



## 致死胁迫对许氏平鲈锁鲜效果的影响

赵前, 刘俊荣\*, 周进, 曲秦坤, 刘悦朋, 田元勇, 徐晔焯

(大连海洋大学食品科学与工程学院, 辽宁大连 116023)

**摘要:** 为通过产品设计改变许氏平鲈现有的初级农产品销售模式, 从品质上限到锁鲜效应两方面开展探索。本研究从致死胁迫强度探索许氏平鲈的极限品质, 包括最低胁迫下的品质上限, 疲劳致死下的品质下限, 并对比市售产品品质状况。然后, 通过品质易逝期处置, 探讨高端许氏平鲈冷鲜品的锁鲜效应。健康活体按致死胁迫程度分3个处理组, 分别为最低胁迫-破坏脊髓(SCD)、低胁迫-断髓致死(SCC)和高胁迫-窒息致死(SA), 市售产品则分别来自超市(SM)及鱼市(FM)。锁鲜措施为速杀后立即冷却鱼体至0℃左右, 鲜品贮藏条件为2℃冷藏。从僵直指数、肌肉收缩率、断裂强度分析许氏平鲈死后僵直特性。从白度值、pH值、ATP及其关联物和显微结构等指标分析肌肉品质及其冷藏稳定性。结果显示: ①最低胁迫下, 许氏平鲈死后24h才达到最大僵直且持续24h, 高胁迫组则在6h后僵直指数就已达到90%, 48h后彻底解僵; 肌肉收缩率与僵直指数相关, 高胁迫下, 肌肉在贮藏期间没有收缩迹象, 而最低胁迫下的肌肉在最大僵直发生前快速收缩。冷藏期间肌肉断裂强度均呈下降趋势, 而最低胁迫组显著延缓。②最低胁迫有较高的初始ATP值, 为2.83 μmol/g, 最低pH值为6.58; 低胁迫下, 死后6h ATP值为0.94 μmol/g, 最低pH值为6.56; 高胁迫下, 死后6h ATP值为0.50 μmol/g, 最低pH值为6.54。③延迟效应的表现, 冷藏过程中白度稳定无变化, 肌肉纤维逐渐降解, 肌肉细胞间隙扩大, 但最低胁迫组可有效减缓上述趋势。④销售端品质现状的表现, 鲜品品质分析结果表明, 超市组与低胁迫组死后6h品质相似, 鱼市组与高胁迫组死后120h的品质相似。研究表明, 市售初级农产品许氏平鲈品质良莠不齐, 通过锁鲜处置施加产品设计, 不仅有效延长冷鲜货架期, 且满足消费者对高品质的需求。

**关键词:** 许氏平鲈; 致死胁迫; 脊髓破坏; 锁鲜; 延迟效应

**中图分类号:** TS 254.4

**文献标志码:** A

除了大宗经济品种, 我国沿海地区还生产品种众多的地方经济品种, 如黄渤海特色的许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、日本笠鲷(*Chirolophis japonicus*)及各种鲆鲽类等, 特点是产量规模小、区域性强, 主要在本地以初级农产品模式销售。随着

社会经济的发展, 国内对高端水产品的需求日益增加, 水产品具有极大增值空间。近年来电子商务快速发展, 冷链物流系统不断完善, 国内生鲜水产品电子商务正在被更多人接受, 具有巨大经济价值。存在问题是这些小规模地方经济鱼类捕捞离水后, 长期以来处于被动分销

收稿日期: 2021-04-24 修回日期: 2021-06-18

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFD0901001)

第一作者: 赵前(照片), 从事水产品保鲜研究, E-mail: zhaopian202020@126.com

通信作者: 刘俊荣, E-mail: ljunrong@dlo.edu.cn



模式, 缺乏离水后的品质调控和相应的产品设计。打破传统习俗, 通过源头锁鲜扩大地方特色经济海产品的销售范围, 对于提高资源附加值和满足国内多元化消费需求均有实际意义。

许氏平鲈又称黑裙, 属鲈形目 Scorpaeniformes 鲈亚目 (Scorpaenoidei) 鲈科 (Scorpaenidae) 平鲈亚科 (Sebastinae) 平鲈属 (*Sebastes*), 主要分布于中国、韩国和日本, 我国主要分布于东海、黄海和渤海, 属于卵胎生鱼类, 常栖息于岩礁区的泥沙底质水域<sup>[1]</sup>。在其产地为地方性的初级农产品, 以活鱼销售为主, 死后以鲜品进行销售。实验先期产业实地调研了解到, 大连地区的许氏平鲈在超一线城市的需求逐年增长, 其具有类珊瑚鱼生长性质, “石斑鱼”食材的特性, 其品质要求极高, 产地现有品质缺乏管理。

中国素有活鱼传统消费习俗, 活鱼销售具有高死亡率、高排放的缺点, 同时还会受到缺氧、拥挤和饥饿等应激<sup>[2]</sup>, 使品质下降, 常常出现活而不鲜的情况。屠宰前和屠宰时的胁迫会耗尽肌肉能量, 降低肌肉的 pH 值, 加速僵直的发生<sup>[3]</sup>。Ha 等<sup>[4]</sup>在对鲜活许氏平鲈长途运输的最佳条件研究中发现, 活体运输 16 d 后, 最大僵直时间提前了 7 h, 且鱼肉出现软化现象。养殖大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 在活体运输过程中受到多种胁迫, 导致市售活品品质较差, 而在离水后立即进行断髓速杀并冰藏, 仍可以保持较高品质<sup>[5]</sup>。

日本传统活鱼宰杀方法“Ike jime”是目前最为人道的技术, 通过延髓叠加破坏脊髓, 瞬间破坏其运动神经系统, 最大限度避免脊髓反射引起的肌肉运动, 极低的致死应激使得鱼体几乎没有痛苦挣扎, 亦有助于防止鱼类因为胁迫而消耗三磷酸腺苷 (ATP), 导致鱼肉中乳酸和氨的积累, 减缓品质的下降<sup>[6]</sup>。已有研究表明, 破坏脊髓致死可以有效减缓五条鲷 (*Seriola quin-*

*queradiata*)、真鲷 (*Pagrus major*)、三线矶鲈 (*Parapristipoma trilineatum*) 新鲜度的下降<sup>[7-8]</sup>。

本研究借鉴破坏脊髓的致死方法, 从品质上限和锁鲜效应两方面探索高端冷鲜品的可行性, 为改变传统初级农产品的销售模式, 通过致死胁迫调控开发刺身级品质的许氏平鲈产品提供思路。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

