋势。可能原因是虾滑在 200 MPa 下保压 5 min 时, 保压时间稍短, 导致变性蛋白数量较少且蛋白质变性不均匀, 形成的凝胶结构不规则,

从而导致凝胶强度降低^[40]。随着保压时间延长到 10 min, UHP-10 组的凝胶强度增大, 但保压时间继续增大时, UHP-15 和 UHP-20 组的凝胶强度显著降低($P<0.05$), 可能是由于长时间高压处理引起虾滑中肌原纤维蛋白的过度膨胀, 蛋白质构象受到严重干扰, 不利于凝胶网络结构的形成, 从而较大地削弱虾滑产品的凝胶强度^[34,37]。总的来说, 超高压处理能降低虾滑的凝胶强度, 起到改善虾滑凝胶品质的作用。

表 5 不同压力处理和保压时间对虾滑凝胶强度的影响
Table 5 Effects of different pressure treatments and holding time on the gel strength of shrimp slips

组别	凝胶强度(%)
对照组	2.93±0.11 ^{AA}
UHP-200	2.76±0.17 ^{ab}
UHP-300	2.57±0.21 ^{bc}
UHP-400	2.44±0.06 ^c
UHP-5	2.55±0.16 ^{AB}
UHP-10	2.76±0.17 ^A
UHP-15	2.41±0.06 ^B
UHP-20	2.39±0.18 ^B

2.5 质构特性

质构特性是影响消费者对产品接受度的因素之一, 因此在加工肉类产品中发挥着重要作用^[30]。表 6 显示了超高压处理对虾滑质构特性的影响, 包括硬度、弹性、咀嚼性、内聚性和粘性。从表中可知, 不同压力和保压时间对虾滑的内聚性影响不大。然而, 经不同压力和保压时间处理, 虾滑硬度、弹性、咀嚼性和粘性值均显著降低($P<0.05$), 在 200 MPa 处理 10 min 时, 虾滑的硬度、弹性、咀嚼性和粘性值下降程度相对较小, 分别下降了 33.30%、36.86%、38.10%、6.94%, 这意味着超高压处理能嫩化虾滑, 降低咀嚼性, 有利于吞咽作用。这可能的原因是肌动球蛋白受超高压影响, 蛋白质结构在高压作用下会发生不同程度的聚集或断裂, 进而影响其理化特性^[41]。此外, 超高压处理能降低肌原纤维蛋白含量、肌球蛋白和肌动蛋白的热稳定性, 且虾仁的肌原纤维排列随着压力和保压时间的增加而更紧实致密, 但肌节严重收缩, 肌纤维间的空隙变得模糊, 从而呈现出絮状结构^[42]。这可能导致了虾滑在加热过程中形成了不够牢固紧

表 6 不同压力处理和保压时间对虾滑质构特性的影响
Table 6 Effects of different pressure treatments and holding time on the texture characteristics of shrimp slips

组别	硬度(N)	弹性(mm)	咀嚼性(mJ)	内聚性	粘性(N)
对照组	21.08±2.51 ^{AA}	86.00±5.97 ^{AA}	15.17±1.74 ^{AA}	5.59±0.20 ^{AB}	0.72±0.01 ^{ABC}
UHP-200	14.06±0.51 ^b	54.30±2.23 ^b	9.39±0.42 ^b	5.92±0.22 ^a	0.67±0.03 ^b
UHP-300	13.27±1.33 ^b	52.16±4.44 ^b	8.89±0.92 ^b	5.83±0.14 ^a	0.68±0.03 ^{ab}
UHP-400	13.15±0.13 ^b	48.35±0.98 ^b	8.63±0.03 ^b	5.70±0.26 ^a	0.67±0.02 ^b
UHP-5	10.92±1.92 ^c	51.31±4.38 ^b	9.02±1.68 ^B	5.66±0.47 ^B	0.84±0.02 ^A
UHP-10	14.06±0.51 ^B	54.30±2.23 ^B	9.39±0.42 ^B	5.92±0.22 ^B	0.67±0.03 ^D
UHP-15	11.96±0.46 ^{BC}	52.41±4.98 ^B	8.73±0.19 ^B	6.09±0.22 ^B	0.73±0.02 ^B
UHP-20	12.24±0.85 ^{BC}	54.46±1.93 ^B	8.30±0.92 ^B	7.37±0.46 ^A	0.69±0.03 ^{BC}

