

不同致死条件对冷鲜石斑鱼肉品质的影响

吴燕燕, 王悦齐, 张涛, 王迪, 郑镇雄

Effects of different lethal conditions on meat quality of chilled grouper

WU Yanyan, WANG Yueqi, ZHANG Tao, WANG Di, ZHENG Zhenxiong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20220103700>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

酵母培养物对珍珠龙胆石斑鱼生长性能、肠道形态、免疫功能和抗病力的影响

Effects of Dietary Yeast Culture Supplementation on Growth, Intestinal Morphology, Immunity, and Disease Resistance in *Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂

上海海洋大学学报. 2021, 41(3): 1 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2021.03.001>

迷迭香提取物对凡纳滨对虾冷藏期间品质与蛋白特性变化影响

Effect of Rosemary Extract on the Quality and Protein Properties of White Leg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during Chilled Storage

上海海洋大学学报. 2021, 41(3): 82 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2021.03.011>

海洋性动物水解蛋白对珍珠龙胆石斑鱼生长、饲料利用及体组成的影响

Effects of marine animal protein hydrolysates on growth, feed utilization and body composition of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂)

上海海洋大学学报. 2021, 30(4): 624 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200503046>

两种豆粕部分替代鱼粉在珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中的研究

Research on partial replacement of fishmeal by two kinds of soybean meal in the feed of juvenile ♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*

上海海洋大学学报. 2017, 26(5): 716 <https://doi.org/10.12024/jsou.20170402022>

6种石斑鱼成鱼的性腺发育、脑垂体结构以及垂体中FSH β 和LH β 细胞的免疫识别

Gonadal development, pituitary structures and immunohistochemical identification of FSH β and LH β cells in the pituitary in six species of the adult groupers

上海海洋大学学报. 2022, 31(1): 151 <https://doi.org/10.12024/jsou.20201203259>

文章编号: 1674-5566(2023)02-0377-10

DOI:10.12024/jsou.20220103700

不同致死条件对冷鲜石斑鱼肉品质的影响

吴燕燕¹, 王悦齐¹, 张涛^{1,2}, 王迪¹, 郑镇雄³

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东 广州 510300; 2. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 3. 饶平县万佳水产有限公司, 广东 潮州 521000)

摘要: 为明确致死条件对石斑鱼 (*Epinephelus lanceolatus*) 品质的影响, 提高石斑鱼冷藏期间的品质, 采用 5 种不同致死方式处理石斑鱼, I: 冰埋致死; II: 敲击头部致死; III: 活石斑鱼经温度梯度 18、14、10、6 °C (每个温度处理 20 min) 处理后致死; IV: 活石斑鱼经温度梯度 18、12、6 °C (每个温度处理 20 min) 处理后致死; V: 活石斑鱼经温度梯度 18、6 °C (每个温度处理 20 min) 处理后致死, 然后将石斑鱼经微冻机迅速将鱼体中心温度降到 0 °C, 于 0~4 °C 冷藏, 测定并分析冷藏期间鱼肉的感官评价、质构特性、pH、乳酸含量、巯基含量、挥发性盐基氮 (TVB-N)、菌落总数等品质评价指标的变化。结果表明, 5 组致死处理方式对冷藏期间鱼肉的品质影响显著, 由大到小依次是感官评价和 TVB-N: V 组 > I 组 > II 组 > IV 组 > III 组, 质构: IV 组 > V 组 > II 组 > I 组 > III 组, 乳酸含量和 pH: V 组 > I 组 > II 组 > IV 组 > III 组, 巯基含量和菌落总数: I 组 > II 组 > V 组 > IV 组 > III 组。说明采用梯度降温的致死处理方式明显优于敲击头部致死和冰埋致死方式, 而梯度降温时的温差间隔不宜太大。综合各指标品质评价结果, III 组的致死方式最好, 较小的温差降温方式使石斑鱼死亡的过程应激反应小, 乳酸含量、pH 和总巯基相对稳定, 从而有利于贮藏过程的品质保持, 比其他 4 组更有效延缓质构特性和巯基含量的降低, 抑制微生物活性, 延长鱼样保鲜期。

关键词: 石斑鱼; 致死方式; 冷鲜; 品质

中图分类号: S 985; TS 254.4 **文献标志码:** A

鲜活海水鱼捕获后的“温度-时间履历”及宰杀方式对其品质和货架期具有较大程度的影响^[1-3]。石斑鱼 (*Epinephelus lanceolatus*) 是较为名贵的优质海水鱼类, 近年来随着养殖技术进步, 养殖产量快速增长, 跃居养殖海水鱼类第 3 位^[4], 目前市场上石斑鱼以鲜活销售和冷冻销售为主, 以冷鲜形式销售的极少, 且货架期一般仅有 2~3 d。如何增加冷鲜石斑鱼的货架期一直是石斑鱼销售市场上的一道难题^[5]。众所周知, 应激反应不仅对养殖鱼类的生长、繁殖和抗病力有影响, 而且对鱼类食用品质有较大的影响。通过减缓鱼类应激反应来提升品质和延长货架期是当前的研究热点。常用的鱼类致死方式主要有: 敲击头部、放血、低温致死、二氧化碳法、氮气法、电击晕法、窒息法等^[6-8]。通常鱼的应激反应越小, 鱼肉在后期加工贮藏时的品质越好。对于

鱼类致死方式的研究^[9-11], 国外大都集中在大西洋鲑鱼 (*Salmo salar*)^[12]、大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)^[13] 等海水鱼类, 国内在淡水鱼类方面研究较多, 如方静^[14] 和陈益弘等^[15] 分别对罗非鱼 (*Oreochromis sp.*) 和冷冻斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*) 进行 4 种不同致死方式处理, 得出敲头和冰水中放血的致死方式能得到更好的品质。施文正等^[16] 对养殖草鱼 (*Ctenopharygodon idella*) 挥发性成分影响的研究指出, 草鱼加工前抽血处理可以减少鱼肉的芳香族化合物含量。周娇娇等^[17] 对 4 种鳙鱼 (*Monopterus albus*) 致死方式的研究发现, 冰水搅拌宰杀组鳙鱼肌肉中腐胺、尸胺及总生物胺含量显著低于其他 3 组; 敲击头部致死和氮气致死对鲫 (*Carassius auratus*) 肌肉的弹性和凝聚性并没有显著差别^[18]。起始致死温度是指鱼类在低温胁迫环境中一段时间内有

收稿日期: 2022-01-28 修回日期: 2022-03-15

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-47); 国家重点研发计划 (2019YFD0901903); 国家自然科学基金 (32001733); 中国水产科学研究院基本科研业务费项目 (2020TD69)

