

食品流通与包装

## 包装调控方式对冷鲜鲟鱼肉微生物的抑制作用

刘文<sup>1</sup>, 岳琪琪<sup>1</sup>, 龚恒<sup>1</sup>, 侯温甫<sup>1,2</sup>, 周敏<sup>1,2</sup>, 王宏勋<sup>2,3</sup>

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 湖北省生鲜食品工程技术研究中心, 武汉 430023; 3. 武汉轻工大学 生物与制药工程学院, 武汉 430023)

**摘要:** **目的** 研究3种包装调控方法对冷鲜鲟鱼肉微生物抑制作用及品质的影响。**方法** 以市售冷鲜鲟鱼肉为研究对象, 结合微生物指标、感官指标和化学指标, 分别研究不同浓度 $\epsilon$ -聚赖氨酸保鲜垫片内置、 $\epsilon$ -聚赖氨酸/壳聚糖抗菌膜包覆和气调包装微环境控制等3种不同包装调控方式对冷鲜鲟鱼肉品质的影响。**结果**  $\epsilon$ -聚赖氨酸质量浓度为5 g/L的保鲜垫片内置于包装盒中, 以 $\epsilon$ -聚赖氨酸浓度为0.5 mg/mL的溶液制成的抗菌膜包覆鲟鱼块以及CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>的体积分数分别为30%与70%的气调微环境等3种包装方法能够有效抑制冷鲜鲟鱼肉中微生物的增殖; 且3种包装调控方法集成施加后, 可将4℃冷藏下冷鲜鲟鱼肉的货架期延长4 d。**结论** 3种包装调控方法能有效地抑制冷鲜鲟鱼肉微生物的增殖, 3种包装方法集成施加后能更好地维持冷鲜鲟鱼肉的品质。

**关键词:** 包装调控; 冷鲜鲟鱼; 保鲜垫片; 抗菌膜; 气调包装

中图分类号: TS254.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)09-0059-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.09.009

## Inhibition of Microorganisms in Chilled Fresh Sturgeon Meat by Packaging Regulation

LIU Wen<sup>1</sup>, YUE Qi-qi<sup>1</sup>, GONG Heng<sup>1</sup>, HOU Wen-fu<sup>1,2</sup>, ZHOU Min<sup>1,2</sup>, WANG Hong-xun<sup>2,3</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Fresh Food Engineering and Technology Research Center of Hubei Province, Wuhan 430023, China;

3. College of Biological and Pharmaceutical Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the effects of three kinds of packaging regulation methods on microbial inhibition and quality of chilled fresh sturgeon meat. Taking the commercially available meat of chilled fresh sturgeon as the research object, the effects of three different packaging regulation methods on the quality of chilled fresh sturgeon meat, including different concentrations of built-in  $\epsilon$ -polylysine fresh-keeping gasket,  $\epsilon$ -polylysine/chitosan antibacterial film coating and microenvironment control of modified atmosphere packaging were studied respectively by combining the microbial, sensory and chemical indexes. The 5 g/L (mass concentration)  $\epsilon$ -polylysine fresh-keeping gasket placed in the packaging box, sturgeon block coated with an antibacterial film made with a solution of  $\epsilon$ -polylysine at a concentration of 0.5 mg/mL and (volume fraction) CO<sub>2</sub> (30%)+(volume fraction) N<sub>2</sub> (70%) modified atmosphere microenvironment were able to effectively inhibit the microbial proliferation of chilled fresh sturgeon meat. Moreover, the shelf life of chilled fresh sturgeon meat frozen at 4℃ could be extended for 4 days after the integration of these three packaging regulation methods. The proposed packaging regulation methods can effectively inhibit the microbial proliferation and better maintain the quality of chilled fresh sturgeon meat after their integrated application.

收稿日期: 2019-10-08

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0401202)

作者简介: 刘文(1997—), 女, 武汉轻工大学硕士生, 主攻畜禽水产保鲜及质量控制。

通信作者: 侯温甫(1979—), 女, 博士, 武汉轻工大学副教授, 主要研究方向为生鲜畜禽产品质量控制与安全。

**KEY WORDS:** packaging regulation; chilled fresh sturgeon; fresh-keeping gasket; antibacterial film; modified atmosphere packaging

鲟鱼 (*Acipensersinensis*) 是一种大中型亚冷水性淡水鱼, 其体大肥美、营养丰富, 含有多种氨基酸, 被称作“脑黄金”<sup>[1]</sup>, 深受消费者青睐。目前, 全球现存 9 个自然分布区, 我国有黑龙江、长江和珠江。21 世纪, 人工养殖鲟鱼已成为全球鲟鱼产量的主要来源。截至 2017 年, 中国鲟鱼养殖产量占全球的 84.01%, 居世界第一<sup>[2]</sup>。冷鲜鱼肉是鱼体宰杀、分割、包装后的小包装轻度加工产品, 是目前鱼类鲜销的新形式, 被消费者广泛接受, 具有广阔的市场前景。由于鱼体本身以及加工中器具与人员的污染等问题, 导致鱼肉中初始微生物含量增加, 因此, 在冷藏过程中微生物的生长增殖将引起鱼肉腐败劣变, 进而使货架期缩短。综上所述, 必须采用有效的包装方式来延缓或抑制微生物增殖, 以达到品质维持和延长货架期的目的。目前, 气调包装、低温保鲜、抗菌剂浸渍保鲜等是鱼类品质维持的主要方法<sup>[3]</sup>。

气调包装 (Modified Atmosphere Packaging, MAP) 通过改变封闭系统中气体的组成环境, 抑制微生物的增殖, 进而达到延长食品货架期的目的, 是一种应用广泛的食品包装方式<sup>[4-5]</sup>。气调包装常采用由 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 按一定体积比组成的混合气体, 其中 CO<sub>2</sub> 主要起抑菌作用; O<sub>2</sub> 可保持肉色鲜红, 且能抑制厌氧菌生长繁殖; N<sub>2</sub> 一般作为填充气体。有研究发现气调包装能很好地抑制微生物增长, 其中当 CO<sub>2</sub> 的体积分数为 80% 时, 能有效延长带鱼保鲜期至 14 d 以上<sup>[6]</sup>。