野生活体许氏平鲈购自大连市长海县, 海水充氧运输 2 h 至实验室, 分组及处理见表 1。市售样品分别为鱼市组 (FM, fish market), 购自大连长兴水产品市场; 超市组 (SM, supermarket), 购自大连国亿超市。

### 1.2 实验方法

许氏平鲈离水后, 目前的销售模式以初级农产品为主, 缺乏初级产品加工, 离水后品质无法控制。本研究通过产品设计, 对许氏平鲈进行锁鲜处置, 建立产品设计及管理体系 (图 1)。

**样品处理** 鲜活许氏平鲈 (38 条) 经 2 h 运输抵达实验室后立即致死、取样, 记破坏脊髓致死时为初始点 (0 h), 随后冷藏。在冷藏 6、12、24、48、72 和 120 h 时取样, 每个时间点取 2 条鱼作为平行。SM 和 FM 组各 2 条 (购买时已死亡), 经 30 min 运到实验室后立即取样。取鱼体肌肉作为样品, 采样后立即用液氮速冻后置于超低温冰箱 (-80 °C) 中保存, 用于后续测定。

**指标分析** 僵直指数参考 Bito 等<sup>[9]</sup>的方法。将鱼体放在水平板上, 测量鱼体长度。鱼体中点作为分界点, 将鱼体的前 1/2 放在水平板上, 后 1/2 置于水平板以外任其垂下, 测定尾部与水平板构成的最初下垂距离 ( $L$ , cm) 和在不同

表 1 实验分组及处理过程说明

Tab. 1 Description of experimental grouping and treatment process

组别 group	致死方式 slaughter methods	排气方式 bleeding method	处理方式 process method	贮藏方式 storage method
SCD	两个鱼眼中间用铁锥锥出孔洞, 然后用细铁丝插入并破坏脊髓, 见图2	切断鱼鳃部和尾部脊髓, 放在冰海水(冰:海水=3:1, 海水盐度2.8)中放血	鱼体中心温度降至0 °C左右, 去内脏, 清洗	用塑料袋包装, 贮藏在2 °C的冰箱中
SCC	断髓速杀			
SA	将活鱼暴露在空气中1.5 h			

注: SCD. 最低胁迫-破坏脊髓; SCC. 低胁迫-断髓致死; SA. 高胁迫-窒息致死, 下同

Notes: SCD. minimum stress-spinal cord destruction; SCC. low stress-spinal cord cutting; SA. high stress-suffocation in air, the same below

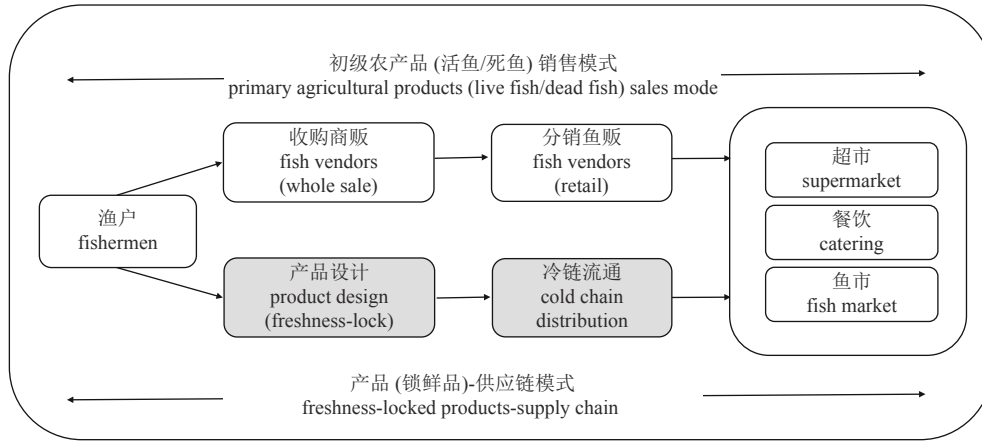


图1 地方小型经济海水鱼类初级农产品销售现状与锁鲜产品设计方案

Fig. 1 Current primary-products selling and designed freshness-locked products supplying of local commercial marine fish

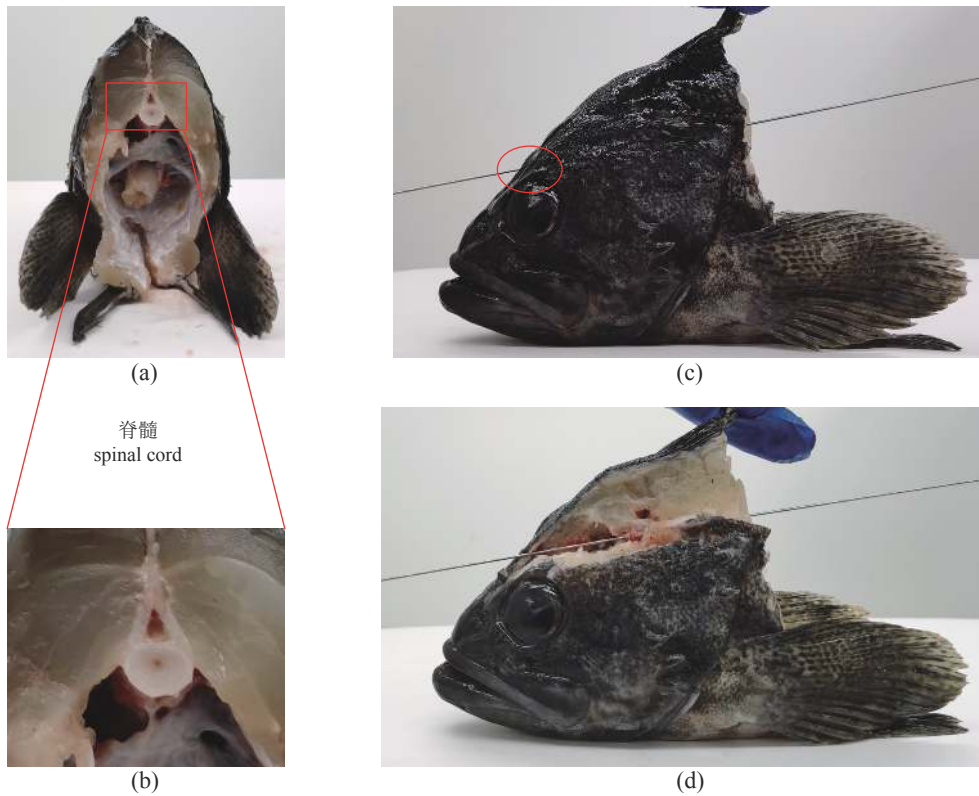


图2 脊髓破坏示意图

(a), (b) 许氏平鲈脊髓截面; (c), (d) 铁丝破坏脊髓

Fig. 2 Illustrations of spinal cord destruction

(a), (b) section of spinal cord of *S. schlegelii*; (c), (d) destruction of spinal cord by a wire

