

冰藏联用 ClO_2 保鲜对大黄鱼肌肉 优势腐败菌及品质的影响

吴迪迪,李勇勇,史咏梅,王 焙,张登科,娄永江*

(宁波大学食品与药学学院,浙江宁波 315211)

摘要:为了保持养殖大黄鱼肌肉质量,延长货架期,本试验采用冷藏保鲜、冰藏保鲜、冰藏联用 ClO_2 保鲜等三种保鲜方式对鲜黄鱼进行处理。以大黄鱼肌肉的微生物变化和品质特性作为评价指标,并通过宏基因组高通量测序技术分析上述三种方法处理后大黄鱼肌肉优势菌属的变化。结果表明:冷藏保鲜和冰藏保鲜的菌落总数和 TVB-N 值随着贮存天数的增加而增大,而冰藏联用 ClO_2 保鲜相对于其他处理方式变化幅度最小;三种处理组的硬度、弹性和咀嚼性均先上升后下降,而 pH 呈先下降后上升的变化,以冰藏联用 ClO_2 保鲜组的变化幅度最小;冰藏联用 ClO_2 保鲜处理组在贮藏前期脂肪的氧化程度高于其他两组,贮藏 5 d 后差异显著($p < 0.05$);通过电子鼻对大黄鱼肌肉风味分析表明冰藏联用 ClO_2 保鲜组对其风味保持效果较好;高通量测序结果显示,三个处理组的优势菌属均为希瓦氏菌属、假单胞菌属,但菌群结构有所差别,冰藏联用 ClO_2 可以减少大黄鱼肌肉菌属的种类。

关键词:二氧化氯,大黄鱼肌肉,优势腐败菌,品质,冰藏

Effect of Ice Storage Combined with ClO_2 Preservation on Dominant Spoilage Bacteria and Quality of Large Yellow Croaker Muscle

WU Di-di, LI Yong-yong, SHI Yong-mei, WANG Bei, ZHANG Deng-ke, LOU Yong-jiang*

(College of Food and Pharmaceutical, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to maintain the muscle quality of the large yellow croaker and extend the shelf life, the fresh yellow croaker was treated in three fresh-keeping methods, such as cold storage, ice storage, ice storage combined with ClO_2 preservation. The microbial changes and quality characteristics of the muscles of large yellow croaker were used as evaluation indicators, and the changes of the dominant genus of the large yellow croaker, which were treated by the above-mentioned three methods, were analyzed by the high-throughput sequencing technology of the macrogenome. The results showed that the total number of colonies and TVB-N increased with the increase of storage days, and the three treatment groups showed an upward trend, while the ice storage combined with ClO_2 preservation had the smallest change with respect to other treatment methods; The hardness, elasticity, and chewing property of the three treatment groups first increased and then decreased, while the pH decreased first and then increased, the change of the ClO_2 fresh-keeping group was the smallest. In the early stage of storage, the oxidation degree of fat in the ice storage combined with ClO_2 preservation group was higher than that of the other two groups. The difference was significant after storage for 5 days ($p < 0.05$). The muscle flavor analysis of large yellow croaker by electronic nose showed that the ice-cold combined with ClO_2 preservation group had better flavor retention. High-throughput sequencing results showed that the dominant genus of the three treatment groups were both *Shigella* and *Pseudomonas*, but the structure of the flora was different. The combination of ice and ClO_2 could reduce the genus kinds of yellow croaker muscle.

Key words: chlorine dioxide; large yellow croaker muscle; dominant spoilage bacteria; quality; ice storage

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)13-0236-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.13.039

引文格式: 吴迪迪,李勇勇,史咏梅,等.冰藏联用 ClO_2 保鲜对大黄鱼肌肉优势腐败菌及品质的影响[J].食品工业科技, 2019,40(13):236-241.

大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*) 是我国重要的经济水产养殖鱼之一,因其味道鲜美,富含营养成分而