抗菌包装是一种新型的包装方式, 当与食品接触时, 包装材料中抗菌剂会被释放到食品表面, 进而抑制微生物的生长繁殖。添加的抗菌剂主要包括壳聚糖、聚赖氨酸、乳酸链球菌素与植物精油等。壳聚糖属于碱性多糖, 可作为涂膜保鲜剂, 用于食品的冷藏保鲜。聚赖氨酸能在人体内分解为赖氨酸, 安全无毒, 且具有良好的水溶性和热稳定性<sup>[7]</sup>, 并于 2003 年被 FDA 批准成为安全的食品保鲜剂<sup>[8]</sup>。目前, 抗菌剂常用的添加形式包括防腐小包装、添加到包装材料中以及添加到衬垫中等 3 种方式。抗菌剂添加到包装材料中一般有共混、涂膜, 或者通过与包装材料基团分子生成化学键等方式。壳聚糖因其本身具有抗菌性, 可直接制备成包装材料<sup>[9]</sup>, 有学者研究发现壳聚糖-混合精油薄膜对生猪肉的保鲜效果更好<sup>[10]</sup>。衬垫具有疏松多孔结构, 置于托盘包装中会起到吸附汁液的作用。由于衬垫具有高比表面积, 因此是抗菌剂负载的优良载体, 衬垫中添加抗菌剂后会抑制微生物增殖, 进而起到保鲜作用<sup>[11]</sup>。张春森等<sup>[12]</sup>研究发现载银抗菌衬垫对冷鲜肉的保鲜效果随着 Ag 含量的增加而提高, 当

Ag 质量分数为 10% 时效果最好, 冷鲜肉的货架期可达 6 d, 比对照组多 3 d。此外, 将多种包装技术科学地结合在一起, 可更好地抑制微生物增殖, 进而延长产品货架期, 已被广泛应用于肉类食品加工工业中<sup>[13]</sup>。Kumar 和 Thomas 等国外学者研究发现合理利用多种方法间的协同作用可以明显延长食品的保质期<sup>[14-15]</sup>。

文中拟采用  $\epsilon$ -聚赖氨酸保鲜垫片内置、 $\epsilon$ -聚赖氨酸/壳聚糖抗菌膜包覆和气调包装微环境调整等 3 种不同的包装调控方法, 以微生物抑制为主要目的, 研究 3 种包装调控方法对冷鲜鲟鱼肉冷藏过程中微生物增殖的抑制效果, 并进一步考察 3 种方法集成施加后对冷鲜鲟鱼肉品质的维持效果及货架期的影响, 为鲟鱼冷鲜分割销售提供理论支撑。

## 1 实验

### 1.1 材料与试剂

主要材料: 鲜活鲟鱼 (质量为 (1200±300) g, 长度为 (45±5) cm), 购自武汉市华南水产市场, 加冰袋并于 1 h 内运输回实验室。

主要试剂: 假单胞菌选择性培养基、假单胞菌选择性培养基添加剂、平板计数琼脂, 青岛高科技园海博生物技术有限公司; 聚赖氨酸, 郑州拜纳佛生物工程股份有限公司; 壳聚糖 (脱乙酰度为 80~95, 年份为 2016, 分子量为 161.16), 国药集团化学试剂有限公司; 氯化钠 (优级纯), 天津市科密欧化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器与设备: 3S-K 型空气杀菌消毒机, 北京同林高科技科技有限责任公司; LRH-100C 型低温培养箱, 上海一恒科学仪器有限公司; DRP-9082 型恒温培养箱, 上海博迅实业有限公司; SB-5200 DTN 超声波清洗机, 宁波新芝生物; SW-CJ-2FD 型单人单面净化工作台, 苏州净化设备有限公司; YXQ-30SII 型立式压力蒸汽灭菌锅, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; FD-Z1 型气调包装机, 上海福帝包装机械有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 原料预处理

用刀背将鱼击晕、去头、去腮、去内脏, 并清洗干净; 接着去皮、去骨, 再次将鱼肉清洗干净并切块,

将鱼块混匀，每份鱼块约 100 g，分为 4 组（分别记为 A 组、B 组、C 组、D 组）。将各组处理后于 4 °C 下冷藏。以上操作均在经臭氧杀菌、卫生条件良好的加工操作间内完成。

### 1.3.2 保鲜垫片处理

将吸水垫片分别浸泡在质量浓度为 0.5, 5, 50 g/L 的  $\epsilon$ -聚赖氨酸溶液中，待垫片完全吸收  $\epsilon$ -聚赖氨酸溶液后，置于烘箱中干燥，备用。将质量浓度为 0.5, 5, 50 g/L 的  $\epsilon$ -聚赖氨酸保鲜垫片内置于托盘，将 A 组鲟鱼块托盘包装后于 4 °C 下冷藏，分别记为 A2, A3, A4 组，对照组为 A1 组，各组于第 0, 1, 3, 5, 7, 9 天测定菌落总数和感官指标。

