

杀菌方式对卤制风味四角蛤蜊产品贮藏品质的影响

刘新然¹, 李海露¹, 李学鹏^{1*}, 王金厢¹, 徐永霞¹, 励建荣¹, 郭晓华², 季广仁³

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 国家鱼糜及鱼糜制品加工技术研发分中心, 锦州 121013;
2. 山东美佳集团有限公司, 日照 276815; 3. 锦州笔架山食品有限公司, 锦州 121007)

摘要: **目的** 探究不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品在贮藏期间品质的影响。**方法** 对四角蛤蜊卤制风味产品分别进行超高压杀菌、巴氏杀菌和高温杀菌, 并在 4 °C 下贮藏, 对其菌落总数、质构、色差、pH 值、硫代巴比妥酸 (thiobarbituric acid, TBA) 值、感官指标、电子鼻、电子舌和挥发性风味物质进行测定。**结果** 巴氏杀菌和高温杀菌能够较好地抑制微生物的繁殖, 分别在贮藏第 30 d 和第 60 d 时菌落总数均低于国家标准。随着贮藏时间的延长, 各组的 TBA 值都逐渐升高, 感官评分逐渐降低。超高压杀菌在贮藏第 15 d 时超过国家限制标准, 但对产品的质构和色差影响较小。不同杀菌方式均会对产品的风味产生一定的影响, 但超高压杀菌对其影响最小。**结论** 超高压杀菌能够较好地保护产品的质构、色泽和风味, 但货架期较短。巴氏杀菌和高温杀菌可以较好地延长产品的货架期, 但对产品的质构、色泽和风味破坏较大。

关键词: 四角蛤蜊; 卤制风味产品; 杀菌方式; 超高压杀菌; 巴氏杀菌; 高温杀菌; 贮藏品质

Effects of sterilization methods on the storage quality of marinated *Mactra quadrangularis*

LIU Xin-Ran¹, LI Hai-Lu¹, LI Xue-Peng^{1*}, WANG Jin-Xiang¹, XU Yong-Xia¹, LI Jian-Rong¹,
GUO Xiao-Hua², JI Guang-Ren³

(1. College of Food Science and Technology, Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural Products, National R&D Branch Centre for Surimi and Surimi Products Processing, Jinzhou 121013, China;
2. Shandong Meijia Group Co., Ltd., Rizhao 276815, China; 3. Jinzhou Bijiaoshan Food Co., Ltd., Jinzhou 121007, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effect of different sterilization methods on the quality of marinated *Mactra quadrangularis* during storage. **Methods** The marinated *Mactra quadrangularis* products were ultra-high pressure (UHP) sterilization, pasteurization and high temperature sterilization, respectively, and stored at 4 °C. The total number of colonies, texture, color difference, pH value, (thiobarbituric acid) TBA value, sensory indicators, electronic nose, electronic tongue and volatile compounds of the product were determined. **Results** The pasteurization and high temperature sterilization could better inhibit the reproduction of microorganisms, and the total

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0400603)

Fund: Supported by the National Key R & D Program (2018YFD0400603)

*通讯作者: 李学鹏, 博士, 教授, 主要研究方向为水产品贮藏加工。E-mail: xuepengli8234@163.com

*Corresponding author: LI Xue-Peng, Ph.D, Professor, College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, China. E-mail: xuepengli8234@163.com

number of colonies on the 30th and 60th days of storage were lower than the national limit standard. With the extension of storage time, the TBA values of each group gradually were increased, and the sensory scores gradually were decreased. The national limit standard was exceeded by the UHP sterilization at the 15th day of storage, but the quality structure and color difference of the product were less affected by the UHP sterilization. The flavor of products were affected by different sterilization methods, but the effect of UHP sterilization was the least.

Conclusion UHP sterilization can better protect the texture, color and flavor of the product, but the shelf life is shorter. Pasteurization and high temperature sterilization can prolong the shelf life of products, but damage the texture, color and flavor of products

KEY WORDS: *Macra quadrangularis*; marinated products; sterilization method; ultra-high pressure sterilization; pasteurization; high temperature sterilization; storage quality

1 引言

四角蛤蜊(*Macra quadrangularis*)又称方形马珂蛤、白蚬子, 主要分布于我国辽宁、山东等沿海地区, 由于其肉质鲜美、价格低廉, 高蛋白、低脂肪、含有丰富的矿物元素, 并且具有化痰、止咳等功效^[1], 受到广大消费者的喜爱, 是我国主要的经济贝类之一^[2]。现阶段, 国内市场上的四角蛤蜊除鲜销外, 常制成干制品或冷冻制品进行销售, 产品形式单一, 深加工产品较少^[3]。

酱卤肉制品是将原料预煮后, 再加入香辛料、调味料与水煮制而成的, 是我国典型的民族传统深加工肉制品之一^[4], 在我国各地均有生产。由于其风味浓郁, 产品酥润, 受到各年龄阶层消费者的喜爱。据统计, 我国每日酱卤肉制品的销售量可达 1.6 万吨, 约占传统肉制品总销量的 40%^[5]。

四角蛤蜊卤制风味产品是采用真空滚揉卤制法研制出的一种新型卤制产品。市面上常见的酱卤制品为保持原有风味, 通常未进行包装杀菌, 易造成微生物的污染而导致的腐败变质, 影响商品食用价值。为延长食品的贮藏期, 保证食品的品质和安全性, 可采用不同杀菌方式对其进行杀菌。巴氏杀菌技术是一种在较低温度下对食品进行加热处理, 消灭食品中致病菌, 但不能杀死食品中全部细菌的杀菌方法。采用巴氏杀菌技术能够降低温度对食品中营养物质、色泽、风味的影响。徐嘉忆^[6]在研究秘鲁鱿鱼卤制风味产品时, 分别对其进行未杀菌处理、巴氏杀菌和高温杀菌, 与高温杀菌法相比, 巴氏杀菌方式对产品的质构、风味和硫代巴比妥酸的影响更小。高温杀菌是传统的杀菌模式, 杀菌温度通常在 121 °C, 能够杀死所有的微生物, 延长食品的保质期。王磊等^[7]为达到即食豆干在贮藏、运输和销售过程中的微生物指标, 在 121 °C、30 min 的条件下对其进行了高温灭菌处理, 但导致豆干口感变硬、香气降低等品质变化。超高压杀菌是传统的非热加工杀菌技术, 能够在杀灭食品中微生物的同时, 保持食品中原有的色、香、味和营养成分。孟少华等^[8]采用超高压杀菌技术对西

