

鲍鱼预熟制及低温贮藏中的脂质氧化特性

傅宝尚¹, 朱 名¹, 王 妍¹, 张玉莹¹, 徐献兵^{1,2}, 董 亮^{1,2}, 董秀萍^{1,2}, 秦 磊^{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, 辽宁 大连 116034)

摘 要:为探究鲍鱼在不同预处理和贮藏条件下的品质变化, 研究不同预熟制工艺和低温贮藏条件对其腹足脂质变化的影响。通过水蒸气蒸馏法、气相色谱-质谱联用仪检测硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值和脂肪酸组成。结果表明, 新鲜鲍鱼样品的TBARS值为1.01 mg/kg, 经4℃贮藏4 d、-18℃贮藏35 d、-80℃贮藏35 d后分别为4.12、4.31、3.40 mg/kg。而经80℃加热2 h预熟制处理鲍鱼的TBARS值为1.90 mg/kg, 其在4℃贮藏4 d、-18℃贮藏35 d、-80℃贮藏35 d后分别为1.91、1.86、1.91 mg/kg, 在贮藏过程中无明显变化。经预熟制处理的鲍鱼在-18℃冻藏21 d后的二十碳五烯酸和二十二碳五烯酸含量分别为9.78%和5.32%, 明显高于直接冻藏(分别为8.76%和5.01%)的鲍鱼。因此, 认为新鲜鲍鱼的脂质氧化主要发生在冻藏阶段, 而预熟制工艺可以有效延缓冻藏过程中脂质氧化的发生。

关键词: 鲍鱼; 冻藏; 脂质氧化; 预熟制

Oxidative Lipid Changes of Abalone during Precooking and Storage at Low Temperatures

FU Baoshang¹, ZHU Ming¹, WANG Yan¹, ZHANG Yuying¹, XU Xianbing^{1,2}, DONG Liang^{1,2}, DONG Xiuping^{1,2}, QIN Lei^{1,2,*}

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

2. National Engineering Research Center of Seafood, Dalian 116034, China)

Abstract: This study was focused on the oxidative lipid changes of abalone meat under different precooking and storage conditions in order to explore the quality changes. The thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value was tested by a steam distillation method. The fatty acid composition was determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Results showed that TBARS value was 1.01 mg/kg in fresh abalone samples, which increased to 4.12, 4.31 and 3.40 mg/kg, respectively after storage at 4℃ for 4 days, -18℃ for 35 days and -80℃ for 35 days. TBARS value in precooked (heating at 80℃ for 2 h) abalone was 1.90 mg/kg, and it remained stable at 1.91, 1.86 and 1.91 mg/kg after storage at 4℃ for 4 days, -18℃ for 35 days and -80℃ for 35 days. After storage at -18℃ for 35 days, the contents of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosapentaenoic acid (DPA) in precooked samples (9.78% and 5.32%) were higher than those in untreated samples (8.76% and 5.01%). In conclusion, the oxidation of fatty acids was mainly observed in samples during cold storage, which was inhibited by the precooking treatment.

Key words: abalone; storage; lipid oxidation; precooking

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715037

中图分类号: TS254

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)15-0232-05

引文格式:

傅宝尚, 朱名, 王妍, 等. 鲍鱼预熟制及低温贮藏中的脂质氧化特性[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 232-236. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715037. <http://www.spkx.net.cn>

FU Baoshang, ZHU Ming, WANG Yan, et al. Oxidative lipid changes of abalone during precooking and storage at low temperatures[J]. Food Science, 2017, 38(15): 232-236. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715037. <http://www.spkx.net.cn>

近年来, 由于我国已将海洋经济提升为国家发展战略, 海洋生物资源的深加工则显得尤为重要。鲍鱼因其

营养价值高、风味独特而备受消费者青睐。据2015年中国渔业统计年鉴的数据, 2014年鲍鱼总产量为11.5万 t,

收稿日期: 2016-07-01

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0400404); 海洋公益性行业科研专项(201505029)

