



· 综述 ·

## 生食牡蛎从离水到餐桌的安全与质量管理现状与对策

李漫<sup>1</sup>, 王卓琳<sup>2</sup>, 刘泽鹏<sup>1</sup>, 赵慧<sup>1</sup>, 卢航<sup>1</sup>,  
姜玉声<sup>3</sup>, 袁春红<sup>2</sup>, 田元勇<sup>1\*</sup>

(1. 大连海洋大学食品科学与工程学院, 辽宁 大连 116023;

2. 岩手大学农业学部, 日本 岩手 0208550;

3. 大连海洋大学, 大连市虾蟹繁育与健康养殖重点实验室, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 生食牡蛎的安全与质量是影响其销售价格的关键要素。本文首先回顾了各国关于生食牡蛎的安全质量管理现状, 并从食用安全性、活力状态、风味质量三个方面进行综述。然后从流通链的角度, 系统分析了养殖、捕捞、清洗、净化、运输、销售等关键节点对生食牡蛎品质的影响。牡蛎从养殖到销售的整个过程中, 可能受到多重安全危害因子的影响, 对其食用安全性造成潜在威胁, 其中主要包括贝类毒素、重金属、有害微生物、病毒等, 通过规范的养殖和流通管理可消除这些危害。此外, 从离水到餐桌, 牡蛎暴露于一系列可能引发应激反应的环境压力源(干露、温度、氧气、密度等), 导致活力状态和风味品质下降严重, 也造成了重大经济损失。由于胁迫方式、胁迫强度、持续时间等差异, 不同节点上相同或不同的应激源的影响非常复杂。快速准确的活力评价是进行流通中质量管理的基础, 本文综述了牡蛎流通过程中遭遇多重胁迫时, 其代谢与活力的关联, 以及代谢物对风味特性的影响, 为生食牡蛎进行精准的品质控制提供理论依据。

**关键词:** 牡蛎; 生鲜; 食用; 安全; 质量; 标准; 离水到餐桌

中图分类号: S 983; TS 201.6

文献标志码: A

牡蛎是我国养殖产量最大的贝类, 2022年的养殖产量为 619.95 万 t<sup>[1]</sup>, 主要产于福建、山东和广东等地。目前牡蛎的养殖方式主要有地笼法、可调式长绳吊篮法、浮笼法、浮袋法<sup>[2]</sup>、浮排养殖、延绳式养殖、沉排养殖以及插桩养殖等<sup>[3]</sup>。不同养殖方式和养殖环境会影响弧菌水平的高低<sup>[4]</sup>, 进而影响消费者的健康。在确保食用的基础上, 活力是决定食用方式和售价最主要的因素, 但是关于牡蛎活力的判断比鱼类更加困难。消费者通常以观察外壳紧闭程度、密度(相对于外壳的重量)等手段进行初步判断。在研究中常以牡

蛎组织中能量水平进行评价, 如其糖原<sup>[5]</sup>、腺嘌呤核苷三磷酸(ATP)及其关联化合物<sup>[6]</sup>含量等。从离水到餐桌, 牡蛎经历了捕后处理、流通分配等环节, 缺水、缺氧、挤压等多种胁迫因素会使其活力下降、风味劣化, 甚至死亡。水分流失被认为是引起牡蛎死亡的最主要因素<sup>[7]</sup>。牡蛎的活力以及风味与运输距离、运输方式以及处理方式密切相关。

在食用方式方面, 国外主要以生食或轻度加热为主。而我国大多数消费者选择蒸、煮、烤等方式热加工后食用。除了消费者的饮食习惯外,

收稿日期: 2024-02-17 修回日期: 2024-04-01

资助项目: 国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”项目(2022YFE0117900); 设施渔业教育部重点实验室(大连海洋大学)开放课题基金(202323)

