不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间品质变化的影响

冯豪杰[1]，蓝蔚青[1,2,3,*]，刘大勇[4]，丛建华[4]，臧一宇[1]，唐书文[1]，周大鹏[1]，谢　晶[1,2,3,*]
（1.上海海洋大学食品学院，上海　201306；2.上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心，上海　201306；
3.食品科学与工程国家级实验教学示范中心（上海海洋大学），上海　201306；
4.江苏中洋生态鱼类股份有限公司，江苏 南通　226600）

摘　要：本实验研究了微酸性电解水（slightly acidic electrolyzed water，SAEW）、臭氧水（ozonated water，OW）与乙醇溶液（ethanol water，EW）3 种不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间品质变化的影响。将新鲜暗纹东方鲀分别在SAEW、OW与EW中浸渍处理10 min，沥干后装入无菌聚乙烯袋中，于4 ℃冰箱中贮藏，以无菌水浸渍的样品为对照组（CK），贮藏期间每隔2 d分别进行微生物（菌落总数、嗜冷菌数）、理化（pH值、质构、总挥发性盐基氮（total volatile base nitrogen，TVB-N）含量、硫代巴比妥酸（thiobarbituric acid，TBA）值、色差）与感官（色泽、气味、形态与弹性）等指标测定，综合评价其对暗纹东方鲀冷藏期间品质变化的影响。结果表明：3 个处理组样品的pH值、TVB-N含量、质构、菌落总数与嗜冷菌数均优于CK组；EW处理会使其脂肪氧化速率加剧，对样品色差、感官品质的影响与其他3 个组相比较大；SAEW与OW处理可有效抑制其脂肪氧化，并维持暗纹东方鲀良好的感官品质，延长其冷藏货架期1～2 d，而EW处理可延长冷藏货架期2 d。由指标间相关性分析得出，各组微生物指标（菌落总数、嗜冷菌数）与弹性、回复力和ΔE^*值呈极显著负相关（P＜0.01），与TVB-N含量、TBA值呈极显著正相关（P＜0.01）。综合各指标结果，SAEW与OW这2 种减菌化方式可用于暗纹东方鲀的冷藏保鲜，以延长其货架期。

关键词：暗纹东方鲀；减菌化处理；冷藏；品质变化

Effects of Different Sterilization Treatments on the Quality of Puffer Fish (*Takifugu obscurus*) during Refrigerated Storage

FENG Haojie[1], LAN Weiqing[1,2,3,*], LIU Dayong[4], CONG Jianhua[4], ZANG Yiyu[1], TANG Shuwen[1], ZHOU Dapeng[1], XIE Jing[1,2,3,*]
(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai　201306, China;
2. Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center, Shanghai　201306, China;
3. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering (Shanghai Ocean University), Shanghai　201306, China; 4. Jiangsu Zhongyang Ecological Fish Co. Ltd., Nantong　226600, China)

Abstract: The effects of different sterilization treatments (slightly acidic electrolyzed water (SAEW), ozonated water (OW) and ethanol water (EW)) on the quality of *Takifugu obscurus* during refrigerated storage were studied in this paper. Fresh fish were immersed separately in SAEW, OW and EW for 10 min and then each sample was drained, packaged in a polyethylene bag and stored in a refrigerator at 4 ℃. Samples immersed in sterile water were designed as the control group. Microbial indices (total viable count (TVC) and psychrophilic bacterial count (PBC)), physiochemical parameters (pH, texture profile analysis (TPA), total volatile base nitrogen (TVB-N) content, thiobarbituric acid (TBA) value and color difference), and sensory qualities (color, odor, morphology and springiness) were measured at 2-day intervals during storage. The results showed that pH, TVB-N content, TBA, TVC value and PBC of the treatment groups were better than those of the control group. However, EW treatment could accelerate lipid oxidation, and more strongly influence color difference and sensory scores compared to the other treatment and control groups. SAEW and OW treatments could effectively inhibit

收稿日期：2019-03-24
基金项目：江苏省农业科技自主创新资金——农产品产业发展和关键技术创新项目（CX（18）2009）
第一作者简介：冯豪杰（1996—）（ORCID: 0000-0001-8654-1411），男，硕士研究生，研究方向为食品保鲜技术。
E-mail: 17022914@qq.com
*通信作者简介：蓝蔚青（1977—）（ORCID: 0000-0002-0509-4494），男，高级工程师，博士，研究方向为食品保鲜技术。
E-mail: 17022914@qq.com
谢晶（1968—）（ORCID: 0000-0002-0507-4136），女，教授，博士，研究方向为食品保鲜技术。
E-mail: jxie@shou.edu.cn

lipid oxidation, maintain the sensory quality, and prolong the shelf life of *Takifugu obscurus* for 1–2 days as opposed to 2 days with EW treatment. Correlation analysis indicated that TVC and PBC were significantly negatively correlated with springiness, resilience, and color difference (ΔE^*) ($P < 0.01$), but significantly positively correlated with TVB-N content and TBA values ($P < 0.01$). According to the results of each index, SAEW and OW can be used for the cold preservation of *Takifugu obscurus* to extend the shelf life.