作者简介: 傅宝尚(1989—), 男, 硕士, 研究方向为食品科学与工程。E-mail: 525811985@qq.com

*通信作者: 秦磊(1984—), 男, 讲师, 硕士, 研究方向为水产品加工理论与技术。E-mail: qinlei@dlpu.edu.cn

同比增长4.35%^[1]。研究表明,食品在贮藏过程的风味劣变主要来自于脂质氧化,包括自动氧化、光敏氧化及酶促氧化^[2], Chung等^[3]对鲭鱼通过热的方式研究其脂质变化,分析脂质变化规律。鲍鱼加工产品也不可避免会遇到贮藏问题。关于鲍鱼加工的研究,目前主要集中在鲍鱼的营养价值和鲍鱼的加工方式等方面,如Yeon等^[4]研究柠檬酸高压洗涤预处理对鲍鱼理化性能的影响。郑瑞生等^[5]利用固相微萃取与气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用法分析鲍鱼烘烤前后挥发性成分的变化等。关于鲍鱼的贮藏研究主要集中在鲜鲍鱼的贮藏等方面,如郑瑞生等^[6]通过鲍鱼冻藏过程生化及感官指标变化研究发现-80℃可大幅延缓鲍鱼品质下降、抑制微生物生长、延长鲍鱼货架贮藏期、提高鲍鱼的冻藏品质。袁超等^[7]研究了超高压处理对冷藏鲍鱼保鲜效果与品质变化的影响。而目前对贮藏过程中的鲍鱼品质变化研究相对较少。因此,如何提高食品贮藏过程中感官品质(如风味等),延长产品的有效保质期成为目前海产品加工研究的热点。荣建华等^[8]研究低温贮藏对脆肉鲩鱼肉肌动球蛋白特性的影响。李洪军等^[9]对冷藏中的猪肉制品进行感官分析。这些研究发现低温贮藏有利于产品品质保证。王妍^[10]研究鲍鱼腹足挥发性风味物质的形成中也论述了低温贮藏有助于产品品质的保持。同时,预熟制工艺的出现为鲍鱼贮藏过程中的品质保持提供了新的方向。有文献报道采用预熟制工艺可以有效降低产品水分含量,使产品中的酶失活,减缓食品腐败变质,从而有利于产品长时间运输和保存,进一步提高产品品质。低温肉制品不仅保持了肉原有的组织结构和天然成分、营养素破坏少、肉味纯正、色泽诱人,同时也为人体提供了较高的有效营养成分^[11]。Feroli等^[12]研究了新鲜鸡肉和预熟鸡肉磷脂组成成分变化;尹茂文等^[13]通过比较煮制、蒸制和微波预熟制对油炸猪肉丸品质影响,发现微波预熟制对肉丸的弹性和内聚性没有显著影响。目前预熟制工艺主要运用于果蔬脆片等的加工方面^[14],在水产品方面的应用报道较少。本实验通过研究预熟制工艺和不同低温贮藏条件对鲍鱼腹足脂质变化的影响,探索保持鲍鱼营养和风味品质的最佳贮藏条件。以期预熟制技术应用于鲍鱼产品的加工和新产品的开发提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

鲍鱼(皱纹盘鲍, *Haliotis discus hannai* Ino): 平均质量60~70 g, 购于大连本地水产品市场。鲍鱼去壳、去内脏后, 取出腹足部分洗净, 切成小块(约5 mm×5 mm×5 mm), 每5 g分装于10 mL离心管中。

盐酸、三氯甲烷、三氯乙酸、氢氧化钾、无水硫酸钠、无水乙醇、叠氮化钠(均为分析纯)、正己烷、环己酮、1,1,3,3-四甲氧基丙烷(1,1,3,3-tetramethoxypropane, TEP)(均为色谱纯)、2-硫代巴比妥酸(2-thiobarbituric acid, TBA) 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

7890A/5975C GC-MS联用仪 美国安捷伦公司;
UV-5200紫外分光光度计 上海元析仪器有限公司;
CF-16RX II 离心机 日本日立公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

新鲜鲍鱼通过去壳去内脏得到鲍鱼腹足, 在3种不同处理方式下贮藏, 分别是: 1) 鲍鱼腹足80℃加热2 h然后在4、-18℃和-80℃贮藏不同时间, 测定脂质氧化。2) 鲍鱼腹足在4、-18℃和-80℃贮藏不同时间然后80℃加热2 h, 测定脂质氧化。3) 鲍鱼腹足在4、-18℃和-80℃贮藏不同时间, 测定脂质氧化。

1.3.2 硫代巴比妥酸反应物值的测定

丙二醛(malondialdehyde, MDA)是油脂氧化产生的不饱和醛酮产物中的主要产物之一。MDA测定的主要方法是硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)法, 其原理是脂肪氧化产物1分子MDA与2分子TBA反应生成MDA-TBA红色复合物^[15]。

