

真空低温预制及复热对鲍鱼腹足食用品质的影响

蔺小雨^{1,2}, 侯雅文^{1,2}, 黄一珍^{1,2}, 李胜杰^{1,2}, 姜鹏飞^{1,2}, 董秀萍^{1,2*}

(¹大连工业大学食品学院 辽宁大连 116034

²国家海洋食品工程技术研究中心 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心
辽宁海产品精深加工产业共性技术创新平台 辽宁大连 116034)

摘要 为研究真空低温预制及复热处理对鲍鱼腹足食用品质的影响,将新鲜皱纹盘鲍经真空包装后,分别进行 50℃-3h、60℃-1h 和 70℃-1h 的低温热处理,同时以常压下 100℃-2h 的传统烹饪处理作为对照组,测定其蒸煮损失率、质构特性、色差、风味及感官特性。结果表明,相较于传统烹饪方式,真空低温预制结合复热处理可以降低鲍鱼的蒸煮损失;质构方面除对弹性参数无显著影响外,其硬度、凝聚性、咀嚼度和回复性均向使整体口感更协调方向发生变化,尤其 70℃-1h 处理组复热后嫩度显著优于传统烹饪组;色泽方面整体各颜色参数均有增加,但 60℃-1h 和 70℃-1h 处理组色差 ΔE 较小;风味化合物的生成研究发现,真空低温预制和复热均可以促进良好香味化合物的生成。感官评定结果与各项指标趋势基本一致,且与咀嚼度、回复性及剪切力呈显著相关($P < 0.05$)。结论:真空包装后 70℃-1h 处理更适合作为鲍鱼的预制加工条件。

关键词 真空低温预制;复热;鲍鱼腹足;质构特性;风味

文章编号 1009-7848(2022)06-0198-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.06.021

随着生活节奏的加快,享用美味、健康和方便的食物成为人们继“吃饱”之后的重要诉求,食品产业的结构也随之发生不断的变化^[1]。预制调理食品以方便快捷、营养美味、顺应时代的优势,成为食品领域的重要发展方向。该类食品是一类可直接食用或食用前需简单烹饪的速食类食品,是将原辅料经适当加工、调理及包装后,在冷冻、冷藏或常温的条件下储存、运输和销售^[2-3]。真空低温加工技术是指在精确的温度和时间控制条件下,将原料置于热稳定的真空袋内烹饪的加工技术^[4]。作为一种新型的食品预制处理方式,真空低温预制的食物经过抽真空包装,彻底隔绝产品与空气接触,降低产品处理过程中的污染风险;同时真空包装还有利于保持产品的质地、风味、色泽和营养成分,延长产品保质期,便于实现大规模、集中的产业化生产。

有关真空低温加热的研究当前主要集中在畜禽类方面,对水产产品的研究还在起步阶段。本文首先研究了不同真空低温预制处理条件对鲍鱼腹

足食用品质的影响;其次,研究了蒸制复热对真空低温预制鲍鱼品质的影响。目前,市面上预制调理食品多采用冷链供应,且我国消费者大都有食用熟食、热食的习惯,因此,在食用前需经二次加热,即复热。通常采用的复热方式一般是蒸煮或微波^[5]。其中蒸制复热在一定程度上可较完整地保留产品的营养物质,减少有害物质生成和减弱脂肪氧化^[6]。

目前,我国鲍鱼的销售以鲜活鲍鱼,以及干制品、罐头等加工制品为主,因工艺、贮藏条件等因素的制约,出现食用不便、烹饪要求高或质地风味不佳等问题。本文以鲍鱼为原料,通过物性测试仪、测色仪和电子鼻等仪器检测结合感官评价,分析不同真空低温预制条件及复热对鲍鱼样品蒸煮损失、质构特性、色泽、风味化合物和感官特性的影响,探究适宜的加工条件,以期提高鲍鱼产品食用品质。

1 材料与方法

1.1 研究路线

1.2 材料

新鲜皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*),购自辽宁省大连市新长兴市场。鲍鱼腹足的利用如

收稿日期:2021-06-04

基金项目:辽宁省农业重大专项(2020JH1/10200001)

作者简介:蔺小雨(1996—),女,硕士生

通信作者:董秀萍 E-mail: dxiuping@163.com

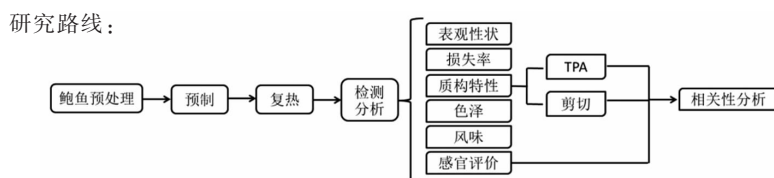


图 1 所示。

1.3 仪器与设备

TA.XT.plus 物性测试仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; Hunter Lab Pro 测色仪, 美国 Hunter Lab 公司; PEN 3 型电子鼻, 德国 AIRSENSE 公司; 破壁机, 中国沃佳健公司; MULTIVAC 真空封口机, 德国 IlkerUslu 公司。

1.4 试验方法

1.4.1 样品处理

1) 原料预处理 新鲜鲍鱼于 4℃ 环境中平衡 4 h, 去壳、内脏, 取鲍鱼腹足部位清洗、擦干后称重, 备用。

2) 真空低温预制: 取预处理过的鲍鱼腹足, 装入耐热真空蒸煮袋 (尼龙/聚乙烯, 15 cm × 12 cm), 采用真空封口机封口 (真空度 200 mbr), 于恒温水浴锅中预制。参考王阳等^[7]的方法并经预试验筛选, 拟考察的真空低温预制条件分别是 50℃ - 3 h, 60℃ - 1 h 和 70℃ - 1 h。

对照组 1 为预处理后的鲍鱼腹足; 对照组 2 为模拟传统预制烹饪方式, 将预处理的鲍鱼腹足与去离子水按质量比 1:3 装入耐热真空蒸煮袋, 沸水煮制 2 h。

3) 复热方法: 采用蒸制的方式, 将上述各预制组样品于 4℃ 冰箱中放置 24 h 后, 于蒸锅中蒸 12 min, 冷却至室温, 备用。

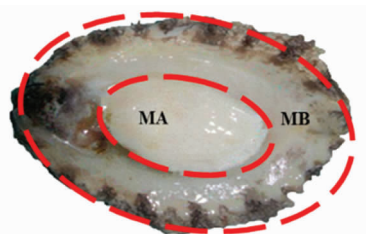
1.4.2 损失率 分别称量预处理后、不同预制条件及复热后鲍鱼腹足质量, 用下述公式计算样品的预制损失率和复热损失率。

$$\text{预制损失率}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{复热损失率}(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中: m_1 、 m_2 和 m_3 ——依次分别为鲍鱼预处理后、不同预制条件和复热后的质量, g。