深受大众欢迎^[1]。由于新鲜大黄鱼含有较高的蛋白质和水分,极易腐败变质。目前关于大黄鱼的保鲜

收稿日期:2018-10-25

作者简介:吴迪迪(1992-),男,硕士,主要从事水产品加工与保鲜方面的研究,E-mail:wudidi0603@163.com。

*通讯作者:娄永江(1965-),男,硕士,教授,主要从事水产品加工与保鲜方面的研究,E-mail:louyongjiang@nbu.edu.cn。

基金项目:国家海洋局十三五海洋经济创新发展示范项目(NBHY-2017-S2)。

方法主要有辐照保鲜^[2]、超高压保鲜^[3]、气调保鲜^[4-5]、复合保鲜^[6]等,但因为面临技术不成熟及商业成本高等问题还不能完全普及。冰藏保鲜^[5,7-8]是常见的保鲜方法,但大黄鱼的肌肉易被腐败微生物感染而腐败变质^[9]。二氧化氯(Chlorine Dioxide, ClO₂)作为一种新型的保鲜介质,对水体中传播的病原微生物、病毒、芽孢都有极强的杀灭作用^[10],且具有安全无残留,效率高、副产物少、成本低等优点,是目前国际上公认的高效杀菌剂和食品保鲜剂^[11],研究表明 ClO₂ 对微生物的细胞壁有较好的透过和吸附性能,控制微生物蛋白质的合成,并使蛋白质中的部分氨基酸发生氧化还原反应,使氨基酸分解破坏,最终导致微生物死亡^[12]。目前,国内 ClO₂ 在果蔬保鲜方面有较多研究^[13-14],但研究 ClO₂ 对大黄鱼肌肉保鲜处理的报道甚少。

本研究选取大黄鱼肌肉作为原材料,以三种不同的保鲜方式进行保鲜处理,测定其微生物变化和品质特性,并利用高通量测序技术分析大黄鱼肌肉的腐败菌,旨在进一步提高大黄鱼的肌肉品质,延长产品保藏期,为稳定型 ClO₂ 冰对大黄鱼肌肉的保鲜产业化开发提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大黄鱼 购于浙江宁波路林市场的闽粤东族养殖大黄鱼,选取表皮光泽无损伤,鱼鳞完整并有少量透明粘液,个体均匀,重量约为(450 ± 50) g/条的鲜活大黄鱼;ClO₂ 试剂(A试剂、B试剂) 纯欧德公司;基因组 DNA 抽提试剂盒系列 上海远慕生物科技有限公司;Qubit3.0 DNA 检测试剂盒 上海斯信生物科技有限公司;Taq DNA 聚合酶 赛默飞世尔科技公司;MagicPure Size Selection DNA Beads 北京全式金生物技术有限公司。

A96FS70TI 型变频冰箱 德国 Siemens 股份有限公司;TX-XT plus 质构仪 英国 SMS 公司;PEN3 型电子鼻 德国 Airsense 公司;Pico-21 台式离心机 Thermo Fisher;凝胶成像系统 美国 UVP;Q32866 Qubit® 2.0 荧光计 Invitrogen;T100TM Thermal Cycler PCR 仪 BIO-RAD。

1.2 实验方法

1.2.1 ClO₂ 冰的制备 参照纯欧德 ClO₂ 试剂说明书,配制浓度为 300 mg/L 的高浓度的 ClO₂ 溶液,将稀释至 5 mg/L 的溶液置于制冰机中,制备大小约为(0.75 ± 0.25) cm³ 的稳定型 ClO₂ 碎冰。

1.2.2 保鲜处理 活体大黄鱼载氧运至实验室后,放在冰水中 30 min 冷却致死随机分成三组,冷藏保鲜(CK 组):大黄鱼装入带孔泡沫箱后置于 0~4 °C 环境下;冰藏保鲜(IC 组):大黄鱼装入带孔泡沫箱后加入普通碎冰覆盖,置于 0 °C~4 °C 环境下;冰藏联用 ClO₂ 保鲜(CD 组):大黄鱼装入带孔泡沫箱后加入 ClO₂ 碎冰覆盖,置于 0 °C~4 °C 环境下,不同组碎冰覆盖厚度均为(3.0 ± 0.5) cm,每隔 24 h 补充一次碎冰。选取大黄鱼背部肌肉去鳞、去皮进行指标测定,并在第 0、1、3、5、9、13、17、21 d 进行样品测定分析。

1.2.3 高通量测序鉴定

1.2.3.1 样品预处理 参照文献[15-16],将不同处理组的大黄鱼放入灭菌泡沫盒中 0~4 °C 条件下保藏 7 d 后各取肌肉 200 mg。将样品放入 2 mL 离心管中,加入 70% 乙醇溶液 1 mL,振荡,离心(10000 r/min, 3 min),移去上层液体。加入 1 × PBS 溶液,振荡混匀并再次离心(10000 r/min, 3 min),之后移去上层液体。将 2 mL 离心管倒置于吸水纸上 1 min 至无液体流出为止。离心管于 55 °C 烘箱直至残留酒精完全挥发。

1.2.3.2 宏基因组 DNA 的提取 采用 E.Z.N.ATM Mag-Bind Soil DNA Kit 的试剂盒(OMEGA 公司)提取总 DNA,并用凝胶电泳(浓度为 1% 琼脂糖)对所提取总 DNA 的完整性进行检测,检测浓度采用微量分光光度计(ThermoNanoDrop 2000)。将检测合格的总 DNA 于 -20 °C 条件下保存,用于后续实验。