### 1.3.3 抗菌膜处理

先配制 500 mL 体积分数为 1% 的醋酸溶液，加 5 g 的壳聚糖于醋酸溶液中溶解，得到质量浓度为 10 mg/mL 的壳聚糖溶液。随后往壳聚糖溶液中分别加入 0.05, 0.15, 0.25 g 的  $\epsilon$ -聚赖氨酸，用磁力搅拌器搅拌 2 h，得到  $\epsilon$ -聚赖氨酸质量浓度为 0.1, 0.3, 0.5 mg/mL 的聚赖氨酸/壳聚糖溶液。将上述溶液过滤，静置 24 h 后，倒入半径为 8 cm 的塑料模具中并置于 35 °C 的烘箱中干燥 15 h，随后成膜。以  $\epsilon$ -聚赖氨酸/壳聚糖抗菌膜包覆鱼肉，经托盘包装后于 4 °C 下冷藏。将  $\epsilon$ -聚赖氨酸浓度为 0.1, 0.3, 0.5 mg/mL 的聚赖氨酸/壳聚糖溶液干燥成膜并包覆鱼肉，分别记为 B2, B3, B4 组，对照组为 B1 组。各组于第 0, 1, 3, 5, 7, 9 天测定菌落总数和感官指标。

### 1.3.4 气调包装处理

将 C 组冷鲜鲟鱼肉进行气调包装并于 4 °C 下冷藏，待测，实验总共分为 6 组，对照组 C1 组，气体为 N<sub>2</sub>；C2 组，CO<sub>2</sub> 与 N<sub>2</sub> 的体积分数分别为 10%, 90%；C3 组，CO<sub>2</sub> 与 N<sub>2</sub> 的体积分数分别为 20%, 80%；C4 组，CO<sub>2</sub> 与 N<sub>2</sub> 的体积分数分别为 30%, 70%；C5 组，

CO<sub>2</sub> 与 N<sub>2</sub> 的体积分数分别为 40%, 60%；C6 组，CO<sub>2</sub> 与 N<sub>2</sub> 的体积分数分别为 50%, 50%。各组于第 0, 2, 4, 6, 8 天测定菌落总数、假单胞菌、挥发性盐基氮 (TVB-N) 和感官指标。

### 1.3.5 复合保鲜处理

将 D 组冷鲜鲟鱼块均分为 2 组，每份用不同的方式进行处理，D1 组是将鲟鱼块以体积分数分别为 30%, 70% 的 CO<sub>2</sub> 与 N<sub>2</sub> 的混合气体进行包装处理；D2 组是将质量浓度为 5 g/L 的  $\epsilon$ -聚赖氨酸保鲜垫片内置于气调盒中，以  $\epsilon$ -聚赖氨酸溶液（质量浓度为 0.5 mg/mL）制成的抗菌膜包覆鲟鱼块，用 CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>（体积分数分别为 30%, 70%）的混合气体进行包装处理。将 D1 组、D2 组样品包装后于 4 °C 下冷藏，分别在第 0, 3, 7, 11, 15 天进行感官评分、菌落总数、假单胞菌数、pH 值的测定。

### 1.3.6 理化指标的测定

参照 GB/T 4789.2—2016 中的平板计数法测定鱼肉中的菌落总数<sup>[16]</sup>，假单胞菌数的测定方法同菌落总数的测定方法（采用 CFC 培养基）一样。参照 GB/T 5009.45—2003《水产品卫生标准的分析方法》中的酸度计法测量 pH 值<sup>[17]</sup>。参考 GB 5009.228—2016《食品中挥发性盐基氮的测定》中半微量定氮法测定 TVB-N 值<sup>[18]</sup>。

### 1.3.7 感官评定

感官评定常作为检测水产品鲜度的指标。感官评定小组由 8 名经专业培训后的实验人员组成，评分标准按高杨等<sup>[19]</sup>方法略做修改进行，见表 1。

## 1.4 数据处理

采用 Origin 2017 绘图，并通过 IBM SPSS Statistics 19 对数据进行单因素方差分析，以  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

表 1 冷鲜鲟鱼肉制品感官评定标准  
Tab.1 Sensory evaluation standard for chilled fresh sturgeon meat products

描述	好(8~10分)	较好(6~8分)	一般(4~6分)	较差(2~4分)	差(0~2分)
色泽	色泽正常，肌肉切面富有光泽	色泽正常，肌肉切面有光泽	色泽稍暗淡，肌肉切面稍有光泽	色泽较暗淡，肌肉切面无光泽	色泽暗淡，肌肉切面无光泽
气味	固有香味浓郁	固有香味较浓郁	固有香味清淡，略带异味	固有香味消失，有腥臭味或氨臭味	有强烈腥臭味或氨味
组织形态	肌肉组织致密完整，纹理很清晰	肌肉组织紧密，纹理较清晰	肌肉组织不紧密，但不松散	肌肉组织不紧密，局部松散	肌肉组织不紧密，松散
组织弹性	坚实富有弹性，手指压后凹陷立即消失	坚实有弹性，手指压后凹陷较快消失	较有弹性，手指压后凹陷消失较慢	稍有弹性，手指压后凹陷消失很慢	无弹性，手指压后凹陷不消失