取5 g样品加入20 mL质量分数0.02%叠氮化钠溶液, 9 000 r/min匀浆30 s, 加入25 mL去离子水, 5 mL 1 mol/L HCl溶液, 0.01 g消泡剂; 水蒸汽蒸馏, 设定150 V电压控制蒸馏液流出速度, 收集蒸馏液60 mL; 吸取1 mL蒸馏液, 加入质量分数0.68% TBA溶液0.5 mL, 质量分数50%三氯乙酸0.5 mL, 沸水浴30 min; 冷却后紫外分光光度计于538 nm波长处测吸光度, 代入标准曲线计算样品MDA含量^[16]。

1.3.3 脂肪酸分析

取新鲜鲍鱼、-18℃冻藏21 d、先预熟制再-18℃冻藏21 d、-18℃冻藏21 d后熟制样品各5 g, 加入25 mL去离子水, 混匀, 9 000 r/min匀浆4 min。准确吸取匀浆液2 mL, 采用氯仿-甲醇(2:1, V/V)法, 萃取后参照文献[17]方法进行甲酯化。

GC-MS分析脂肪酸甲酯条件: 采用7890A/5975C GC-MS联用仪进行分析。色谱柱: HP-5-MS毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm, Palo Alto); 载气: 氦气。初始温度50℃, 保持1 min; 以50℃/min速率升至170℃; 再以4℃/min的速率升至300℃, 以40℃/min升到320℃, 保持3.6 min。MS分析采用EI源(70 eV), 选取Scan模式, 扫描范围为m/z 50~550, 溶剂延迟4 min。

以脂肪酸甲酯标准品为参考,根据GC-MS中各组分保留时间以及MS图,结合NIST 08库检索,对甲酯化后的脂肪酸进行鉴定,用峰面积归一化法计算各脂肪酸的组成,组分相对含量的计算见下式。

$$\text{组分相对含量}/\% = \frac{\text{组分峰面积}}{\text{各组分峰面积之和}} \times 100$$

1.4 数据处理

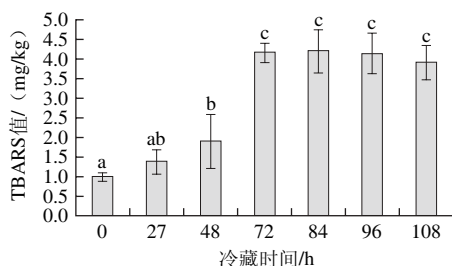
数据统计采用SPSS 16.0软件进行分析,显著性差异采用LSD检验,设定差异显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 预熟制及低温贮藏过程中鲍鱼腹足TBARS值的变化

2.1.1 预熟制及冷藏过程中鲍鱼腹足TBARS值的变化

TBA法检测比较灵敏,既可用于体外测定,也可用于体内测定^[18]。前期预实验结果表明,采用直接显色反应虽然使用范围广且可定量,但是鲍鱼实验组与对照组的吸光度会很高,对实验结果造成影响。TBARS与样品的酸抽提物反应相对简单,且需要的仪器较少,但缺点是萃取时其他成分如可溶性蛋白、多肽、其他醛类、色素同样会被萃取出来,从而造成对反应的干扰。Hoyland等^[19]使用改进的蒸馏方法蒸馏出MDA,并对回收率和显色反应体系做出了细致研究,并验证了该方法的可行性。水蒸气蒸馏法具有快捷性和高重现性,可应用于各类食品检测,是使用最为广泛的方法。本实验通过水蒸气蒸馏法测定TBARS值。



不同小写字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。

图1 鲍鱼腹足4 °C冷藏过程中TBARS值的变化

Fig. 1 Changes in TBARS values of abalone meat during storage at 4 °C

冷藏条件下的鲍鱼脂质仍可能发生自动氧化,产生氢过氧化物,氢过氧化物进一步分解,生成醛类物质^[20]。采用的水蒸气蒸馏法测得的TBARS值能较直观、准确地反映低温贮藏过程中脂质的氧化情况。将新鲜鲍鱼置于4 °C冷藏27、48、72、84、96、108 h,分别测其TBARS值。如图1所示,新鲜鲍鱼的TBARS值为1.01 mg/kg; 4 °C冷藏27、48 h后,样品TBARS值随着贮藏时间延长而逐渐增加至1.38、1.92 mg/kg,其原因可能是随着贮藏时间的延长,游离脂肪酸在生成和积累的过程中发生氧化