1.2.3.3 PCR 扩增及高通量测序 经 PCR 扩增,使用 Qubit3.0 DNA 检测试剂盒进行基因组 DNA 精确定量。用于 PCR 扩增的引物与 Miseq 测序平台的 V3-V4 通用引物已经融合,341F 引物:CCCTACA CGACGCTCTTCCGATCTG (barcode) CCTACGGNG GCWGCAG;805R 引物:GACTGGAGTTCCTTGGCAC CCGAGAATTCCAGACTACHVGGGTATCTAATCC。

经两轮 PCR 扩增完成接头序列的连接。PCR 结束后,先利用琼脂糖进行电泳鉴定,之后再行 DNA 纯化回收。使用 Qubit 2.0 DNA 测定试剂盒精确定量回收的 DNA,以便以 1:1 的等量混匀后进行测序。每个样品等量混合后的 DNA 量取 10 ng,最终上机时测序浓度为 20 pmol。

1.2.4 菌落总数 依据 GB 4789.2-2016 菌落总数的测定。

1.2.5 pH 依据 GB 5009.237-2016 食品中 pH 的测定。

1.2.6 质构特性测定 参考廖媛媛等^[17]的操作方法略作修改,将三组大黄鱼室温下解冻 20 min 切取背部肌肉 2.5 cm × 2.5 cm × 1.5 cm 的无刺样品,用 TX-XT plus 质构仪进行测定。探头选用直径为 5 cm 的圆柱形探头。压缩探针速度为 1 mm/s,测试压缩比为 50%,平行测定 6 次。

1.2.7 挥发性盐基氮(TVB-N) 按照 GB 5009.228-2016 方法进行试验。

1.2.8 TBARS 的测定 参考马丽珍等^[18]的操作方法略作修改,称取 10.0 g 背部肌肉研细后,置于 100 mL 的加盖锥形瓶中,加入 50 mL 7.5% 的三氯乙酸(含 0.1% EDTA),混匀后,室温放置 30 min,浸渍液用双层滤纸过滤。滤液重复用双层滤纸过滤一次。取 5 mL 滤液加入 25 mL 离心管中,加入 5 mL 0.02 mol/L 硫代巴比妥酸溶液,在 90 °C 水浴 40 min。之后流水冷却。再加入 5 mL 氯仿并摇匀。分层后取上清液分别在 532 nm 和 600 nm 处比色。记录吸光度值并用以下公式计算 TBARS 值。

$$\text{TBARS 值} = \frac{(A_{532} - A_{600})}{15.5} \times \frac{1}{10} \times 72.6 \times 100$$

与 TBARS 反应的物质的量(TBARS)单位表示

表1 基于属水平上样本主要 rank reads 数目
Table 1 Number of major rank reads of the sample at the genus level

主要属名	序列数目			主要属所占百分比(%)		
	CK	IC	CD	CK	IC	CD
希瓦氏菌属(<i>Shewanella</i>)	3.9×10^5	1.3×10^4	5.7×10^3	77.4	79.2	86.3
假单胞菌属(<i>Pseudomonas</i>)	1.4×10^4	7.2×10^2	7.4×10^2	2.8	4.6	11.3
冷杆菌属(<i>Psychrobacter</i>)	2.1×10^4	1.1×10^3	6.8×10^1	4.1	6.8	1.0
黄杆菌属(<i>Flavobacterium</i>)	5.7×10^2	1.1×10^3	3.9×10^1	0.1	6.7	0.6
摩根氏菌属(<i>Morganella</i>)	3.9×10^4	0	0	7.9	0	0
气单胞菌属(<i>Aeromonas</i>)	2.3×10^4	7.3×10^1	1.8×10^1	4.7	0.5	0.3
金黄杆菌属(<i>Chryseobacterium</i>)	5.2×10^2	2.1×10^2	1.8×10^1	0.1	1.3	0.3
漫游球菌属(<i>Vagococcus</i>)	8.2×10^3	2	0	1.6	0	0.0
弧菌属(<i>Vibrio</i>)	4.2×10^3	0	0	0.8	0	0
节杆菌属(<i>Arthrobacter</i>)	0	6.810^1	1.210^1	0	0.4	0.2
不动杆菌属(<i>Acinetobacter</i>)	0	7.5×10^1	1	0	0.5	0
类香味菌属(<i>Myroides</i>)	1.4×10^3	0	0	0.3	0	0
甲苯单胞菌属(<i>Tolomonas</i>)	4.7×10^2	1×10^1	3	0.1	0.1	0

注:CK组、IC组和CD组为贮藏7 d后大黄鱼肌肉优势腐败菌的测定结果。

为 $\text{mg} \cdot \text{MA}/\text{kg}$ 。

1.2.9 电子鼻检测 参考杨茗媛等^[19]的操作方法略作修改,将不同处理组的大黄鱼肌肉解剖,取背部同一部位肌肉 0.50 g 于 10 mL 顶空瓶中,加盖密封,放入 4 °C 样品盘待检,样品平衡时间 20 min,平衡温度 35 °C,取样体积 3 mL;进样速度 25 mL/s,进样口温度 45 °C。