1.4.3 质构特性 参考 Dong^[8]和 Lemus - monda-ca^[9]的方法并略作改动, 测定真空低温预制后及



注: MA. 闭壳肌中间部位; MB. 闭壳肌边缘部位。

图 1 鲍鱼腹足分割利用图

Fig.1 Utilization of abalone gastropod meat samples

复热后鲍鱼腹足样品的剪切力和全质构分析 (Texture profile analysis, TPA)。

1) 剪切力 用取样器于鲍鱼腹足 MA 部位取样。测试条件: 选用 HDP/PS 探头, 从圆柱形样品中间垂直于肌原纤维蛋白方向剪切, 测前/测试速度 1.00 mm/s, 每个处理条件 5 个平行样本。

2) TPA 用取样器于鲍鱼腹足 MA 和 MB 部位分别取样, 高度分别为 10 mm 和 5 mm。测试条件: P/50 探头, 测前、测试、测后速度均为 1 mm/s, 压缩比 75%, 每个处理条件 5 个平行样本。

1.4.4 色差 测定预制及复热后鲍鱼腹足 MA 和 MB 部位 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值, 通过下述公式计算白度值 $W^{[10]}$ 和色差 $\Delta E^{[11]}$, 每个处理条件 5 个平行样本。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (4)$$

式中, a_0 、 b_0 、 L_0 ——分别为新鲜鲍鱼样品组的红绿、黄蓝及亮度值。

1.4.5 风味化合物 参考吴靖娜等^[12]的方法并略作改动。将不同处理条件的鲍鱼腹足搅碎并立即放入顶空采样瓶中。每个处理条件 3 个平行样本。

1.4.6 感官评价 参考 Bongiorno 等^[13]和 Feng 等^[14]的方法并略有修改。将复热后的鲍鱼样品去除两端, 切成 5 mm 厚的肉片, 做感官评价。根据《GB/T 23470.2-2009 感官分析感官分析实验室人员一般导则》^[15]选出 20 位食品研究人员, 组成感官评

价小组,最后经筛选得到7位合格的感官评价员。每个测试样品用3位随机数编号,采用双盲法检

验。根据感官评定标准,使用15 cm划线法对每个特征进行评分。评分标准见表1。

表1 感官评价标准

Table 1 The standard of sensory evaluation

感官评价指标	0分	15分
香味	风味一般,基本无香味	风味突出,有香味
颜色/光泽度	暗黄色,无光泽	金黄色,富有光泽
组织结构	组织松散,无完整形态	有完整的形态,组织致密,不松散
口感	肉质较差,硬度差,咀嚼性低,弹性差,适口性差	肉质柔嫩,硬度适中,咀嚼性好,弹性好,适口性好
多汁性	干燥,无汁液	湿润,富含汁液
后味	无后味,不持久	后味浓郁,持久性强

1.4.7 统计学分析 试验数据以平均值±标准差表示,显著性分析采用SPSS Statistics (v.17.0)^[16]的组曼-科伊尔斯检验(Student-Newman-Keuls, SNK)计算,差异水平判别标准设定为 $P < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 预制条件及复热对鲍鱼腹足表观性状的影响

图2显示为不同预制条件及复热处理后鲍鱼表观性状的变化情况。从第I列新鲜鲍鱼蒸制复热(对照组1)及第II列传统加热方式预制处理组(对照组2)可以看出,经复热或传统高温长时间的烹饪,鲍鱼的闭壳肌边缘部位具有明显的收缩现象。而经真空低温预制的鲍鱼的形态保持较好,且经复热过程后形态变化不显著。与传统方式预制处理的鲍鱼相比,真空低温预制在一定程度上可以维持鲍鱼形态,这对鲍鱼预制加工过程中的形态保持十分重要。

2.2 预制条件及复热对鲍鱼腹足损失率的影响

热处理过程中损失率的变化反映样品质量的变化。水分流失、肌肉萎缩、一些大分子物质变性甚至分解以及水溶性成分的流失等均能导致样品损失率变化^[17]。本文对预制损失率、复热损失率及总损失率进行比较。由图3可知,真空低温预制方式处理鲍鱼的预制损失率显著少于对照组2。这是因为传统高温条件下,样品中的水分子相对于真空低温条件下的运动更加剧烈,宏观表现为在加工过程中的水分流失严重^[18]。复热处理后对照组2的复热损失率最低,这是由于预制过程中由于高温长时间的处理导致前期损失较大。这与相关研究发现猪肉随热加工温度的升高蒸煮损失率

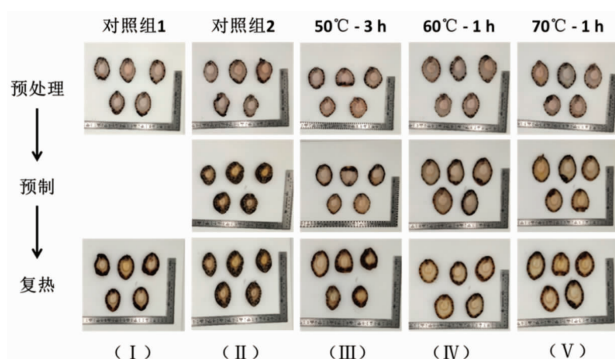
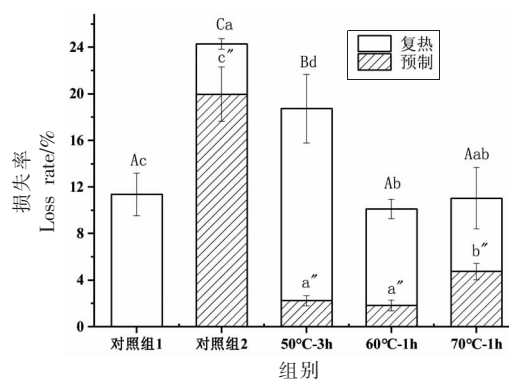


图2 不同预制条件及复热对鲍鱼腹足表观性状的影响

Fig.2 Effect of different prefabricated conditions and reheating on the apparent character of abalone gastropod



The experimental group

注:A-C, a-e 和 a''-c'' 分别表示不同处理条件下总损失率、复热损失率和预制损失率差异显著($P < 0.05$)。

图3 不同预制条件及复热对鲍鱼腹足损失率的影响

Fig.3 Effects of different prefabricated conditions and reheating on the loss rate of abalone gastropod