僵直程度时的距离 ( $S, \text{cm}$ ), 计算僵直指数 ( $R, \%$ )。

$$R(\%) = \frac{L - S}{L} \times 100\%$$

肌肉收缩率参考 Lee 等<sup>[10]</sup> 的方法并做修改。在贮藏 6 h 后, 取相同部位的肌肉切成  $5 \text{cm} \times 1 \text{cm} \times$

$1 \text{cm}$  的小块, 放置在贴有刻度的塑料盒中, 密封保存, 将塑料盒放置在  $2^\circ\text{C}$  的冰箱中保存, 观察长度变化。肌肉收缩率 ( $C$ ) 由下列公式计算,  $L_0$  为初始肌肉长度 ( $\text{cm}$ ),  $L_1$  为测定时肌肉长度 ( $\text{cm}$ )。

$$C(\%) = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100\%$$

断裂强度参考 Misima 等<sup>[11]</sup>的方法并作修改。用质构仪进行测量,取肌肉切成 2 cm×1 cm×1 cm 的小块,在室温下测定其肌肉样品的最大剪切力即为断裂强度,每组 3 个平行。

ATP 降解产物参考刘慧慧等<sup>[12]</sup>的方法。称取 1.0 g 肌肉,加入 10 mL 5% 的高氯酸 (PCA),待肌肉破碎均匀后,加入 2 mol/L 的 KOH 调节 pH 为 2.0~3.5,再加入超纯水定容至 20 mL,在 5000×g、4℃ 条件下离心 10 min,取上清液过 0.45 μm 滤膜。取 4 mL 滤液,加入 1 mL 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液 (pH 7.5),每个样品设 3 个平行,整个实验过程在冰浴中进行。采用高效液相色谱法分析 ATP 及其关联物。

肌肉 pH 值测定参考刘金洋等<sup>[13]</sup>的方法。取 2.0 g 肌肉,加入 10 mL 20 mmol/L 的碘乙酸钠溶液,均质 30 s (3000 r/min),静置 25 min,使用精密 pH 计测定 pH 值,每组 3 个平行。

白度值测定参考 Benjakul 等<sup>[14]</sup>的方法。取 2 条鱼的鱼片,设为 2 个平行,用色差仪进行测量,其中  $L^*$  表示亮度,  $a^*$  正值表示偏红,负值表示偏绿;  $b^*$  正值表示偏黄,负值表示偏蓝。白度值  $W$  由下列公式计算:

$$W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{\frac{1}{2}}$$

肌肉的光学显微镜观察参考 Ando 等<sup>[15]</sup>的方法,进行了低温恒温器切片制作。即用 4% 的多聚甲醛固定 1 cm×1 cm×2 cm 的肌肉,制成各保存时间的低温恒温器横断切片。将制成的切片进行苏木精-伊红染色,用光学显微镜观察,观察倍数均为 100 倍。

**数据分析** 采用 SPSS 软件对数据进行均方差分析,所有结果均用平均值±标准差表示,用单因素分析法进行方差分析,显著性水平设为 0.05。

## 2 结果

### 2.1 许氏平鲉死后僵直规律特性

**冷藏期间僵直指数的变化规律** 现有产地的以许氏平鲉以初级农产品销售模式为主,缺少对许氏平鲉死后僵直规律的研究。因此本研究将先探索冷藏期间许氏平鲉僵直特性的变化情况。在贮藏后 6 h, SA 组的僵直指数已达

90%,在 24~48 h 时开始解僵 (图 3)。而 SCD 组和 SCC 组在 6 h 时分别为 22.14% 和 22.86%,同时在 1 d 时测得最大僵直指数,SCD 组最大僵直持续 24 h,之后逐渐解僵,在贮藏 120 h 时,3 组僵直指数分别为 47.86%、51.43% 和 45.00%。

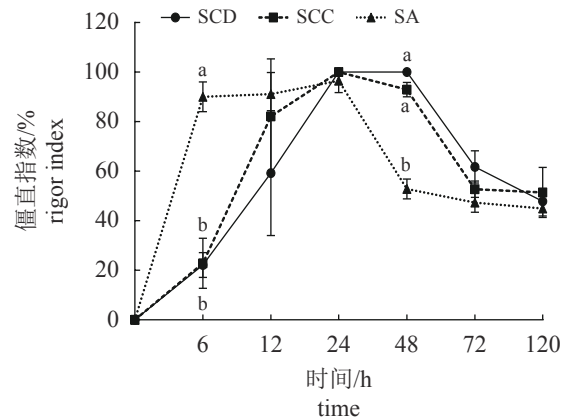


图 3 不同致死应激下许氏平鲉僵直指数的变化  
标有不同小写字母者表示组间有显著性差异 ( $P < 0.05$ ),下同

Fig. 3 Effects of different slaughter stress on rigor index of *S. schlegelii*

Means with different letters are significant differences between groups at the 0.05 probability level ( $P < 0.05$ ), the same below

**冷藏期间肌肉收缩率的变化规律** 冷藏期间,SCD 和 SCC 组的许氏平鲉肌肉收缩率在 6~12h 没有显著变化 ( $P > 0.05$ ),12~24h 显著上升 ( $P < 0.05$ ),24 h 时分别达到  $11.45\% \pm 3.45\%$  和  $11.90\% \pm 2.10\%$ ,之后没有显著性变化 ( $P > 0.05$ ) (图 4)。SA 组在整个贮藏期间均没有显著性变化 ( $P > 0.05$ )。

**冷藏期间肌肉断裂强度的变化规律** 在贮藏期间,3 组的肌肉断裂强度均呈下降趋势。SA 组的断裂强度显著低于 SCD 和 SCC 组 ( $P < 0.05$ ),SCD 和 SCC 组之间没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ) (图 5)。