式香肠进行杀菌, 能够有效控制微生物的繁殖, 与未杀菌的产品相比, 产品的感官品质未发生改变。

为探究不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品贮藏品质的营养, 本研究比较了巴氏杀菌、高温杀菌和超高压杀菌对四角蛤蜊卤制风味产品在 4 °C 贮藏期间的微生物、质构、感官指标和风味的变化, 分析不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品贮藏期间品质的影响, 以期筛选该产品更适合的杀菌方式, 并延长产品保质期提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

四角蛤蜊(锦州市水产市场); 食盐、白砂糖、料酒、味精、生抽、呈味核苷酸二钠、白胡椒粉、生姜粉、花椒粉、辣椒粉、八角粉, 均为市售, 食品级; 平板计数琼脂(plate count agar)(青岛高科技工业园海博生物技术有限公司); 氯化钠、氯化钾、酒石酸[分析纯, 福晨(天津)化学试剂有限公司]; 2-硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)、三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA)(分析纯, 天津市风船化学试剂科技有限公司)。

2.2 仪器与设备

MS105DU 分析天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; TA.XT plus 质构仪(英国 Stable Micro Systems 公司); FOSS 8400 全自动定氮仪(瑞典 FOSS 公司); CR-400 色彩色差计(日本 Konica-Minolta 公司); T25 basic 型高速分散均质机(德国 IKA 公司); DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器(巩义市科瑞仪器有限公司美国); UV-2550 型紫外-可见分光光度计(日本岛津公司); PEN3 电子鼻(德国 Air Sense 公司); Taste Sensing SA402B 电子舌(日本 INSENT 公司); Agilent 7890A/5975C 气相色谱/质谱联用仪(美国 Agilent 公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 样品处理

将制好的卤制风味四角蛤蜊产品, 采用 10 cm×15 cm 的蒸煮袋对其进行真空包装。然后分别采用超高压杀菌

(300 MPa, 15 min)、巴氏杀菌(90 °C, 20 min)和高温杀菌法(115 °C, 15 min)进行杀菌处理, 将杀菌处理后的卤制四角蛤蜊风味产品置于 4 °C 冰箱中储藏, 未杀菌组和超高压杀菌组每隔 3 d、巴氏杀菌组每隔 5 d、高温杀菌组每隔 10 d 进行取样及各项品质指标的测定。

2.3.2 菌落总数的测定

参照 GB 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》^[9]的方法进行检测。

2.3.3 质构分析

使用 TP-X 质构仪, 选用 p/5 探头, 取蛤蜊肉进行质构剖面分析(texture profile analysis, TPA), 测试参数为: 测前速度 1 mm/s, 测试速度 0.5 mm/s, 测后速度 1 mm/s, 压缩比例 40%, 触发力 5.0 g, 测定时间 5 s。获得产品的硬度、弹性、咀嚼性等参数, 每个样品进行 6 次重复测定, 结果取平均值。

2.3.4 色差分析

使用色差计测定产品的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值, 每组样品平行测定 6 次, 结果取平均值。

2.3.5 pH 的测定

参照 He 等^[10]的方法, 并略作修改。称取 5 g 绞碎后的蛤蜊肉, 加入 45 mL 的纯水, 用均质机对其进行均质, 静置 30 min 后用 pH 计进行测定^[11]。

2.3.6 TBA 值的测定

参照 Chaijan 等^[12]的方法, 并作适当修改。准确称取 10.00 g 均匀绞碎的蛤蜊肉于烧杯中, 加入 25 mL 浓度为 5% 的 TCA 溶液和 25 mL 蒸馏水, 均质后静置 30 min, 用滤纸过滤 2 次, 准确量取 5 mL 过滤液于试管中, 加入 5 mL 0.02 mol/L TBA 溶液, 80 °C 的水浴锅中加热 40 min 后冷却至室温, 在波长为 532 nm 处测定其吸光度, 以 1,1,3,3-四乙氧基丙烷作为标准曲线计算丙二醛的含量, 用来表示 TBA 值, mg/kg。

2.3.7 感官评价

感官评定由 12 名 18~30 岁经过专门感官培训的人员组成, 其中 6 名男性, 6 名女性, 总分计为 40 分, 最后计算平均值。四角蛤蜊卤制品的感官评分标准见表 1。

2.3.8 电子鼻分析

准确称取 5 g 绞碎后的蛤蜊肉样品, 置于烧杯中, 迅速用 3 层保鲜膜封口, 室温下静置 30 min 后用电子鼻 PEN3 系统进行顶空检测。检测条件: 传感器清洗时间 100 s、测定时间为 120 s、进样流量为 300 mL/min。每组样品 3 个平行。

电子鼻配备 W1C、W5S、W3C、W6S、W5S、W1S、W1W、W2S、W2W、W3S 10 个传感器。

2.3.9 电子舌分析

参考李双艳等^[13]的方法并稍作改动, 准确称取 20.0 g 绞碎后的蛤蜊肉置于离心管中, 加入 100 mL 蒸馏水, 搅拌后均质, 于 4 °C、10000 r/min 的条件下离心 10 min, 取上清液进行抽滤, 量取 80 mL 滤液进行滋味测定。

表 1 四角蛤蜊卤制风味产品的感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for marinated product of *Mactra quadrangularis*

指标	评分标准	得分/分	
色泽及外观	色淡, 有汤汁	1~2	
	色较深, 个体缩小明显	3~4	
	色较深, 表面干爽	5~6	
	淡黄色, 表面基本干爽	7~8	
	淡黄色, 表面干爽	9~10	
	质地	较硬易塞牙	1~2
质地	较软, 嚼劲稍差	3~4	
	稍硬	5~6	
	软硬较适中	7~8	
	软硬适中	9~10	
	味道	有苦味, 口感差	1~2
		略带苦味, 口感较差	3~4
太咸或太淡, 口感不协调		5~6	
偏咸或偏淡, 口感不太协调		7~8	
咸淡适口, 口感协调		9~10	
风味		滋味差, 略腥	1~2
风味	滋味较差, 香味不足	3~4	
	滋味较好, 香味不足	5~6	
	味鲜美, 香味较好	7~8	
	味鲜美, 香味足	9~10	