密的凝胶网络。罗华彬等^[43]报道随着压力的升高, 带鱼鱼丸的凝胶强度和硬度显著降低, 与本文结果类似。因此, 质构特性的结果与凝胶强度研究结果类似, 高压处理可有效改善虾滑的质地特性, 有利于虾滑的嫩化, 从而满足市场中某些特定人群对虾滑软嫩口感的需求。

2.6 感官评价

产品的感官品质直接影响消费者的偏好。不同压力处理和保压时间对虾滑的色泽、气味、弹性、组织表面和切面状态、质地与口感及总体可接受性的影响如图 1 所示。在色泽和气味方面, 各组得分变化不大, 均在 7.3 分左右, 表明超高压处理对虾滑色泽、腥味和虾鲜味无负面影响。这与 Yi 等^[44]研究结果一致, 他们发现超高压处理对即食酒腌虾的色泽无显著变化。在组织表面和切面状态方面, UHP-200 的虾滑组织表面和对照组无明显差别, 无明显气孔, 结构紧密均匀, 不散落。在质地和口感方面, UHP-200 的虾滑的质地和口感也最接近对照组, 这可能是超高压处理使得虾滑保留了更多的水分, 增加了多汁性, 同时降低其硬度、咀嚼性, 起到嫩化作用, 因此口感相对其他高压处理组更加细腻、顺滑。UHP-400 和 UHP-5 的虾滑的质地和口感方面得分相对较低, 这可能是它们的结构相对松散且水分含量相对少, 因此整体的口感得分稍低, 但总体上还是可接受的。而 UHP-200 的虾滑的总体可接受性和对照组无显著差异($P>0.05$), 这说明适当的超高压处理对虾滑的感官评价无负面影响。由此可见, 适当的超高压处理(处理压力为 200 MPa, 保压时间为 10 min)不会降低虾滑的可接受性, 可作为一种既能提高产品保水性又能嫩化产品的技术手段。

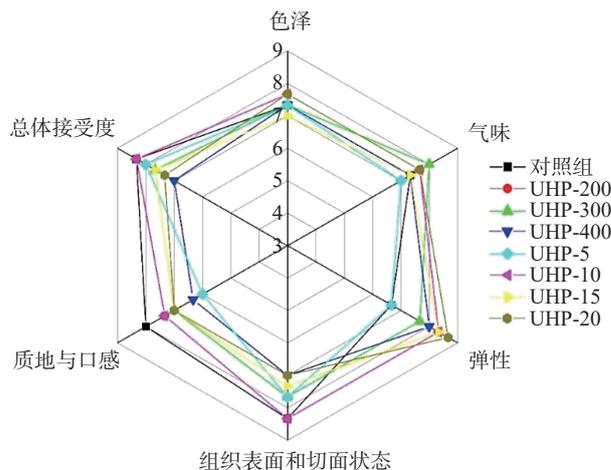


图 1 超高压处理下虾滑的感官特性
Fig.1 Sensory attributes of shrimp slips subject to ultra-high pressure processing

3 结论

本研究结果表明适当的压力和保压时间可以改善虾滑产品的品质。随着压力增大和时间延长, 虾滑的 L^* 值和 W 值变化无明显规律, a^* 值均显著低于对照组, b^* 值均高于对照组。虾滑的持水性和蒸煮得率

均在 200 MPa 下保压 10 min 时达到最大值,分别为 84.17% 和 92.80%。不同压力和保压时间均能不同程度降低虾滑的凝胶强度、硬度、咀嚼性,但在 200 MPa 下保压 10 min 的虾滑凝胶强度、硬度、咀嚼性下降程度相对较小。由于 200 MPa 下保压 10 min 的虾滑的持水性和蒸煮得率均高于对照组,且感官评价结果表明超高压处理对虾滑的感官特性无负面影响,该条件下的虾滑的总体可接受性最接近对照组。因此,综合考虑,可以选择压力为 200 MPa,保压时间为 10 min 作为改善虾滑品质的较优条件,在此条件下处理的虾滑可以提高制品得率,有利于降低生产成本,增加产品的可吞咽性,改善虾滑的品质特性。