Keywords: *Takifugu obscurus*; sterilization treatment; refrigerated storage; quality changes

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190324-308

中图分类号：TS254.4 文献标志码：A 文章编号：1002-6630（2020）07-0210-08

引文格式：

冯豪杰, 蓝蔚青, 刘大勇, 等. 不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间品质变化的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 210-217. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190324-308. http://www.spkx.net.cn

FENG Haojie, LAN Weiqing, LIU Dayong, et al. Effects of different sterilization treatments on the quality of puffer fish (*Takifugu obscurus*) during refrigerated storage[J]. Food Science, 2020, 41(7): 210-217. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190324-308. http://www.spkx.net.cn

暗纹东方鲀（*Takifugu obscurus*）又名河鲀，属鲀科东方鲀属洄游性鱼类，通常栖息于水域中下层，主要分布于我国东海、黄海及渤海的江河下游[1]。其肉质细嫩，味道鲜美，不饱和脂肪酸和蛋白质含量丰富，受到广大消费者喜爱。随着《关于有条件放开养殖红鳍东方鲀和养殖暗纹东方鲀加工经营的通知》在2016年9月的正式发布，养殖暗纹东方鲀现已可被安全食用[2]。市场对暗纹东方鲀的消费需求迅速增加，采取合适处理方式提升暗纹东方鲀的综合保鲜效果现已成为亟待解决的问题。

近年来，国内部分学者陆续开展了河鲀鱼的保鲜研究。如马妍等[3]研究冷藏温度对河鲀鱼微生物及品质特性的影响，发现（0±1）℃可一定程度抑制鱼肉中特定腐败菌的生长，减缓总挥发性盐基氮（total volatile base nitrogen，TVB-N）含量、pH值与三甲胺含量上升，延缓持水力与质构特性变化；其研究还得出冻藏温度越低，鱼肉硬度变化越明显，以－86 ℃冷藏暗纹东方鲀品质最佳[4]；周然等[5]研究得出，羧甲基壳聚糖复合保鲜剂可抑制河鲀鱼样品中细菌生长，减缓其质量损失、质构、TVB-N含量、三甲胺含量与感官品质变化，可使冷藏河鲀鱼的货架期由4 d延至6 d；苏红等[6]利用含质量分数0.68%柠檬酸、1.45%百里酚与1.94%海藻酸钠的复合生物保鲜剂处理红鳍东方鲀，综合各指标得出其对冷藏红鳍东方鲀保鲜效果显著，可将货架期由5 d延长至12 d。

水产品在死后会受到体表微生物、外界氧、体内酶等多种因素影响，易发生腐败变质，造成其色泽、风味和品质下降。而水产品在贮藏前的初始菌落数是决定其货架期的关键，因此减菌化处理是提高其后期保鲜效果的有效方法之一。目前，常用的水产品杀菌技术有微波杀菌、辐照杀菌、电解水杀菌、臭氧杀菌、超高压杀菌等。微酸性电解水（slightly acidic electrolyzed water，SAEW）是一种新型的杀菌保鲜技术，具有安全、高效、无残留、无污染等特点。通过在无隔膜电解槽中电解一定浓度的稀盐酸制备得到，被广泛应用于水产品保鲜等领域[7]。其中，Jung等[8]研究得出SAEW冰可有效抑制赫氏鲽鱼的微生物生长，可将货架期延长3 d。臭氧作为一种有效的杀菌剂，相对于常规杀菌方式，可很好保留食品原有风味与营养价值，且其杀菌后还可直接分解为氧气，具有无残留的特点[9]。近年来，关于臭氧应用于食品行业的研究逐渐增多。如de Mendonça Silva等[10]实验发现臭氧水（ozonated water，OW）能有效降低微生物数量，延缓脂质氧化，较好维持罗非鱼品质。乙醇为常见的杀菌剂之一，其分子可通过渗透进入菌体细胞内部，引起细菌蛋白质结构改变，导致其变性，达到杀菌目的[11]。

本实验拟采用3 种不同减菌化方式（SAEW、OW与乙醇溶液（ethanol water，EW））处理暗纹东方鲀，并结合微生物（菌落总数）、理化（pH值、质构、TVB-N含量、硫代巴比妥酸（thiobarbituric acid，TBA）值、色差）与感官（色泽、气味、形态与弹性）等指标，比较3 种处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

暗纹东方鲀，在2019年1月购于江苏省中洋集团，鱼种以在长江收集的野生群体为基础选育群体，采用群体选育技术连续5 代选育而成，进行通用型集约化方式养殖。样品体质量为（450±50）g，体长为（20.0±1.5）cm，由泡沫箱增氧保持鲜活状态，并在3 h内运至实验室。

盐酸、氯化钠、乙醇 国药集团化学试剂有限公司；平板计数琼脂 青岛高科技工业园海博生物技术有限公司；氧化镁、硼酸、甲基红、溴甲酚绿、三氯

乙酸　生工生物工程（上海）股份有限公司；所有试剂均为分析纯。

1.2　仪器与设备

FX-SWS100型SAEW生成机　烟台方心水处理设备有限公司；OZ-6000型活氧水机　昆山芳成金属科技有限公司；TA.XT Plus型质构仪　英国Stable Micro Systems公司；CR-400型色差计　日本Konica Minolta公司；Kjeltec2300型凯氏定氮仪　瑞士FOSS公司；H-2050R型台式高速冷冻离心机　湖南湘仪实验室仪器开发有限公司；LDZM-40KCS-III型立式压力蒸汽灭菌器　上海申安医疗机械厂；LHS-100CL型恒温恒湿箱　上海一恒科学仪器有限公司；pH/ORP计　上海而立环保科技有限公司；YXL-1A型高浓度有效氯测定仪　上海海恒机电仪表有限公司；722型可见分光光度计　上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

1.3　方法

1.3.1　减菌处理液制备

SAEW：通过SAEW生成机电解体积分数9.0% HCl溶液。处理前，由pH/ORP计测定其pH值与氧化还原电位（oxidative redox potential，ORP），由高浓度有效氯测定仪测定其有效氯含量（available chlorine concentration，ACC）。经测定，制备后SAEW的pH值为6.35±0.04，ORP为（861.60±12.35）mV，ACC为（30.00±1.54）$\times 10^{-6}$。