生成酸、酮、醛等小分子物质^[21],进而导致TBARS值的不断增加。Maqsood等^[22]研究发现骆驼肉中的总脂肪酸和甘油三酯含量随着冻藏时间的延长而减小,总磷脂含量较稳定,而TBARS值逐步增加。王乐田等^[23]发现沟帮子熏鸡冷藏过程中随着贮藏时间的延长TBARS值显著增加。

冷藏72、84、96、108 h后,相比新鲜鲍鱼TBARS值增加了约3倍。有研究发现,冰藏过程中的沙丁鱼,其TBARS含量在贮藏初期就迅速上升^[24]。但其变化趋于平稳,略有下降趋势,原因可能是脂质氧化次级代谢产物与其他大分子物质相继发生反应。陈思等^[25]在研究白鲢鱼片在冷藏和微冻条件下的鲜度和品质变化中也发现TBARS值呈现先增加后减小的趋势,这与本实验结果相一致。

表1 不同处理方式对4 °C冷藏鲍鱼腹足TBARS值变化的影响

Table 1 Effects of different pretreatment methods on TBARS values of abalone meat during storage at 4 °C

冷藏条件	mg/kg						
	新鲜	冷藏2 d	冷藏4 d	冷藏2 d后熟制	冷藏4 d后熟制	预熟制后冷藏2 d	预熟制后冷藏4 d
TBARS值	1.01±0.10 ^a	1.92±0.70 ^a	4.12±0.52 ^c	1.81±0.13 ^{ab}	2.92±0.67 ^c	1.63±0.14 ^{ab}	1.91±0.26 ^b

注:同行肩标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$),下同。

由表1可知,鲍鱼4 °C冷藏不同时间后TBARS值显著增加。冷藏后加热的TBARS值相比于未加热有所减小,其原因可能是由于加热促使醛类物质挥发损失,从而导致TBARS值下降。经预熟制处理的样品,其脂质氧化程度显著低于未经处理的样品 ($P < 0.05$)。贮藏同样时间的鲍鱼腹足经过预熟的TBARS值低于冷藏后加热的TBARS值。说明预熟制是一种有效改变鲍鱼品质、提高鲍鱼营养价值的技术手段。

2.1.2 预熟制及冻藏过程中鲍鱼腹足TBARS值的变化

表2 不同处理方式对冻藏鲍鱼腹足TBARS值的影响

Table 2 Effects of different pretreatment methods on TBARS values of abalone meat during frozen storage

处理条件	TBARS值/(mg/kg)				
	0 d	7 d	14 d	21 d	35 d
-18 °C冻藏	1.01±0.10 ^a	2.77±0.39 ^b	2.86±0.33 ^b	3.87±0.26 ^c	4.31±0.56 ^c
-80 °C冻藏	1.01±0.10 ^a	2.35±0.31 ^b	2.46±0.08 ^b	3.26±0.18 ^c	3.40±0.57 ^c
预熟制后-18 °C冻藏	1.90±0.19 ^a	1.71±0.19 ^a	1.85±0.17 ^a	1.94±0.29 ^a	1.86±0.20 ^a
预熟制后-80 °C冻藏	1.90±0.19 ^a	1.85±0.22 ^a	1.83±0.04 ^a	1.96±0.16 ^a	1.91±0.21 ^a
-18 °C冻藏后熟制	1.01±0.10 ^a	1.85±0.14 ^{ab}	2.22±0.38 ^b	2.46±0.13 ^b	2.74±0.57 ^b
-80 °C冻藏后熟制	1.01±0.10 ^a	1.79±0.17 ^b	1.87±0.13 ^b	1.79±0.26 ^b	2.37±0.08 ^c

分别测定经不同处理后的6组鲍鱼腹足样品中的TBARS值。如表2所示,与新鲜鲍鱼相比,-18、-80 °C低温贮藏条件下,TBARS值随着贮藏时间的延长呈递增趋势,未经过热加工处理的鲍鱼腹足在-18 °C贮藏35 d后的TBARS值达到4.31 mg/kg。随着贮藏时间的延长,未经过热加工处理的鲍鱼腹足TBARS值相对于热