增加的趋势相一致^[19-21]。在真空低温处理的鲍鱼中,经60°C-1h和70°C-1h处理组的鲍鱼在复热过程中的损失率明显低于50°C-3h处理组。从总损失率来看,真空低温预制处理组样品

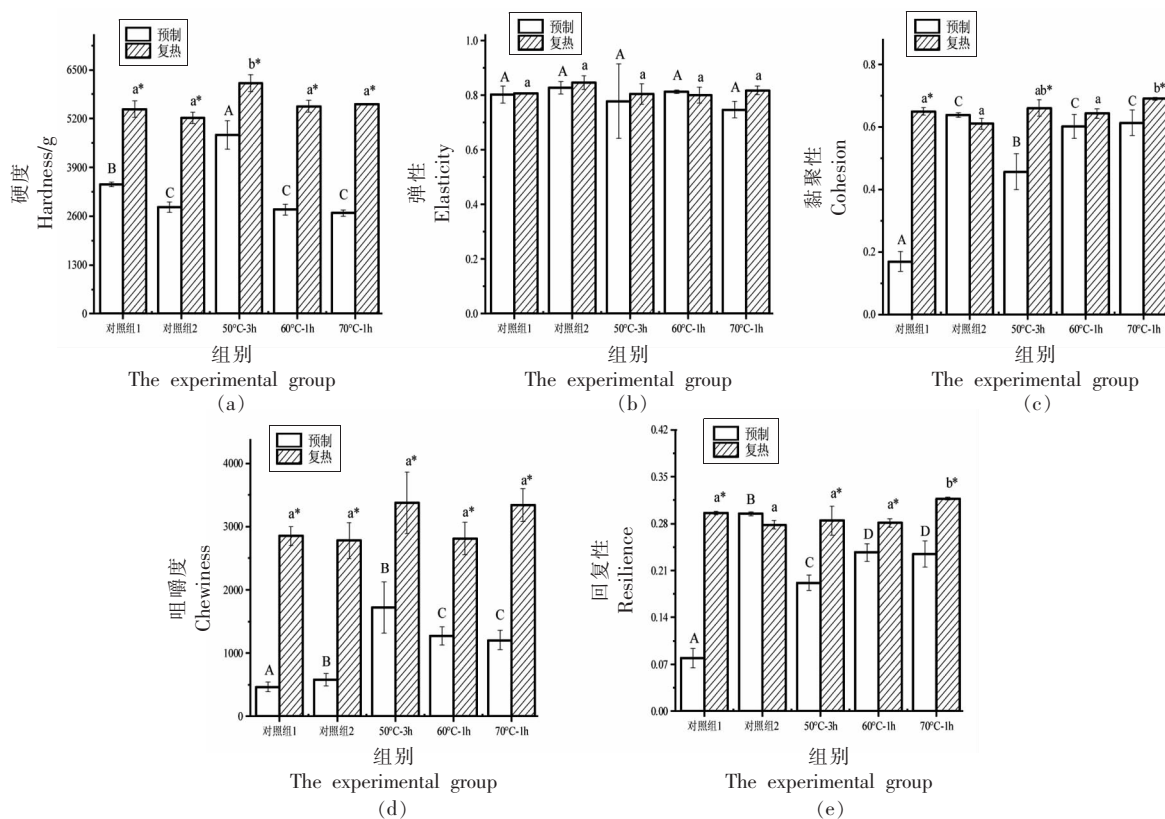
的各总损失率均明显低于对照组 2。这说明真空低温方式可减少鲍鱼在预制处理过程中水分流失,且预制品复热后的总损失较低,有效降低了鲍鱼加工过程中的蒸煮损失率。

2.3 预制条件及复热对鲍鱼腹足质构特性的影响

2.3.1 TPA 分析 水分的流失与水产品加工过程中的蛋白收缩变性有关,肌原纤维蛋白、胶原蛋白以及结缔组织与质构特性的变化也有密切关系^[22-23]。有研究表明,热处理使蛋白质(如肌原蛋白、胶原蛋白等)变性,加热会造成胶原蛋白和结缔组织明胶化,使肉质变软,同时也使肌原纤维蛋白凝固和收缩,肉质失水变硬^[24-25]。鲍鱼的不同部位肌原纤维蛋白、胶原蛋白和结缔组织的分布和含量差异较大,各部位的质构特性及热变化规律也不尽相同^[26]。本研究针对鲍鱼闭壳肌中间部位(MA)和边缘部位(MB)的质构特性进行考察。

从图 4 和图 5 可知,真空低温预制的鲍鱼和传统预制鲍鱼的质构特性差异显著。其中 MA 部

分在复热前/后硬度、咀嚼性和回复性方面差异较大,MB 部分在硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性和回复性方面差异较大。MA 部位经 50℃-3h 预制,在复热后硬度显著高于其它组,这可能是由于长时间的加热使肌肉纤维蛋白凝聚收缩,并使肌肉失水导致硬度增大^[27]。与真空低温预制组相比,对照组 2 的 MB 部位硬度下降显著,这与高温加热使肌原纤维收缩、胶原蛋白溶解有关。真空低温预制处理鲍鱼组,60℃-1h 和 70℃-1h 条件下 MA 和 MB 两部位的硬度数值差异较小,黏聚性和回复性变化趋势一致,这可能与胶原蛋白逐渐溶解为明胶有关^[27]。复热后真空低温预制组的硬度、咀嚼性、黏聚性、回复性均显著高于对照组 2。综合真空低温预制及复热对鲍鱼 MA 和 MB 部位质构的影响,可以得出,真空低温预制改善了传统加工方式对鲍鱼硬度增大,弹性、咀嚼性、回复性下降等问题,不同程度地改善其肉质口感,提高弹性,说明真空低温煮制更适于鲍鱼的预制加工。



注:1)A-C 和 a-c 分别表示预制后及复热后不同处理条件间差异显著 ($P<0.05$);2)* 表示同一预制条件下样品复热前、后差异显著 ($P<0.05$),下同。

图 4 不同预制条件及复热鲍鱼腹足 MA 部位的 TPA 分析

Fig.4 TPA analysis of different prefabricated conditions and reheated about abalone gastropod of MA part