## 2 结果与分析

### 2.1 内置保鲜垫片对冷鲜鲟鱼肉微生物的抑制

菌落总数是水产品腐败程度的主要指标,菌落总数  $4 \lg \text{CFU/g}$  时为一级鲜度;  $4 \lg \text{CFU/g} < \text{菌落总数} < 6 \lg \text{CFU/g}$  时为二级鲜度;当菌落总数  $> 6 \lg \text{CFU/g}$  时,水产品已达到腐败阶段<sup>[20]</sup>。保鲜垫片与鲟鱼肉表面接触时,垫片不仅能吸收冷藏期间产生的汁液,减缓微生物的生长繁殖<sup>[21]</sup>;同时垫片中会有聚赖氨酸溶出,可通过改变细胞膜内外的电势差,破坏微生物的细胞膜结构等起到抑菌作用,导致鱼肉中微生物增殖受到抑制甚至死亡<sup>[22]</sup>。保鲜垫片调控对冷鲜鲟鱼肉品质的影响见图 1。由图 1a 可知,各组鲟鱼肉的菌落总数随着冷藏时间的延长而上升,且对照组菌落总数上升速率高于各处理组。冷藏第 5 天时,对照组菌落总数达  $6.25 \lg \text{CFU/g}$ ,已超过二级鲜度指标,而 A2 组菌落总数在第 7 天时超过二级鲜度指标。直到第 9 天, A3 和 A4 组的菌落总数才超过了二级鲜度标准,达到腐败阶段。与对照组相比 A3 和 A4 组鱼肉样品中微生物的增殖得到有效抑制,货架期延长近 4 d,这与张伟娜的研究结果基本一致<sup>[23]</sup>。由图 1b 可知,各组鲟鱼肉的感官评分随着冷藏时间的延长呈下降趋势。冷藏 1 d 前,各组感官评分差异不显著 ( $P > 0.05$ );在冷藏 3 d 后,各组感官评分差异变大,对照组第 5 天的感官评分接近可接受临界值 (6.43 分) 而 A3 组和 A4 组的感官评分均保持在 8 分以上,鱼肉维持良好的感官状态。在冷藏 9 d 后,处理组腐败程度加剧,原因可能为冷藏后期的垫片吸水状态达到饱和,不再吸附汁液,未被吸收的汁液为细菌的增殖提供了条件,进而加快了样品的腐败。在整个冷藏期间(除第 7 天外), $\epsilon$ -聚赖氨酸质量浓度为 A3 组和 A4 组的垫片对鱼肉的感官评分影响不显

著 ( $P > 0.05$ )。综合考虑感官指标和微生物指标, A3 组即  $5 \text{ g/L}$  PL 保鲜垫片内置的调控方法对冷鲜鲟鱼肉微生物的抑制效果较好。

### 2.2 抗菌膜包覆对冷鲜鲟鱼肉微生物的抑制

冷藏过程中,包覆在冷鲜鲟鱼肉表面的抗菌膜中的壳聚糖及聚赖氨酸缓慢溶出,从而抑制了鱼肉表面微生物的增殖<sup>[24]</sup>。抗菌膜包覆调控对冷鲜鲟鱼肉品质的影响见图 2。由图 2a 可知,各组鲟鱼肉的菌落总数随着冷藏时间延长均呈上升趋势,其中对照组菌落总数上升速率显著高于处理组 ( $P < 0.05$ )。随着膜中添加聚赖氨酸浓度的升高,菌落总数上升的速率变慢。在冷藏第 5 天时, B1 组菌落总数为  $6.25 \lg \text{CFU/g}$ ,已超过二级鲜度指标。在冷藏第 9 天时, B4 组菌落总数仅为  $5.86 \lg \text{CFU/g}$ ,仍保持在二级鲜度范围内,且抑菌效果显著优于 B2, B3 组 ( $P < 0.05$ )。与 B1 组相比, B4 组可延长货架期近 4 d。这与吴海霜的研究结果基本一致<sup>[25]</sup>。由图 2b 可知,各组鱼片随着冷藏时间的延长感官性状逐渐变差,鱼片变得无光泽,并产生不良气味、失去弹性、流出汁液,使得粘度增加。B1 组在冷藏至第 7 天时,感官评分超出可接受值; B4 组在冷藏至第 9 天时,感官上仍可接受。综合而言, B4 组(即由  $\epsilon$ -聚赖氨酸质量浓度为  $0.5 \text{ mg/mL}$  的溶液制成的抗菌膜)对冷鲜鲟鱼肉微生物的抑制效果较好。

### 2.3 气调包装微环境对冷鲜鲟鱼肉微生物的抑制

除细菌总数外,优势腐败菌数也是评价水产品品质的重要指标之一,其中假单胞菌是多数鱼类中的优势腐败菌<sup>[26]</sup>。TVB-N 是由含氮化合物经酶促反应及微生物活动分解产生,TVB-N 值是评估贮藏过程中水产品质量的另一重要指标。

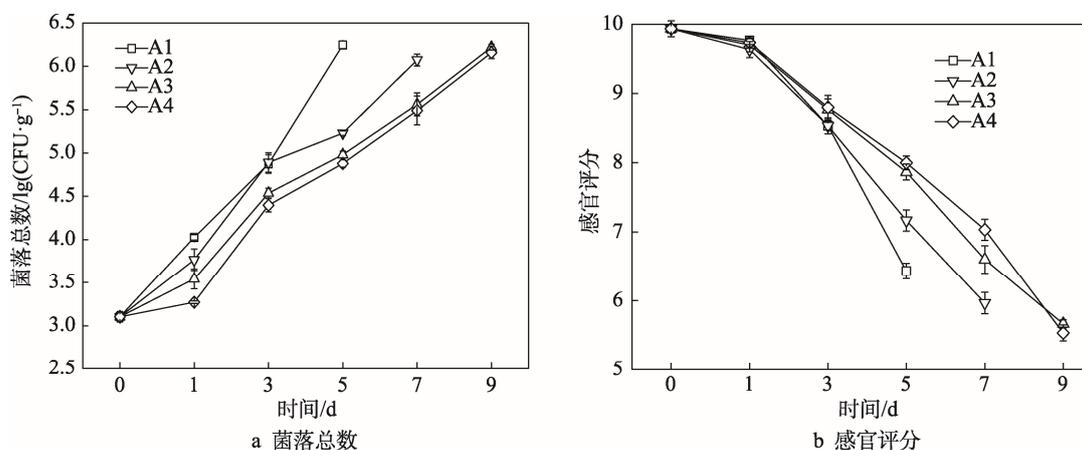


图 1 保鲜垫片调控对冷鲜鲟鱼肉品质的影响

Fig.1 Effect of fresh-keeping gasket on the quality of chilled fresh sturgeon meat