加工处理后的熟鲍样品显著升高,且热处理后的熟鲍样品在-18、-80℃冻藏过程中TBARS值趋于平稳,说明热加工可延缓低温贮藏过程中鲍鱼腹足的脂质氧化速率,-18℃低温贮藏条件有利于延长即食鲍鱼产品的货架期。冻藏后加热处理测得的TBARS值低于仅冻藏处理的样品,这可能由于冻藏过程中脂质氧化产生的低级醛类化合物及MDA受热分解所致^[26]。-80℃贮藏条件较4、-18℃贮藏更有利于延缓鲍鱼的脂肪氧化酸败,但贮藏时间不宜过长。长期冻藏过程中鲍鱼腹足含有的脂肪酸会在冰的压力作用下由内部转移到表层,易同空气中氧气作用,因此贮藏温度越高、时间越长,脂质氧化的程度越剧烈^[27]。

2.2 预熟制及低温贮藏过程中鲍鱼腹足脂肪酸组成的变化

表3 不同处理方式对-18℃冻藏21 d鲍鱼腹足脂肪酸组成及含量的影响

Table 3 Effects of different pretreatment methods on fatty acid composition of abalone meat during storage at -18℃

脂肪酸	新鲜样品	处理方式		
		先熟制后冻藏	仅冻藏	先冻藏后熟制
C _{14:0}	3.97±0.09 ^a	3.88±0.71 ^a	3.25±0.21 ^a	3.18±0.25 ^a
C _{15:0}	1.58±0.03 ^a	2.36±0.05 ^b	2.45±0.10 ^b	2.44±0.15 ^b
C _{16:1n9}	0.42±0.06 ^a	0.38±0.03 ^a	0.27±0.19 ^a	0.25±0.26 ^a
C _{16:1n7}	1.50±0.06 ^a	1.86±0.46 ^a	1.58±0.16 ^a	1.54±0.21 ^a
C _{16:0}	26.72±0.24 ^a	28.72±0.94 ^a	29.61±1.53 ^a	30.24±1.52 ^a
C _{17:1n7}	0.30±0.01 ^a	0.33±0.00 ^a	0.31±0.03 ^a	0.31±0.05 ^a
C _{17:0}	1.00±0.01 ^a	1.01±0.12 ^a	1.06±0.03 ^a	1.06±0.04 ^a
C _{18:2n6}	1.59±0.54 ^a	0.68±0.29 ^a	0.77±0.20 ^a	0.81±0.26 ^a
C _{18:1n7}	6.88±0.40 ^a	5.08±0.67 ^a	5.99±0.96 ^a	6.54±0.09 ^a
C _{18:1n9}	8.84±0.24 ^a	10.91±0.75 ^{ab}	11.24±0.77 ^b	11.38±1.04 ^b
C _{18:0}	7.09±0.16 ^a	5.41±1.21 ^a	5.57±0.32 ^a	5.70±0.34 ^a
C _{20:4n6}	12.31±0.33 ^a	11.85±1.61 ^a	11.58±0.26 ^a	11.43±0.07 ^a
C _{20:5n3}	9.78±0.44 ^a	9.78±1.19 ^a	8.76±0.82 ^a	8.29±0.16 ^a
C _{20:1n9}	3.69±0.04 ^a	4.14±0.21 ^b	4.25±0.09 ^b	4.28±0.10 ^b
C _{22:4n6}	2.38±0.33 ^a	2.68±0.73 ^a	2.46±0.50 ^a	2.28±0.55 ^a
C _{22:5n3}	6.72±0.23 ^a	5.32±0.22 ^a	5.01±1.17 ^a	4.54±1.21 ^a
C _{22:2n9}	5.23±0.20 ^a	5.68±0.15 ^{ab}	5.86±0.16 ^b	5.77±0.05 ^b
SFA	40.37±0.41 ^a	41.38±1.04 ^a	41.94±1.68 ^a	42.61±1.71 ^a
MUFA	28.86±0.06 ^b	22.70±2.03 ^a	23.64±1.21 ^{ab}	24.31±0.53 ^{ab}
PUFA	32.78±0.41 ^a	35.98±0.94 ^a	34.45±2.80 ^a	33.13±2.31 ^a

注: SFA.饱和脂肪酸(saturated fatty acids); MUFA.单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids); PUFA.多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids)。