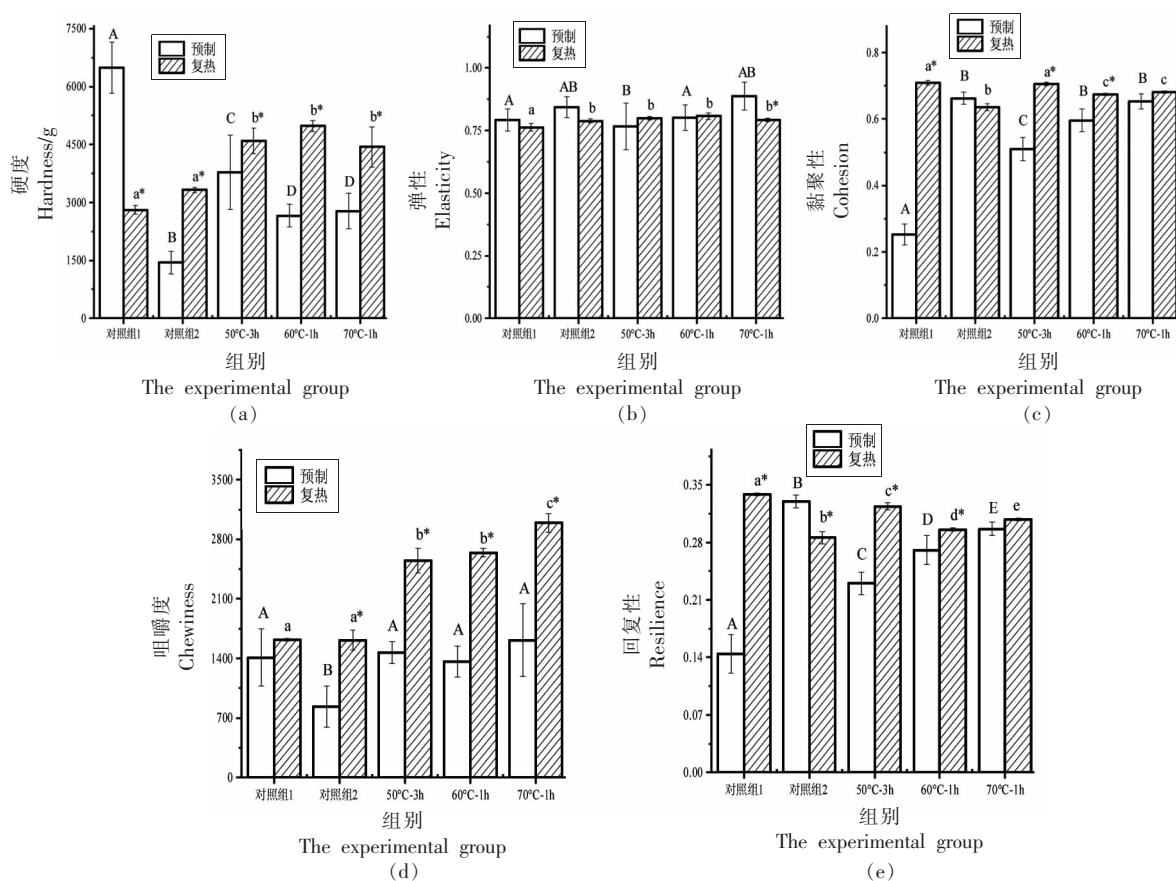


图5 不同预制条件及复热鲍鱼腹足MB部位的TPA分析

Fig.5 TPA analysis of different prefabricated conditions and reheated about abalone gastropod of MB part

2.3.2 预制条件及复热对鲍鱼腹足剪切力的影响

嫩度是评价肉制品品质的重要指标之一,通过测定剪切力来反映。研究表明,肉制品在加热过程中剪切力在不同温度范围的变化趋势也不同^[9]。不同预制条件及复热处理的鲍鱼腹足剪切力数据如图6所示。对照组1的剪切力在复热后增大,说明复热熟化过程能增加肉制品韧性^[21-23]。对照组2在复热后剪切力显著下降,可能是因为经高温预制后再高温蒸制,两次高温使得胶原蛋白转化为明胶,肌原纤维蛋白可能发生严重断裂,蛋白、水分等损失严重,这与前面的损失率测定相对应,导致剪切力下降^[23]。真空预制处理组中50℃-3h条件的样品在复热后剪切力增加,主要原因可能是因为预制期间温度太低,未能使蛋白质发生大规模变性,而高温复热使蛋白质变性,蛋白质间和蛋白质与水之间相互作用增强,同时水分流失率较高,导致硬度增大,剪切力增加。60℃-1h样品剪切

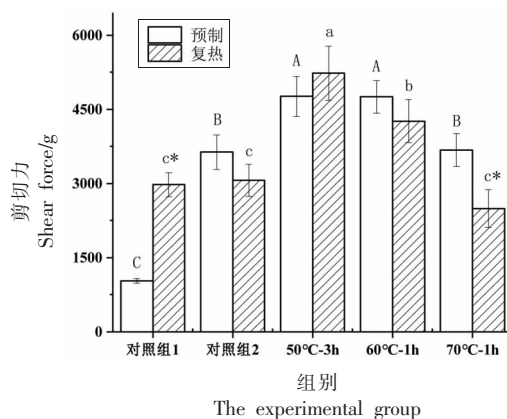


图6 不同预制条件及复热对鲍鱼腹足剪切力的影响

Fig.6 Effects of different prefabricated conditions and reheating on shear force of abalone gastropod

力在复热前、后变化显著,此时的水分流失对其影响较小,剪切力变化较大。同理70℃-1h样品在复热后剪切力减少,嫩度提高。

2.4 预制条件及复热对鲍鱼腹足色泽的影响

色泽的变化不仅与加热温度有关,也与加热时间有关,不同加热温度和时间组合会造成蛋白质不同程度的变性,进而对色泽造成影响^[26]。

结合表 2 和表 3 可知,真空低温预制处理组的 MA 和 MB 两部分在亮度、黄蓝值及色差方面与对照组 2 相比均差异显著。与对照组 1 相比,真空低温煮制组的 L^* 、 a^* 的差异不显著, b^* 值相对提

高,表明该加工技术可以更好地保留产品原本的色泽^[30-32]。60 °C 和 70 °C 处理温度虽高,但加热时间相对较短,真空环境对色泽有保护作用,因此最终综合对颜色的影响也较小^[26]。真空低温预制处理样品,其煮制时间和煮制温度对颜色影响较小,差异不显著,这与真空低温加工技术创造一个低气压、低氧气浓度的环境,减弱氧化反应有关^[29]。

表 2 不同预制条件及复热对鲍鱼腹足 MA 部位色泽的影响

Table 2 Effects of different prefabricated conditions and reheated on the color of abalone gastropod of MA parts