OW：由活氧水机制备，参照GB/T 5750.11—2006《生活饮用水标准检验方法 消毒剂指标》[12]中的碘量法测定水中的臭氧质量浓度，经测定最终质量浓度为1.8 mg/L。

EW：用无菌蒸馏水将其配制成体积分数为75%的乙醇溶液。

1.3.2　样品预处理

将鲜活暗纹东方鲀放血，经去眼、去皮、去内脏后，于无菌蒸馏水中清洗干净，用吸水纸将鱼肉表面的水分吸干，随机分为4 组，每组10 条。分别在SAEW、OW、EW中浸渍处理10 min。以无菌水浸渍处理10 min样品作为对照组（CK）。将4 组样品取出后沥干至表面无水滴，装入无菌聚乙烯袋中并做好标记，于4 ℃冰箱中贮藏。分别在0、2、4、6、8、10 d进行各项指标测定，不同组别样品指标测定时，取样部位保持一致。

1.3.3　菌落总数与嗜冷菌数测定

菌落总数参照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》[13]进行测定，使用平板计数琼脂在30 ℃恒温培养48 h。嗜冷菌数参照蓝蔚青等[14]的方法进行测定，使用平板计数琼脂在7 ℃恒温培养240 h。以上每个稀释度做2 个平行。

1.3.4　pH值测定

pH值参照GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品pH值的测定》[15]进行测定。

1.3.5　质构分析

参考Ju Jian等[16]的方法测定弹性和回复力。鱼体横向切片，厚度为2 cm。采用TPA模式，测量前探头下降速率2 mm/s，测试速率1.5 mm/s，返回速率1.5 mm/s，触发力5 g，压缩时间间隔5 s。探头类型为P/50，测试类型设置为压缩模式。每一处理组重复测定6 次。

1.3.6　TVB-N含量测定

TVB-N含量参照GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》[17]进行测定，设3 个平行，取平均值。

1.3.7　TBA值测定

TBA值的测定参考Li Junke等[18]的方法，用可见分光光度计在532 nm波长处测吸光度（A），由公式（1）计算TBA值，同一处理组重复测定3 次，取平均值。

$$\text{TBA值/（mg/100 g）} = 7.8 \times A \tag{1}$$

1.3.8　色差测定

色差的测定参照López等[19]的方法，利用色差计测定。测定参数主要包括亮度值（L^*）、红度值（a^*）和黄度值（b^*）。其中，L^*表示亮度，$L^*=0$，表示黑色；$L^*=100$，表示白色；$a^*>0$表示红度，相反则为绿度；$b^*>0$表示黄度，相反则为蓝度。根据公式（2）计算总色差ΔE^*值。

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \tag{2}$$

式中：ΔL^*、Δa^*、Δb^*分别表示所测L^*、a^*、b^*值与初始值之差。

1.3.9　感官评定

由7 名经过专门培训的人员担任感官评定员，参考Ju Jian等[16]的方法分别进行色泽、气味、形态与弹性4 项指标评分，感官分值为0～10。其中，10 分为最佳，0 分为最差，5 分为可接受限值。具体如表1所示。

表1　暗纹东方鲀的感官评价标准

Table 1　Criteria for sensory evaluation of *Takifugu obscures*

评价指标	8～10 分	6～8 分	4～6 分	2～4 分	0～2 分
色泽	非常明亮	明亮	稍暗淡	暗淡	非常暗淡
气味	正常	稍鱼腥味	鱼腥味	轻微腐败	腐败
形态	非常清晰	清晰	稍清晰	模糊	松散
弹性	结实有弹性	稍柔软，但有弹性	柔软、有弹性	无弹性	柔软

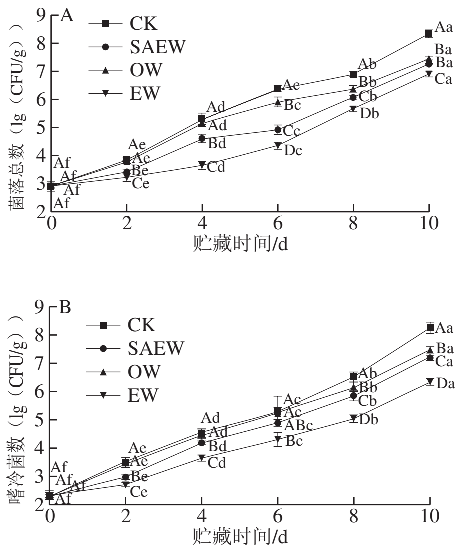
1.4　数据处理与分析

利用SPSS 17.0软件对数据进行单因素方差分析，采用Duncan's法进行显著性分析和多重比较，差异显著水平$P<0.05$；用Origin 8.5软件作图。

2　结果与分析

2.1　减菌化处理对暗纹东方鲀冷藏期间微生物变化的影响

微生物的生长及代谢是导致水产品发生腐败变质的主要原因，因此可通过微生物指标来判定鱼体的新鲜度。当菌落总数高于7.00（lg（CFU/g））时，鱼不可食用[20]。



同一处理组、不同贮藏时间小写字母不同表示差异显著（$P<0.05$）；同一贮藏时间、不同处理组大写字母不同表示差异显著（$P<0.05$）。图2～6同。

图 1　不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间菌落总数（A）与嗜冷菌数（B）变化的影响

Fig. 1　Effects of different sterilization treatments on TVC (A) and PBC (B) of *Takifugu obscurus* during refrigerated storage