电子舌配备 CA0、C00、AE1、CT0、AAE 4 个测试传感器。

2.3.10 挥发性物质分析

参考徐永霞等^[14]的方法并稍作修改。准确称取 3 g 蛤蜊肉, 加入 6 mL 饱和食盐水溶液, 再加入 2 μ L 内标物环己酮, 混合后加入小转子, 置于 20 mL 顶空瓶中, 密封后于 60 °C 恒温磁力搅拌器中平衡 15 min, 用活化好的二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS) 50/30 μ m 萃取头吸附 40 min, 吸附结束后将萃取头迅速插入气相色谱进样口, 解析 5 min。

气相色谱条件: HP-5MS 毛细管柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μ m); 进样口温度为 250 °C, 使用的载气是 He; 流速 1.0 mL/min, 不分流; 程序升温设置为柱初温 40 °C, 保留 3 min, 以 3 °C/min 升至 100 °C, 后使温度以 5 °C/min 升至 230 °C, 保持 5 min。

质谱条件: 质量扫描范围 30~550(m/z); 离子化方式: EI; 电子能量 70 eV; 传输线温度 280 °C, 离子源温度 230 °C, 四极杆温度 150 °C。

2.4 数据处理

实验数据采用 SPSS 22.0 软件进行方差分析, $P < 0.05$ 为差异显著; 采用 Origin 2019 软件绘图, 采用 Design-Expert.V 8.0.6 统计软件进行实验设计和数据分析。

3 结果与分析

3.1 杀菌方式对贮藏过程中产品菌落总数的影响

微生物生长繁殖会导致食品的腐败变质, 菌落总数是用来判定食品被微生物污染程度的主要指标之一^[15]。由图 1 可知, 随着贮藏时间的增加, 各组的菌落总数均呈现上升趋势, 未杀菌组的菌落总数明显高于杀菌组, 差异显著($P < 0.05$)。根据 GB 10136-2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》^[16]可知, 熟制动物性水产制品的微生物限量为 5 [lg(CFU/g)], 未杀菌组在贮藏第 5 d 时菌落总数超过微生物的限值。超高压杀菌在贮藏第 15 d 时, 菌落总数达到了 5.2 [lg(CFU/g)], 超过微生物限值。在贮藏前 10 d, 巴氏杀菌和高温灭菌下处理的四角蛤蜊卤制风味产品的菌落总数无明显差异, 在贮藏第 30 d 时, 巴氏杀菌组的菌落总数为 4.6 [lg(CFU/g)], 高温灭菌组在贮藏第 60 d 时, 菌落总数为 3.4 [lg(CFU/g)], 低于国家限制的标准, 说明高温杀菌能够有效抑制产品中的微生物繁殖。

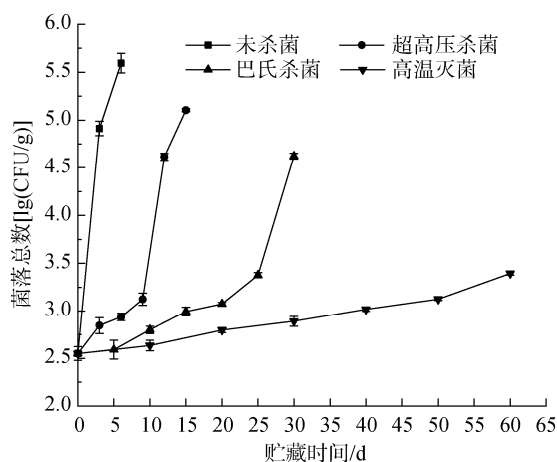


图 1 不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品菌落总数的影响($n=3$)
Fig.1 Effects of different sterilization methods on total viable count of marinated *Mactra quadrangularis* ($n=3$)

3.2 杀菌方式对贮藏过程中产品质构特性的影响

质构是反应食品性质的主要指标之一, 由图 2 可以看出, 未杀菌组的硬度呈先降低再升高的趋势, 而巴氏杀菌组和超高压杀菌组的硬度呈先增高后降低的趋势, 这是由于在贮藏过程中, 高浓度卤汁的渗出, 增大了肌肉组织纤维的紧实度, 使产品硬度上升^[17]。随着贮藏时间的增加, 微生物大量繁殖, 导致产品腐败, 肉质发粘, 硬度降低。高温杀菌组的硬度较低, 这是由于高温会破坏肌纤维, 导致硬度较低。

未杀菌组的弹性逐渐降低, 杀菌组的弹性整体呈先升高后降低的趋势, 在贮藏 10 d 前, 超高压杀菌组的弹性值高于其他组。

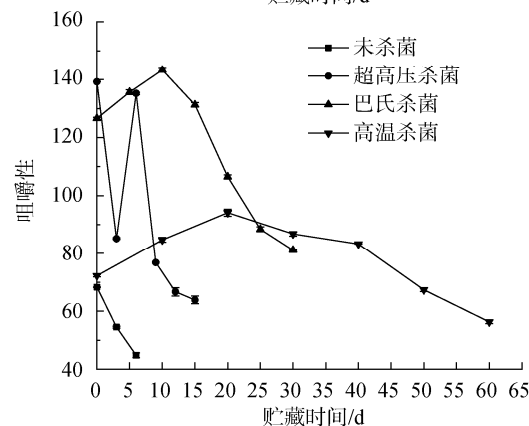
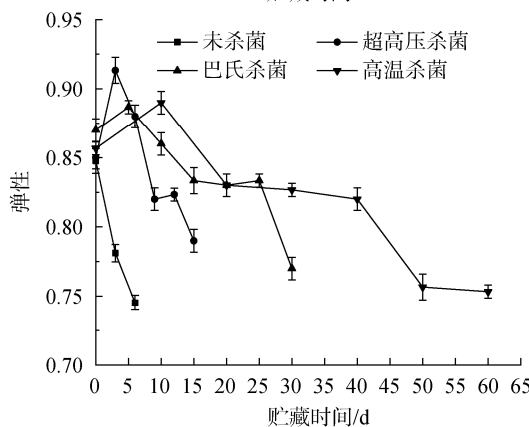
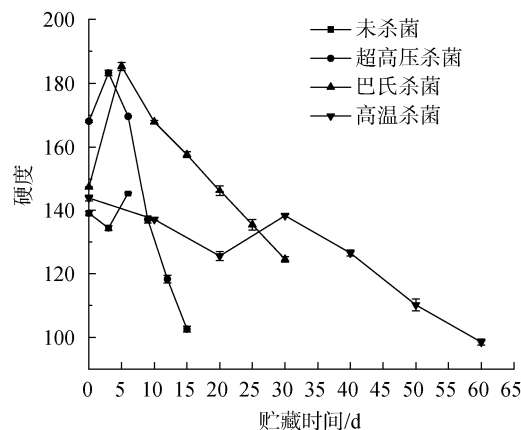