部位	组别	L^*	a^*	b^*	W^*	ΔE
预制	对照组 1	61.21 ± 3.61 ^B	-2.13 ± 0.90 ^A	-3.02 ± 0.23 ^D	61.03 ± 3.56 ^B	0 ^C
	对照组 2	69.85 ± 3.92 ^A	-1.57 ± 0.45 ^A	10.68 ± 0.37 ^A	67.96 ± 3.79 ^A	16.45 ± 0.79 ^A
	50°C-3h	64.20 ± 1.75 ^B	-2.53 ± 0.40 ^A	2.74 ± 0.60 ^C	64.00 ± 1.79 ^{AB}	6.66 ± 0.62 ^B
	60°C-1h	64.72 ± 4.63 ^B	-2.34 ± 0.48 ^A	4.31 ± 0.86 ^B	64.36 ± 4.50 ^{AB}	8.73 ± 2.66 ^B
	70°C-1h	63.80 ± 2.18 ^B	-2.37 ± 0.09 ^A	4.63 ± 0.49 ^B	63.43 ± 2.21 ^{AB}	8.27 ± 0.38 ^B
复热	对照组 1	76.96 ± 0.31 ^a	-1.91 ± 0.08 ^a	5.83 ± 0.16 ^a	76.16 ± 0.30 ^a	0 ^a
	对照组 2	79.54 ± 0.97 ^b	-1.70 ± 0.27 ^a	8.99 ± 1.95 ^a	72.99 ± 1.14 ^b	4.36 ± 1.15 ^b
	50°C-3h	76.48 ± 0.16 ^a	-0.51 ± 1.11 ^a	13.14 ± 2.24 ^b	76.27 ± 1.06 ^a	2.95 ± 1.67 ^{bc}
	60°C-1h	77.06 ± 0.98 ^a	-1.67 ± 0.19 ^a	5.75 ± 1.19 ^a	76.18 ± 1.85 ^a	1.28 ± 0.24 ^{ac}
	70°C-1h	77.27 ± 1.70 ^a	-1.98 ± 0.43 ^a	6.75 ± 1.53 ^a	77.55 ± 1.54 ^a	2.06 ± 0.69 ^{ac}

注:A-D 和 a-d 分别表示预制后和复热后样品之间差异显著($P < 0.05$),下同。

表 3 不同预制条件及复热对鲍鱼腹足 MB 部位色泽的影响

Table 3 Effects of different prefabricated conditions and reheated on the color of abalone gastropod of MB parts

部位	组别	L^*	a^*	b^*	W	ΔE
预制	对照组 1	63.79 ± 0.38 ^B	-2.03 ± 0.73 ^B	2.92 ± 1.55 ^C	63.59 ± 0.28 ^A	0 ^C
	对照组 2	69.32 ± 0.77 ^A	0.88 ± 0.30 ^A	20.69 ± 1.76 ^A	62.96 ± 0.89 ^A	25.25 ± 1.74 ^A
	50°C-3h	67.92 ± 4.25 ^B	-2.66 ± 0.08 ^B	6.01 ± 0.29 ^B	67.25 ± 4.21 ^A	11.68 ± 1.91 ^B
	60°C-1h	65.02 ± 1.17 ^B	-2.14 ± 0.17 ^B	7.71 ± 0.76 ^B	64.11 ± 1.27 ^A	11.43 ± 0.52 ^B
	70°C-1h	66.76 ± 1.39 ^B	-2.54 ± 0.53 ^B	8.53 ± 0.85 ^B	65.58 ± 1.48 ^A	12.89 ± 0.56 ^B
复热	对照组 1	72.35 ± 0.73 ^a	-0.94 ± 0.02 ^a	17.31 ± 0.56 ^a	67.35 ± 0.32 ^a	0 ^a
	对照组 2	73.94 ± 0.48 ^b	0.68 ± 0.08 ^b	19.98 ± 0.70 ^b	62.92 ± 0.27 ^a	7.12 ± 0.64 ^b
	50°C-3h	69.93 ± 0.44 ^c	2.55 ± 0.14 ^c	21.53 ± 0.46 ^c	69.70 ± 0.11 ^b	6.89 ± 0.16 ^b
	60°C-1h	73.15 ± 0.23 ^{ab}	-1.17 ± 0.02 ^d	13.99 ± 0.69 ^d	67.89 ± 0.13 ^a	3.47 ± 0.69 ^c
	70°C-1h	72.52 ± 0.13 ^a	-0.43 ± 0.06 ^c	16.61 ± 0.06 ^a	67.15 ± 0.25 ^a	2.22 ± 0.27 ^d

与 MA 部位相比,复热后 MB 部位的颜色变化在不同处理条件之间差异更显著。与对照组 1 相比,对照组 2 在预制和复热后 L^* 、 a^* 、 b^* 均显著增大。这可能与对照组 2 复热总损失率高有关。由高温预制引起较大的质量损失,样品内部结合水

向不易流动水和自由水移动,使切面表面渗出自由水^[28],导致亮度增大。复热后,除亮度和色差外所有颜色参数值均增加。这可能是因为复热时温度升高,样品内蛋白质和还原糖等发生美拉德反应,也可能是鲍鱼体内的色素及脂肪等的氧化,使

颜色参数发生变化^[29]。

2.5 预制条件及复热对鲍鱼风味化合物的影响

利用电子鼻分析鲍鱼样品风味化合物,主成分分析见图7。电子鼻的10个传感器均可检测到各组鲍鱼腹足的挥发性成分。10个电极具体代表物为:R1为W1C芳香成分苯类;R2为W5S N/O;R3为W3C氨类、芳香成分;R4为W6S氢化物;R5为W5C短链烷烃芳香成分;R6为W1S甲基类;R7为W1W无机硫化物;R8为W2S醇类、醛酮类;R9为W2W芳香成分、有机硫化物;R10为W3S长链烷烃。

第1主成分和第2主成分的总贡献率达99.1%,说明主成分1、2包含样品大量信息,可以

反映不同预制条件及复热对鲍鱼腹足风味化合物影响的整体信息。70℃-1h处理的样品在复热前、后风味化合物生成的差异较大,而复热对其它处理组生成的风味化合物影响较小。与预制处理后的样品相比,经复热的鲍鱼样品的风味化合物均有不同程度增加,说明复热对预制样品风味物质的生成起到促进作用。郑瑞生等^[29]对鲍鱼烘烤前后挥发性成分变化情况的研究中发现基本肉香味主要是由含硫化合物释放。从图中可以看出,对照组2在复热前后差异性较小,在R7及R9检测的风味化合物最多,与该处理条件煮制温度高有密切关系,和吴靖娜等^[12]利用电子鼻对比分析生熟鲍鱼挥发性化合物差异的结果一致。