作者简介: 吴燕燕 (1969—), 女, 研究员, 博导, 研究方向为水产品加工与质量安全控制。E-mail: wuyygd@163.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部 (CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

50% 的鱼类死亡时的温度^[19], 邵彦翔等^[20]发现云龙石斑鱼 (*Epinephelus moara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) 半致死温度为 8 °C, 珍珠龙胆石斑鱼 (*E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) 的半致死温度为 11 °C, 青龙石斑鱼 (*Epinephelus awoara*) 的半致死温度为 9.5 °C。也有研究^[21]表明, 在相同处理条件下, 冰水激死法的罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) 肉失水率更小, 能够有效保持感官品质和新鲜度。因此, 本实验主要研究不同致死条件对石斑鱼在 0~4 °C 贮藏过程品质的影响, 旨在分析比较冰埋致死、敲击头部、3 组不同梯度降温处理对石斑鱼鲜度品质和货架期的影响程度, 为冷链石斑鱼提供合适的致死条件, 提高石斑鱼品质和延长货架期。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验用鲜活珍珠龙胆石斑鱼 (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*) 购于广东省潮州市饶平县石斑鱼养殖场, 体质量为 600~800 g, 聚乙烯真空包装袋购于雄县旭日纸塑包装有限公司。

试剂: 氢氧化钠、三氯乙酸、硼酸、高氯酸、醋酸、三乙胺等均为分析纯, 苏木精-伊红染液分析纯购自广州化学试剂厂; 乳酸试剂盒、巯基试剂盒购自南京建成科技有限公司。

1.2 主要仪器设备

包括 3K30 台式高速冷冻离心机, 德国 SigmaSPX-320; 微冻机 RP1, 饶平县万佳水产有限公司; HWS24 型电热恒温水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司; MIR254 低温恒温培养箱, 日本 Sanyo 公司; IS128 实验室 pH 计, 上海仪迈仪器科技有限公司; Testo 735-2 专业型温度仪, 德国德图仪器公司; SPX-320 生化培养箱, 宁波江南仪器厂; Sunrise-basic Tacan 型酶标仪, 瑞士 TACAN 公司; SQ510C 立式压力蒸汽灭菌, 重庆雅马拓科技有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 鲜活石斑鱼的致死处理方法

将鲜活石斑鱼采用以下 5 种致死方式操作处理。I: 冰埋致死, 将活鱼放入碎冰中 20 min; II: 敲击头部致死; III: 活石斑鱼经温度梯度 18、14、10、6 °C 各处理 20 min 后致死; IV: 活石斑鱼

经温度梯度 18、12、6 °C 各处理 20 min 后致死; V: 活石斑鱼经温度梯度 18、6 °C, 各处理 20 min 后致死。

将致死后的石斑鱼去鱼鳃和内脏, 冲洗干净, 然后置于已杀菌样品袋中, 将上述 5 组石斑鱼置于微冻机内, 机内速冻液温度设置为 -40 °C^[22-23] 浸泡 0.5~1.5 min, 使鱼体中心温度迅速达到 0 °C, 然后置于 0~4 °C 保藏, 并做好标记。每隔 2 d 取鱼样进行检测, 进行各项指标测定, 每组样品设 3 个平行。

1.3.2 感官的测定

参照佟懿等^[24]方法略作修改, 感官评定小组由 10 位 (5 男 5 女) 接受过专业感官培训的人组成, 根据表 1 感官评定标准, 对样品品质特征打分, 最终结果以加权平均值表示。石斑鱼以气味、体表、眼球、腹部、鳃、肌肉组织为检验项目进行评分, 按照各项权重比例 (0.3、0.1、0.1、0.3、0.2) 计算最终得分, 6 分以上为新鲜, 低于 4 分视为不能食用, 最后, 以综合评分的平均值为综合感官评定结果。

1.3.3 石斑鱼质构特性测定

参照林婉玲等^[25]的方法, 将石斑鱼样品分别取鱼背肉, 切成 10 mm × 10 mm × 10 mm 规格, 采用质构仪, 用 P/5 平底圆柱形探头。测前、测中和测后的速度均为 30 mm/min, 50% 的压缩程度, 停留时间 5 s, 记录硬度、黏附性、内聚性、弹性、咀嚼性等数据, 采用质地多面剖析 (TPA) 法分析测定结果。

1.3.4 pH 测定

将石斑鱼样品分别取鱼背肉, 参照姜杨等^[26]的方法用 pH 计进行测定, 平行 3 次。

1.3.5 乳酸的测定方法

参考方静^[14]的方法, 将石斑鱼样品分别取鱼背肉 10 g, 加入 90 mL 的生理盐水, 冰浴条件下均质, 制成 10% 的组织匀浆, 4 °C 条件下, 2 500 r/min 离心 10 min。取上清液, 稀释 3 倍即为样品待测液。并用考马斯亮蓝法测定其蛋白浓度。具体测定过程参照乳酸试剂盒说明书进行, 每个样品重复 3 次。

1.3.6 巯基含量的测定方法

参照方静^[14]的方法, 将石斑鱼样品分别取鱼背肉 10 g, 加入 90 mL 的生理盐水, 冰浴条件下均质, 制成 10% 的组织匀浆, 4 °C 条件下, 3 500 r/

min 离心 10 min。取上清液待测。测定过程参照 巯基试剂盒说明书,每个样品重复 3 次。

表 1 石斑鱼感官评分表(分)
Tab.1 Sensory evaluation of grouper (score)

指标 Index	非常好 Best (9~10)	较好 Better (7~8)	一般好 Generally good (5~6)	较差 Poor (3~4)	最差 Worst (0~2)
气味 Odor	无异味,固有气味浓郁	无异味,固有气味较淡	无异味,固有气味丧失转腥味	有发酸气味,略有腐败的鱼腥臭味	浓烈酸臭味,有腐败的鱼腥臭味
体表 Body surface	黏液稀薄透明;鳞片有光泽,紧贴鱼体,不易脱落	黏液增多;鳞片光泽暗淡,少部分鳞片脱落	黏液增多;鳞片光泽略灰暗,少部分鳞片脱落	黏液浓稠,有异味;鳞片微微发白,易脱落	黏液变稀薄但严重浑浊;鳞片大面积脱落
眼球 Eyes	眼球饱满,角膜透明清澈	眼球饱满眼角膜略浑	眼球饱满,角膜浑浊	角膜浑浊起皱	眼球内陷,浑浊,充血
腹部 Belly	腹部紧致	腹部略紧不膨胀	腹部柔软	腹部松软有点膨胀	严重膨胀变软
鱼鳃 Fish gills	鳃丝鲜红且分明,黏液稀薄透明	鳃丝红褐色,无黏连;黏液透明较稀	鳃丝红褐色偏暗,略有黏连;黏液变稠变化浑浊	鳃丝呈灰褐色粘连严重,黏液较稠	鳃丝呈粉褐色,灰白,浑浊
肌肉 Fish muscle	有光泽,弹性好,肉质紧致、致密完整、纹理清晰	色泽正常,有弹性,肉质紧密、纹理较清晰	色泽偏暗,弹性较差,肉质稍有松软、不紧实,纹理较清晰	色泽偏暗无弹性,肉质带糜感,按压有液体流出,纹理可见	色泽偏黄,无弹性,肉质松软、有黄色液体流出