图 2 不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品质构的影响($n=6$)
Fig.2 Effects of different sterilization methods on the texture of marinated *Mactra quadrangularis* ($n=6$)

产品的咀嚼性是硬度和弹性共同作用的结果^[18]。未杀菌组的咀嚼性随贮藏时间的增加而直线下降, 各杀菌组的咀嚼性先增高后降低。超高压杀菌组的咀嚼性初始值最高, 随着贮藏时间的延长, 巴氏杀菌组的咀嚼性要优于其他组。在一定范围内, 产品的硬度、弹性、咀嚼性越大, 产品的口感越好, 各杀菌组的质构初始值均高于未杀菌组, 说明杀菌方式能够提高产品质量。

3.3 杀菌方式对贮藏过程中产品色差特性的影响

由图 3 可知, 随着贮藏时间的增加, 各组风味产品的

L^* 值、 a^* 值和 b^* 值呈下降趋势,超高压杀菌组的 L^* 值高于其他组,说明超高压杀菌可以更好的保持产品的色泽。肉制品中的 a^* 值与肌肉中的肌红蛋白有关,杀菌过程会使食品中的肌红蛋白发生氧化反应,导致未杀菌组的初始 a^* 值高于杀菌组,巴氏杀菌组和高温杀菌组 a^* 值的变化趋势较小。

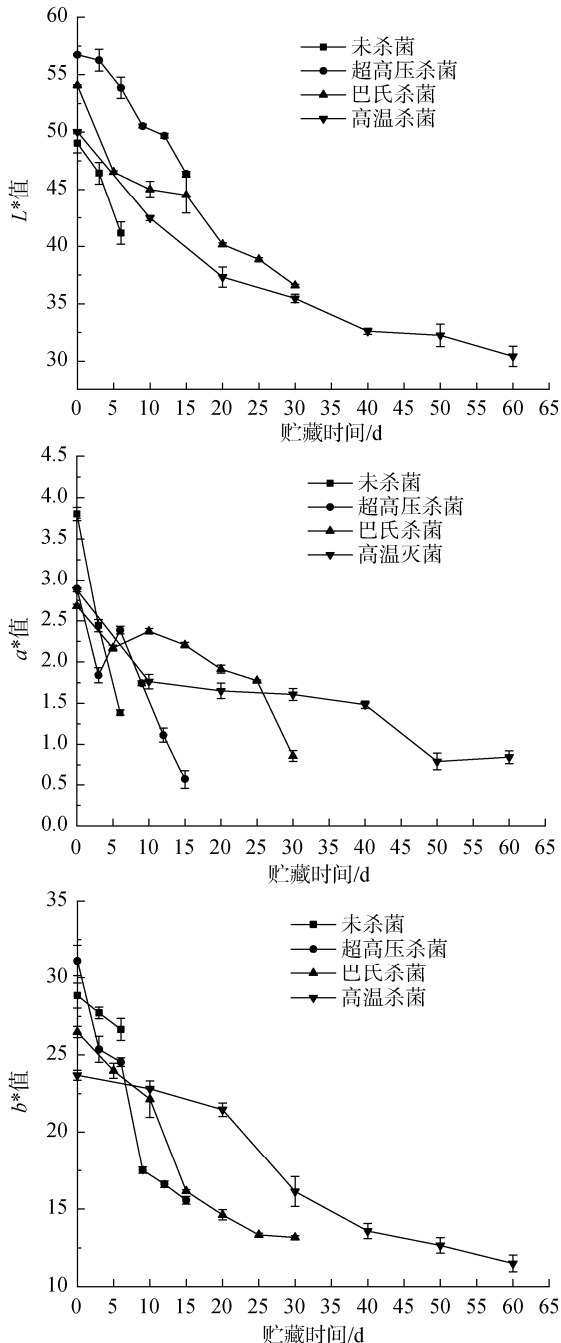


图 3 不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品色差的影响($n=3$)
Fig.3 Effects of different sterilization methods on the color of marinated *Mactra quadrangularis* ($n=3$)

3.4 杀菌方式对贮藏过程中产品 pH 值的影响

pH 值是衡量产品品质的重要指标,由图 4 可知,杀菌

方式对四角蛤蜊卤制风味产品的初始 pH 影响不大,贮藏前期, pH 值呈下降趋势,这可能是由于微生物的繁殖导致产酸细菌分解产品中的蛋白质。在贮藏第 10 d 时,杀菌组的 pH 值逐渐上升,这是由于蛋白质的分解产生含氮物质,导致 pH 值上升。高温灭菌组的上升趋势远远低于巴氏杀菌组和超高压杀菌组,说明其杀菌效果更佳。

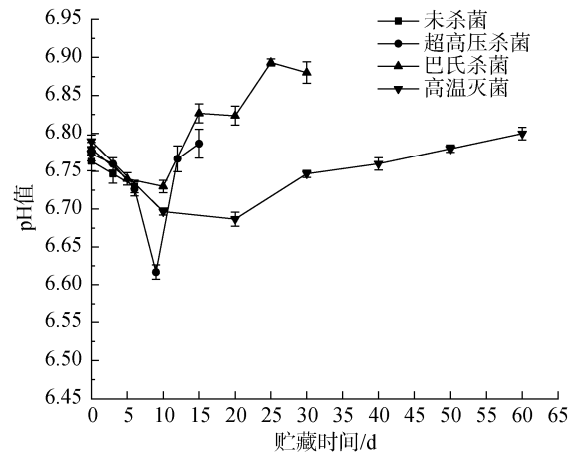


图 4 不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品 pH 值的影响($n=3$)
Fig.4 Effects of different sterilization methods on pH of marinated *Mactra quadrangularis* ($n=3$)