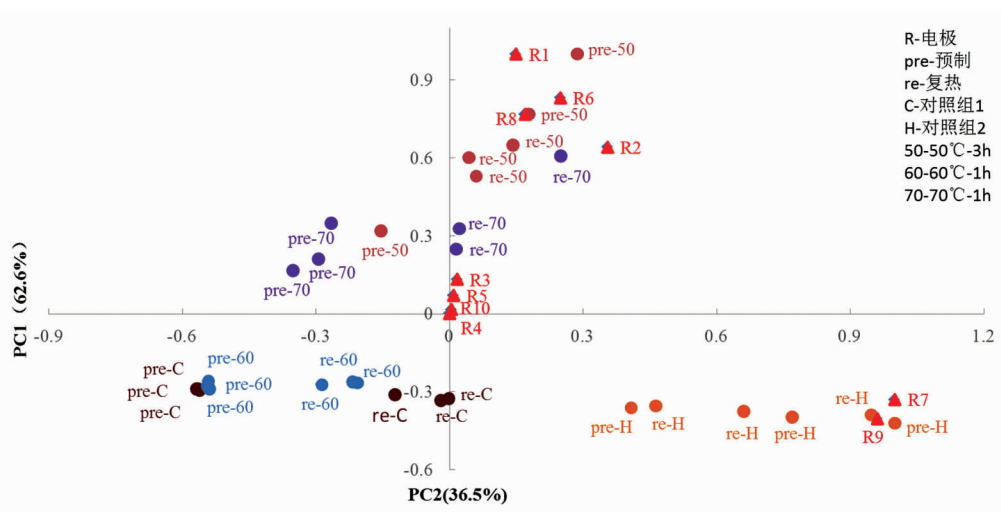


图7 不同预制条件及复热对鲍鱼风味化合物的主成分分析图

Fig.7 The principal component analysis diagram of abalone flavor compounds at different prefabricated conditions and reheated

2.6 预制条件及复热对鲍鱼腹足的感官评价

从表4可知,不同预制条件及复热处理的鲍鱼产生的香味在感官评价结果中显示无显著差异。颜色/光泽度与前面测得的色泽结果相近,70

℃-1h处理的样品感官评分最高,更富有光泽。从组织结构、口感和多汁性方面来看,70℃-1h处理的样品得分均为最高,这与前面的损失率及质构分析结果也一致,该处理的鲍鱼加工过程中

表4 不同预制条件及复热后鲍鱼感官评价得分

Table 4 Sensory analysis of abalone at different prefabricated conditions and reheating

组别	香味	颜色/光泽度	组织结构	口感	多汁性	后味
对照组1	10.45 ± 2.84 ^a	8.76 ± 3.41 ^a	10.72 ± 2.35 ^{ab}	11.78 ± 0.95 ^b	11.50 ± 1.20 ^a	10.56 ± 2.81 ^{ab}
对照组2	9.67 ± 3.52 ^a	10.49 ± 1.93 ^{ab}	10.47 ± 1.79 ^{ab}	8.00 ± 2.50 ^a	9.33 ± 2.70 ^a	7.41 ± 3.07 ^a
50℃-3h	7.95 ± 3.09 ^a	7.81 ± 1.17 ^{ab}	8.54 ± 3.55 ^{ab}	8.30 ± 4.37 ^{ab}	10.52 ± 3.07 ^a	8.82 ± 2.49 ^{ab}
60℃-1h	8.92 ± 4.69 ^a	8.92 ± 4.03 ^{ab}	9.67 ± 3.82 ^b	9.30 ± 3.71 ^{ab}	10.68 ± 2.12 ^a	10.46 ± 3.41 ^{ab}
70℃-1h	9.68 ± 2.2 ^a	12.15 ± 1.69 ^b	12.28 ± 2.00 ^a	11.04 ± 1.99 ^{ab}	10.92 ± 2.42 ^a	12.05 ± 1.42 ^b

注:a-d;不同字母表示不同处理条件之间差异显著($P < 0.05$)。

的总损失率与其它试验组相比是最低的。一般认为累计方差贡献率大于 85%时,选取的主成分可以对数据进行综合评价。从主成分分析图 8 中可以看出,第 1 主成分和第 2 主成分总贡献率达 90.9%,基本反映样品的整体信息。通常情况下,第 1 主成分贡献率较大,如果不同样品间在横坐标

上的距离差距较大,说明它们的差异较明显。从图中可以看出不同条件处理的鲍鱼样品沿横坐标分布较明显,差异性显著。雷达图显示不同条件处理鲍鱼的感官评分在各属性之间的差异,其中后味的感官评分具有显著性差异。

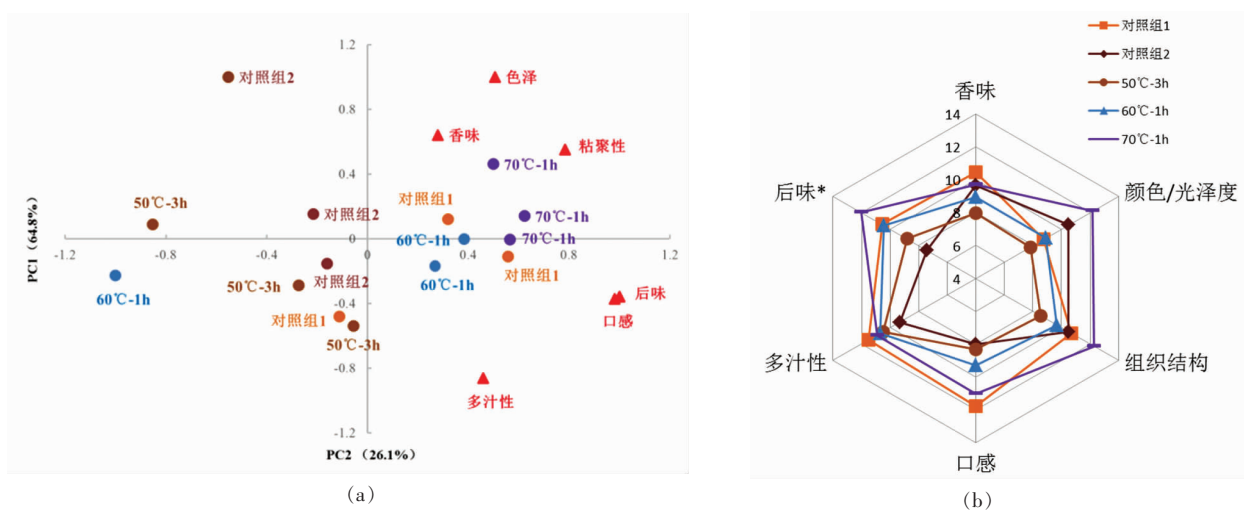


图 8 不同预制条件及复热后鲍鱼感官主成分分析(a)及雷达图(b)