### 2.2 致死应激与许氏平鲉死后生化代谢

#### 致死应激对肌肉 ATP 分解代谢的影响

在初始点,ATP 含量为  $2.83 \mu\text{mol/g}$ ,随着贮藏时间的延长,ATP 逐渐降解,SA 组降解的速率最快,SCD 组降解的最慢。随着 ATP 的降解,IMP 含量呈先增加后下降的趋势,在 24 h 时 IMP 含量达到最大。随着贮藏时间的延长,Hx 逐渐积累,SA 组积累的最快,SCD 组积累的最慢。在 120 h 时 SCD、SCC 和 SA 组的 Hx 含量分别为  $8.10$ 、 $9.57$  和  $9.97 \mu\text{mol/g}$  (图 6)。

#### 致死应激对肌肉 pH 值的影响

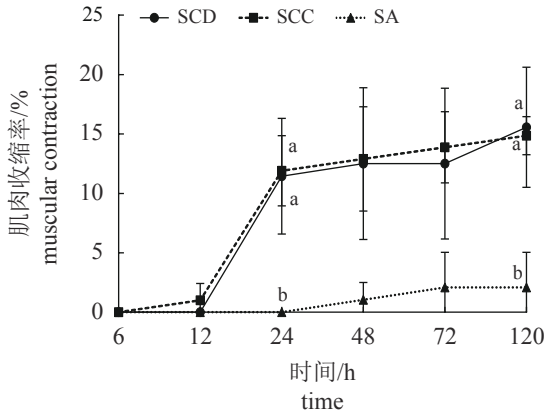


图4 不同致死应激条件下许氏平鲷肌肉收缩率的变化

Fig. 4 Effects of different slaughter stress on muscle contraction of *S. schlegelii*

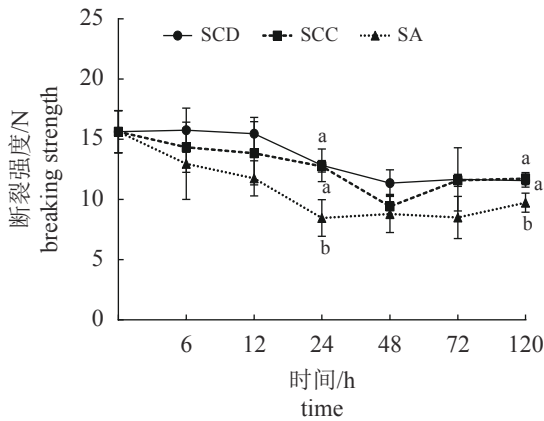


图5 不同致死应激条件下许氏平鲷肌肉断裂强度的变化

Fig. 5 Effects of different slaughter stress on muscle breaking strength of *S. schlegelii*

SCC组的pH值在整个贮藏期间均呈逐渐下降的趋势,最低值分别为6.58和6.56;SA组的pH值在贮藏期间呈先下降后上升的趋势,最低值为6.54(图7)。

2.3 致死应激对锁鲜品的延迟效应

冷藏期间肌肉白度值的变化 在冷藏条件下,不同致死胁迫方式对许氏平鲷肌肉白度值无显著影响(P>0.05),且冷藏期间白度值没有显著性变化(P>0.05)(表2)。

冷藏期间肌肉细胞的变化 冷藏期间许氏平鲷肌肉细胞显微结构显示。在原料点,细胞分布均匀、排列紧密,细胞间隙较小。贮藏48h后,SCD组细胞间隙没有明显增加,SCC和SA组间隙增大。贮藏120h后,3组细胞间隙