3.5 杀菌方式对贮藏过程中产品 TBA 值的影响

TBA 值能够准确反应脂肪的氧化程度。由图 5 可知,在贮藏期间,四角蛤蜊卤制风味产品中脂肪的氧化程度不断增加。未杀菌组中脂肪氧化酶活性较高,在贮藏期间 TBA 值急剧增加。在整个贮藏期间,杀菌组的 TBA 值均低于未杀菌组,说明杀菌能够有效抑制脂肪氧化。高温杀菌组的 TBA 值低于巴氏杀菌组和超高压杀菌组,说明高温灭菌在一定程度上控制脂肪氧化的能力较强。

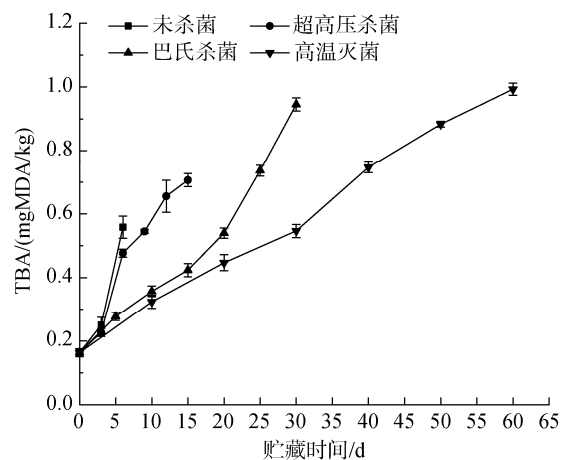


图 5 不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品 TBA 值的影响($n=3$)
Fig.5 Effects of different sterilization methods on TBA value of marinated *Mactra quadrangularis* ($n=3$)

3.6 杀菌方式对贮藏过程中产品感官评分的影响

由图 6 可知, 在贮藏期间各组的感官评分均逐渐下降。在贮藏前期, 超高压杀菌组的香味浓郁、色泽均匀、软硬适中, 感官评分高于其他 3 组。高温杀菌组和巴氏杀菌组的灭菌效果较好, 能够有效延长产品的贮藏期, 但由于杀菌过程中温度的升高, 对产品的外观、口感、气味都产生了不良影响, 使感官评分较低。

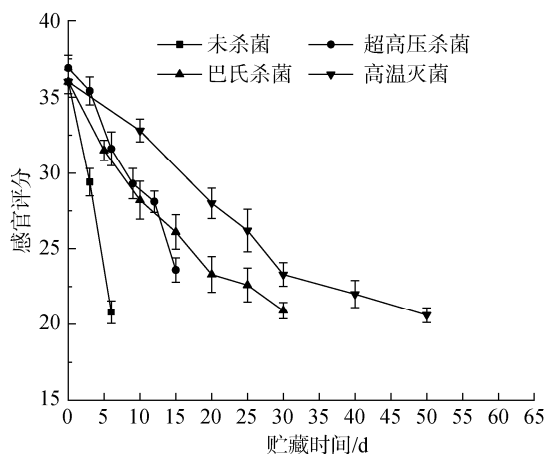


图 6 不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品感官评分的影响($n=3$)
Fig.6 Effects of different sterilization methods on sensory score of marinated *Mactra quadrangularis* ($n=3$)

3.7 杀菌方式对贮藏过程中产品风味特征的影响

选取 110~115 s 对不同杀菌方式的四角蛤蜊卤制风味产品的电子鼻主成分进行分析。由图 7 可知, 未杀菌组和超高压杀菌组第 1 主成分的贡献率为 95.96%, 第 2 主成分的贡献率为 2.85%, 总贡献率为 98.81%; 巴氏杀菌第 1 主成分贡献率为 84.94%, 第 2 主成分贡献率为 12.56%, 总贡献率为 97.5%; 高温杀菌第 1 主成分贡献率为 91.23%, 第 2 主成分贡献率为 7.60, 总贡献率为 98.83%, 均大于 95%, 说明 2 种主成分能够代表样本的主要信息特征。

未杀菌组 0、3、6 d 椭圆区域距离较远, 气味变化明显。超高压杀菌组第 9 d 和未杀菌组第 3 d 椭圆区域出现重叠的现象, 说明气味成分相似。巴氏杀菌组 0 d 到 10 d 时, 气味变化明显; 15~30 d 时, 椭圆区域具有重叠的现象, 说明气味成分变化较小。高温杀菌组 0~10 d 时, 椭圆距离较远, 气味成分差异较大; 20~60 d 时, 椭圆区域出现重叠, 说明贮藏时间的延长, 对气味成分的影响较小。

3.8 杀菌方式对贮藏过程中产品滋味特征的影响

由图 8A 可知, 未杀菌组和超高压杀菌组在酸味、咸味、鲜味和丰富度上的响应强度存在差异, 在回味、苦味和涩味上的响应强度相接近, 说明酸味、鲜味、咸味和丰富度是四角蛤蜊卤制风味产品的主要滋味特征。未杀菌组

的酸味呈逐渐减小的趋势, 而鲜味随着贮藏时间的延长逐渐增大。超高压杀菌组的酸味和鲜味呈先增加后降低的趋势, 苦味随贮藏时间的延长逐渐增加, 丰富度逐渐降低, 说明超高压杀菌对酸味、鲜味和丰富度有减弱的作用。由图 8B 可知, 巴氏杀菌组的咸味呈先降低后升高的趋势, 鲜味和苦味随贮藏时间的延长逐渐升高, 而丰富度逐渐降低, 可能由于贮藏时间的延长, 不同呈味物质的溶出量不同^[19]。由图 8C 可知, 高温杀菌组在 0 d 时, 酸味和丰富度的响应程度最高, 随着贮藏时间的延长, 鲜味和咸味物质逐渐溶出, 呈先升高后降低的趋势, 说明过高的温度可能会影响产品的丰富度和酸味。