参考文献

- [1] NIRMAL N P, SANTIVARANGKNA C, RAJPUT M S, et al. Trends in shrimp processing waste utilization: An industrial prospective[J]. *Trends Food Sci Tech*, 2020, 103: 20–35.
- [2] AKONOR P T, OFORI H, DZIEDZOAVE N T, et al. Drying characteristics and physical and nutritional properties of shrimp meat as affected by different traditional drying techniques[J]. *International Journal of Food Science*, 2016, 2016.
- [3] GULZAR S, RAJU N, NAGARAJARAO R C, et al. Oil and pigments from shrimp processing by-products: Extraction, composition, bioactivities and its application-A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 100: 307–319.
- [4] NIKOO M, XU X, REGENSTEIN J M, et al. Autolysis of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) processing by-products: Enzymatic activities, lipid and protein oxidation, and antioxidant activity of hydrolysates[J]. *Food Bioscience*, 2021, 39: 100844.
- [5] SMITH K L, GUENTZEL J L. Mercury concentrations and omega-3 fatty acids in fish and shrimp: Preferential consumption for maximum health benefits[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(9): 1615–1618.
- [6] ANEESH P A, AJEESHKUMAR K K, LEKSHMI R G K, et al. Bioactivities of astaxanthin from natural sources, augmenting its biomedical potential: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, 125: 81–90.
- [7] LU W, WANG P, GE L, et al. Real-time authentication of minced shrimp by rapid evaporative ionization mass spectrometry[J]. *Food Chemistry*, 2022, 383: 132432.
- [8] 易靓,董鑫磊,马舒恬,等.不同品种虾糜的凝胶品质比较[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(7): 94–101. [YI Liang, DONG Xinlei, MA Shutian, et al. Comparison of gel quality of shrimp surimi of different shrimp varieties[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(7): 94–101.]
- [9] 小倩. 虾滑热销未来市场大有可为[J]. *中国食品*, 2020(23): 78–79. [XIAO Qian. Shrimp slips sell well in the future[J]. *China Food*, 2020(23): 78–79.]
- [10] 李肖婵,林琳,朱亚军,等.巴氏杀菌和超高压杀菌对即食小龙虾货架期的影响[J]. *渔业现代化*, 2020, 47(4): 83–88. [LI Xiaochan, LIN Lin, ZHU Yajun, et al. Effect of pasteurization and ultra-high pressure sterilization on the shelf life of ready-to-eat *Procambarus clarkii*[J]. *Fishery Modernization*, 2020, 47(4): 83–88.]
- [11] BONFIM R C, OLIVEIRA F A, GODOY R L O, et al. A review on high hydrostatic pressure for bivalve mollusk processing: Relevant aspects concerning safety and quality[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 39: 515–523.
- [12] SOUZA C M, BOLER D D, CLARK D L, et al. The effects of high pressure processing on pork quality, palatability, and further processed products[J]. *Meat Science*, 2011, 87(4): 419–427.
- [13] ZHU Y C, YAN Y W, YU Z H, et al. Effects of high pressure processing on microbial, textural and sensory properties of low-salt emulsified beef sausage[J]. *Food Control*, 2022, 133: 108596.