由表3可知,新鲜鲍鱼中共检测出5种饱和脂肪酸和12种不饱和脂肪酸,与Wang Hongxu等^[28]报道的鲍鱼脂肪酸组成相近。新鲜鲍鱼中棕榈酸(C_{16:0})及花生四烯酸(C_{20:4n6})含量较高,分别占总脂肪酸的26.72%和12.31%。此外,新鲜鲍鱼中还含有丰富的二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA, C_{20:5n3})和二十二碳五烯酸(docosapentaenoic acid, DPA, C_{22:5n3}),分别占总脂肪酸的9.78%和6.72%。先熟制后-18℃冻藏相比于

-18℃冻藏后熟制鲍鱼EPA、DPA含量较高,可能主要由于加热过程中脂肪氧化酶受热钝化,使先熟制鲍鱼的氧化程度低于后熟制鲍鱼^[29]。分别对先熟制后冻藏、仅冻藏、先冻藏后熟制3种处理方式鲍鱼的总脂肪酸组成进行测定,结果见表3,先熟制后冻藏处理样品的棕榈酸、亚油酸(C_{18:2n6})含量(28.72%、0.68%)低于仅冻藏样品(29.61%、0.77%)或者先冻藏后加热(30.24%、0.81%)处理的样品含量;先熟制后冻藏的样品中花生四烯酸(C_{20:4n6})的含量(11.85%)高于仅冻藏(11.58%)和先冻藏后熟制(11.43%)的样品含量;先熟制后冻藏样品中EPA、DPA的含量(9.78%、5.32%)也高于仅冻藏(8.76%、5.01%)或先冻藏后熟制处理的样品含量(8.29%、4.54%)。相对于新鲜样品3种处理方式冻藏21 d时棕榈酸(C_{16:0})的含量都有所增加,这与张未凤等^[30]在羊肉发酵香肠蛋白质和脂肪水解产物与挥发性风味物质分析中报道的贮藏过程中棕榈酸呈现增加趋势相一致。

3 结论

新鲜鲍鱼样品的TBARS值为1.01 mg/kg,鲍鱼在4℃贮藏72 h之前TBARS值均有显著增加,而在72 h后有减小的趋势。经过预熟制处理后冻藏的鲍鱼在贮藏过程中的TBARS值变化并不显著。而先冻藏后熟化的鲍鱼在贮藏过程中的TBARS值显著增加。在脂肪酸组成变化方面,棕榈酸的含量最高,随着贮藏时间的延长其含量增加。预熟制处理鲍鱼的棕榈酸含量低于直接冻藏的鲍鱼样品。而预熟制后鲍鱼的EPA和DPA含量明显高于直接冻藏的样品。以上结果说明预熟制处理有利于冻藏鲍鱼品质的保持。

参考文献:

- [1] 袁晓初, 赵文武, 高宏泉, 等. 2015中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 28-29.
- [2] LISA M, MARIA T, MARIA J O C, et al. Influence of sulfur amino acids on the volatile and nonvolatile components of cooked salmon (*Salmo salar*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(4): 1427-36. DOI:10.1021/jf0625611.
- [3] CHUNG H, CHOI A, CHO I H, et al. Changes in fatty acids and volatile components in mackerel by broiling [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2015, 113(12): 1481-1490. DOI:10.1002/ejlt.201000510.
- [4] YEON C, YEON J, KYEONG J, et al. Physicochemical of chilled abalone as influenced by washing pretreatment in citric acid combined with high pressure processing [J]. International Journal of Food Engineering, 2014, 10(4): 767-774. DOI:10.1515/ijfe-2014-0120.
- [5] 郑瑞生, 许爱萍, 任丽花, 等. 固相微萃取与气-质联用法分析鲍鱼烘烤前后挥发性成分的变化 [J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 252-257. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.07.005.
- [6] 郑瑞生, 王则金, 童金华, 等. 鲍鱼冻藏过程生化及感官指标变化研究 [J]. 中国食品学报, 2012, 12(11): 170-177. DOI:10.16429/j.1009-7848.2012.11.033.