由图1A可知，新鲜暗纹东方鲀的菌落总数为（2.90±0.17）（lg（CFU/g）），该结果与苏红等[6]的研究结果一致。随贮藏时间延长，4 组样品菌落总数均上升，CK组样品的细菌增长速率快于处理组样品。贮藏第6天，CK组与处理组样品的菌落总数差异显著（$P<0.05$）。在第8天时，CK组样品的菌落总数接近7（lg（CFU/g）），而SAEW组与OW组在第10天才超过腐败限值，此时EW组样品接近腐败限值。由此得出SAEW处理和OW处理可延长冷藏暗纹东方鲀货架期1～2 d，而EW处理可延长货架期2 d。由图1B可知，暗纹东方鲀在冷藏期间嗜冷菌数的变化趋势与菌落总数变化基本一致。周然等[21]研究得出用电解水处理可有效抑制河鲀鱼冷藏期间细菌总数的上升，将货架期延长2 d，次氯酸作为杀菌物质可损坏细菌细胞膜进而影响其代谢。结果表明，3 个处理都能延缓菌落总数和嗜冷菌数上升，其中以EW处理作用效果最明显。

2.2　减菌化处理对暗纹东方鲀冷藏期间pH值变化的影响

pH值是评价水产品腐败变质的重要指标之一。鱼类在死后会经历僵直、自溶及腐败3 个阶段，根据鱼的种类和季节等因素，死后鱼类的pH值通常在6.0～7.0[22]。

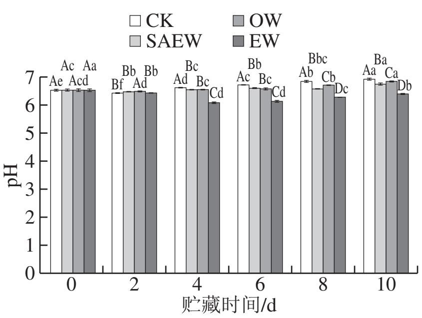


图 2　不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间pH值变化的影响

Fig. 2　Effects of different sterilization treatments on pH of *Takifugu obscurus* during refrigerated storage

由图2可知，新鲜暗纹东方鲀的pH值为6.52±0.04。在整个冷藏期间，各组的pH值均呈先降低后升高趋势。贮藏前期，CK组和处理组样品的pH值均下降，这是由于鱼死后，乳酸开始在体内堆积，ATP分解成磷酸等酸性物质，导致其pH值降低。而在贮藏中后期，鱼体进入自溶阶段，蛋白质逐渐分解成氨基酸和胺类等含氮物质，pH值上升。贮藏的第10天，EW组样品的pH值仅为6.38±0.03，远低于CK组、SAEW组与OW组，这可能是由于乙醇使蛋白质发生变性，减少了碱性物质的产生[11]。可见，EW对样品pH值的上升起一定抑制作用，该结果与王桂洋等[23]的研究结果一致。

2.3　减菌化处理对暗纹东方鲀冷藏期间质构变化的影响

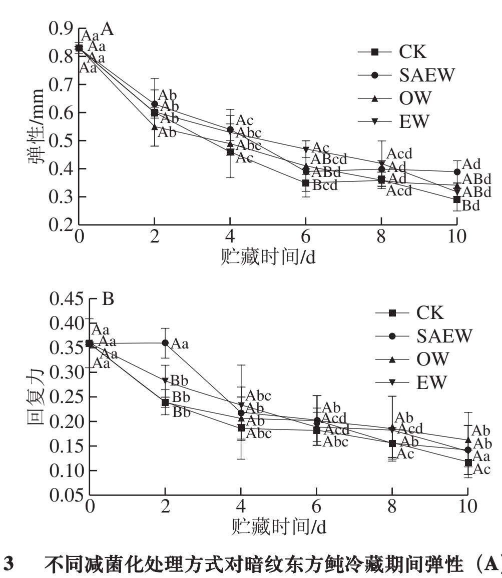


图 3　不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间弹性（A）和回复力（B）变化的影响

Fig. 3　Effects of different sterilization treatments on springiness (A) and resilience (B) of *Takifugu obscurus* during refrigerated storage

鱼类等水产品死后在微生物与内源酶的作用下，其肌肉组织发生变化，引起弹性、回复力下降，食用口感变差。弹性是指鱼肉在外力作用下产生变形及外力消失时的恢复程度，回复力指鱼类在外力作用下形变的回复能力，肌原纤维蛋白的存在赋予肉弹性[24]。

由图3可知，样品的弹性和回复力随贮藏时间的延长而降低，且在贮藏前期，各组弹性和回复力下降幅度较大。这与周然等[5]研究羧甲基壳聚糖涂膜保鲜河鲀鱼的质构分析结果一致，肌原纤维蛋白的自溶与微生物作用是鱼肉质地产生变化的主要原因。贮藏过程中，各处理组与CK组的质构无明显差异，贮藏第10天，处理组的弹性与回复力优于CK组。结果表明3 种处理方式对河鲀鱼肉的质构并没有产生较大影响。颜明月[25]用OW处理罗非鱼片也得到相似结果。

2.4 减菌化处理对暗纹东方鲀冷藏期间TVB-N含量的影响

TVB-N是指肉类中的蛋白质由于酶和细菌作用，分解而成的氨及胺类等碱性含氮物质，其含量是反映原料鱼新鲜度的主要指标之一。根据GB 2733—2015《食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品》，淡水鱼的TVB-N含量不大于20 mg/100 g时鲜度合格[26]。