Fig.8 Sensory principal component analysis (a) and radar map (b) of abalone under different prefabricated conditions and reheated

2.7 感官评价与质构的相关性分析

由图 9 可知,组织结构与口感呈极显著相关 ($P<0.01$);黏聚性与咀嚼度呈极显著相关;回复性与黏聚性呈极显著相关;组织结构分别与回复性和剪切呈显著相关 ($P<0.05$);口感和回复性呈显著相关;咀嚼度和回复性呈显著相关;回复性和剪切呈显著相关。通过对鲍鱼加工过程中质构特性的分析,判别其品质的好坏。由相关性分析可知,与对照组相比,真空低温处理鲍鱼能够获得更佳的口感。决定鲍鱼在加工过程中品质好坏的主要指标有剪切力、黏聚性及咀嚼度。

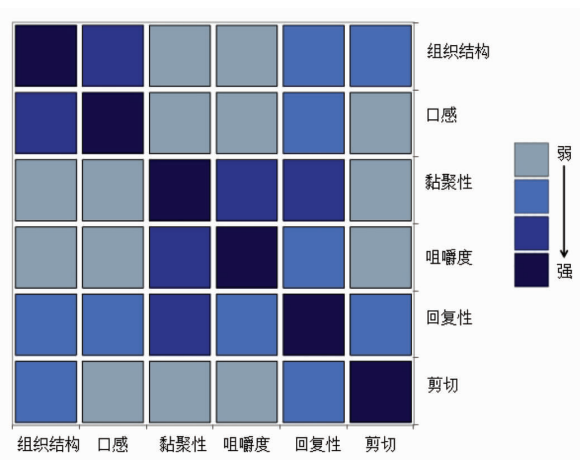


图 9 不同预制条件及复热后鲍鱼感官评价与质构特性相关性分析

Fig.9 Correlation analysis between sensory results and texture characteristics of abalone after different prefabricated conditions and reheated

3 结论

真空低温预制及复热过程能有效降低鲍鱼在加工过程的损失率。与传统烹饪方式相比,可以提高其嫩度,其中 70 °C - 1 h 处理条件的鲍鱼复热后嫩度最好,对其口感也有一定的促进作用,对颜色的影响较小。鲍鱼经真空低温预制和复热处理均能生成多种挥发性化合物并能较好地保留。感

官与质构特性的相关性分析表明,口感、组织结构与咀嚼度、回复性和剪切力均具有相关性。综合理

化指标并结合感官结果得出:与传统加工方式相比,真空低温预制技术可一定程度减少鲍鱼加工过程中的质量损失,提高嫩度。

参 考 文 献

- [1] 赵霖, 鲍善芬. 中华民族传统膳食结构的特点和优势[J]. 中国食品学报, 2004, 4(4): 4-9.
ZHAO L, BAO S F. The advantages and characteristics of Chinese traditional dietary structure[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2004, 4(4): 4-9.
- [2] 吴鹏, 王恒鹏, 王苏月, 等. 不同蒸制时间条件下鲈鱼片预制品质比较[J]. 美食研究, 2017, 34(2): 57-60.
WU P, WANG H P, WANG S Y, et al. Comparison of sliced perch quality steamed for different time[J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2017, 34(2): 57-60.
- [3] 刘永峰, 赵璐, 王娟, 等. 牛肉蒸制工艺及其质构、营养品质评价[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2017, 45(5): 107-116.
LIU Y F, ZHAO L, WANG J, et al. Study of steamed beef processing and evaluation on their texture characteristics and nutritional quality[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2017, 45(5): 107-116.
- [4] 向雅芳, 熊光权, 乔宇, 等. 不同热处理方式对鲈鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(21): 127-135.
XIANG Y F, XIONG G Q, QIAO Y, et al. Effects of different heat treatments on the quality of large-mouth bass[J]. Food Science, 2019, 40(21): 127-135.
- [5] TANIMOTO S, KITABAYASHI L, FUKUSIMA C, et al. Effect of storage period before reheating on the volatile compound composition and lipid oxidation of steamed meat of yellowtail *Seriola quinquerata*[J]. Fisheries Science, 2015, 81(6): 1145-1155.
- [6] 沈铭聪, 周名洋, 孙杨赢, 等. 不同加热方法对盐水鹅食用品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 63-69, 78.
SHEN M C, ZHOU M Y, SUN Y Y, et al. Effects of different heating methods on edible quality of salted goose[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 63-69, 78.
- [7] 王阳, 刘文涛, 潘锦锋, 等. 熟化方式对预制鲍鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 69-75.
WANG Y, LIU W T, PAN J F, et al. Effect of different cooking methods on the quality of pre-cooked abalone (*Haliotis discus hanai*)[J]. Food Science, 2018, 39(3): 69-75.
- [8] DONG X P, HOU Y W, WANG Y, et al. Effect of temperature-time pretreatments on the texture and microstructure of abalone (*Haliotis discus hanai*)[J]. Journal of Texture Studies, 2018, 49(5): 503-511.
- [9] LEMUS - MONDACA R, NOMA S, IGURA N, et al. Kinetic modeling and mass diffusivities during osmotic treatment of red abalone (*Haliotis rufescens*) slices[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 1889-1897.
- [10] 袁超. 超高压处理对牡蛎和鲍鱼品质与安全性影响研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
YUAN C. Effect of high pressure processing on quality and safety of high value shellfish[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.
- [11] JIAO X D, CAO H W, FAN D M, et al. Effects of fish oil incorporation on the gelling properties of silver carp surimi gel subjected to microwave heating combined with conduction heating treatment[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 94: 164-173.
- [12] 吴靖娜, 路海霞, 刘智禹, 等. 用电子鼻和SPME-GC-MS分析鲍鱼熟制前后挥发性风味物质的变化[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(4): 431-437.
WU J N, LU H X, LIU Z Y, et al. Changes in flavor volatile compounds in discus abalone *Haliotis discus hannai* before and after cooked by electronic nose and solid phase micro-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(4): 431-437.
- [13] BONGIORNO T, TULLI F, COMI G, et al. Sous vide cook-chill mussel (*Mytilus galloprovincialis*): evaluation of chemical, microbiological and sensory quality during chilled storage (3 °C)[J]. LWT, 2018, 91: 117-124.
- [14] FENG T T, WU J H, LIANG X, et al. Quality properties and formation of α -dicarbonyl compounds in abalone muscle (*Haliotis discus*) as affected by tenderization and baking processes [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2018, 12