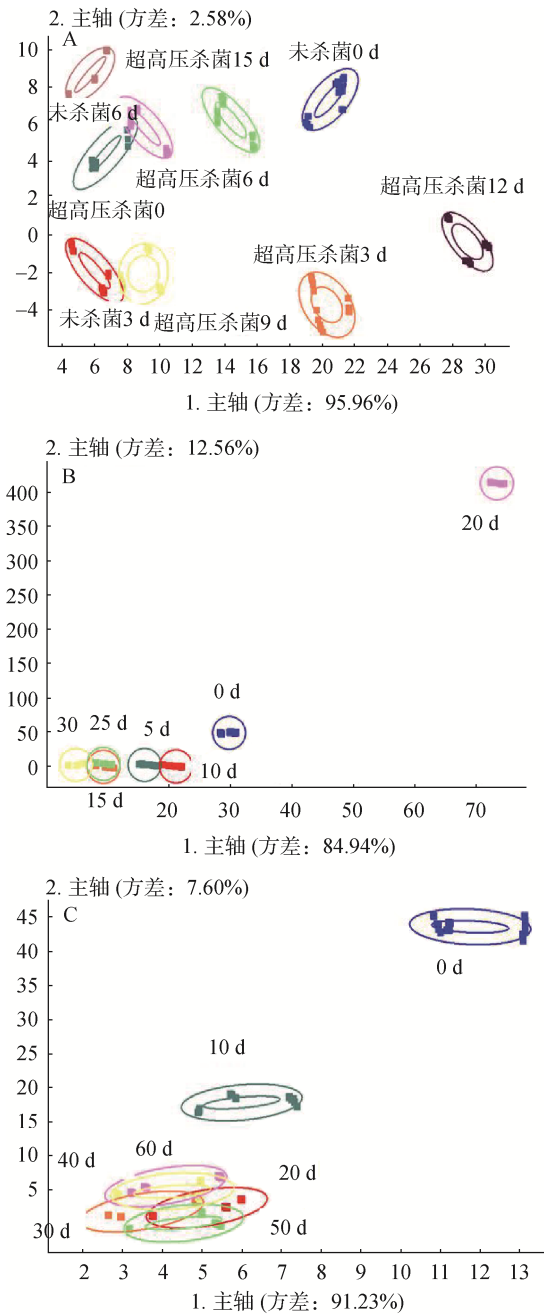
3.9 杀菌方式对贮藏过程中产品挥发性物质的影响

不同杀菌方式对四角蛤蜊卤制风味产品的挥发性风味成分的种类和含量影响不同见表 2 和表 3。在 0 d 时, 超高压杀菌组中的挥发性风味物质的种类和含量与未杀菌组无明显差异, 而巴氏杀菌组和高温杀菌组中的醛类物质的种类和含量均有所降低, 醛类是由于脂肪的自动氧化而产生的^[20], 这也是引起风味变化主要原因。醇类物质的不饱和和醇阈值较低^[21], 对风味的形成有一定的影响, 也是四角蛤蜊卤制风味产品中含量最高的风味物质和主要呈味成分。酮类物质能够使产品产生特殊的香气, 但对于此产品的风味影响不大, 随着贮藏时间的延长含量逐渐降低。烃类物质的香味阈值较高, 但对于产品的直接贡献不大, 主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂^[22], 与香辛料的添加有关, 可以看出杀菌方式对烃类化合物的影响较大, 随着温度的升高其种类和含量都有所减少。酯类化合物对熟肉制品的香味影响较大, 主要来源于醇和羧酸的酯化反应^[23], 辣椒和料酒的添加有助于酯类化合物的形成^[24], 巴氏杀菌和高温杀菌均会影响酯类物质的含量, 随着贮藏时间的延长, 酯类物质的种类和含量都逐渐降低, 在贮藏第 15 d 时, 未杀菌组和超高压杀菌组的检测量为 0。温度总体上会对产品中的挥发性风味物质产生一定的影响, 超高压杀菌法对四角蛤蜊卤制风味产品的挥发性成分影响较小, 能够更好地保持产品的风味。

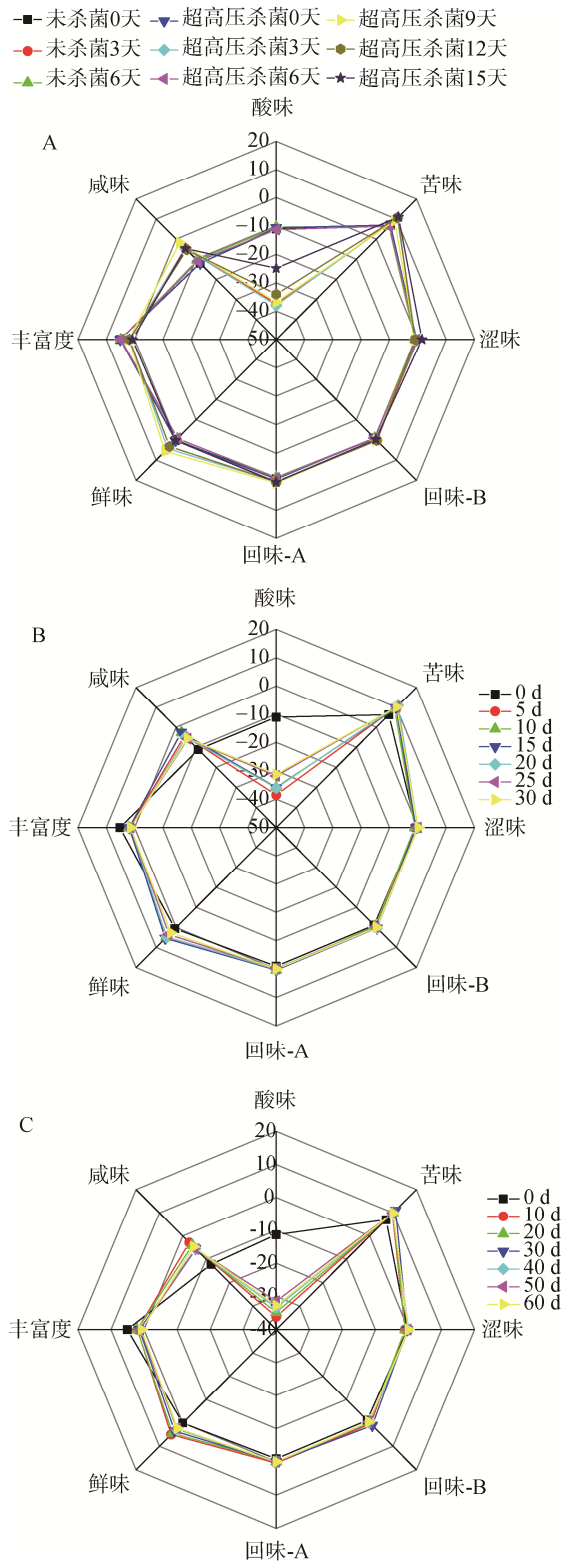
4 结论

在贮藏期间, 各组样品的菌落总数和 TBA 值随着贮藏时间的延长而逐渐增加, 感官评分逐渐降低, pH 值整体呈先增大后减小的趋势。在贮藏第 6 d 时, 未杀菌组的菌落总数高于国家限制的标准, 超高压杀菌组在贮藏第 15 d 时菌落总数高于国家限制标准, 而巴氏杀菌组和高温杀菌组分别第 30 d 和第 60 d 时都远低于国家限制的标准。超高压杀菌组对质构和色差的影响较小, 高温杀菌组对其较大影响。通过对四角蛤蜊卤制风味产品的风味分析可知, 未