1.3.7 菌落总数的测定方法

参照 GB 4789.2—2016^[27] 食品微生物检测方法。细菌总数:平板计数琼脂,30℃培养 48 h;细菌总数测定取样:随机取石斑鱼鱼样后在无菌超净台内采肉,采用靠近鱼背部肌肉进行测定。

1.3.8 挥发性盐基氮(TVB-N)的测定方法

参照文献[5]方法测定。

1.3.9 数据处理

数据结果采用软件 SPSS 12.0 和 Origin 8.6 进行处理,结果采用平均值±标准差形式表示。不同处理间的比较采用最小显著差异法(Least significant difference, LSD),显著水平取 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同致死处理对石斑鱼感官品质的影响

5 种致死处理方式的石斑鱼感官评分变化如图 1 所示,在 0~4℃ 贮藏过程中,5 组鱼样感官评分均与贮藏时间成反比,不断下降。从图 1 中可看出,第 I 组、V 组的感官评分随贮藏时间的延长而迅速下降,而第 III 组和第 IV 的感官评分随贮藏时间延长下降较为缓慢,第 II 组在贮藏的前 4 天感官评分变化不明显,在第 6 天感官评分下降了 15.28%,但在第 6~10 天时感官评分值变化又不明显,在第 12 天快速下降 41.99%,波动比较明显。从感官评价结果可见,5 种致死方式对石斑鱼在贮藏过程中感官评价的影响由大到

小依次是:V 组 > I 组 > II 组 > IV 组 > III 组。所以 III 组的致死方式有利于保持石斑鱼在贮藏过程中的感官品质。而 I 组和 V 组由于石斑鱼在致死过程的温差较大,所以影响石斑鱼在贮藏过程中的鱼肉感官品质;II 组由于石斑鱼直接敲击致死,鱼体没有经过梯度降温,所以也影响其在贮藏过程中的感官品质。

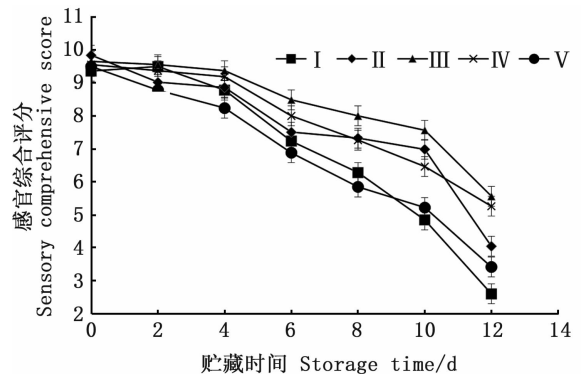


图 1 贮藏期间石斑鱼感官评分变化
Fig.1 Changes of sensory score of grouper during storage

2.2 不同致死处理对石斑鱼质构的影响

贮藏期间石斑鱼不同处理组的内凝聚性和弹性变化如图 2(a) 和图 2(b) 所示,在整个贮藏过程中这 2 个指标的变化趋势并不明显。贮藏期间 5 组鱼样的内聚性均在 0.50 至 0.57 之间波动变化,弹性则是在 2.0 至 2.7 之间。组别之间

差异不显著($P > 0.05$),说明致死方式对0~4℃贮藏过程中石斑鱼肉的弹性和内聚性无显著影响。

贮藏期间石斑鱼5组处理组鱼肉的硬度和咀嚼性变化如图2(c)和图2(d)所示,鱼肉的硬度和咀嚼性均随着贮藏时间的延长而逐渐降低,且两指标变化趋势相似。鱼死后会出现僵硬过程,通常僵硬阶段时间越长越好,从不同致死方式可以看出,致死后鱼的硬度值有差别,I组最高,其次是Ⅲ组,而V组、Ⅱ组和Ⅳ组初始硬度值($P > 0.05$)相近,说明致死方式影响鱼的死后僵硬,I组是冰埋,所以鱼在低温下致死,这种方式使得鱼很快进入僵硬期,并在贮藏前2天保持较好的鱼肉硬度,Ⅲ组均匀的梯度降温对于鱼能保持在温和条件下致死,减少应激反应,从而有利于僵硬阶段的保持。而Ⅳ组、V组的梯度降温间隔较大,所以对鱼有一定的应激反应,Ⅱ组则是敲击头部致死也同样使鱼在死前有挣扎等应激反应,所以对于鱼在冷藏过程的僵硬期的保持均有影响,明显缩短僵硬期,较快进入解僵阶段。

贮藏前6天,第I组、Ⅲ组的弹性和咀嚼性显著高于其他3组($P < 0.05$),且随贮藏时间的延长下降迅速,另外3组的弹性和咀嚼性下降则较为缓慢,且此期间Ⅱ、Ⅳ和V组硬度和咀嚼性数值相近似($P > 0.05$)。到第6天,第I组、Ⅲ组、Ⅱ组、Ⅳ组和V组鱼样硬度分别下降了54.70%、46.25%、33.13%、35.88%、45.81%;咀嚼性分别下降了44.03%、54.07%、36.15%、18.75%、31.15%。贮藏第6天之后5组鱼样组别间硬度和咀嚼性值无显著差异,说明该阶段鱼样的硬度和咀嚼性变化趋于稳定,不同的处理方式无显著影响($P > 0.05$)。从硬度和咀嚼性结果可见,5种致死方式对石斑鱼在贮藏过程的硬度影响由大到小依次是:Ⅱ组 > Ⅳ组 > V组 > Ⅲ组 > I组,对咀嚼性影响由大到小依次是:Ⅳ组 > V组 > Ⅱ组 > I组 > Ⅲ组,说明Ⅲ组和I组的致死方式对鱼肉硬度和咀嚼性影响相近似,在贮藏期间优于其他3组,短期内有利于保持石斑鱼在贮藏过程中的硬度和咀嚼品质。