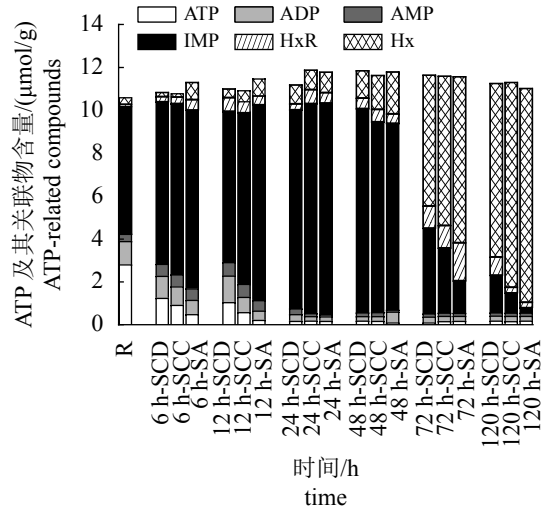


图6 致死应激对肌肉ATP分解代谢的影响

R. 原料点

Fig. 6 Effects of different slaughter stress on muscle ATP-related compounds

R. raw

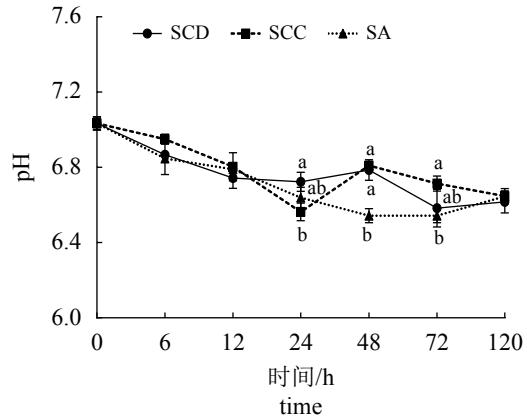


图7 致死应激对肌肉pH值的影响

Fig. 7 Effects of different slaughter stress on pH of muscle of *S. schlegelii*

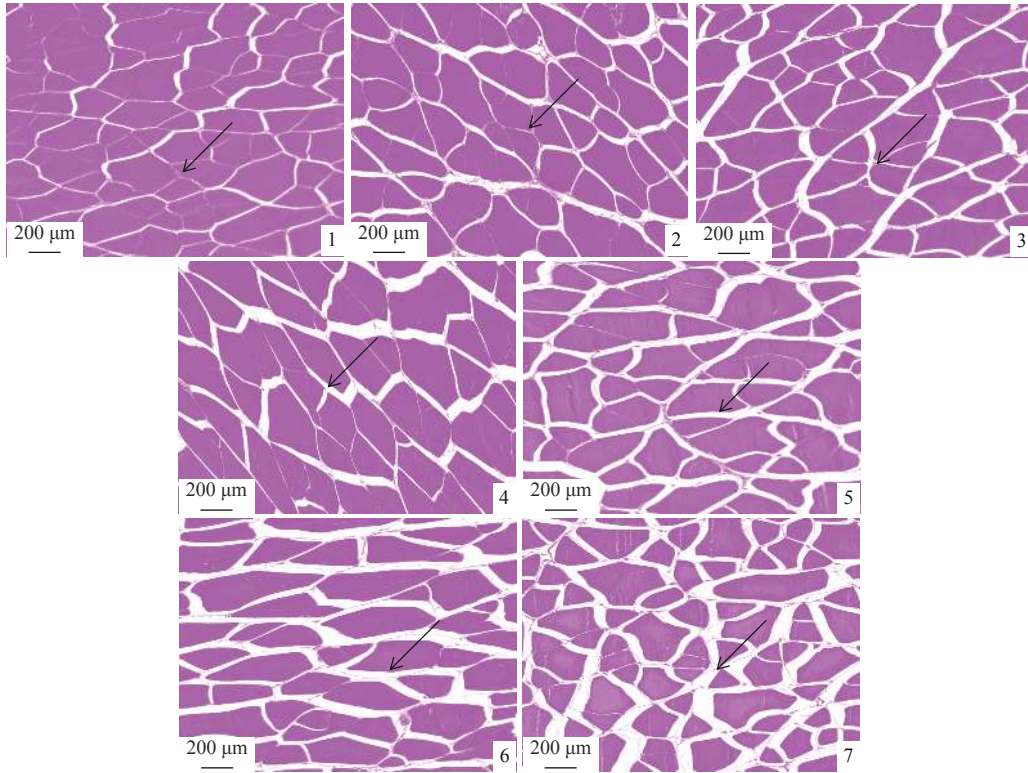
表2 致死应激对许氏平鲷肌肉白度的延迟效应

Tab. 2 Delayed effects of slaughter stress on muscle whiteness of *S. schlegelii*

时间/h time	SCD	SCC	SA
0	56.61 ± 2.14		
6	56.33 ± 3.57 <sup>a</sup>	60.16 ± 1.33 <sup>a</sup>	55.73 ± 2.39 <sup>a</sup>
12	56.05 ± 0.34 <sup>a</sup>	58.73 ± 1.24 <sup>a</sup>	56.09 ± 0.12 <sup>a</sup>
24	58.33 ± 0.34 <sup>a</sup>	59.82 ± 0.76 <sup>a</sup>	57.53 ± 0.65 <sup>a</sup>
48	58.02 ± 1.25 <sup>a</sup>	59.34 ± 0.68 <sup>a</sup>	57.34 ± 0.16 <sup>a</sup>
72	57.66 ± 0.03 <sup>a</sup>	60.44 ± 1.09 <sup>a</sup>	58.48 ± 0.34 <sup>a</sup>
120	61.33 ± 1.45 <sup>a</sup>	60.24 ± 0.96 <sup>a</sup>	58.08 ± 0.21 <sup>a</sup>

均有增加，SCC 组细胞间隙增加的较多，细胞分布不均匀。其次为 SA 组，SCD 组细胞间隙增

加的最少(图版)。



图版 致死应激对肌肉细胞的延迟效应

1. 原料点; 2. SCD 组贮藏 48 h; 3. SCC 组贮藏 48 h; 4. SA 组贮藏 48 h; 5. SCD 组贮藏 120 h; 6. SCC 组贮藏 120 h; 7. SA 组贮藏 120 h; 箭头.细胞间隙

Plate Delayed effects of slaughter stress on muscle cell structure

1. raw; 2. SCD stored for 48 h; 3. SCC stored for 48 h; 4. SA stored for 48 h; 5. SCD stored for 120 h; 6. SCC stored for 120 h; 7. SA stored for 120 h; arrowhead. intercellular space

2.4 市售许氏平鲈的品质局限性

许氏平鲈以初级农产品形式销售，活品和鲜品品质处于被动，需要产品设计进行品质调控。实验采用具有代表性的鱼市鲜品和超市鲜品进行检测。从鱼市购买的鲜品，散发出令人不愉快的气味，鳃中含有大量淤血，鱼片无光泽，为暗灰不透明状，白度值为 58.24；鱼肉较软，没有弹性，其断裂强度较低，为 7.60 N；pH 值为 7.01；ATP 及其关联物只检测出 Hx，其含量为 10.38 μmol/g。超市购买的鲜品没有令人不愉快的气味，鳃中含有大量淤血，鱼片白度值为 62.60；鱼肉具有弹性，断裂强度为 14.36 N；pH 值为 6.97；但由于死前剧烈挣扎，消耗了大量 ATP，ATP 含量为 0.85 μmol/g，其中 IMP 含量较高，为 7.91 μmol/g，ADP、AMP、HxR 和 Hx 含量较低，分别为 0.89、0.55、0.28 和 0.37 μmol/g。

3 讨论

3.1 许氏平鲈死后僵直规律特性

为改变许氏平鲈在其产地作为初级农产品进行销售的现状，在产品的设计之前应先了解其死后僵直规律。当鱼死后，肌细胞中还存在高能磷酸化合物的肌酸磷酸使肌肉在死后一段时间内保持柔韧性。随着磷酸肌酸含量的下降，ATP 含量也不断下降，肌球蛋白和肌动蛋白结合逐渐增强，肌肉试图收缩，最终变得僵硬。肌球蛋白和肌动蛋白的相互作用也受到乳酸积累的影响，鱼体死后，糖原分解为乳酸，同时磷酸肌酸(或磷酸精氨酸)分解为磷酸，酸性产物的蓄积使肉的 pH 值下降。待 pH 值下降到肌肉肌球蛋白和肌动蛋白的等电点时，肌球蛋白和肌动蛋白的溶解度下降，肌肉内蛋白质变性

凝固,也引起肌肉的收缩、僵直<sup>[6]</sup>。以上两种因素,即一种物质的消耗和另一种物质的积累,与鱼的种类以及死亡时的状态有关。分为僵直前、僵直和解僵3个阶段。僵直和解僵的时间与鱼的种类、大小、生理状况、死前应激和温度等因素有关<sup>[16]</sup>。由于脊髓的破坏,死后立即停止了挣扎,ATP消耗减少,延迟了僵直过程。在空气中挣扎而死的鱼,神经仍会发挥作用,肌肉随意移动,贮藏早期的ATP消耗速率较快,在贮藏6h时僵直指数已达到90%,随后没有显著性变化,在24~48h时开始解僵。