- [14] SHI L, XIONG G Q, YIN T, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on the protein denaturation and water properties of red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*) [J]. *LWT*, 2020, 133: 110124.
- [15] WANG J Y, LI Z Y, ZHENG B D, et al. Effect of ultra-high pressure on the structure and gelling properties of low salt golden threadfin bream (*Nemipterus virgatus*) myosin[J]. *LWT*, 2019, 100: 381–390.
- [16] LIU Q, LIN Z, CHEN X, et al. Characterization of structures and gel properties of ultra-high-pressure treated-myofibrillar protein extracted from mud carp (*Cirrhinus molitorella*) and quality characteristics of heat-induced sausage products[J]. *LWT*, 2022, 165: 113691.
- [17] KAUR B P, RAO P S, NEMA P K. Effect of hydrostatic pressure and holding time on physicochemical quality and microbial inactivation kinetics of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, 33: 47–55.
- [18] 曹莹莹,张亮,王鹏,等.超高压结合热处理对肌球蛋白凝胶特性及蛋白二级结构的影响[J]. *肉类研究*, 2013, 27(1): 1–7. [CAO Yingying, ZHANG Liang, WANG Peng, et al. Combined effect of ultra high pressure and heating on gel properties and secondary structure of myosin[J]. *Meat Research*, 2013, 27(1): 1–7.]
- [19] WANG L Y, GUO H Y, LIU X J, et al. Roles of *Lentinula edodes* as the pork lean meat replacer in production of the sausage[J]. *Meat Science*, 2019, 156: 44–51.
- [20] 朱凯,郑飞洋,郭丽平,等.模糊综合评价结合响应面法优化鹰爪虾滑加工工艺[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(2): 224–232. [ZHU Kai, ZHENG Feiyang, GUO Liping, et al. Fuzzy comprehensive evaluation combined with response surface methodology for optimization of the processing technology of white-hair rough shrimp (*Trachypenaeus curvirostris*) prawn ball[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(2): 224–232.]
- [21] TOMASEVIĆ I, TOMOVIĆ V, MILOVANOVIĆ B, et al. Comparison of a computer vision system vs. traditional colorimeter for color evaluation of meat products with various physical properties[J]. *Meat Science*, 2019, 148: 5–12.
- [22] GROSSI A, SØLTOFT-JENSEN J, KNUDSEN J C, et al. Synergistic cooperation of high pressure and carrot dietary fibre on texture and colour of pork sausages[J]. *Meat Science*, 2011, 89(2): 195–201.
- [23] 王芝妍,杨文鸽,周果,等.超高压辅助中华管鞭虾脱壳及其肌肉品质的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 43–48. [WANG Zhiyan, YANG Wenge, ZHOU Guo, et al. Shelling of *Solenocera melanthero* using ultra high pressure and its effect on the quality of muscle[J]. *Food Science*, 2017, 38(7): 43–48.]
- [24] 李钊,秦荣,袁孝瑞,等.超高压对鲤鱼肉糜-MgCl₂凝胶特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(16): 53–58. [LI Zhao, QIN Rong, YUAN Xiaorui, et al. Effects of high pressure processing on gel properties of carp surimi containing magnesium chloride[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(16): 53–58.]
- [25] 张智铭,仪淑敏,李学鹏,等.超高压对未漂洗金线鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(1): 42–47. [ZHANG Zhiming, YI Shumin, LI Xuepeng, et al. Effect of ultra-high pres-