1.3 数据处理

使用 SAS 8.5 及 Origin 9.0 进行数据分析处理,数据结果均以“mean ± SD”来表示,每组实验重复 5 次。同一列中的不同小写字母表示显著差异($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同处理方式对大黄鱼肌肉贮藏期间细菌群落结构的影响

由表 1 可以看出,CK 组中的腐败菌是希瓦氏菌属、假单胞菌属、冷杆菌属、摩根氏菌属、气单胞菌属。在 IC 组中,希瓦氏菌属、假单胞菌属、冷杆菌属是优势菌,而在 CD 组中,仅有希瓦氏菌属和假单胞菌属是优势细菌。Ge 等^[20]研究腐败大黄鱼肌肉中分离出 10 株菌,其中 8 株产生 H_2S 的菌株与希瓦氏菌属密切相关,另外的两株分离株分别被鉴定为荧光假单胞菌和 *P.fragi*。加冰处理对摩根氏菌属、弧菌属与类香味菌属有明显的抑制效果,可能由于加冰处理抑制了嗜热微生物的生长。但 ClO_2 处理后大黄鱼肌肉中的菌属种类均显著降低,由于 ClO_2 分子外层具有一对未成对的活泼的自由电子,具有很强的氧化能力,破坏微生物的结构,从而改变微生物菌群结构及造成数量降低^[21]。

2.2 不同处理方式对大黄鱼肌肉菌落总数的影响

图 1 表明,随着贮藏时间的延长,各组菌落总数均呈上升趋势。IC 组前期上升趋势较 CK 组不显著($p > 0.05$),后期上升趋势有显著差异($p < 0.05$)。从贮藏效果来看,CD 组 > IC 组 > CK 组,说明 ClO_2 冰

杀菌及抑制细菌增长繁殖的效果优于普通冰。 ClO_2 分子外层具有一对未成对的活泼的自由电子,具有很强的氧化能力,可以使微生物中含有的蛋白质(酶)中氨基酸间的链氧化断裂,使蛋白质失去活性,阻止细胞再生^[22-23]。季晓彤等^[24]研究也证明了 ClO_2 可以起到杀菌并延长货架期的作用。

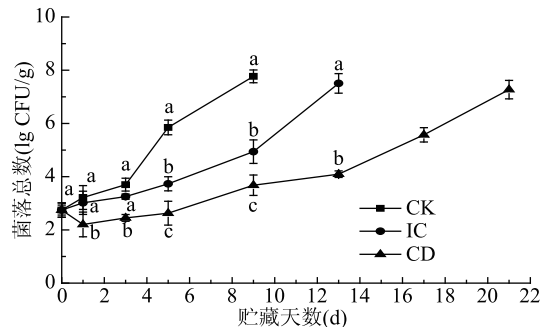


图1 不同处理组对大黄鱼肌肉菌落总数的影响

Fig.1 Effects of different treatment groups on the total number of large yellow croaker colonies

注:不同处理组同一天不同小写字母

表示差异显著;图2~图5同。

2.3 不同处理方式对大黄鱼肌肉 pH 的影响

图 2 结果所示,在贮藏过程中,每组的 pH 呈先下降后上升趋势。其中,CD 组与前两组比较有显著性差异($p < 0.05$)。贮藏初期,鱼体经历僵硬、自溶两个过程中,僵硬期微生物使糖原和 ATP 分解产生乳酸、磷酸,使肌肉组织酸性增强,导致 pH 下降,自溶期 pH 开始升高,由于肌肉中大量蛋白质分解为氨基酸和可溶性含氮物,这为微生物的繁殖提供了条件^[25]。pH 下降后又开始缓慢上升是由于肌肉内源性微生物来源蛋白酶降解氨基酸产生胺类等碱性物质所致^[23-24]。CD 组的 pH 下降缓慢, ClO_2 具可以抑制蛋白质(酶)中的氨基酸链发生断裂,从而使蛋白质失去活性,最终使糖原和 ATP 分解产酸量减少^[26]。同时, ClO_2 处理后下降缓慢是由于微生物中

的外源性蛋白酶失去活性,进一步抑制体系中产胺微生物的滋生,从而降低自溶程度,使 pH 上升缓慢^[27]。

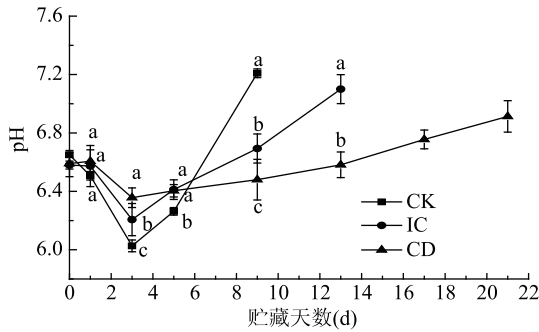


图2 不同处理组对大黄鱼肌肉 pH 的影响
Fig.2 Effect of different treatment groups on pH of large yellow croaker