在6~12h,SCD和SCC组的肌肉中ATP缓慢降解,肌肉收缩率没有显著性变化,僵直指数缓慢上升。12~24hATP快速分解,肌球蛋白和肌动蛋白的结合力增大,肌肉收缩率快速变化,达到最大僵直。而SA组在窒息期间剧烈挣扎,消耗大量ATP,死后肌肉收缩不明显。有研究报告,养殖五条鲈死后在不同温度下,肌肉收缩率变化情况不同,但在贮藏初期都发生了快速变化,贮藏后期变化不显著<sup>[17]</sup>。鱼死后肌肉软化与细胞外周结缔组织中的胶原纤维有密切关系<sup>[15]</sup>。有研究显示,窒息致死的竹筴鱼(*Trachurus japonicus*)肌肉快速软化的原因可能是挣扎产生的应激促进了胶原纤维的降解,加速了肌肉细胞间胶原纤维结合力的下降<sup>[18]</sup>。Mishima等<sup>[19]</sup>研究了日本鲭(*Scomber japonicus*)在不同致死条件和贮藏温度下肌肉的变化情况时发现,在死后储存过程中,肌肉的断裂强度随着时间的推移而逐渐下降,24h后达到最低值。与本实验结果相似,说明SCD和SCC组鱼肉的新鲜度保持的较好,延缓鱼肉出现软化现象。此外脱血处理可以延缓肌肉软化,通过脱血处理可以延缓真鲷、五条鲈的肌肉软化情况<sup>[20]</sup>。本研究中SA组的断裂强度显著低于SCD和SCC组,在空气中挣扎致死的鱼,由于血液无法及时排出,加速了肌肉软化速率。鱼的血液残留不仅影响产品的感官品质,此外血液中含有的酶和乳酸代谢产物,将导致鱼肉品质不稳定,加速新鲜度下降。因此排血效果对鱼体的贮藏稳定性具有较大影响。

本研究中,鱼体肌肉在贮藏12~24h时不断收缩,僵直指数不断增加,而此时断裂强度呈下降趋势。Ando等<sup>[21]</sup>以肌肉硬度和僵直指数为

指标,对8种鱼同时进行测定分析,发现在死后僵直过程中肌肉已经开始软化,也就是说肌肉硬度不一定与死后僵硬相关。这是由于僵直是由肌细胞失去伸缩性而导致的,而肌肉硬度是以肌肉为主的肌细胞和存在于细胞间隙中的结缔组织共同影响的结果<sup>[6]</sup>。

### 3.2 控制致死应激对锁鲜效应的重要性

本实验对许氏平鲈离水后立即以最低胁迫致死进行锁鲜处置,并对冷藏过程中锁鲜品质变化进行探讨。极限品质即商品规格的健康养殖成体应该呈现的天然美味属性,其关键控制点即保证动物福利,减少死前应激,包括离水方式、运输方式、致死方式等因素,本研究从致死方式出发,最大程度减少死前应激。经过锁鲜处置的鱼,神经受到破坏,鱼体移动较少,而另两种方法致死的鱼仍会有剧烈、持续的痉挛或摆动。破坏脊髓致死的日本鲭,肌肉中ATP含量在初始时较高,之后逐渐降低,死后14h基本消失。而低温致死和窒息致死的,在死后8h基本消失<sup>[22]</sup>。本次实验中破髓致死的鱼,死后初始ATP含量较高,随着冷藏时间的延长逐渐降解,在24h时消失。而在空气中挣扎的鱼,在12h时几乎没有检出ATP。鱼体死后,ATP降解至IMP是源于肌肉内源酶的作用,而IMP进一步降解成Ino和Hx等低级产物则是外源腐败菌所致<sup>[23]</sup>。IMP是鱼肉的鲜味物质,高含量的IMP与许氏平鲈的肉质鲜美有着密不可分的关系。在冷藏48h前IMP含量都非常高,48h后Hx为主要降解产物,Hx会使鱼肉产生苦味,本实验结果中可以明显看出,破坏脊髓致死的鱼,IMP分解速率和Hx积累速率都较慢。相比之下,破坏脊髓致死具有窒息致死无可比拟的优势,同时破坏脊髓致死的鱼具有较好的贮藏稳定性。

活鱼的天然pH值略高于7.0,但在鱼死后,糖原转化为乳酸,pH值下降。随着贮藏时间的延长,在微生物和酶的作用下,鱼体产生一些胺类物质,使pH值升高<sup>[24]</sup>。研究显示破坏脊髓致死可有效抑制真鲷肌肉因乳酸积累而导致的pH下降<sup>[25]</sup>。本实验中,鱼肉初始点pH值为7.03,死后各组pH均呈下降趋势。其中,最低致死胁迫的SCD组在72h方降至极限pH值6.58,而低胁迫致死的SCC组和高胁迫致死的SA组分别

在 24 和 48 h 降至极限 pH 值, 且二者极限 pH 值均低于 SCD 组。

冷寒冰等<sup>[26]</sup>研究中提出活品的品质摇篮即“易逝期”理念, 并发现对后易逝期具有延迟效应, 即流通销售环节的品质问题往往可追溯到易逝期的处置。

鱼体存活时, 肌肉是透明的, 死后开始白浊, 一定时间后完全白浊, 白度可以量化鱼片的色泽变化。颜色在消费者对水产肉类食品的感知和接受中起着至关重要的作用。鱼片的颜色与以血红素为基础的色素、肌肉的物理结构和影响光散射的游离水的数量有关, 在储存过程中, 肌肉颜色的变化与酶和非酶反应导致肌原纤维蛋白的降解和肌原纤维的紊乱相关<sup>[27]</sup>。许氏平鲈在冷藏过程中, 3 组白度值均无显著变化, 并且 3 组之间没有显著性差异, 说明致死应激对鱼片白度没有显著影响。

在初始点, 细胞组织结构完整, 形态正常。贮藏 48 h 时, 肌肉软化, 细胞出现间隙。可以看出易逝期处置对鱼体细胞结构存在“即时性”影响, SCD 组的细胞结构降解程度较低。冷藏 120 h 时细胞分离严重, 相比于 SCD 组, SA 组鱼体肌肉细胞结构破坏更为明显, 致死应激给后期品质带来延迟效应。Ando 等<sup>[28]</sup>指出, 五条鲷死后肌肉软化主要是与胶原纤维的瓦解引起的细胞外周结缔组织的减弱有关。Yamashita 等<sup>[29]</sup>报道了大麻哈鱼 (*Oncorhynchus keta*) 死后组织蛋白酶 L 对结缔组织具有较强的水解作用, 使肌肉软化。组织蛋白酶 L 的最佳 pH 值为 5.6, 在 pH 值为 6.25 时, 活性为 70%<sup>[30]</sup>。SA 组在冷藏期间 pH 值快速下降, 最低时为 6.54, 组织蛋白酶 L 对结缔组织水解活性较强。SCD 组减缓了 pH 的下降趋势, 最低值为 6.58, 抑制了细胞间隙的扩大。