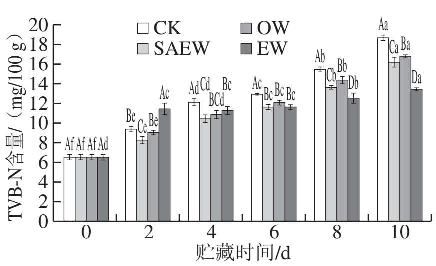


图 4 不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间TVB-N含量的影响

Fig. 4 Effects of different sterilization treatments on TVB-N content of *Takifugu obscurus* during refrigerated storage

由图4可知，新鲜暗纹东方鲀的TVB-N含量为（6.50±0.27）mg/100 g。CK组和处理组TVB-N含量在贮藏过程中均呈上升趋势，EW组样品在贮藏后期上升缓慢，显著低于其余各组（P＜0.05），可能是乙醇造成蛋白质变性，减少了碱性含氮物质产生。而贮藏6 d后，CK组样品的上升趋势相较于SAEW组与OW组更为明显，可能鱼肉此时处于自溶阶段，大量胞外蛋白酶的产生使氨基酸脱羧脱氨产生更多的胺类物质[27]。不同鱼类的TVB-N含量可接受上限存在差异[28]，在冷藏过程中暗纹东方鲀的TVB-N含量一直处于较低水平。由于其变化与微生物生长直接相关，因此根据已有菌落总数获得其货架期，由图1A可知，贮藏第8天时CK组样品的菌落总数接近7（lg（CFU/g）），此时CK组TVB-N含量达到15.42 mg/100 g，因此将TVB-N含量为15～16 mg/100 g作为暗纹东方鲀的可接受上限。可以看出，在贮藏第8天，CK组的TVB-N含量达（15.42±0.25）mg/100 g，已超过可接受上限。而SAEW组和OW组样品在第10天才超过上限，该结果与菌落总数变化相一致。

2.5 减菌化处理对暗纹东方鲀冷藏期间TBA值变化影响

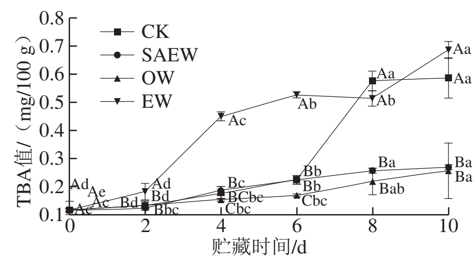


图 5 不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间TBA值变化的影响

Fig. 5 Effects of different sterilization treatments on TBA value of *Takifugu obscurus* during refrigerated storage

TBA值是评判肉类脂肪氧化酸败程度的良好指标。由图5可知，贮藏前期EW组的TBA值增长趋势明显大于其他3 组，说明乙醇减菌化处理加快了样品脂肪氧化酸败过程，产生大量氧化产物醛类，贮藏第8天略有下降，可能由于丙二醛不稳定，与鱼肉中其他成分反应未被检测出[29]。而SAEW组、OW组和CK组样品在贮藏前6 d的TBA值变化趋势基本一致，在贮藏6～8 d时CK组的TBA值急剧上升，之后基本稳定，可能由于CK组样品达到腐败阶段，脂肪氧化严重。而SAEW组与OW组的TBA值一直保持较低水平。结果表明SAEW和OW能明显延缓鱼肉的脂肪氧化速率，该结果与王桂洋等[23]的研究结果一致。

2.6 减菌化处理对暗纹东方鲀冷藏期间色差变化的影响

水产品贮藏过程中，脂肪氧化、蛋白质变性与色素降解等反应会导致其色泽变化。由表2可知，随贮藏时间的延长各组L^*值和a^*值都逐渐增大，且差异显著（P＜0.05）。其中EW组样品的L^*增幅最大。对于b^*值，仅EW组样品的b^*值不断增大，而其余3 组样品的b^*值无明显规律。现有研究表明，鱼肉色泽变化程度与体内脂肪氧化程度呈正相关，不饱和脂肪酸氧化生成的自由基与胺类物质发生反应，产生黄色色素，这也与乙醇处理加快脂肪氧化酸败的结论[30]一致。Zhao Yongqiang等[31]在研究中指出OW组的L^*值增大可能是由于臭氧的漂白作用。国际照明委员会规定，当ΔE^*值在6.0～12.0时说明与初始样品色泽差异明显，超过12.0时说明与初始样品颜色完全不同。EW组样品在贮藏第2天ΔE^*值发生明显变化，而SAEW和OW组样品在前8 d变化趋势平缓。由此得出相较于其他组，EW处理对暗纹东方鲀的总色差影响较大。

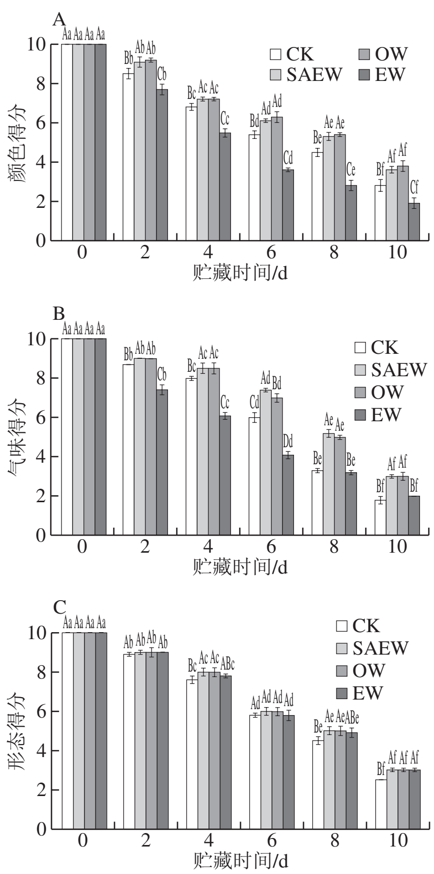
表2　不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间色差变化的影响