2.4 不同处理方式对大黄鱼肌肉质构特性的影响

图3 结果表明,随着贮藏时间的延长,CD 组相比较 CK 组和 IC 组的硬度(A 图)、弹性(B 图)、咀嚼性(C 图)均呈现先上升再下降的趋势,在贮藏 3 d 后 CD 组下降速度较 CK 组和 IC 组缓慢,出现显著差异 ($p < 0.05$)。由于养殖大黄鱼在死后,进入了僵硬期,

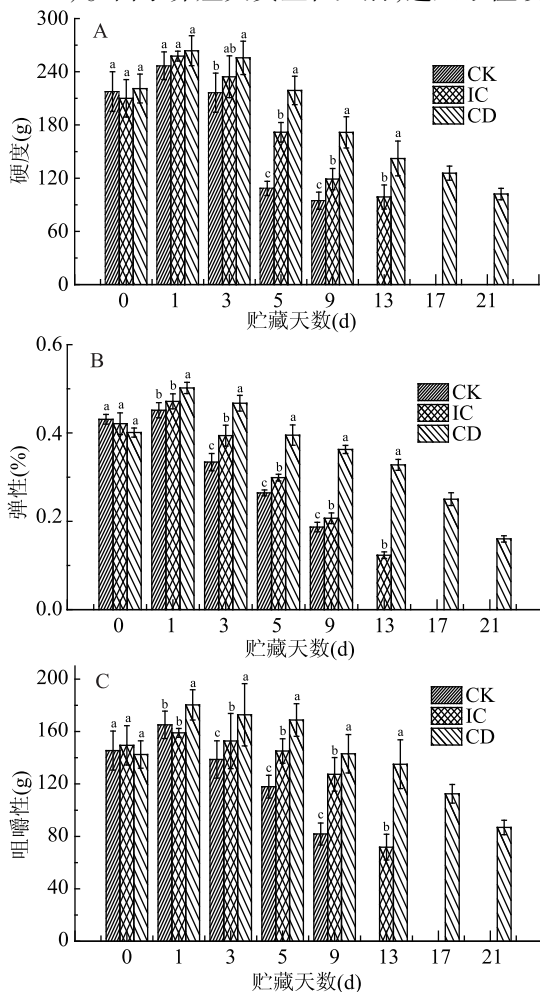


图3 不同处理组对大黄鱼肌肉质构的影响
Fig.3 Effects of different treatment groups on the texture of large yellow croaker

肌肉的质地特性受蛋白质、水分、脂肪含量的影响,贮藏期间,肌肉的水分含量逐渐减少,脂肪和蛋白质逐渐被氧化和分解^[28];随后由于内源蛋白酶和腐败微生物的降解导致蛋白分子结构发生变化,继而导致硬度、弹性、咀嚼性等等指标下降^[29-30]。结果中 CD 组样品的质构特性优于 CK 组样品,这是由于样品经过 ClO_2 处理后对微生物的抑制作用较强,微生物无法通过生物活性与代谢活动对大黄鱼肌肉的蛋白质产生影响^[31];同时,冰藏的处理方式使样品迅速降温,抑制其组织内部酶的活性及细胞的代谢,从而起到保持蛋白质特性的目的。

2.5 不同处理方式对大黄鱼肌肉 TVB-N 的影响

从图 4 中可知,随着贮藏时间的延长,不同处理组的 TVB-N 值均呈上升趋势且差异显著 ($p < 0.05$)。在贮藏期间,IC 组和 CD 组样品的 TVB-N 值上升趋势低于 CK 组。研究表明普通冰和 ClO_2 可以抑制微生物的生长繁殖并降低内源酶的作用,从而延缓蛋白质的分解,降低鱼肉的腐败程度^[32]。CD 组相比于 IC 组能够较好地抑制 TVB-N 值的上升,由于 ClO_2 通过使微生物蛋白质失活达到杀菌目的,有利于降低 TVB-N 的生成速率,表明 ClO_2 可以有效抑制微生物的生长^[24,26]。