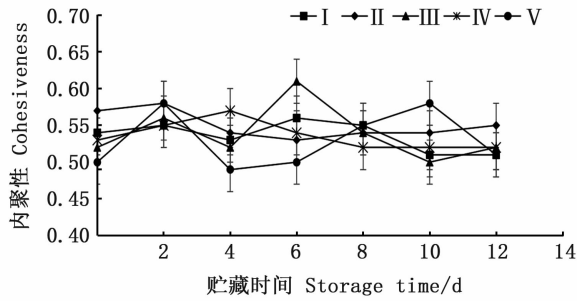
贮藏期间石斑鱼5组处理组鱼样的黏性变化如图2(e)所示,随着贮藏时间延长各组鱼肉黏性下降,虽然第Ⅱ组和V组的黏性下降缓慢,但

其黏性值均保持在较低阈值,而第I组和第Ⅳ组的黏性值虽然下降迅速但普遍高于Ⅱ组和V组,第Ⅲ组在贮藏的前4天黏性值下降显著($P < 0.05$),快速下降了51.16%,第4天到第8天黏性变化不明显,但第8天开始有所下降,到第12天下降了29.5%,波动比较明显。从黏性变化结果可见,I组的致死方式效果略优于Ⅲ组,I组和Ⅲ组均优于其他3组。

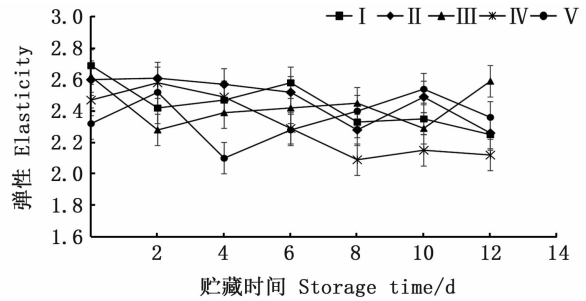
综上分析结果,可见Ⅲ组致死方式更有利于维持鱼肉较好的质构。

2.3 不同致死处理对石斑鱼肉 pH 的影响

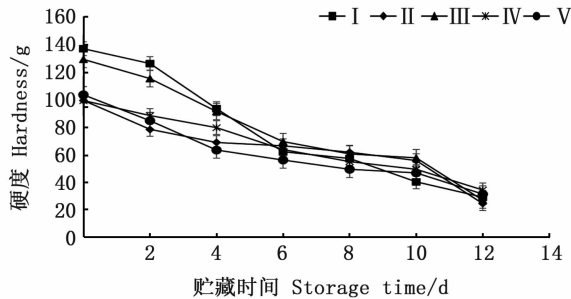
鱼体宰杀后肌肉中的糖元继续进行代谢,使乳酸积累,同时消耗ATP并伴随产生 H^+ ,导致pH降低^[28]。5种不同致死处理的石斑鱼样pH测定结果如图3所示,贮藏期内5组鱼肉pH的变化趋势都是先降低后升高,均在第6天pH下降至最低,第10~12天之间pH变化趋于稳定。通常死前的应激反应越剧烈其pH下降越快^[15],因为鱼死时如果挣扎剧烈,其肌肉收缩程度加剧,鱼肉中孔隙增加,鱼死后僵直较早开始且解僵较快,肌肉中糖原较快酵解,乳酸很快积累使得pH降低。贮藏起始阶段(0d),I、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和V组的pH分别为7.04、7.13、7.15、7.09和7.06,5组间的差异性不显著($P > 0.05$),在贮藏第6天时pH均达到最低值,其下降速率由大到小为Ⅱ组(0.087) > I组(0.075) > V组(0.072) > Ⅳ组(0.068) > Ⅲ组(0.058)。说明敲击和冰埋致死方式使石斑鱼产生强烈的应激反应,在死亡过程中长时间挣扎导致糖原的厌氧代谢加快^[15]。而梯度降温致死鱼的应激反应较弱,以Ⅲ组的致死方式表现最佳,说明梯度降温过程温差梯度适宜能使石斑鱼的应激反应小,更利于鱼肉品质的保持,不易劣变。贮藏第6天后鱼肉pH开始上升,这是因为贮藏中后期鱼的鲜度下降,鱼肉中微生物和酶活性增强,分解鱼肉蛋白,产生碱性物质,而乳酸也开始下降,从而使得pH升高^[28],到第10天5组鱼样中pH分别升高了7.45%、7.11%、5.00%、4.94%、4.83%。综合可见,5种致死方式对石斑鱼在贮藏过程中的pH影响由大到小依次是:V组 > I组 > Ⅱ组 > Ⅳ组 > Ⅲ组。



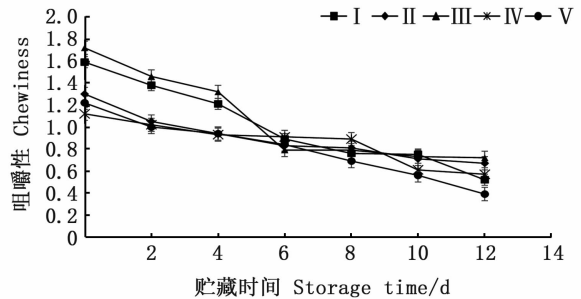
(a) 不同致死处理的石斑鱼在贮藏期间内聚性的变化
Changes of cohesion of grouper treated with different lethal methods during storage



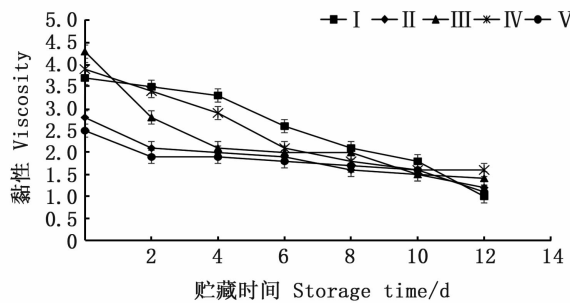
(b) 不同致死处理的石斑鱼在贮藏期间弹性的变化
Changes of elasticity of grouper treated with different lethal methods during storage



(c) 不同致死处理的石斑鱼在贮藏期间硬度的变化
Changes of hardness of grouper treated with different lethal methods during storage



(d) 不同致死处理的石斑鱼在贮藏期间咀嚼性的变化
Changes of chewiness of grouper treated with different lethal methods during storage



(e) 不同致死处理的石斑鱼在贮藏期间黏性的变化
Changes of viscosity of grouper treated with different lethal methods during storage

图 2 不同致死处理的石斑鱼贮藏期间质构变化

Fig. 2 Texture changes of different lethal methods treated groupers during storage