杀菌组和超高压杀菌组的风味差异较大。不同杀菌方式在贮藏期间的丰富度均呈降低的趋势，超高压杀菌对产品的咸味有一定的增强作用。不同杀菌方式对产品挥发性成分的种类和含量存在一定的差异，醇类、醛类、酯类和酮类是四角蛤蜊卤制风味产品的主要成分，不同杀菌方式均会对风味物质产生一定的影响，超高压杀菌组对产品的风味成分影响较小。



注: A: 未杀菌和超高压杀菌; B: 巴氏杀菌; C: 高温杀菌。
图 7 贮藏期间不同杀菌方式四角蛤蜊卤制风味产品电子鼻 PCA 图
Fig.7 PCA map of electronic nose analysis of marinated *Mactra quadrangularis* with different sterilization methods during storage



注: A: 未杀菌和超高压杀菌; B: 巴氏杀菌; C: 高温杀菌。
图 8 贮藏期间不同杀菌方式四角蛤蜊卤制风味产品电子舌信号
雷达图
Fig.8 Electronic tongue signal radar map of marinated *Mactra quadrangularis* with different sterilization methods during storage

表 2 超高压杀菌组和未杀菌组四角蛤蜊卤制风味产品贮藏期间挥发性成分种类和数量的变化
 Table 2 Changes in the volatile flavor compounds of marinated *Maetra quadrangularis* from UHP sterilizing group and unsterilizing group during storage

时间/d	种类	0		3		6		9		12		15	
		数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
未杀菌组	醛类	5	87.19	5	84.17	2	46.29	3	21.89	4	2.99	3	1.46
	醇类	6	1645.96	9	551.61	8	103.22	7	4842.85	7	40.49	8	24.03
	酮类	2	150.16	5	288.08	4	582.63	3	243.23	3	12.18	2	12.48
	烷烃类	3	79.69	1	1.85	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.15
	烯烃类	9	409.77	15	359.22	12	536.48	4	149.34	12	59.63	11	19.09
	酯类	5	98.98	4	30.68	2	11.38	4	47.47	2	2.76	0	0.00
	多环芳香烃类	4	44.35	5	12.64	1	1.98	1	1.26	2	1.28	2	0.45
	其他类	3	117.87	2	50.40	3	37.95	3	21.85	3	8.24	3	4.25
超高压 杀菌组	醛类	5	87.19	5	84.17	2	46.29	3	21.89	4	2.99	3	1.46
	醇类	6	1645.96	9	551.61	8	103.22	7	4842.85	7	40.49	8	24.03
	酮类	2	150.16	5	288.08	4	582.63	3	243.23	3	12.18	2	12.48
	烷烃类	3	79.69	1	1.85	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.15
	烯烃类	9	409.77	15	359.22	12	536.48	4	149.34	12	59.63	11	19.09
	酯类	5	98.98	4	30.68	2	11.38	4	47.47	2	2.76	0	0.00
	多环芳香烃类	4	44.35	5	12.64	1	1.98	1	1.26	2	1.28	2	0.45
	其他类	3	117.87	2	50.40	3	37.95	3	21.85	3	8.24	3	4.25

表 3 巴氏杀菌组和高温杀菌组四角蛤蜊卤制风味产品贮藏期间挥发性成分种类和数量的变化
 Table 3 Changes in the volatile flavor compounds of marinated *Maetra quadrangularis* from pasteurization and high temperature sterilization during storage

时间/d	种类	0		5		10		15		20		25		30	
		数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	数量	含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
巴氏 杀菌组	醛类	5	23.71	1	36.15	3	51.26	2	2.93	4	25.70	2	9.36	5	69.74
	醇类	8	2857.10	8	137.62	9	3346.24	4	35.10	8	5533.60	4	8049.55	8	2021.05
	酮类	3	55.54	2	493.17	4	201.72	1	0.04	2	9.56	2	3.56	4	225.54
	烷烃类	1	0.59	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	1.70	1	0.48	0	0.00
	烯烃类	5	77.60	6	330.68	8	377.11	9	115.91	11	345.48	4	35.00	12	354.09
	酯类	4	21.13	1	3.85	4	28.99	0	0.00	2	14.74	3	25.12	4	28.81
	多环芳香 烃类	1	12.88	1	1.96	2	11.80	1	1.06	1	12.21	1	8.84	2	19.62
	其他类	3	16.35	3	31.71	3	45.09	3	11.31	3	47.55	1	7.95	3	50.66
高温 杀菌组	醛类	4	22	4	34.37	2	9.36	4	59.19	3	4.02	4	28.16	3	43.73
	醇类	7	2844	6	2380.80	4	8049.55	7	1659.04	6	49.90	5	3074.88	6	1646.26
	酮类	4	63	3	119.53	3	4.27	3	244.43	2	27.09	2	92.16	2	199.05
	烷烃类	2	1	1	0.99	1	0.48	1	2.40	1	0.37	1	1.10	1	1.55
	烯烃类	8	87	11	391.26	5	35.87	15	400.99	17	112.63	14	391.90	11	285.62
	酯类	5	30	4	22.14	3	25.12	4	34.85	2	4.12	3	31.06	2	7.43
	多环芳香 烃类	2	11	3	13.48	0	0.00	2	22.49	2	2.36	2	17.62	3	12.48
	其他类	4	26	3	38.42	1	7.95	6	88.13	5	8.87	4	45.88	6	66.27