- sure on gel properties of unwashed *Nemipterus virgatus* surimi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 42-47.]
- [26] BINDU J, GINSON J, KAMALAKANTH C K, et al. Physico-chemical changes in high pressure treated Indian white prawn (*Fenneropenaeus indicus*) during chill storage[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 17: 37-42.]
- [27] 易俊洁,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 hydrostatic pressure processing and quality assessment [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2014, 28(2): 239-246.]
- [28] 仪淑敏,马兴胜,励建荣,等. 超高压诱导鱼糜凝胶形成中水分特性及凝胶强度的相关性研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(7): 26-31. [YI Shumin, MA Xingsheng, LI Jiangrong, et al. The correlation between gel strength and moisture characteristic during formation of surimi gel induced by ultra-high pressure[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(7): 26-31.]
- [29] 赵宏强,吴金鑫,张苑怡,等. 超高压处理对冷藏鲈鱼片品质及组织结构变化的影响[J]. 高压物理学报, 2017, 31(4): 494-504. [ZHAO Hongqiang, WU Jinxin, ZHANG Yuanyi, et al. Effect of high pressure processing on the quality and structure of *Lateolabrax japonicus* fillets during cold storage[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2017, 31(4): 494-504.]
- [30] SHAO Y, XIONG G, LING J, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on shucking and meat properties of red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*) [J]. LWT, 2018, 87: 234-240.]
- [31] SZMAŃKO T, LESIÓW T, GÓRCECKA J. The water-holding capacity of meat: A reference analytical method[J]. Food Chemistry, 2021, 357: 129727.]
- [32] 王嘉楠,康壮丽,马亚萍,等. 魔芋胶结合高静压处理对鸡胸肉糜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 279-284. [WANG Jianan, KANG Zhuangli, MA Yaping, et al. Effect of gum combination ultra high pressure treatment on the quality of chicken meat products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(22): 279-284.]
- [33] 方红美,陈从贵,马力量,等. 海藻酸钠及超高压对鸡肉凝胶保水和质构的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(32): 14292-14294. [FANG Hongmei, CHEN Conggui, MA Liliang, et al. Effects of sodium alginate and ultrahigh pressure on water-binding capacities and texture properties of chicken meat gel[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(32): 14292-14294.]
- [34] GROSSI A, OLSEN K, BOLUMAR T, et al. The effect of high pressure on the functional properties of pork myofibrillar proteins[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 1005-1015.]
- [35] SÁNCHEZ-GONZÁLEZ I, CARMONA P, MORENO P, et al. Protein and water structural changes in fish surimi during gelation as revealed by isotopic H/D exchange and Raman spectroscopy [J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 56-64.]
- [36] 戴慧敏. 超高压、卡拉胶对低钠盐白鲢鱼糜凝胶特性的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018. [DAI Huimin, Effects of ultra-high pressure processing and carrageenan on the gelling properties of low-salt surimi gel from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.]
- [37] 黄群,王希希,艾明艳,等. 超高压对低盐海藻鸡肉糜品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 96-102. [HUANG Qun, WANG Xixi, AI Mingyan, et al. Effect of high pressure processing on the quality of low-salt chicken breast batters added with seaweed[J]. Food Science, 2018, 39(19): 96-102.]
- [38] 王健一,郭泽缤,李致瑜,等. 超高压处理对低盐鱼糜制品凝胶特性的影响研究[J]. 食品工业, 2018(2): 58-62. [WANG Jianyi, GUO Zebin, LI Zhiyu, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on gel properties of low salt surimi products[J]. The Food Industry, 2018(2): 58-62.]
- [39] 胡飞华. 梅鱼鱼糜超高压凝胶化工艺及凝胶机理的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2010. [HU Feihua. Study on the gelation process and mechanism of *Collichthys lucidus* surimi gel induced by ultra-high pressure[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2010.]
- [40] SHUKLA S, MEHTA A, MEHTA P, et al. Antioxidant ability and total phenolic content of aqueous leaf extract of *Stevia rebaudiana* Bert[J]. Experimental and Toxicologic Pathology, 2012, 64(7-8): 807-811.]
- [41] 杨巨鹏,吕春霞,雷叶斯,等. 超高压处理对养殖大黄鱼肌球蛋白生化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(15): 27-31. [YANG Jupeng, LÜ Chunxia, LEI Yesi, et al. Effects of ultra high pressure treatment on biochemical characteristics of actin in cultured *Pseudosciaena crocea* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(15): 27-31.]
- [42] 刘书成,邓倩琳,黄万有,等. 超高压处理对凡纳滨对虾虾仁蛋白质和微观结构的影响[J]. 水产学报, 2017, 41(6): 877-887. [LIU Shucheng, DENG Qianlin, HUANG Wanyou, et al. Effects of high hydrostatic pressure on protein and microstructure of *Litopenaeus vannamei* [J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(6): 877-887.]
- [43] 罗华彬,盛珍珍,司永利,等. 超高压处理对冷藏带鱼鱼丸保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 157-162. [LUO Huabin, SHENG Zhenzhen, SI Yongli, et al. Effect of ultra-high pressure on quality preservation of hairtail fish balls during refrigerated storage[J]. Food Science, 2021, 42(1): 157-162.]
- [44] YI J, ZHANG L, DING G, et al. High hydrostatic pressure and thermal treatments for ready-to-eat wine-marinated shrimp: An evaluation of microbiological and physicochemical qualities[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 20: 16-23.]