2.4 不同致死处理对石斑鱼乳酸的影响

不同致死方式对石斑鱼冷藏期间乳酸含量的影响如图 4 所示。鱼肉中的乳酸含量在冷藏前期随时间的延长不断积累,当增长到峰值后又开始下降,并在第 8 天之后变化较为平缓 ($P > 0.05$),这也说明鱼死后无氧呼吸导致糖元转化形成乳酸,但在贮藏中后期鱼肉中微生物和酶共同作用导致肌肉蛋白降解,碱性物质如生物胺、吲哚等产生,从而使乳酸慢慢减少,因此乳酸和核苷酸的含量能显著影响鱼肉 pH,是鱼肉 pH 下降的主要原因^[28]。由图 4 可见不同致死方式的

石斑鱼肉中乳酸增长的速率不同,5 组处理方式鱼肉在贮藏初始(0 d)时的乳酸含量除第 I 组为 0.615 mmol/g prot,其他几组分别为 0.404 ~ 0.500 mmol/g prot ($P > 0.05$),差异性不显著, I 组的乳酸含量显著高于其他组 ($P < 0.05$), III 组含量最小, II 和 V 组无显著差异 ($P > 0.05$)。第 I 和 V 组在第 4 天达到最高,分别为 0.967 和 0.980 mmol/g prot,这也进一步说明了图 3 中第 I 和 V 组在第 4 天 pH 比其他 3 组低的原因。而第 II、III、IV 组的乳酸含量分别在第 6 天达到峰值,依次为 0.981、0.886、0.948 mmol/g prot ($P >$

0.05),也与第 I 和 V 组 0.841、0.763 mmol/g prot 相近($P > 0.05$),与 pH 的变化趋势一致。5 组鱼样到达峰值的速率由大到小依次为 V 组 > I 组 > IV 组 > II 组 > III 组,在贮藏期间 III 组乳酸含量均比其他 4 组要低,与 pH 的结果变化相一致,说明缓慢的梯度降温有利于维持石斑鱼贮藏期间的乳酸含量的稳定性,总体来说,5 组致死处理方式对乳酸含量的变化影响由大到小依次是: V 组 > I 组 > II 组 > IV 组 > III 组,与 pH 变化相一致。所以 III 组的致死方式有利于减少石斑鱼的应激反应从而减缓石斑鱼在贮藏过程乳酸含量的波动。这一研究结果与 ACERETE 等^[29]研究发现宰前应激反应激烈的鲈鱼血液中的乳酸含量显著高于无应激反应的结论相一致。

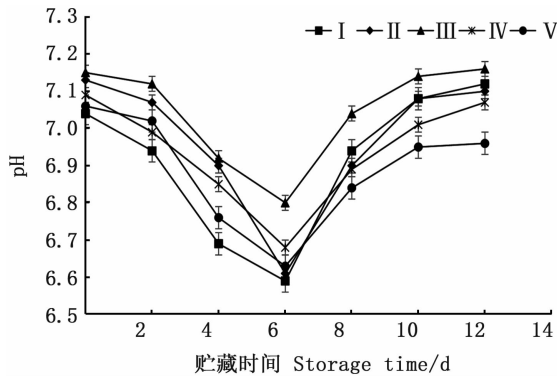


图3 不同致死处理的石斑鱼贮藏期间 pH 的变化
Fig. 3 pH changes of different lethal treated groups during storage

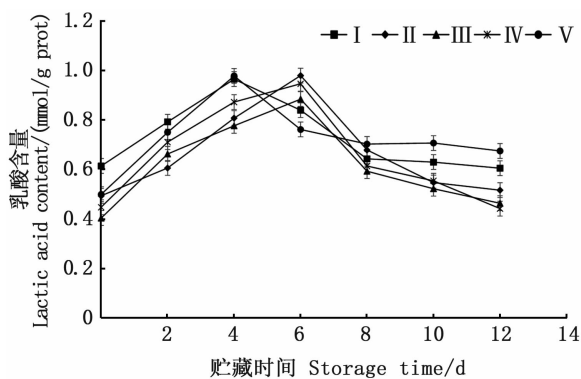


图4 不同致死处理的石斑鱼贮藏期间乳酸含量的变化
Fig. 4 Changes of lactic acid content by different lethal treatments of grouper during storage

2.5 不同致死处理对石斑鱼总巯基的影响

总巯基的变化可以反映蛋白质的变性程度,

如图5所示不同致死方式的石斑鱼肉在贮藏期间巯基含量均呈显著下降的趋势。III组在贮藏期间的巯基含量均高于其他4组,说明III组处理方式能更好保持鱼肉鲜度,鱼肉裂变速率更缓慢,这与感官评价结果一致。在冷藏前4天,除第V组外,其他4组鱼样巯基含量均为显著地快速下降,而在冷藏第6~12天期间5组鱼样下降速率减缓,第II组和第V组鱼样巯基含量差异不显著($P > 0.05$),第III组鱼样则明显大于其他4组($P < 0.05$),而第I组则明显低于其他4组($P < 0.05$)。不同致死处理的石斑鱼肉在贮藏第12天时巯基含量分别降低了58.80%、57.45%、52.08%、49.95%、52.58%,5种致死处理方式对巯基变化的影响由大到小依次为I组 > II组 > V组 > IV组 > III组,V组和II组相近。可见III组的致死方式较为温和,使石斑鱼死前未有不适宜的应激反应,从而有利于缓解贮藏过程巯基含量的下降,有助于维持蛋白稳定性和鲜度。本研究结果与黄晓春等^[30]对冰藏过程中美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)的巯基变化研究结论相似,但也有研究认为在贮藏期间巯基含量会呈现先上升后下降的趋势^[31]。贮藏期间温度越低巯基含量变化越不明显,这是因为低温能保持巯基的稳定性减缓巯基氧化为二硫键的速率^[32]。有研究认为巯基含量的减少由肌动球蛋白头部结构的改变引起,随着贮藏时间延长含巯基基团的活性区域逐渐暴露,巯基氧化成为二硫键,肌球蛋白空间结构的改变也会引起巯基含量的下降。

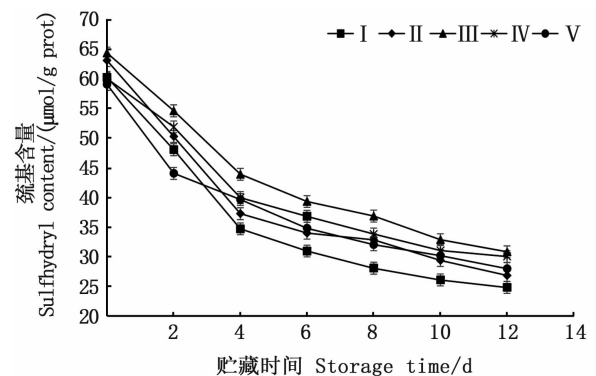


图5 不同致死处理的石斑鱼贮藏期间总巯基含量的变化
Fig. 5 Changes of total sulfhydryl content by different lethal treatments of grouper during storage