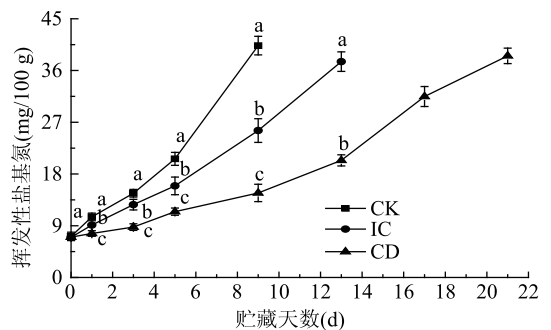


图4 不同处理组对大黄鱼肌肉 TVB-N 的影响
Fig.4 Effects of different treatment groups on TVB-N of large yellow croaker

2.6 不同处理方式对大黄鱼肌肉 TBARS 值的影响

TBARS 是评估脂质氧化程度的重要参考指标, TBARS 值与反应中产生的醛、酮等小分子物质成正比,说明 TBARS 值越大,其脂质氧化程度越高^[33-34]。图 5 表明不同处理组对养殖大黄鱼肌肉的 TBARS 值的影响,贮藏初期新鲜大黄鱼肌肉的 TBARS 值为 0.26 mg/100 g 左右。贮藏前期,CD 组的 TBARS 值均呈现上升趋势且较 CK 组和 IC 组差异极显著 ($p < 0.0001$),说明氧化程度严重;其中,贮藏初期 IC 组大黄鱼肌肉的 TBARS 值上升速率低于 CK 组。贮藏前期冰藏联用 ClO_2 处理组上升较快,可能由于 ClO_2 具有强氧化性,使脂肪氧化成丙二醛 (MDA),随后 ClO_2 进一步将醛类物质氧化为羧酸^[35],使 TBARS 含量下降。杨贤庆等^[31] 研究不同浓度的 ClO_2 对罗非鱼鱼丸的 TBARS 值有较好的抑制效果,且低浓度的 ClO_2 就能有较好的抑制效果,与本研究结果一致。

2.7 不同处理方式对大黄鱼肌肉气味变化的影响

电子鼻可以灵敏地检测到不同大黄鱼肌肉气味

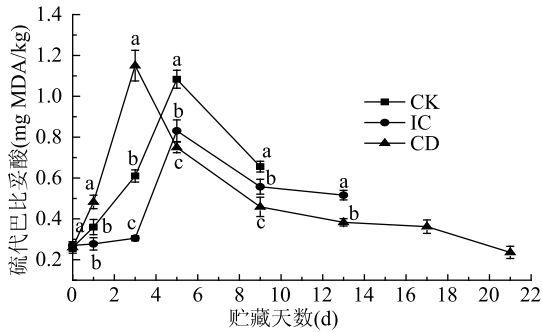


图5 不同处理组对大黄鱼肌肉 TBARS 值的影响

Fig.5 Effects of different treatment groups on TBARS values of large yellow croaker

的变化,利用电子鼻作为完善食品在保藏期间气味变化的衡量标准^[36],可以更准确直观的反应大黄鱼肌肉品质变化及腐败程度,避免主观因素对感官评价的影响。图6通过执行载荷分析来消除冗余传感器,根据分析,传感器S2(氮氧化物)、S6(甲烷)、S7(无机硫化物)和S9(芳香成分,有机硫化物)对大黄鱼背部肌肉具有较高的响应值,与前人研究结果相似^[19]。腐败希瓦氏菌是一种典型的冷藏海鱼腐败菌,具有较强的腐败活性,可产生H₂S,还原TMAO等物质;假单胞菌可以产生大量的醛、酮和酯类等物质^[37-39]。图7表示不同处理条件下养殖大黄鱼背部肌肉电子鼻PCA分析结果,每个椭圆代表不同处理组,椭圆分布距离越远,说明气味差异性越大^[19]。图7的PC1、PC2的方差贡献率分别为92.47%、5.17%,PC1、PC2的总贡献率为97.64%。CK组、IC组、CD组分别在贮藏5d、9d、17d后的椭圆距离新鲜样品(0d)较远,这与菌落总数和TVB-N值一致,表明肌肉接近腐败的终点。由于PC2的方差贡献率为5.17%,说明ClO₂对于大黄鱼肌肉贡献率影响不大,说明其贡献率主要源于微生物腐败以及蛋白质自溶。

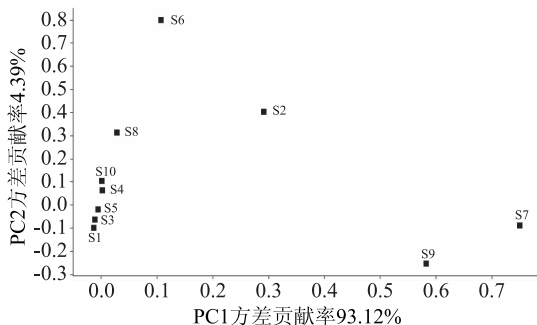


图6 电子鼻传感器对大黄鱼肌肉背部肉响应值载荷分析

Fig.6 Load analysis of response value of electronic nose sensor to cultured *Pseudosciaena crocea*