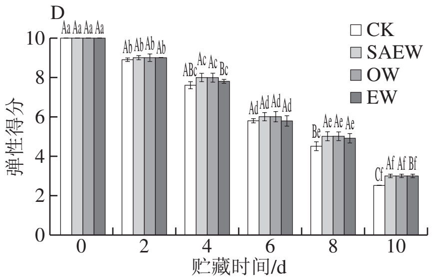
Table 2　Effects of different sterilization treatments on color parameters of *Takifugu obscurus* during refrigerated storage

指标	贮藏时间/d	CK	SAEW	OW	EW
L^*	0	46.63±2.24^{Ab}	46.63±2.24^{Ad}	46.63±2.24^{Ab}	46.63±2.24^{Ac}
	2	47.64±2.69^{Ab}	47.70±1.42^{Ad}	48.66±1.85^{Aab}	50.82±4.17^{Ac}
	4	53.75±2.32^{Ba}	53.76±0.64^{Bc}	52.23±5.23^{Bab}	62.05±1.79^{Ab}
	6	54.63±0.56^{BCa}	57.01±1.67^{Bb}	48.78±4.34^{Cab}	71.48±5.92^{Aa}
	8	55.72±1.68^{Ba}	56.55±1.72^{Bbc}	55.43±3.83^{Ba}	70.94±4.62^{Aa}
	10	58.36±4.20^{Ba}	60.76±1.47^{Ba}	55.40±3.89^{Ba}	73.81±2.41^{Aa}
a^*	0	−1.77±0.29^{Ab}	−1.77±0.29^{Ab}	−1.77±0.29^{Ab}	−1.77±0.29^{Ab}
	2	−1.05±0.08^{Aa}	−1.53±0.17^{Aab}	−1.40±0.16^{Aab}	−1.27±0.45^{Aab}
	4	−0.87±0.64^{Aa}	−1.48±0.37^{Aab}	−1.38±0.20^{Aab}	−1.05±0.30^{Aab}
	6	−0.73±0.76^{Aa}	−1.37±0.71^{Aab}	−1.40±0.38^{Aab}	−0.87±0.11^{Aab}
	8	−0.64±0.63^{Aa}	−1.01±0.26^{Aa}	−1.31±0.71^{Aab}	−0.90±0.74^{Aab}
	10	−0.54±1.14^{Aa}	−0.96±0.16^{Aa}	−0.83±0.51^{Aa}	−0.53±0.96^{a}
b^*	0	0.63±0.53^{Aab}	0.63±0.53^{Aa}	0.63±0.53^{Aa}	0.63±0.53^{Ab}
	2	−0.82±0.90^{Abc}	−1.48±0.77^{Aa}	−0.04±2.59^{Aa}	1.00±1.51^{Ab}
	4	−1.47±1.38^{Ac}	0.84±1.99^{Aa}	0.51±1.66^{Aa}	1.84±2.58^{Ab}
	6	0.42±0.52^{Aabc}	1.62±1.28^{Aa}	0.88±2.80^{Aa}	2.43±1.73^{Ab}
	8	0.93±1.69^{Bab}	1.18±1.22^{Ba}	0.63±1.91^{Ba}	4.86±2.70^{Aab}
	10	1.47±0.55^{Ba}	1.46±3.00^{Ba}	0.68±0.18^{Ba}	8.24±3.54^{Aa}
ΔE^*	0	52.27±4.02^{Aa}	52.27±4.02^{Aa}	52.27±4.02^{Aa}	52.27±4.02^{Aa}
	2	48.01±2.92^{Aa}	49.82±1.98^{Aa}	47.08±1.72^{Aab}	32.76±8.08^{Bb}
	4	41.78±2.23^{Ab}	41.70±0.67^{Ab}	46.66±4.29^{Aab}	33.34±1.78^{Bb}
	6	40.77±0.55^{Ab}	38.41±1.67^{Abc}	43.33±5.36^{Ab}	24.04±5.90^{Bc}
	8	37.30±3.94^{Ab}	39.01±1.77^{Ab}	40.34±3.97^{Ab}	21.97±2.60^{Bc}
	10	39.74±1.69^{Ab}	34.76±1.45^{Bc}	40.03±3.87^{Ab}	24.01±2.33^{Cc}

注：对于同一指标，同列肩标小写字母不同表示差异显著（P<0.05）；同行肩标大写字母不同表示差异显著（P<0.05）。

2.7　减菌化处理对暗纹东方鲀冷藏期间感官分值的影响





A～D.分别表示颜色、气味、形态、弹性得分。

图6　不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间感官分值的影响

Fig. 6　Effects of different sterilization treatments on sensory scores of *Takifugu obscurus* during refrigerated storage

由图6可知，随着贮藏时间的延长，各组样品的感官分值降幅存在差异，尤其在色泽与气味上最明显。新鲜样品表皮均匀明亮，呈灰白色，气味正常，肌肉形态清晰可见，结实并富有弹性。EW组样品经处理后鱼体颜色严重发白，肌肉紧缩，乙醇气味明显，色泽与气味得分明显低于其余3 组，这与ΔE^*值变化相符。贮藏8 d后，EW组与CK组样品的气味得分降至5 分以下，表现为不可接受，CK组样品出现腐败气味，肌肉失去弹性。而SAEW组和OW组样品在贮藏10 d后才产生腐败气味，但肌肉形态总体仍保持清晰。结果说明SAEW与OW处理能有效维持暗纹东方鲀良好的感官品质，钟智豪[32]研究得出OW处理对鱼片气味等指标影响不大，感官品质较佳，王桂洋等[23]也得到类似结果。