2.6 不同致死处理对石斑鱼挥发性盐基氮的影响

由图6可知,5种不同致死方式对石斑鱼在

贮藏期间的 TVB-N 值影响显著,均随贮藏时间延长而增加($P < 0.05$)。石斑鱼在冷藏期间蛋白质逐渐分解产生氨和胺类等含氮挥发性物质^[5],鱼肉逐渐呈现腐败变质现象。5 种致死方式在初始的 TVB-N 值没有显著差异($P > 0.05$),在贮藏前 4 天的 TVB-N 值变化较为缓慢,说明冷藏可以有效抑制微生物和酶对蛋白质的分解。在整个冷藏期间,致死方式对 TVB-N 影响由大到小依次为 V 组 > I 组 > II 组 > IV 组 > III 组。这个结果与感官评价的结果相一致,跟质构特性、乳酸、pH 和总硫基含量的总体影响趋势相近,说明 III 组采用温和的梯度降温致死方式对石斑鱼影响最小,石斑鱼一直处于合适的低温环境中,有利于保持鲜度,减少微生物污染和抑制酶活性,所以在冷藏过程中 TVB-N 值上升较为缓慢。V 组、I 组是鱼体在较高温度下突然进入较低的温度,石斑鱼死前产生应激反应较为明显,从而激活了肌体内源酶,在后期冷藏过程蛋白质较快降解,从而使 TVB-N 变化较快。II 组是敲击头部致死,同样使石斑鱼在死前产生较大的应激反应,从而使冷藏后期 TVB-N 变化较快。由于不同致死方式都是在低温环境下进行,所以本研究 5 组不同致死方式在冷藏过程的 TVB-N 值均在国家标准 GB/T 18108—2019《鲜海水鱼通则》^[33]要求的 ≤ 30 mg/100 g 范围内,而且在冷藏第 6 天各组均达到优品 (≤ 15 mg/100 g),III 组则在第 10 天仍 ≤ 15 mg/100 g,说明温和的梯度降温致死石斑鱼是比较好的方法。

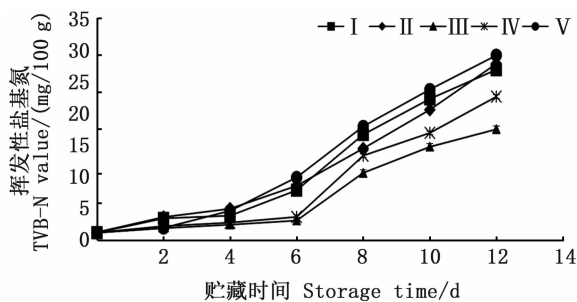


图 6 不同致死处理的石斑鱼贮藏期间 TVB-N 的变化

Fig. 6 Changes in the TVB-N value during the storage of different lethal treated groupers

2.7 不同致死处理对石斑鱼菌落总数的影响

菌落总数能直观反映微生物污染的程度,是

评价鱼肉腐败程度的重要指标,可以精确预测食品原料的货架寿命^[34]。5 种致死方式对石斑鱼菌落总数的影响如图 7 所示,在贮藏起始(0 d)时 I 组的菌落总数最少,II 组的菌落总数则高于其他 4 组,但 5 种宰杀方式之间无明显差异($P > 0.05$)。贮藏前 2 天 5 组不同致死方式的菌落总数变化不明显,但在冷藏第 4 ~ 12 天期间 I 组的菌落总数均显著高于其他 4 组($P < 0.05$);III 组冷藏期间微生物增长平缓,菌落总数均低于其他 4 组。冷藏的前 4 天,第 III、IV 和 V 组的菌落总数相近,无显著性差异($P > 0.05$),第 II 组的菌落总数则明显大于其他 4 组,可能是由于致死过程鱼体挣扎,应激较明显且体温较高,导致微生物开始生长繁殖;第 6 ~ 12 天第 II、IV 和 V 组菌落总数增长趋势基本相似。第 I、II、V 组的菌落总数分别在贮藏 2 天后迅速增加,其中 I 组菌落总数在第 2 天后增加最快,说明碎冰致死过程,可能鱼在碎冰中有挣扎,体温较高体表也附着了冰水中的微生物,所以在贮藏过程微生物生长较快;III 组鱼样的菌落总数显著低于其他 4 组($P < 0.05$),这与 FU 等^[35]的研究结果相似。虽然 5 种处理方式的石斑鱼都是随着贮藏时间的延长而菌落总数增加,但总体来说,菌落总数的变化由大到小依次是: I 组 > II 组 > V 组 > IV 组 > III 组。所以 III 组的致死方式有利于抑制石斑鱼在贮藏过程的微生物生长,这与 TVB-N、感官评价、pH、乳酸等结果是一致的。

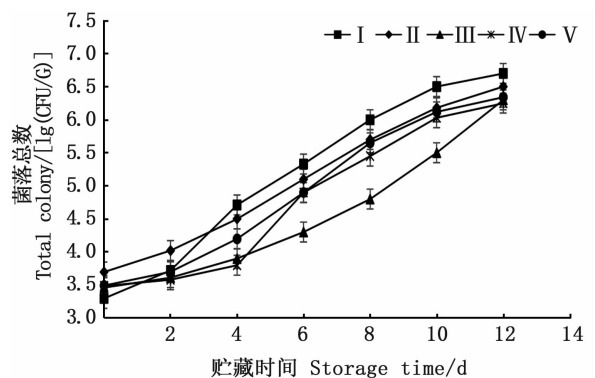


图 7 不同致死处理的石斑鱼贮藏期间菌落总数的变化

Fig. 7 Changes in the total number of colonies during the storage of different lethal treated groupers

3 结论

本文研究了不同致死方式对0~4℃贮藏期间石斑鱼肉的品质变化的影响。发现不同的致死方式显著影响石斑鱼冷鲜贮藏期间的感官评价、质构特性、pH、乳酸含量、巯基含量、挥发性盐基氮以及菌落总数变化。其中采用梯度降温的致死处理方式明显优于敲击头部致死和冰埋致死方式,但梯度降温过程的温度间隔也不宜太大,以第Ⅲ组的缓慢梯度降温模式对石斑鱼产生的应激反应最小,最有利于保持石斑鱼在0~4℃贮藏过程品质的保持,较其他各组能更有效延缓质构特性和巯基含量的降低,减缓TVB-N和乳酸上升,抑制微生物生长,延长冷鲜石斑鱼保鲜期。该研究为石斑鱼的保鲜和加工提供技术和理论支撑。