参考文献

- [1] 滕瑜, 李辉, 王志勇, 等. 四角蛤蜊的营养性和安全性评价[J]. 农产品加工, 2014, (3): 48-50.
Teng Y, Li H, Wang ZY, *et al.* Nutritional and safety evaluation of four-cornered clams [J]. *Agric Prod Proc*, 2014, (3): 48-50.
- [2] 王李宝, 凌云, 黎慧, 等. 不同季节四角蛤蜊软体中主要营养成分分析[J]. 水产养殖, 2013, (1): 4-6.
Wang LB, Ling Y, Li H, *et al.* Analysis of the main nutrient components in four-cornered clams in different seasons [J]. *Aquaculture*, 2013, (1): 4-6.
- [3] 陈冲, 郑杰, 于笛, 等. 响应面法优化四角蛤蜊酶解工艺条件[J]. 水产科学, 2013, 32(8): 447-452.
Chen C, Zheng J, Yu D, *et al.* Optimization of enzymatic hydrolysis conditions of four-cornered clam by response surface methodology [J]. *Fish Sci*, 2013, 32(8): 447-452.
- [4] 贾娜, 孙钦秀, 李博文, 等. 香辛料提取物对酱牛肉的护色效果[J]. 肉类研究, 2014, 40(6): 193-197.
Jia N, Sun QX, Li BW, *et al.* The color protection effect of spice extract on beef sauce [J]. *Meat Res*, 2014, 40(6): 193-197.
- [5] 李海. 农产品资源化利用技术研究-定量卤制工艺研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2015.
Li H. Research on agricultural product resource utilization technology-quantitative marinating technology [D]. Chongqing: Chongqing Technology and Business University, 2015.
- [6] 徐嘉忆. 秘鲁鱿鱼卤制风味产品的加工工艺及贮藏品质研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
Xu JY. Research on processing technology and storage quality of Peruvian squid marinated flavor products [D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [7] 王磊, 邓力, 李慧超, 等. 基于 CFD 数值模拟的豆腐干软罐头杀菌工艺优化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(21): 298-306.
Wang L, Deng L, Li HC, *et al.* Optimization of sterilization process for dried soft canned tofu based on CFD numerical simulation [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2017, 33(21): 298-306.
- [8] 孟少华, 马相杰, 刘贯勇, 等. 超高压杀菌在西式香肠中的应用研究[J]. 肉类工业, 2019, (5): 40-42, 50.
Meng SH, Ma XJ, Liu GY, *et al.* Research on the application of ultra-high pressure sterilization in western sausage [J]. *Meat Ind*, 2019, (5): 40-42, 50.
- [9] GB 4789. 2-2016 食品安全国家标准 食品卫生微生物学检验 菌落总数测定[S].
GB 4789. 2-2016 National food safety standard-Food hygiene microbiological examination-Determination of the total number of bacteria [S].
- [10] He Y, Huang H, Li L, *et al.* Freshness and shelf life of air packaged and modified atmosphere packaged fresh tilapia fillets during freezing-point storage [J]. *J Nutr Food Sci*, 2016, 6(6): 1-7.
- [11] 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].
GB 5009. 228-2016 National food safety standard-Determination of volatile basic nitrogen in food [S].
- [12] Chaijan M, Panpipat W, Nisoa M. Chemical deterioration and discoloration of semi-dried tilapia processed by sun drying and microwave drying [J]. *Drying Technol*, 2016, 35(5): 642-649.
- [13] 李双艳, 邓力, 汪孝, 等. 基于电子鼻、电子舌比较分析冷藏方式对小香鸡风味的影响[J]. 肉类研究, 2017, 31(4): 50-55.
Li SY, Deng L, Wang X, *et al.* Based on the comparison of electronic nose and electronic tongue, the effect of cold storage on the flavor of small fragrant chicken [J]. *Meat Res*, 2017, 31(4): 50-55.
- [14] 徐永霞, 刘滢, 仪淑敏, 等. 大菱鲆鱼体不同部位的挥发性成分分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(6): 236-243.
Xu YX, Liu Y, Yi SM, *et al.* Analysis of volatile components in different parts of turbot fish [J]. *Chin J Food Sci*, 2014, 14(6): 236-243.
- [15] Li TT, Hu WZ, Li JR, *et al.* Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chatoyant on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. *Food Control*, 2012, 25(1): 101-106.
- [16] GB 10136-2015 食品安全国家标准 动物性水产制品[S].
GB 10136-2015 National food safety standard-Animal aquatic products [S].
- [17] Zhang B, Deng SG, Lin HM. Changes in the physicochemical and volatile flavor characteristics of *Scomberomorus niphonius* during chilled and frozen storage [J]. *Food Sci Technol Res*, 2012, 18(5): 747-754.
- [18] Riebroy S, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* Effect of iced storage of big eye snapper (*Priacanthus tayenus*) on the chemical composition, properties and acceptability of smug, a fermented Thai fish mince [J]. *Food Chem*, 2007, 102(1): 279-280.
- [19] 方昭西. 加工及储存条件对亚麻油关键性风味物质及氧化稳定性影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
Fang ZX. Study on the influence of processing and storage conditions on the key flavor compounds and oxidation stability of linseed oil [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [20] 赵健, 赵梦瑶, 曹长春, 等. 脂肪醛对“半胱氨酸-木糖”美拉德反应进程及肉香物质形成的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(20): 63-69.
Zhao J, Zhao MY, Cao CC, *et al.* The effect of fatty aldehydes on the “cysteine-xylose” Maillard reaction process and the formation of meat aromas [J]. *Food Sci*, 2017, 38(20): 63-69.
- [21] Demarcke M, Amelynck C, Schoon N, *et al.* Laboratory studies in support of the detection of biogenic unsaturated alcohols by proton transfer reaction-mass spectrometry [J]. *Int J Mass Spectr*, 2010, 290(1): 14-21.
- [22] Jonsdottir R, Bragadottir M, Arnarson GO. Oxidatively derived volatile compounds in microencapsulated fish oil monitored by solid-phase microextraction (SPME) [J]. *J Food Sci*, 2010, 70(7): c433-c440.
- [23] Huan Y, Zhou G, Zhao G, *et al.* Changes in flavor compounds of dry-cured Chinese Jinhua ham during processing [J]. *Meat Sci*, 2005, 71(2): 291-299.
- [24] 谢靓, 李梓铭, 蒋立文. 接种耐盐植物乳杆菌对不同盐渍程度发酵辣椒挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 163-169.
Xie L, Li ZM, Jiang LW. Effects of inoculation with salt-tolerant *Lactobacillus plantarum* on the volatile components of fermented peppers with different salinity [J]. *Food Sci*, 2015, 36(16): 163-169.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



刘新然, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品贮藏与加工。
E-mail: 969762034@qq.com

李学鹏, 博士, 教授, 主要研究方向为水产品贮藏加工。
E-mail: xuepengli8234@163.com