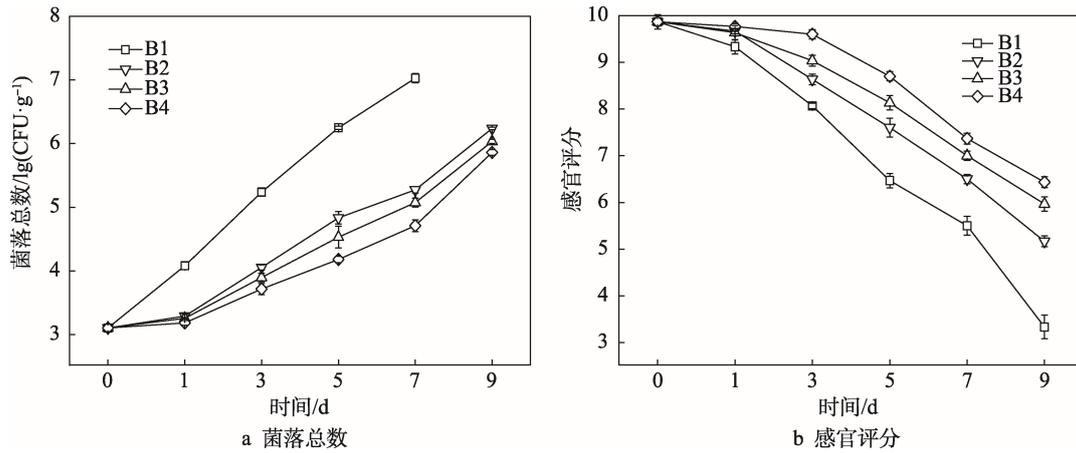


图 2 抗菌膜包覆调控对冷鲜鲟鱼肉品质的影响

Fig.2 Effect of antibacterial film coating on quality of chilled fresh sturgeon meat

气调包装微环境调控对冷鲜鲟鱼肉品质的影响见图 3。从图 3a—b 可以看出，各组鲟鱼肉的菌落总数、假单胞菌数均随着冷藏时间的延长而上升，且对照组的上升速率明显高于处理组。随着 CO<sub>2</sub> 含量的升高，各处理组的菌落总数和假单胞菌数上升速率减缓。在冷藏第 6 天时，对照组与低 CO<sub>2</sub> 含量的 C2 组和 C3 组的菌落总数已超过二级鲜度（分别为 7.18，6.96，6.86 lg CFU/g，高 CO<sub>2</sub> 含量的 C4，C5，C6 组

仍处于二级鲜度范围之内。气调包装盒内微环境中的 CO<sub>2</sub> 能明显抑制鲟鱼肉中微生物的增殖，且随着 CO<sub>2</sub> 含量的增加，对细菌的抑制作用越强。各组假单胞菌数量增殖规律与菌落总数的变化趋势相似，高 CO<sub>2</sub> 含量能抑制样品中假单胞菌的增殖，此结果也与孔萍等的研究结果类似<sup>[27]</sup>。

各组鲟鱼肉的 TVB-N 值随着冷藏时间变化的规律见图 3c，随着冷藏时间延长 TVB-N 值呈上升趋势，

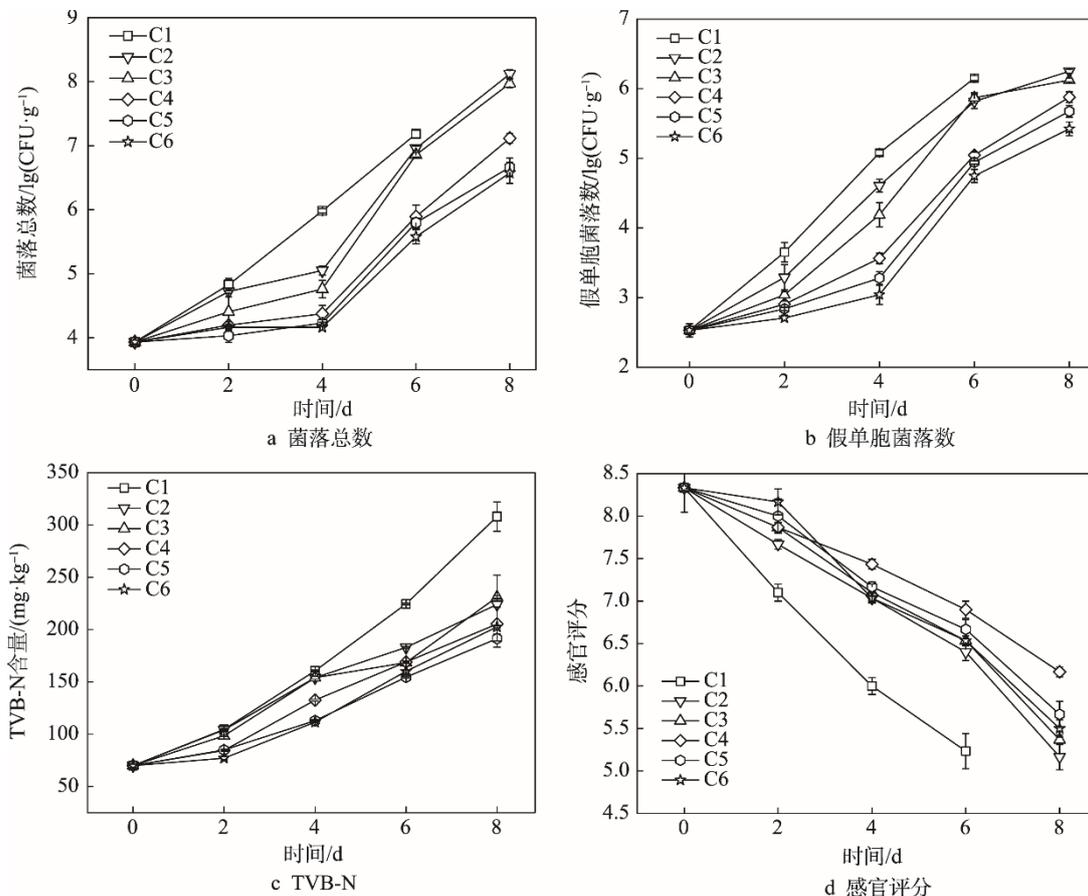


图 3 气调包装微环境调控对冷鲜鲟鱼肉品质的影响

Fig.3 Effect of microenvironment control of modified atmosphere packaging on the quality of chilled fresh sturgeon meat