3 结论

通过高通量测序分析表明冰藏联用ClO₂处理能降低菌落总数,改变菌相组成。大黄鱼肌肉经过ClO₂冰处理后,其TVB-N值、TBARS值、硬度、咀嚼性、弹性和pH等理化指标相较于冰藏保鲜变化较小,表明ClO₂冰可以使大黄鱼肌肉保持较好的理化品质,并延长其货架期。同时,从气味变化可以看

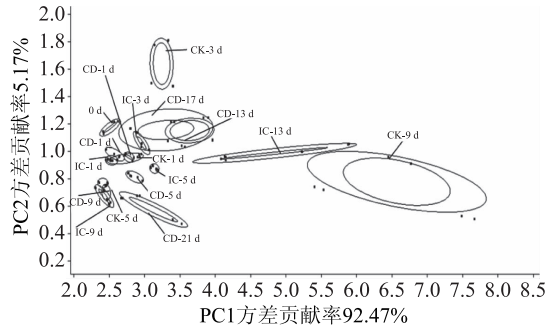
图7 ClO₂冰对大黄鱼肌肉背部肉电子鼻数据PCA图

Fig.7 PCA diagram of chlorine nose ice on the back of meat of large yellow croaker

出,肌肉经ClO₂冰处理后,不仅减少其品质劣变而且又不影响大黄鱼肌肉本身的风味。

参考文献

- [1]吴靖娜,许永安,刘智禹,等.养殖大黄鱼肌肉鱼肉营养成分的分析及评价[J].营养学报,2013,35(6):610-612.
- [2]张晓艳,杨究时,李学英,等.辐照和保鲜剂对淡腌大黄鱼肌肉保鲜效果的研究[J].现代食品科技,2012(7):768-771.
- [3]雷叶斯,陈娇,张登科,等.超高压处理对养殖大黄鱼肌肉肉肌原纤维蛋白理化特性的影响[J].食品安全质量检测学报,2018(8):1750-1758.
- [4]张超,励建荣,李学鹏,等.臭氧杀菌结合气调包装对缙蛭的保鲜效果[J].水产学报,2011,35(6):954-960.
- [5]戴志远,翁丽萍.气调保鲜养殖大黄鱼肌肉特定腐败菌动态变化初步研究[J].中国食品学报,2010,10(1):122-126.
- [6]孟玉霞,崔惠敬,赵前程,等.植物精油对冷藏大黄鱼肌肉优势腐败菌的抑制作用及其机制[J].水产学报,2018,42(7):1140-1153.
- [7]Magnusson H, Martinsdottir E. Storage quality of fresh and frozen-thawed fish in ice[J].Journal of Food Science,2010,60(2):273-278.
- [8]刘永固,姜永江,屠冰心,等.不同方式冻结后养殖大黄鱼肌肉肌肉理化特性在冻藏期间的变化[J].食品工业科技,2013,34(10):331-333.
- [9]李学英,许钟,郭全友,等.大黄鱼肌肉冷藏过程中的鲜度变化[J].中国水产科学,2009,16(3):442-450.
- [10]邹玲媛,承完成.二氧化氯在水产养殖业中的应用[J].当代水产,2002,27(10):25-25.
- [11]Trinetta V, Linton R H, Morgan M T. The application of high-concentration short-time chlorine dioxide treatment for selected specialty crops including Roma tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), cantaloupes (*Cucumis melo* ssp. melo var. *cantaloupensis*) and strawberries (*Fragaria × ananassa*) [J]. Food Microbiology, 2013, 34(2):296-302.
- [12]夏玲.二氧化氯对动物性食品的影响及应用[J].肉类研究,2008,22(7):62-64.
- [13]Chen Z, Zhu C. Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on postharvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina*, L.) [J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 61(2):117-123.