- (3): 1503-1512.
- [15] 中国标准化研究院. 感官分析 感官分析实验室人员一般导则 第2部分: 评价小组组长的聘用和培训; GB/T 23470.2-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 1-7.
China national institute of standardization. Sensory analysis-General guidance for the staff of a sensory evaluation laboratory-Part 2: Recruitment and training of panel leaders; GB/T 23470.2-2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009: 1-7.
- [16] KHAN M A, ALI S, ABID M, et al. Improved duck meat quality by application of high pressure and heat: A study of water mobility and compartmentalization, protein denaturation and textural properties [J]. Food Research International, 2014, 62: 926-933.
- [17] BERTRAM H C, DONSTRUPS, KARLSSON A H, et al. Continuous distribution analysis of T2 relaxation in meat-an approach in the determination of water-holding capacity[J]. Meat Science, 2002, 60 (3): 279-285.
- [18] 王焱, 傅新鑫, 潘锦锋, 等. 大菱鲆背腹部肌肉基本组成、质构及加工特性[J]. 食品科学, 2015, 36 (23): 64-69.
WANG Y, FU X X, PAN J F, et al. Chemical composition, texture and processing characteristics of dorsal and abdominal muscles of turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Food Science, 2015, 36(23): 64-69.
- [19] 周存六, 汤忠, 阮敏敏, 等. 灵芝多糖替代脂肪对猪肉灌肠品质特性影响[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(7): 84-88.
ZHOU C L, TANG Z, RUAN M M, et al. Effect of replacement of backfat with ganoderma lucidum polysaccharides on characteristic properties of pork sausages[J]. Food Research And Development, 2012, 33(7): 84-88.
- [20] MORTENSEN M, ANDERSEN H J, ENGELSEN S B, et al. Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork qualities[J]. Meat Science, 2006, 72(1): 34-42.
- [21] CHIAVARO E, RINALDI M, VITTADINI E, et al. Cooking of pork Longissimus dorsi at different temperature and relative humidity values: Effects on selected physico-chemical properties [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93(2): 158-165.
- [22] PALKA K, DAUN H. Changes in texture, cooking losses and myofibrillar structure of bovine M. emittendinousus during heating[J]. Meat Science, 1999, 51(3): 237-243.
- [23] BERTRMA H C, ANDERSEN H J, KARLSSON A H. Comparative study of low-field NMR relaxation measurements and two traditional methods in the determination of water holding capacity of pork [J]. Meat Science, 2001, 57(12): 125-132.
- [24] ARSHAD M S, KWON J H, IMRAN M, et al. Plant and bacterial proteases: A key towards improving meat tenderization, a mini review[J]. Cogent Food & Agriculture, 2016, 2(1): 1261780.
- [25] 常海军, 王强, 徐幸莲, 等. 牛半腱肌肉结缔组织胶原蛋白热力学特性热诱导变化 DSC 分析[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 49-53.
CHANG H J, WANG Q, XU X L, et al. DSC analysis of heat-induced changes in thermal characteristics of connective tissue collagen from beef semitendinosus muscle[J]. Food Science, 2011, 32 (13): 49-53.
- [26] 肖桂华, 朱蓓薇, 董秀萍, 等. 鲍鱼腹足不同部位的质构特性及组织结构研究[J]. 食品科技, 2010, 35(11): 155-159.
XIAO G H, ZHU B W, DONG X P, et al. Study on texture and tissue structure of different muscle of abalone[J]. Food Science and Technology, 2010, 35 (11): 155-159.
- [27] 肖桂华. 鲍鱼的组织结构及质构研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2011.
XIAO G H. Study on the tissue structure and texture of abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2011.
- [28] PULGAR J S D, GAZQUEZ A, RUIZ-CARRASCAL J. Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time[J]. Meat Science, 2012, 90(3): 828-835.
- [29] 郑瑞生, 王则金. 不同冻藏条件下鲍鱼质构及感官变化的研究[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 165-171.
ZHENG R S, WANG Z J. Chances of texture and sensory of abalone in different frozen storage conditions[J]. Food Science and Technology, 2013, 38 (5): 165-171.
- [30] 鞠云龙. 不同温度-时间组合对真空低温加热鸡胸肉

- 品质及货架期的影响[D]. 烟台: 烟台大学, 2017.
- JU Y L. Effect of different temperature-time combinations on quality and shelf-life of sous-vide cooked chicken breast[D]. Yantai: Yantai University, 2017.
- [31] GARCÍA -SEGOVIA P, ANDRÉS -BELLO A, MARTÍNEZ-MONZÓ J. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*)[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(3): 813-821.
- [32] CHRISTENSEN L, ERTBJERG P, DALLAASLYNG M, et al. Effect of prolonged heat treatment from 48 °C to 63 °C on toughness, cooking loss and color of pork[J]. Meat Science, 2011, 88(2): 280-285.

Effect of Vacuum and Low Temperature Preparation and Reheating on the Edible Quality of Abalone (*Haliotis discus hanai*)

Lin Xiaoyu^{1,2}, Hou Yawen^{1,2}, Huang Yizhen^{1,2}, Li Shengjie^{1,2}, Jiang Pengfei^{1,2}, Dong Xiuping^{1,2*}

(¹School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning;

²National Engineering Research Center of Seafood, Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Liaoning Province Collaborative Innovation Center for Marine Food Deep Processing, Dalian 116034, Liaoning)

Abstract To investigate the effect of vacuum low-temperature preparation and reheating on the edible quality of abalone (*Haliotis discus hanai*), the fresh abalones were vacuum-packed and subjected to low-temperature heat treatment at 50 °C - 3 h, 60 °C - 1 h and 70 °C - 1 h, respectively. Traditional cooking treatment at 100 °C - 2 h under atmospheric pressure was used as a control group to compare the cooking loss, texture properties, color, flavor and sensory characteristics of the different treated samples. The results showed that the vacuum low-temperature preparation combined with reheating could reduce the steaming loss of abalone compared with the traditional cooking method. First, in terms of texture, in addition to elasticity, the hardness, cohesiveness, chewiness and resilience of the vacuum low-temperature preparation and reheating treated samples changed in the direction of making the overall texture more harmonious. Notably, the reheated 70 °C - 1 h group showed significantly better tenderness than the control group. Second, all samples presented an increase in color parameters, but the color difference ΔE was smaller for 60 °C - 1 h and 70 °C - 1 h samples. Meanwhile, both vacuum low-temperature preparation and reheating could promote the production of good flavor compounds. Furthermore, the sensory assessment results were generally consistent with the trend of each index and significantly correlated with chewiness, resilience and shear force ($P < 0.05$). Conclusion: 70 °C - 1 h treatment after vacuum packing is more suitable as a pre-processing condition for abalone.

Keywords vacuum low temperature preparation; reheating; abalone gastropod; texture characteristics; flavor