- [7] 袁超, 赵峰, 周德庆, 等. 超高压处理对冷藏鲍鱼保鲜效果与品质变化的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 312-321. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.17.055.
- [8] 荣建华, 甘承露, 丁玉琴, 等. 低温贮藏对脆肉鲩鱼肉肌球蛋白特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 273-276.
- [9] 李洪军, 黄业传, 贺雅非, 等. 猪肉制品冷藏中感官特性和挥发性物质变化的回归分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(1): 142-152. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.01.017.
- [10] 王妍. 鲍鱼腹足挥发性风味物质的形成及机理研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2013: 43-53.
- [11] 陈洪生, 许占富, 刁静静. 低温猪肋腹肉产品储存期间肉质变化的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(12): 150-152.
- [12] FERIOLI F, CABONI M F. Composition of phospholipid fraction in raw chicken meat and pre-cooked chicken patties: influence of feeding fat sources and processing technology[J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(1): 117-126. DOI:10.1007/s00217-010-1257-z.
- [13] 尹茂文, 高天, 康壮丽, 等. 预熟制对油炸猪肉丸品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 20-23. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201515005.
- [14] PEDRESCHI F, MOYANO P. Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips[J]. Drying Technology, 2005, 38(6): 879-935. DOI:10.1016/j.lwt.2004.08.008.
- [15] 魏艳丽, 张坤生, 任云霞. 乳化型香肠氧化值TBA测定方法的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 336-338. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2010.06.038.
- [16] KIM S J, CHO A R, HAN J. Antioxidant and antimicrobial activities of leafy green vegetable extracts and their applications to meat product preservation[J]. Food Control, 2013, 29(1): 112-120. DOI:10.1016/j.foodcont.2012.05.060.
- [17] ZHU Beiwei, QIN Lei, ZHOU Dayong, et al. Extraction of lipid from sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*) gonad by enzyme-assisted aqueous and supercritical carbon dioxide methods[J]. European Food Research and Technology, 2010, 230(5): 737-743. DOI:10.1007/s00217-010-1216-8.
- [18] NISSEN L R, BYNRE D V, BERTELESEN G, et al. The antioxidant activity of plant extracts in cooked pork patties as evaluated by descriptive sensory profiling and chemical analysis[J]. Meat Science, 2004, 68(3): 485-495. DOI:10.1016/j.meatsci.2004.05.004.
- [19] HOYLAND D V, TAYLOR A J. A modified distillation method for the detection of fat oxidation in foods[J]. International Journal of Food Science & Technology, 1989, 24(24): 153-161. DOI:10.1111/j.1365-2621.1989.tb00629.x.
- [20] 李儒仁, 韩玲, 余群力, 等. 冻藏对牦牛肉蛋白质、脂质氧化和保水性的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(6): 218-225. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.06.031.
- [21] 翟金玲, 陈季旺, 夏文水. 加热温度及时间对食用煎炸油品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(8): 3247-3254.
- [22] MAQSOOD S, MANHEEM K, ABUSHELAIBI A, et al. Characterization of the lipid and protein fraction of fresh camel meat and the associated changes during refrigerated storage[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 41: 212-220. DOI:10.1016/j.jfca.2014.12.027.
- [23] 王乐田, 王莹莹, 贾娜, 等. 沟帮子烧鸡冷藏过程中脂肪氧化及挥发性物质的变化[J]. 食品与发酵科技, 2015, 51(4): 23-29. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2015.04-006.
- [24] MANAT C, SOOTTAWAT B, WONNOP V, et al. Changes of lipids in sardine (*Sardinella gibbosa*) muscle during iced storage[J]. Food Chemistry, 2006, 99(1): 83-91. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.07.022.
- [25] 陈思, 李婷婷, 李欢, 等. 白鲢鱼片在冷藏和微冻条件下的鲜度和品质变化[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 297-301. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201524055.
- [26] 陈慧斌, 王梅英, 王则金. 牡蛎冻藏期间脂肪氧化影响因素研究[J]. 自然科学版, 2008, 30(8): 96-101. DOI:10.13718/j.cnki.xdzk.2008.08.031.
- [27] CHUNG H, CHOI A, CHO I H, et al. Changes in fatty acids and volatile components in mackerel by broiling[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2011, 113(12): 1481-1490. DOI:10.1002/ejlt.201000510.
- [28] WANG Hongxu, QIN Lei, WANG Yan, et al. Effects of heating conditions on fatty acids and volatile compounds in foot muscle of abalone *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Fisheries Science, 2014, 80(5): 1097-1107. DOI:10.1007/s12562-014-0779-x.
- [29] FEDERICO F, MARIA F C. Composition of phospholipid fraction in raw chicken meat and pre-cooked chicken patties: influence of feeding fat sources and processing technology[J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(1): 117-126. DOI:10.1007/s00217-010-1257-z.
- [30] 张未风. 羊肉发酵香肠蛋白质和脂肪水解产物与挥发性风味物质分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012: 17-18.