与其他水产品冷藏过程中的挥发性盐基氮变化规律一致<sup>[28]</sup>；在冷藏第6天时，对照组鲟鱼肉的TVB-N值已超过二级鲜度上限（224.5 mg/kg），含CO<sub>2</sub>组则在第8天超过二级鲜度指标。由冷鲜鲟鱼肉的感官评价结果（见图3d）可知，C4组C在冷藏至第8d时，感官评分仍未超过可接受临界值；对照组鲟鱼肉的感官评分超过可接受临界值时为第6天，其他组的感官评分超过可接受临界值时为第8天。整个冷藏期间，从第4天起，C4组的感官评分显著优于其他组（ $P<0.05$ ）。综合各评价指标，C4组的气调包装微环境调控对冷鲜鲟鱼肉微生物的抑制效果较好。

### 2.4 多种包装调控方法集成对冷藏冷鲜鲟鱼肉品质及货架期的影响

由于单一包装调控方法与鱼肉接触面及抑制微生物的机理不同，往往难以达到理想的品质效果，因此集成多种包装调控方法，使得各种方法联合协同，以期能够最大限度地抑制微生物的生长繁殖，维持鱼肉品质，延长产品货架期。

包装调控方法集成对冷鲜鲟鱼肉品质的影响见图4。从图4a—b可以看出，与D1组相比，集成3种包装调控方法的D2组样品中菌落总数和假单胞菌数的增殖较为缓慢，D1组的上升速率显著高于D2

组（ $P<0.05$ ）。在冷藏第7天时，D1组菌落总数为6.10 lg CFU/g，超过二级鲜度范围。D2组在冷藏至第11天时超过二级鲜度范围（菌落总数为6.20 lg CFU/g）。以微生物指标判定，2组样品的货架期分别为7 d和11 d，表明3种包装调控方法集成后发挥了协同增效作用，使得货架期延长了4 d，此结果与张根生等<sup>[29]</sup>的研究结果一致。

生鲜水产品加工和冷藏过程中，肌肉组织的pH值会因自身内源酶和微生物的作用发生变化，其变化的速度和程度会影响最终产品的鲜度和品质。从图4c可以看出，D1组和D2组的pH值随冷藏时间的延长均呈先下降后上升的趋势，3种包装调控方法集成能显著抑制冷藏后期样品pH值的增加（ $P<0.05$ ）。pH值的改变与鱼肉中内源酶的作用以及微生物分解鱼肉蛋白质有关。在冷藏后期，pH值增加速率的减缓表明，3种包装调控方法集成后较对照组能够更好地抑制微生物的增殖。2组样品的感官评分结果见图4d，结果显示，D2组的感官评分在整个冷藏期都维持在较高水平，D1组的下降速率显著高于D2组（ $P<0.05$ ）。D1组的感官评分处于可接受临界值时为冷藏第7天，D2组为冷藏第11天，与微生物指标指示的货架期结果一致。

综合微生物、化学和感官指标可知，集成多种包

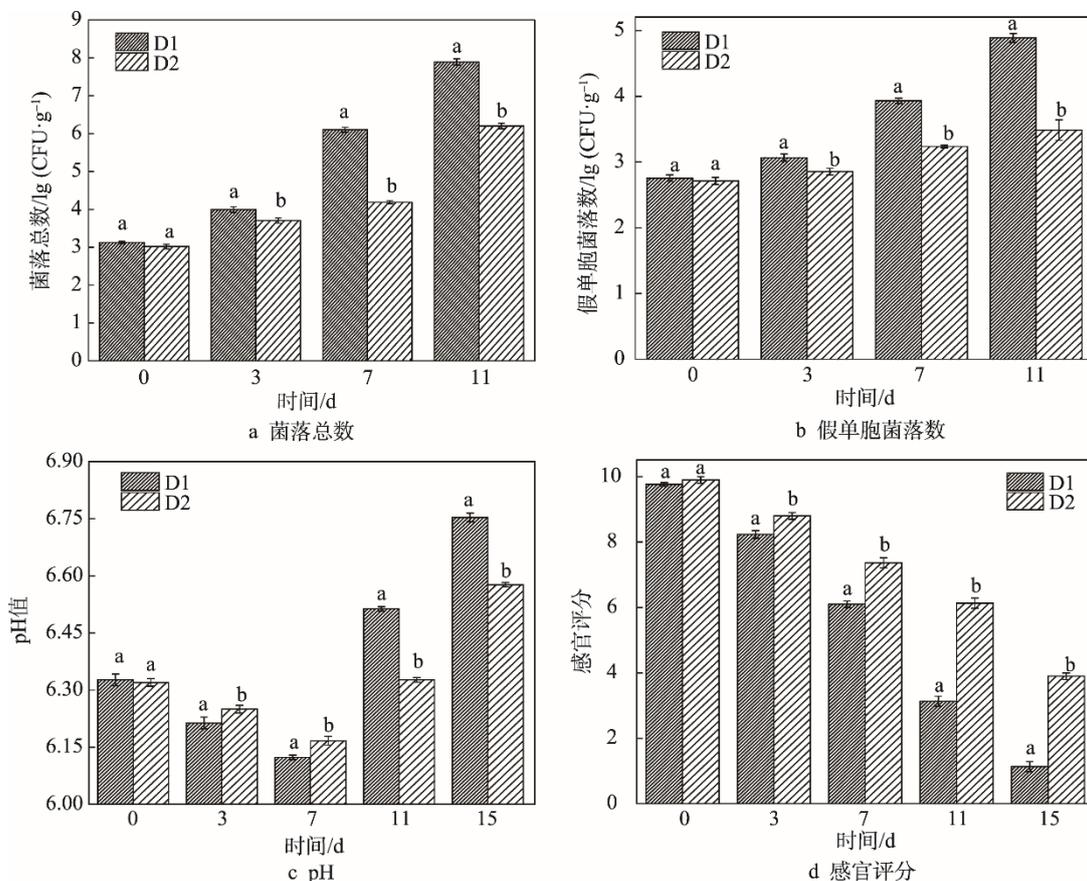


图4 包装调控方法集成对冷藏冷鲜鲟鱼肉品质的影响

Fig.4 Effect of packaging regulation method integration on the quality of chilled fresh sturgeon meat