- [14] Jin-hua, Mao-run, Miao-miao. Effects of chlorine dioxide gas on postharvest physiology and storage quality of green bell pepper (*Capsicum frutescens* L. var. *Longrum*) [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2007, 6(2): 214-219.
- [15] 黄丽丽, 张艳, 周红, 等. 基于 16S rRNA 高通量测序方法比较新疆冷水鱼肠道中微生物多样性[J]. *食品科学*, 2018, 39(10): 138-144.
- [16] Miyake S, Ngugi D K, Stingl U. Diet strongly influences the gut microbiota of surgeonfishes [J]. *Molecular Ecology*, 2015, 24(3): 656-672.
- [17] 廖媛媛, 欧昌荣, 汤海青, 等. 三种冻结方式对大黄鱼肌肉品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(7): 218-223.
- [18] 马丽珍, 南庆贤, 戴瑞彤. 真空包装冷却猪肉低剂量辐照后的理化和感官特性变化[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(4): 184-187.
- [19] 杨茗媛, 王小凤, 乙丛敏, 等. 养殖大黄鱼肌肉挥发性成分分析[J]. *食品工业科技*, 2018(4).
- [20] Ge Y, Zhu J, Ye X, et al. Spoilage potential characterization of *Shewanella* and *Pseudomonas* isolated from spoiled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2017, 64(1): 86-93.
- [21] 韦明肯, 赖洁玲, 詹萍, 等. 二氧化氯杀菌机里研究进展[J]. *微生物学报*, 2012, 52(4): 429-434.
- [22] 高飞. 二氧化氯对食品中食源性致病菌杀菌效果研究[J]. *食品工业*, 2016(5): 206-209.
- [23] 黄伍龙. 稳定性二氧化氯的杀菌机理[J]. *蚕桑茶叶通讯*, 1996, 3: 10-14.
- [24] 季晓彤, 年益莹, 薛鹏, 等. 二氧化氯对鲑鱼冷冻贮藏品质的影响[J]. *肉类研究*, 2018, 32(2): 46-51.
- [25] 蓝蔚青, 谢晶, 施建兵, 等. 冷藏鲑鱼贮藏期间的细菌种群变化[J]. *食品与生物技术学报*, 2013, 32(11): 1141-1148.
- [26] 李蓓蓓, 刘书来, 丁玉庭. 二氧化氯灭菌处理对鲈鱼品质的影响[J]. *食品科技*, 2010(10): 176-179.
- [27] Lin W E I F, Huang T S H I, Cornell J A, et al. Bactericidal activity of aqueous chlorine and chlorine dioxide solutions in a fish model system [J]. *Journal of Food Science*, 1996, 61(5): 1030-1034.
- [28] Badii F, Howell N K. Changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage [J]. *Food Hydrocolloids*, 2002, 16(4): 313-319.
- [29] Lakshmanan R, Piggott J R, Paterson A. Potential applications of high pressure for improvement in salmon quality [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2003, 14(9): 354-363.
- [30] 李刚. 益生菌芽孢乳酸菌对养殖大黄鱼肌肉贮藏过程中品质的影响研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013.
- [31] 杨贤庆, 张晓丽, 马海霞, 等. 稳定态二氧化氯对罗非鱼鱼丸品质变化的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(10): 337-340.
- [32] Ill E F C, Vanderzant C, Hanna M O, et al. Effect of ice storage on microbiological and chemical changes in shrimp and melting ice in a model system [J]. *Journal of Food Science*, 1976, 41(1): 29-34.
- [33] Zhang J, Wang Y, Pan D D, et al. Effect of black pepper essential oil on the quality of fresh pork during storage [J]. *Meat Science*, 2016, 117(4): 130-136.
- [34] Huss H H. Quality and quality changes in fresh fish. [J]. *Fao Fisheries Technical Paper*, 1995.
- [35] Kim J M, Huang T S, Marshall M R. Chlorine dioxide treatment of seafoods to reduce bacterial loads [J]. *Food Science*, 1999, 64(6): 1089-1093.
- [36] 徐赛, 陆华忠, 吕恩利, 等. 仿生电子鼻对食品货架期识别进展研究[J]. *中国农机化学报*, 2016, 37(7): 154-160.
- [37] Edwards R A, Dainty R H, Hibbard C M. Volatile compounds produced by meat pseudomonads and related reference strains during growth on been stored in air at chill temperature [J]. *J Appl Bacteriol*, 1987, 62: 403-412.
- [38] Jorgensen B R, Huss H H. Growth and activity of *Shewanella putrefaciens* isolated from spoiling fish [J]. *Int J Food Microbiol*, 1989, 9: 51-62.
- [39] Dalgaard P, Gram L, Huss H H. Spoilage and shelf life of cod fillets packed in vacuum or modified atmosphere [J]. *Int J Food Microbiol*, 1993, 19: 283-294.

(上接第 235 页)

- [24] Tiziana Bongiorno, Francesca Tulli, Giuseppe Comi, et al. Sous vide cook - chill mussel (*Mytilus galloprovincialis*): Evaluation of chemical, microbiological and sensory quality during chilled storage (3 °C) [J]. *Food Science and Technology*, 2018, 91(7): 117-124.
- [25] 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(8): 331-334.
- [26] Broncano J M, Petrón M J, Parra V, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of free cholesterol oxidation products (COPs) in *Latissimus dorsi* muscle of Iberian pigs [J]. *Meat Science*, 2009, 83(3): 431-437.
- [27] José Sánchez del Pulgar, Antonio Gázquez, 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.
- [28] Díaz P, Nieto, Gemal, et al. Microbial, physical chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the sous vide method [J]. *Meat Science*, 2008, 54(2): 287-292.