参考文献:

- [1] 李娜, 赵永强, 李来好, 等. 冰藏过程中罗非鱼鱼片肌肉蛋白质变化[J]. 南方水产科学, 2016, 12(2): 88-94.
LI N, ZHAO Y Q, LI L H, et al. Change of muscle proteins in Nile tilapia fillets during iced storage[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(2): 88-94.
- [2] 刁玉段, 张晶晶, 史珊珊, 等. 致死方式对草鱼肉挥发性成分和脂肪氧合酶活性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 64-70.
DIAO Y D, ZHANG J J, SHI S S, et al. Effect of different slaughter methods on volatile compounds and lipoygenase activity of grass carp meat [J]. Food Science, 2016, 37(18): 64-70.
- [3] 陈剑岚, 邵琳雅, 施文正, 等. 不同宰杀方式对草鱼肉呈味水溶性成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 27-31.
CHEN J L, SHAO L Y, SHI W Z, et al. Effect of different slaughter methods on water-soluble flavor components in grass carp meat[J]. Food Science, 2016, 37(17): 27-31.
- [4] 张涛, 吴燕燕, 林婉玲. 石斑鱼的营养、保鲜与加工技术现状[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 324-329, 334
ZHANG T, WU Y Y, LIN W L. Status of nutrition, preservation and processing technology of grouper (*Epinephelus*) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(8): 324-329, 334.
- [5] 吴燕燕, 张涛, 李来好, 等. 不冻液处理对石斑鱼在常温物流过程中的品质和货架期的影响[J]. 水产学报, 2019, 43(12): 2574-2583.
WU Y Y, ZHANG T, LI L H, et al. Effects of unfrozen liquid treatment on the quality and shelf life of grouper in normal temperature direct-sale logistics course[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(12): 2574-2583.
- [6] 黄卉, 郑陆红, 李来好, 等. 不同预冷温度对鲈鱼冰藏期间质构和色差的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 302-308.
HUANG H, ZHENG L H, LI L H, et al. Effects of different precooling temperature on texture and color of *Micropterus salmoides* during ice storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(24): 302-308.
- [7] 李学英, 迟海, 杨宪时, 等. 预冷却温度对冰藏大黄鱼品质变化的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 28(5): 486-489, 587.
LI X Y, CHI H, YANG X S, et al. Effect of pre-chilling temperatures on quality changes of *Pseudosciaena crocea* during ice storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(5): 486-489, 587.
- [8] MØRKØRE T, PABLO I M, TAHIROVIC V, et al. Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. Aquaculture, 2008, 277(3/4): 231-238.
- [9] HULTMANN L, PHU T M, TOBIASSEN T, et al. Effects of pre-slaughter stress on proteolytic enzyme activities and muscle quality of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua*) [J]. Food Chemistry, 2012, 134(3): 1399-1408.
- [10] ROTH B, SLINDE E, ARILDSEN J. Pre or post mortem muscle activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*). The effect on rigor mortis and the physical properties of flesh [J]. Aquaculture, 2006, 257(1/4): 504-510.
- [11] STIEN L H, HIRNAS E, BJØRNEVIK M, et al. The effects of stress and storage temperature on the colour and texture of pre-rigor filleted farmed cod (*Gadus morhua* L.) [J]. Aquaculture Research, 2010, 36(12): 1197-1206.
- [12] DURAN A, ERDEMLI U, KARAKAYA M, et al. Effects of slaughter methods on physical, biochemical and microbiological quality of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and mirror carp *Cyprinus carpio* filleted in pre-, in- or post-rigor periods [J]. Fisheries Science, 2010, 74(5): 1146-1156.
- [13] 牛宝卫, 任艳, 栾东磊, 等. 不同宰杀方式对大菱鲆保鲜的影响[J]. 渔业现代化, 2008, 35(3): 38-41.
NIU B W, REN Y, LUAN D L, et al. Effects of killing methods on fresh quality of turbot [J]. Fishery Modernization, 2008, 35(3): 38-41.
- [14] 方静. 不同致死方式对罗非鱼生化特性的影响及其机理[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
FANG J. Effect and mechanism of different slaughter methods to change of biochemical property of *Tilapia* muscle [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [15] 陈益弘, 许艳顺, 姜启兴, 等. 宰杀方式对冷冻斑点叉尾鲴品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 218-222, 131.
CHEN A H, XU Y S, JIANG Q X, et al. Effect of slaughter methods on quality of frozen channel catfish fillets [J].