2.8　相关性分析结果

表3　CK组暗纹东方鲀样品冷藏期间各指标间相关性分析

Table 3　Correlation analysis between microbial qualities and texture and color difference in control group during refrigerated storage

指标	菌落总数	嗜冷菌数	pH值	弹性	回复力	TVB-N含量	TBA值	ΔE^*
菌落总数	1	0.980**	0.926**	−0.915**	−0.862**	0.984**	0.860**	−0.820**
嗜冷菌数		1	0.911**	−0.874**	−0.853**	0.988**	0.898**	−0.794**
pH值			1	−0.758**	−0.689**	0.906**	0.896**	−0.734**
弹性				1	0.918**	−0.898**	−0.690**	0.812**
回复力					1	−0.870**	−0.677**	0.852**
TVB-N含量						1	0.885**	−0.815**
TBA值							1	−0.660**
ΔE^*								1

注：**.在0.01水平（双侧）上极显著相关；*.在0.05水平（双侧）上显著相关。下同。

表4　SAEW组暗纹东方鲀样品冷藏期间各指标间相关性分析

Table 4　Correlation analysis between microbial qualities and texture and color difference in SAEW treatment group during refrigerated storage

指标	菌落总数	嗜冷菌数	pH值	弹性	回复力	TVB-N含量	TBA值	ΔE^*
菌落总数	1	0.995**	0.822**	−0.845**	−0.836**	0.986**	0.951**	−0.897**
嗜冷菌数		1	0.829**	−0.870**	−0.849**	0.993**	0.960**	−0.913**
pH值			1	−0.601**	−0.696**	0.816**	0.755**	−0.758**
弹性				1	0.853**	−0.878**	−0.886**	0.908**
回复力					1	−0.860**	−0.868**	0.905**
TVB-N含量						1	0.945**	−0.905**
TBA值							1	−0.907**
ΔE^*								1

表 5 OW组暗纹东方鲀样品冷藏期间各指标间相关性分析

Table 5 Correlation analysis between microbial qualities and texture and color difference in OW treatment group during refrigerated storage

指标	菌落总数	嗜冷菌数	pH值	弹性	回复力	TVB-N含量	TBA值	ΔE^*
菌落总数	1	0.990**	0.826**	−0.881**	−0.748**	0.979**	0.785**	−0.759**
嗜冷菌数		1	0.869**	−0.868**	−0.745**	0.995**	0.804**	−0.776**
pH值			1	−0.576*	−0.504*	0.876**	0.721**	−0.596**
弹性				1	0.736**	−0.871**	−0.662**	0.816**
回复力					1	−0.754**	−0.617**	0.707**
TVB-N含量						1	0.782**	−0.775**
TBA值							1	−0.760**
ΔE^*								1

表 6 EW组暗纹东方鲀样品冷藏期间各指标间相关性分析

Table 6 Correlation analysis between microbial qualities and texture and color difference in EW treatment group during refrigerated storage

指标	菌落总数	嗜冷菌数	pH值	弹性	回复力	TVB-N含量	TBA值	ΔE^*
菌落总数	1	0.975**	−0.092	−0.815**	−0.801**	0.738**	0.874**	−0.693**
嗜冷菌数		1	−0.251	−0.876**	−0.857**	0.779**	0.943**	−0.738**
pH值			1	0.435	0.454	−0.452	−0.518*	0.502*
弹性				1	0.904**	−0.906**	−0.874**	0.799**
回复力					1	−0.849**	−0.868**	0.849**
TVB-N含量						1	0.796**	−0.867**
TBA值							1	−0.779**
ΔE^*								1

由表3～6可以看出，不同减菌方式处理后，所测暗纹东方鲀样品指标的相关性分析结果基本一致。其中各组微生物指标（菌落总数、嗜冷菌数）与弹性、回复力和ΔE^*值呈极显著负相关，与TVB-N含量、TBA值呈极显著正相关。这主要是由于随着贮藏时间的延长，微生物数逐渐增加，导致蛋白质降解与脂肪氧化加剧，小分子胺类物质及醛酮类物质的产生造成感官品质下降，肌肉组织结构被破坏，质构特性下降。

3 结 论

本实验采用SAEW、OW与EW 3 种不同减菌化处理方式分别对暗纹东方鲀处理后冷藏，通过测定微生物（菌落总数、嗜冷菌数）、理化（pH值、质构、TVB-N含量、TBA值、色差）与感官（色泽、气味、形态与弹性）等指标，综合评价其对暗纹东方鲀冷藏期间品质变化的影响。研究表明：3 个处理组样品的pH值、TVB-N含量、质构、菌落总数与嗜冷菌数均优于CK组，但EW处理对样品的感官、色差与TBA值与其他3 个组相比影响最大。SAEW与OW处理虽在抑制菌落总数、TVB-N含量上升方面不如EW效果明显，但仍可有效抑制微生物生长繁殖和脂肪氧化，延缓样品TVB-N含量与pH值上升，较好维持样品的感官品质。由指标间相关性分析得出，各组微生物指标（菌落总数、嗜冷菌数）与弹性、回复力和ΔE^*值呈极显著负相关，与TVB-N含量、TBA值呈极显著正相关。综合各评价指标，CK组的冷藏货架期为8 d，SAEW处理组与OW处理组至少可延长货架期1～2 d，EW处理组可延长货架期2 d，说明这3 种减菌化处理方式均可在一定程度上延长暗纹东方鲀的冷藏货架期。

参考文献：

[1] 刘月芬. 暗纹东方鲀的生态养殖技术初探[J]. 当代水产, 2018, 43(3): 86-87.