装调控方法对冷鲜鲟鱼肉的品质维持效果优于单一包装调控方法。单一气调包装调控的样品货架期为 7 d, 3 种包装调控方法集成的样品货架期增至 11 d, 将货架期延长了 4 d。

### 3 结语

文中以抑制微生物增殖为出发点, 探究在  $(4\pm 1)^{\circ}\text{C}$  冷藏条件下,  $\epsilon$ -聚赖氨酸保鲜垫片内置、 $\epsilon$ -聚赖氨酸/壳聚糖抗菌膜包覆和气调包装微环境等 3 种不同包装调控方式对冷鲜鲟鱼肉微生物的抑制作用, 以及多种包装调控方法集成施加对冷鲜鲟鱼肉品质的维持及货架期的影响。在  $\epsilon$ -聚赖氨酸质量浓度为 5 g/L 的保鲜垫片内置、 $\epsilon$ -聚赖氨酸浓度为 0.5 mg/mL 溶液制成的抗菌膜包覆鱼肉和  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  的体积分数分别为 30% 与 70% 的气调包装微环境等 3 种包装条件下, 鲟鱼肉中微生物能得到有效抑制。3 种包装调控方式集成施加能显著抑制冷鲜鲟鱼肉中微生物的增殖及冷藏后期鱼肉 pH 值的升高, 维持良好的感官状态, 货架期可达 11 d; 与单一气调包装调控方法相比, 能够延长冷鲜鲟鱼肉货架期 4 d。

#### 参考文献:

- [1] 苗玉涛, 王安利, 王维娜, 等. 史氏鲟肌肉游离氨基酸分析[J]. 水产渔业, 2003, 23(6): 24—26.  
MIAO Yu-tao, WANG An-li, WANG Wei-na, et al. History Sturgeon Muscle Free Amino Acid Points[J]. Aquatic Fishery, 2003, 23(6): 24—26.
- [2] 贺艳辉, 袁永明, 张红燕, 等. 中国鲟鱼产业发展现状、机遇与对策建议[J]. 湖南农业科学, 2019(7): 118—121.  
HE Yan-hui, YUAN Yong-ming, ZHANG Hong-yan, et al. Development Status, Opportunities and Countermeasures of Chinese Sturgeon Industry[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2019(7): 118—121.
- [3] 杨胜平, 谢晶. 冰温结合生物保鲜剂技术在水产品保鲜中的应用[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10664—10666.  
YANG Sheng-ping, XIE Jing. Application of Ice Temperature Combined with Biological Preservative Technology in Preservation of Aquatic Products[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(22): 10664—10666.
- [4] 霍建聪, 李湘利. 气调包装技术在冷却肉保鲜中的应用[J]. 肉品卫生, 2005(11): 47—49.  
HUO Jian-cong, LI Xiang-li. Application of Modified Atmosphere Packaging Technology in Cooling Meat Preservation[J]. Meat Hygiene, 2005(11): 47—49.
- [5] 翁丽萍, 钟立人, 戴志远. 国内外鱼和鱼制品的气调保鲜研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(3): 160—163.  
WENG Li-ping, ZHONG Li-ren, DAI Zhi-yuan. Modified Atmosphere of Fish and Fish Products at Home and Abroad[J]. Food and Machinery, 2006, 22(3): 160—163.
- [6] 杨胜平, 谢晶. 不同体积分数  $\text{CO}_2$  对气调冷藏带鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 275—279.  
YANG Sheng-ping, XIE Jing. Effects of Different Volume Fractions of  $\text{CO}_2$  on the Quality of Modified Fish[J]. Food Science, 2011, 32(4): 275—279.
- [7] ALI A, MAQBOOL M, RAMACHANDRAN S, et al. Gum Arabic as a Novel Edible Coating for Enhancing Shelf-life and Improving Postharvest Quality of Tomato (*Solanum Lycopersicum* L) Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(1): 42—47.
- [8] HIRAKI J, ICHIKAWA A, NINOMIY A, et al. Use of ADME Studies to Confirm the Safety of  $\epsilon$ -p-lysine as Apreservative in Food[J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2003, 37: 328—340.
- [9] 肖乃玉, 李佳臻, 郭意霖, 等. 食品抗菌包装材料的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2013(10): 161—167.  
XIAO Nai-yu, LI Jia-zhen, GUO Yi-lin, et al. Research Progress on Food Antibacterial Packaging Materials[J]. Food and Fermentation Industry, 2013(10): 161—167.
- [10] 陈亮, 赵瑞鹏, 沈卫华, 等. 壳聚糖-混合精油薄膜的制备及对生猪肉的保鲜效果研究[J]. 食品工业, 2013, 34(8): 8—10.  
CHEN Liang, ZHAO Rui-peng, SHEN Wei-hua, et al. Preparation of Chitosan-mixed Essential Oil Film and Study on Fresh-keeping Effect of Raw Pork[J]. Food Industry, 2013, 34(8): 8—10.
- [11] 吕飞, 叶兴乾, 刘东红. 食品抗菌包装系统的研究与展望[J]. 农业机械学报, 2009(6): 138—142.  
LYU Fei, YE Xing-qian, LIU Dong-hong. Research and Prospect of Food Antibacterial Packaging System[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2009(6): 138—142.
- [12] 张春森, 徐丹, 周敏. 载银抗菌衬垫对冷鲜肉的保鲜效果研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 128—134.  
ZHANG Chun-sen, XU Dan, ZHOU Min. Study on Fresh-keeping Effect of Silver-loaded Antibacterial Pad on Cold Meat[J]. Food & Mechanical, 2017, 33(10): 128—134.
- [13] JANG J D, SEO G H, LYU E S, et al. Hurdle Effect of Vinegar and Sake on Korean Seasoned Beef Preserved by Sous Vide Packaging[J]. Food Control, 2006, 17(3): 171—175.
- [14] KUMAR S, GAUTAM S, SHARMA A. Hurdle Technology Including Chlorination, Blanching, Packaging and Irradiation to Ensure Safety and Extend Shelf Life of Shelled Sweet Corn Kernels[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 2340—2347.
- [15] THOMAS R, ANJANEYULU A S R, KONDAIAH N. Development of Shelf Stable Pork Sausages Using Hurdle Technology and Their Quality at Ambient Temperature ( $37\pm 1$ )  $^{\circ}\text{C}$  Storage[J]. Meat Science, 2008, 79(1): 1—12.