### 3.3 从初级农产品到产品设计的必要性

鱼的死前健康状态、死前应激和贮藏条件等对鱼的品质会产生非常大的影响。许氏平鲈在超市一般为充氧活品销售, 经过一系列应激, 其活力下降或死亡, 销售商转为鲜品进行销售。而在鱼市, 在被渔民捕后一直暴露在空气中售卖。这两种模式都为初级农产品销售, 缺乏初期产品加工, 品质无法控制。本研究通过对许氏平鲈离水后立即进行最低胁迫致死, 并对鱼体迅速降温, 抑制品质恶化。经过对比, 最低

胁迫致死的 SCD 组在贮藏期间整体鲜度较好, 高于超市组和鱼市组的鲜度。高胁迫下, 死后 120 h 时的 Hx 含量为 11.05  $\mu\text{mol/g}$ , pH 值为 6.65, 断裂强度为 9.73 N, 与鱼市的鲜品指标相似。本实验通过比较不同的致死胁迫条件, 发现锁鲜可延缓许氏平鲈鲜度的下降, 使其不仅在产地以刺身级产品销售, 而且扩大销售范围, 满足消费者需求, 使产业增值。

## 4 结论

通过对现有销售端许氏平鲈品质现状的调查分析, 再以致死胁迫强度为重点, 对其可能的品质极限区间进行了探索。研究表明, 实施锁鲜产品设计以改变渔后模式的局限性既有必要性也具可行性。今后的研究将在两个方面开展, 一是, 其他品种的地方特色经济海水鱼; 二是, 影响品质上限的还有很多其他因素, 如原料生产方式、捕捞方式、离水处置、排血及冷却等, 这些都需要有针对性的优化探索。

### 参考文献 (References):

- [1] Lee J Y, Kang Y J, Lee S M, *et al.* Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegelii*[J]. *Journal of Aquaculture*, 1993, 6(1): 13-27.
  - [2] Harmon T S. Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2009, 1(1): 58-66.
  - [3] Poli B M, Parisi G, Scappini F, *et al.* Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management[J]. *Aquaculture International*, 2005, 13(1-2): 29-49.
  - [4] Ha H J, Min J, Lee J D, *et al.* Optimal conditions for long-distance transportation of live black rockfish (*Sebastes schlegelii*) and changes in their characteristics during transport[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2019, 28(7): 762-771.
  - [5] 衣鸿莉, 刘俊荣, 王选飞, 等. 养殖大菱鲆死前应激状态对肌肉代谢与品质的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2020, 35(4): 570-576.
- Yi H L, Liu J R, Wang X F, *et al.* Effects of pre-slaughter stress on muscular metabolism and quality of farmed turbot *Scophthalmus maximus*[J]. *Journal of China Society of Fisheries*



- Dalian Ocean University, 2020, 35(4): 570-576(in Chinese).
- [ 6 ] 渡部终五. 水产利用化学基础 [M]. 林华娟, 毛伟杰, 译. 北京: 化学工业出版社, 2017: 49.
- Watabe S. Aquatic use of chemical based[M]. Lin H J, Mao W J, trans. Beijing: Chemical Industry Press, 2017: 49 (in Chinese).
- [ 7 ] Ando M, Shigemura Y, Tsukamasa Y, *et al.* Trials for keep the fish muscle quality during chilled storage[J]. *Fisheries Science*, 2008, 68(S2): 1343-1346.
- [ 8 ] 岡本昭, 濱田友貴, 三浦勝貴, 等. 養殖イサキの死後変化に及ぼす刺殺条件と保存温度の影響 [J]. *日本水産学会誌*, 2006, 72(5): 918-923.
- Okamoto A, Hamada Y, Miura K, *et al.* Influence of killing procedures and storage temperatures on post-mortem changes in the muscle of cultured three-line grunt *Parapristipoma trilineatum*[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2006, 72(5): 918-923 (in Japanese).
- [ 9 ] Bito M, Yamanada K, Mikumo Y, *et al.* Studies on rigor mortis of fish. I. difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified Cutting's methods[J]. *Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory*, 1983, 109: 89-96.
- [10] Lee K H, Tsuchimoto M, Onishi T, *et al.* Differences in progress of rigor mortis between cultured red sea bream and cultured Japanese flounder[J]. *Fisheries Science*, 1998, 64(2): 309-313.
- [11] Misima T, Fujii J, Tachibana K, *et al.* Influence of contracture on breaking strength in carp muscle[J]. *Fisheries Science*, 1995, 61(2): 209-213.
- [12] 刘慧慧, 周晏琳, 张晴, 等. 菲律宾蛤仔捕后干露处置对其复水湿藏稳定性的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2018, 33(2): 244-250.
- Liu H H, Zhou Y L, Zhang Q, *et al.* Effect of air exposure on biochemical metabolism of harvested Manila clam *Ruditapes philippinarum* during live wet storage[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2018, 33(2): 244-250(in Chinese).
- [13] 刘金洋, 刘俊荣, 田元勇, 等. 捕后处置对活品底播虾夷扇贝生化代谢的影响[J]. *水产学报*, 2017, 41(1): 81-87.
- Liu J Y, Liu J R, Tian Y Y, *et al.* Effects of post-harvest handling on biochemical metabolism of bottom cultured live scallop (*Patinopecten yessoensis*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(1): 81-87(in Chinese).
- [14] Benjakul S, Visessanguan W, Tueksuban J. Changes in physico-chemical properties and gel-forming ability of lizardfish (*Saurida tumbil*) during post-mortem storage in ice[J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(4): 535-544.
- [15] Ando M, Nishiyabu A, Tsukamasa Y, *et al.* Post-mortem softening of fish muscle during chilled storage as affected by bleeding[J]. *Journal of Food Science*, 1999, 64(3): 423-428.
- [16] Stroud G D. Rigor in fish-the effect on quality[EB/OL]. (2001)[2021-04-09]. <http://www.fao.org/3/x5914e/x5914e00.htm>.
- [17] 袁鹏翔, 王曜, 宫崎里帆, 等. 養殖ブリの種々の保存温度における死後硬直と魚肉インピーダンスの関係 [J]. *日本食品化学学会誌 (日食化誌)*, 2019, 26(1): 11-16.
- Yuan P X, Wang Y, Miyazaki R, *et al.* Relationship between rigor mortis and impedance of fresh muscle in cultured yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) during different storage temperature[J]. *Japanese Journal of Food Chemistry and Safety (JFCS)*, 2019, 26(1): 11-16 (in Japanese).
- [18] Ando M, Joka M, Mochizuki S, *et al.* Influence of death struggle on the structural changes in chub mackerel muscle during chilled storage[J]. *Fisheries Science*, 2001, 67(4): 744-751.
- [19] Mishima T, Nonaka T, Okamoto A, *et al.* Influence of storage temperatures and killing procedures on post-mortem changes in the muscle of horse mackerel caught near Nagasaki Prefecture, Japan[J]. *Fisheries Science*, 2005, 71(1): 187-194.
- [20] 安藤正史. 魚類筋肉の死後における軟化機構に関する研究 [J]. *日本水産学会誌*, 1996, 62(4): 555-558.
- Ando M. A study on the softening mechanism after death of fish muscles[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1996, 62(4): 555-558 (in Japanese).
- [21] Ando M, Toyohara H, Shimizu Y, *et al.* Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently of resolution of rigor mortis[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1991, 57(6): 1165-1169.
- [22] 望月 聡, 佐藤 安岐子. マサバおよびマルアジ筋肉の死後変化に対する致死条件の影響 [J]. *日本水産学会*