[2] 黄玉林, 王文利, 刘源, 等. 我国养殖河鲀(业)发展现状及研究进展[J]. 中国食品学报, 2018, 18(1): 217-224. DOI:10.16429/j.1009-7848.2018.01.028.

[3] 马妍, 谢晶, 周然, 等. 冷藏温度对河豚鱼微生物及品质特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(6): 288-292.

[4] 马妍, 谢晶, 周然, 等. 冻藏温度对河豚鱼鱼肉微观结构及生化指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(5): 141-146.

[5] 周然, 刘源, 谢晶, 等. 羧甲基壳聚糖涂膜保鲜冷藏河豚鱼品质的机理[J]. 制冷学报, 2011, 32(6): 64-68.

[6] 苏红, 申亮, 毕诗杰, 等. 复合生物保鲜剂对冷藏红鳍东方鲀的保鲜效果研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 298-301; 321. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.052.

[7] LI L Z, HAO J X, SONG S H, et al. Effect of slightly acidic electrolyzed water on bioactive compounds and morphology of broccoli sprouts[J]. Food Research International, 2018, 105: 102-109. DOI:10.1016/j.foodres.2017.10.052.

[8] JUNG S, KO B, JANG H J, et al. Effects of slightly acidic electrolyzed water ice and grapefruit seedextract ice on shelf life of brown sole (*Pleuronectes herzensteini*)[J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27(1): 261-267. DOI:10.1007/s10068-017-0198-8.

[9] 刘锋, 谢晶. 流化冰结合臭氧在水产品保鲜中的应用[J]. 食品与机械, 2018, 34(5): 173-176. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2018.05.036.

[10] DE MENDONÇA SILVA A M, GONÇALVES A A. Effect of aqueous ozone on microbial and physicochemical quality of Nile tilapia processing[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(6): 13298. DOI:10.1111/jfpp.13298.

[11] 陈羽, 李飞, 张春梅, 等. 醋酸氯己定与乙醇的协同杀菌效果[J]. 微生物学杂志, 2014, 34(4): 93-96.

[12] 卫生部. 生活饮用水标准检验方法 消毒剂指标: GB/T 5750.11—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 15-16.

[13] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 4-6.

[14] 蓝蔚青, 车旭, 巩涛硕, 等. 基于高通量分析流通方式对大目金枪鱼品质与微生物种群变化影响[J]. 食品科学, 2019, 40(20): 178-184. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180819-190.

[15] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品pH值的测定: GB 5009.237—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 4-6.

[16] JU Jian, LIAO Li, QIAO Yu, et al. The effects of vacuum package combined with tea polyphenols treatment on quality enhancement of weever (*Micropterus salmoides*) stored at 0 ℃ and 4 ℃[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 91: 484-490. DOI:10.1016/j.lwt.2018.01.056.

[17] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定: GB 5009.228—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 5-7.

[18] LI Junke, HUI Teng, WANG Fulong, et al. Chinese red pepper (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) leaf extract as natural antioxidants in salted silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in dorsal and ventral muscles during processing[J]. Food Control, 2015, 56: 9-17. DOI:10.1016/j.foodcont.2015.03.001.

[19] LÓPEZ C C, SERIO A, MONTALVO C, et al. Effect of Nisin on biogenic amines and shelf life of vacuum packaged rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(10): 3268-3277. DOI:10.1007/s13197-017-2773-7.

[20] 江艳华, 姚琳, 朱文嘉, 等. 国内外水产品微生物限量标准的比对分析[J]. 中国渔业质量与标准, 2015, 5(4): 6-16.

[21] 周然, 刘源, 谢晶, 等. 电解水对冷藏河豚鱼肉质构及品质变化的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 365-369.

[22] RODRIGUES B L, ALVARES T D S, SAMPAIO G S, et al. Influence of vacuum and modified atmosphere packaging in combination with UV-C radiation on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets[J]. Food Control, 2016, 60: 596-605. DOI:10.1016/j.foodcont.2015.09.004.

[23] 王桂洋, 黄旭镇, 朱军莉, 等. 臭氧水、电解水和高盐溶液对冷藏大黄鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(14): 343-346. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.14.067.

[24] 蓝蔚青, 胡潇予, 阮东娜, 等. 流化冰处理对南美白对虾冰藏期间品质与水分迁移变化的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 248-255. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180411-155.

[25] 颜明月. 臭氧水处理对罗非鱼片蛋白质和脂质氧化及品质的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2015: 39.

[26] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品: GB 2733—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 3.

[27] 施建兵, 谢晶, 高志立, 等. 臭氧水浸渍后冰温贮藏提高鲳鱼块的保鲜品质[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 274-279.

[28] OCAÑO-HIGUERA V M, MARQUEZ-RÍOS E, CANIZALES-DÁVILA M, et al. Postmortem changes in cazon fish muscle stored on ice[J]. Food Chemistry, 2009, 116(4): 933-938. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.03.049.

[29] 孙群. 肉制品脂类氧化: 硫代巴比妥酸试验测定醛类物质[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 331-334.

[30] 陈丽丽, 张树峰, 袁美兰, 等. 反复冻融对脆肉鲩鱼肉营养品质和质构特性的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019(1): 72-78. DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2019.01.013.

[31] ZHAO Yongqiang, YANG Xianqing, LI Laihao, et al. Chemical, microbiological, color and textural changes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets sterilized by ozonatedwater pretreatment during frozen storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(1): e12746. DOI:10.1111/jfpp.12746.

[32] 钟智豪. 减菌处理对草鱼片脂肪氧化及蛋白质氧化的影响和控制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 29-30.