- [16] GB/T 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[S].  
GB/T 4789.2—2016, National Food Safety Standards Food Microbiology Inspection Total Number of Colonies[S].
- [17] GB/T 5009.45—2003, 水产品卫生标准的分析方法[S].  
GB/T 5009.45—2003, Analysis Method for Aquatic Product Hygiene Standards[S].
- [18] GB/T 5009.44—2003, 肉与肉制品卫生标准的分析方法[S].  
GB/T 5009.44—2003, Analytical Method for Hygiene Standards for Meat and Meat Products[S].
- [19] 高杨, 周国兴, 王洋, 等. 鲟鱼片 5 °C 托盘冷藏过程微生物理化及感官指标的变化[J]. 农产品加工(创新版), 2010(7): 37—40.  
GAO Yang, ZHOU Guo-xing, WANG Yang, et al. Microbial Physicochemical and Sensory Indicators of Squid Slices at 5 °C Tray Refrigeration Process[J]. Agricultural Products Processing (Innovation Edition), 2010(7): 37—40.
- [20] HANUŠOVÁ K, ŠTASTNÁ M, VOTAVOVÁ L, et al. Polymer Films Releasing Nisin and/or Natamycin from Polyvinylidene Chloride Lacquer Coating: Nisin and Natamycin Migration, Efficiency in Cheese Packaging[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99(4): 491—496.
- [21] 孔萍. 调理猪肉复合保鲜技术及其常温物流适应性研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2016: 24—26.  
KONG Ping. Conditioning Technology of Conditioning Pork and Its Adaptability to Normal Temperature[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2016: 24—26.
- [22] KITO M, TAKIMOTO R, YOSHIDA T, et al. Purification and Characterization of an  $\epsilon$ -poly-L-lysine-degrading Enzyme From an  $\epsilon$ -poly-L-lysine-producing Strain of *Streptomyces Albulus*[J]. Archives of Microbiology, 2002, 178(5): 325—330.
- [23] 张伟娜.  $\epsilon$ -聚赖氨酸的抑菌特性及对猪肉保鲜效果研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2013: 36—41.  
ZHANG Wei-na. Antibacterial Properties of  $\epsilon$ -polylysine and Its Effect on Pork Preservation[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2013: 36—41.
- [24] 孙铭维, 童津津, 张华, 等. 壳聚糖在奶牛中的生物学功能及应用[J]. 动物营养学报, 2018, 30(6): 2079—2084.  
SUN Ming-wei, TONG Jin-jin, ZHANG Hua, et al. Biological Function and Application of Chitosan in Dairy Ows[J]. Acta Nutrition Journal, 2018, 30(6): 2079—2084.
- [25] 吴海霜, 李亚娜, 刘莉艳.  $\epsilon$ -聚赖氨酸-壳聚糖/PE 复合膜对鲜切茄子保鲜作用[J]. 中国酿造, 2017, 36(1): 164—167.  
WU Hai-shuang, LI Ya-na, LIU Li-yan. Fresh-keeping Effect of  $\epsilon$ -polylysine-chitosan/PE Composite Membrane on Fresh-cut Eggplant[J]. China Brewing, 2017, 36(1): 164—167.
- [26] 励建荣, 杨兵, 李婷婷. 水产品优势腐败菌及其群体感应系统研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 255—259.  
LI Jian-rong, YANG Bing, LI Ting-ting. Research Progress on Superior Spoilage Bacteria and Its Population Sensing System in Aquatic Products[J]. Food Science, 2015, 36(19): 255—259.
- [27] 孔萍, 孙杰, 易阳. 基于单纯形-重心设计优化气调包装冷鲜猪肉的气体比例[J]. 食品工业科技, 2016, 37(7): 310—315.  
KONG Ping, SUN Jie, YI Yang. Optimization of Gas Proportion of Modified Fresh-corn Pork Based on Simplex-center of Gravity Design[J]. Food Science and Technology, 2016, 37(7): 310—315.
- [28] ZHANG L N, HU S M. Changes in Quality of Grass Carp Tablets During Storage between Refrigeration and Partial Freezing[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(8): 175—179.
- [29] 张根生, 姜艳, 张毅超, 等. 冷却肉栅栏保鲜工艺优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4502—4509.  
ZHANG Gen-sheng, JIANG Yan, ZHANG Yi-chao, et al. Optimization of Fresh-keeping Process for Cooling Meat Fence[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015, 6(11): 4502—4509.