- 誌, 1996, 62(3): 453-457.
- Mochizuki S, Sato A. Effects of various killing procedures on post-mortem changes in the muscle of chub mackerel and round scad[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1996, 62(3): 453-457(in Japanese).
- [23] Surette M E, Gil T A, Leblanc P J. Biochemical basis of postmortem nucleotide catabolism in cod (*Gadus morhua*) and its relationship to spoilage[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 36(1): 19-22.
- [24] Rehbein H, Oehlenschläger J. *Fishery products: quality, safety and authenticity*[M]. Chichester: Wiley-Blackwell, 2009: 1-19.
- [25] Nakayama T, Toyoda T, Ooi A. Delay in rigor mortis of red sea-bream by spinal cord destruction[J]. *Fisheries Science*, 1996, 62(3): 478-482.
- [26] 冷寒冰, 刘俊荣, 衣鸿莉, 等. 红鳍东方鲀易逝期锁鲜处置对冰藏品质的延迟效应[J]. *水产学报*, 2021, 45(6): 958-970.
- Leng H B, Liu J R, Yi H L, *et al.* Effects of freshness-locked performance during the quality determination period on the iced *Takifugu rubripes* freshness quality[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(6): 958-970(in Chinese).
- [27] Chéret R, Chapleau N, Delbarre-Ladrat C, *et al.* Effects of high pressure on texture and microstructure of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fillets[J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70(8): e477-e483.
- [28] Ando M, Toyohara H, Shimizu Y, *et al.* Post-mortem tenderization of fish muscle due to weakening of pericellular connective tissue[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1993, 59(6): 1073-1076.
- [29] Yamashita M, Konagaya S. Hydrolytic action of salmon cathepsins B and L to muscle structural proteins in respect of muscle softening[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1991, 57(10): 1917-1922.
- [30] Yamashita M, Konagaya S. Purification and characterization of cathepsin L from the white muscle of chum salmon, *Oncorhynchus keta*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry*, 1990, 96(2): 247-252.

## Effects of slaughter stress on freshness-locked products of *Sebastes schlegelii*

ZHAO Qian, LIU Junrong\*, ZHOU Jin, QU Qinkun,  
LIU Yuepeng, TIAN Yuanyong, XU Tanye

(College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** China's coastal commercial species of marine fish are both rich and varied. However, most of the catch is produced by the small-scale fisheries, and the small-scale landings are destined for local human consumption and sold as primary products. Economic benefit is constrained because lack of quality control concern. A construction of value chain based on freshness-locked products with upper limit quality instead of primary products is worth to explore. One of species, *S. schlegelii* was taken as case study. In order to change the existing sales mode of primary agricultural products of *S. schlegelii* through product design, the exploration was carried out from two aspects: the upper limit of quality and the effect of freshness-lock. Firstly, from the slaughter stress intensity, the limit quality of *S. schlegelii* was explored, including the upper limit of quality under the minimum stress and the lower limit of quality under fatigue death, compared with the quality status of commercial products. Then, through the management of quality determination period, the effect of freshness-locking on high end *S. schlegelii* was discussed. According to the degree of slaughter stress, healthy living animals were divided into three treatment groups: minimum stress-spinal cord destruction (SCD), low stress - spinal cord cutting (SCC) and high stress - suffocation in air (SA). The commercially available products were from supermarket (SM) and local fish market (FM), respectively. The measures of freshness-locking were to cool the fish to about 0 °C immediately after quick killing, and to refrigerate the fresh products at 2 °C. The characteristics of postmortem rigor of *S. schlegelii* were analyzed from rigor index, muscular contraction and breaking strength. The quality of muscle and its stability in cold storage were analyzed by whiteness value, pH value, ATP-related compounds and microstructure. The results showed that: ① Under the lowest stress, the maximum rigor of *S. schlegelii* reached 24 h after death and lasted for 24 h. In the high stress group, the rigor index reached 90% after 6 h and was free from rigor after 48 h. Muscular contraction is correlated with rigor index. Muscles under high stress showed no signs of contraction during storage, while those under low stress contracted rapidly before the occurrence of maximum rigor. During cold storage, muscle breaking strength showed a decreasing trend, but it was significantly delayed in the lowest stress group. ② Under the minimum stress, the initial ATP value was 2.83 μmol/g, and the minimum pH value was 6.58. Under low stress, ATP value was 0.94 μmol/g at 6 h after death, and the lowest pH was 6.56. Under high stress, ATP value was 0.50 μmol/g and the lowest pH was 6.54 at 6 h after death. ③ delayed effect, the whiteness of muscle fibers was gradually degraded and the space between muscle cells was expanded during cold storage, but the lowest stress group could effectively slow down the above trend. ④ quality status at the sales, the results of fresh product quality analysis of the supermarket group and the fish market group showed that the quality of the supermarket group was similar to that of the low stress group at 6 h after death, and the quality of the fish market group was similar to that of the high stress group at 120 h after death. To sum up, the commercially available primary agricultural products intermingle different levels of quality for *S. schlegelii*. The product design is applied through the treatment of freshness-locking, which not only effectively prolongs the shelf life of chilled fish, but also meets the needs of consumers for high quality.

**Key words:** *Sebastes schlegelii*; slaughter stress; spinal cord destruction; freshness-lock; delayed effects

**Corresponding author:** LIU Junrong. E-mail: ljunrong@dlou.edu.cn

**Funding project:** National Key R & D Program of China (2018YFD0901001)