- Modern Food Science and Technology, 2015, 31(9): 218-222, 131.
- [16] 施文正, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 致死方式对养殖草鱼肉质挥发性成分的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(3): 456-465. SHI W Z, WANG X C, TAO N P, et al. Effects of different slaughter measures on the volatile compounds of grass carp meat[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(3): 456-465.
- [17] 周娇娇, 郭丹婧, 尤娟, 等. 不同致死方式对鳙鱼肌肉鲜度及生物胺含量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(6): 129-135. ZHOU J J, GUO D J, YOU J, et al. Effects of different slaughter methods on freshness and biogenic amines of *Monopterus albus* muscle [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2016, 35(6): 129-135.
- [18] 王彦波, 沈晓琴, 李学鹏, 等. 不同宰杀方式对鲫鱼肌肉质构和蛋白质组的影响[J]. 中国食品学报, 2010, 10(6): 145-149. WANG Y B, SHEN X Q, LI X P, et al. Muscle texture and proteome of *Allogynogenetic crucian* carp slaughtered by different methods [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10(6): 145-149.
- [19] 谢妙. 低温胁迫对斜带石斑鱼生理、生化、脂肪酸的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012. XIE M. Effects of low temperature stress on physiology, biochemical and fatty acid of *Epinephelus clivoides* [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012.
- [20] 邵彦翔, 陈超, 李炎璐, 等. 低温胁迫对云纹石斑鱼(♀)× 鞍带石斑鱼(♂)杂交后代血清生化指标的影响[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(2): 70-76. SHAO Y X, CHEN C, LI Y L, et al. Effects of low temperature stress on serum biochemical indices of the juvenile hybrid of *Epinephelus moara* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂ [J]. Progress in Fishery Sciences, 2017, 38(2): 70-76.
- [21] 杨光, 郭娟, 林向东. 不同致死方法和微冻处理对罗非鱼保鲜特性的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 278-281. YANG G, GUO J, LIN X D. Effects of different lethal methods and partial freezing treatment on fresh-keeping properties of tilapia[J]. Food Science, 2009, 30(16): 278-281.
- [22] 张涛, 吴燕燕, 李来好, 等. 响应面法优化水产品液体速冻用的载冷剂配比[J]. 南方水产科学, 2019, 15(5): 99-108. ZHANG T, WU Y Y, LI L H, et al. Optimization of ratio of refrigerants for quick liquid freezing of aquatic product by response surface methodology [J]. South China Fisheries Science, 2019, 15(5): 99-108.
- [23] WANG Y Q, ZHANG T, CHEN Q, et al. Effects of immersion freezing with coolant on the quality of grouper (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*) during frozen storage [J]. CyTA-Journal of Food, 2021, 19(1): 634-644.
- [24] 佟懿, 谢晶. 鲜带鱼不同贮藏温度的货架期预测模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 301-305. TONG Y, XIE J. Prediction model for the shelf-life of *Trichiurus haumela* stored at different temperatures [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6): 301-305.
- [25] 林婉玲, 杨贤庆, 宋莹, 等. 浸渍冻结对调理草鱼块冻藏过程中品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 80-87. LIN W L, YANG X Q, SONG Y, et al. The Effects of Immersion chilling and freezing on prepared grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillet quality during the freezing process [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(10): 80-87.
- [26] 姜杨, 李婷婷, 晋高伟, 等. 草鱼冷藏过程中新鲜度的综合评价[J]. 食品科学, 2014, 35(20): 281-285. JIANG Y, LI T T, JIN G W, et al. Comprehensive freshness evaluation of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) during refrigerated storage [J]. Food Science, 2014, 35(20): 281-285.
- [27] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 4789.2—2016 食品微生物学检验 菌落总数测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-5. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. GB 4789.2-2016 National food safety standard food microbiological examination: aerobic plate count [S]. Beijing: China Standard Press, 2017: 1-5.
- [28] SAIEAEW R, SUPPAKUL P, BOONSUPTHIP W, et al. Development and characterization of poly (lactic acid)/fish water soluble protein composite sheets: A potential approach for biodegradable packaging [J]. Energy Procedia, 2014, 56: 280-288.
- [29] ACERETE L, REIG L, ALVAREZ D, et al. Comparison of two stunning/slaughtering methods on stress response and quality indicators of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 2009, 287(1/2): 139-144.
- [30] 黄晓春, 侯温甫, 杨文鸽, 等. 冰藏过程中美国红鱼生化特性的变化[J]. 食品科学, 2007, 28(1): 337-340. HUANG X C, HOU W F, YANG W G, et al. Study on changes of biochemical properties of *Sciaenops ocellatus* during frozen storage [J]. Food Science, 2007, 28(1): 337-340.
- [31] 侯温甫, 薛长湖, 杨文鸽, 等. 低温速冻处理对鲷鱼冻藏生化特性的影响[J]. 渔业科学进展, 2006, 27(3): 73-77. HOU W F, XU C H, YANG W G, et al. The effect of sharp freezing on the biochemical properties of *Mugil cephalus* during frozen storage [J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27(3): 73-77.

- [32] 曾名勇, 黄海, 李八方. 不同冻藏温度对鲈鱼肌肉蛋白质生化特性的影响[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(4): 525-530.
ZENG M Y, HUANG H, LI B F. Effect of frozen storage temperature on the changes of biochemical properties of *Lateolabrax japonicus* muscle protein[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(4): 525-530.
- [33] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 18108—2019 鲜海水鱼通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019: 1-7.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of China. GB/T 18108-2019 General rules of fresh marine fish[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019: 1-7.
- [34] BAIXAS-NOGUERAS S, BOVER-CID S, VECIANA-NOGUES M T, et al. Effect of gutting on microbial loads, sensory properties, and volatile and biogenic amine contents of European hake (*Merluccius merluccius* var. *mediterraneus*) stored in ice[J]. Journal of Food Protection, 2009, 72(8): 1671-1676.
- [35] FU L L, CHEN X J, WANG Y B. Quality evaluation of farmed whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, treated with different slaughter processing by infrared spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2014, 151: 306-310.

Effects of different lethal conditions on meat quality of chilled grouper

WU Yanyan¹, WANG Yueqi¹, ZHANG Tao^{1,2}, WANG Di¹, ZHENG Zhenxiong³

(1. Key Lab of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, Guangdong, China; 2. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Raoping Wanjia Aquiculture Production Co., Ltd. Chaozhou 521000, Guangdong, China)

Abstract: To further clarify the effect of lethal conditions on the quality of grouper (*Epinephelus lanceolatus*) and to improve the quality of grouper during refrigeration, five different lethal methods were used to treat grouper, with the following groups: I: lethal by ice burial; II: lethal by knocking on the head; III: lethal by subjecting live grouper to temperature gradients of 18, 14, 10 and 6 °C (each temperature treatment for 20 min); IV: lethal by subjecting live grouper to temperature gradients of 18, 12 and 6 °C (20 min at each temperature); V: lethal by subjecting live grouper to temperature gradients of 18, 6 °C (20 min at each temperature). The grouper was then rapidly reduced to 0 °C in the centre of the fish body by micro-freezing machine and refrigerated at 0 - 4 °C. The effects of changes in the sensory evaluation, textural characteristics, pH, lactic acid content, sulfhydryl content, volatile salt nitrogen (TVB-N), total bacterial colony count and other quality evaluation indicators of the fish during the freezing period were subsequently measured and analyzed. The results showed that the five groups of lethal treatments had significant effects on the quality of fish meat during refrigeration, in descending order: sensory evaluation and TVB-N: group V > group I > group II > group IV > group III, texture: group IV > group V > group II > group I > group III, lactic acid content and pH: group V > group I > group II > group IV > group III, sulfhydryl content and total bacterial colony: group I > group II > group V > group IV > group III. > group IV > group III. This indicated that the lethal treatment by gradient cooling was significantly better than the lethal treatment by head knocking and ice burying, and the temperature difference interval in gradient cooling should not be too wide. The results of the quality evaluation of all the indicators showed that group III had the best lethal treatment, as the narrower temperature range made the process of grouper death less stressful, and the lactic acid content, pH and total sulfhydryl group were relatively stable, which was more effective than the other four groups in delaying the reduction of textural characteristics and sulfhydryl group content and inhibiting microbial activity, thus prolonging the shelf life of the fish samples.

Key words: grouper; lethal method; chilled; quality