第一作者: 李漫(照片), 从事水产品保鲜研究, E-mail: liman3278@163.com

通信作者: 田元勇, 从事水产品保鲜研究, E-mail: tianyanyong@foxmail.com



对安全性的担忧也是影响食用方式的重要因素。因此, 系统评估牡蛎从离水到餐桌供应链的品质变化对生食消费至关重要。通过终端品质提升不仅可确保消费者满意度, 还可以帮助生产商确定行业内的竞争优势和机会。最佳水产养殖规范 (Best Aquaculture Practices, BAP)<sup>[8]</sup> 认证是由全球水产养殖联盟 (Global Aquaculture Alliance, GAA) 于 2002 年发布, 作为认证标准逐渐受到人们的重视。该认证是一个国际认证体系, 适用于鱼类和其他水生无脊椎动物等多种水产养殖品种, 并通过建立育苗、养殖、加工及流通过程中的各项标准, 以“从离水到餐桌”全链条的角度全面审核, 确保食品安全、环境保护、社会责任、动物福利以及产品全过程可追溯, 提供最高水准的操作规范。迄今为止, 全球获该认证的牡蛎养殖场和加工厂已有数千家, 涵盖了全球多个国家和地区。我国也有一部分企业通过了该认证, 以使生食牡蛎得到更高的品质保障。

本文系统回顾了国内外生食牡蛎的安全规范和质量评价现状, 并以此为基础评估辽宁地区生食牡蛎从养殖到离水, 再到餐桌的流通过程 (养殖、采捕、清洗及净化、活品流通), 对各环节胁迫因素进行分析, 探讨了针对性的品质控制策略, 并为建立可控操作提供理论依据。

## 1 生食牡蛎安全与质量标准

### 1.1 牡蛎的安全标准与规范

欧美、日本等国家对牡蛎安全性有不同的要

求 (表 1)。欧盟理事会 (European Parliament and of the Council, EC) 第 854/2004 号条例<sup>[9]</sup>、美国国家贝类计划 (National Shellfish Sanitation Program, NSSP)<sup>[10]</sup>、日本厚生劳动省 (Ministry of Health, Labour and Welfare, MHLW)<sup>[11]</sup> 均明确提出了需要对养殖区域的水质和贝类毒素进行监测, 确保消费者在生食牡蛎时不受食源性疾病的威胁。其中, 欧盟和日本法规都具有法律约束力, 而美国国家贝类计划不具有强制性。目前我国仍缺乏单独针对牡蛎养殖及流通环节的标准或指南。牡蛎养殖技术规范<sup>[12]</sup> 中对牡蛎养殖的术语和定义、环境条件、苗种繁殖、中间培育和海上养殖技术进行了规定。《食品安全国家标准 食品中农药最大残留量》<sup>[13]</sup> 规定了水产品中允许的农药残留最大限量。《中华人民共和国食品安全法》涵盖了食品生产、加工、销售、进口等环节的食品安全要求。但我国尚未针对生食牡蛎制订相关标准及法规。

### 1.2 牡蛎的质量标准与研究现状

质量标准是商品流通的重要依据, 需要从感官、理化、微生物等方面进行评价, 但是目前生食牡蛎仍缺少质量标准。目前, 牡蛎由于独特的形态特征和食用方式, 在实际流通中, 活力状态成为了生食牡蛎的重要指标之一。消费者通常根据外壳闭合的状态进行活力的初步判断, 常认为外壳闭合紧密的牡蛎活力较好。此外, 研究者通过分析贝类闭壳肌的 pH、糖原、ATP 及其关联化合物以及核苷酸能荷 (adenylic acid energy charge,

表 1 不同国家生食牡蛎的相关卫生标准

Tab. 1 Relevant standards for raw oysters in different countries

国家 country	标准编号 standard code	主要指标 key indicators	参考文献 reference
欧盟 European Union	欧盟理事会(EC)第854/2004号条例 Regulation (EC) No 854/2004 of the European Parliament and of the Council	微生物指标: 大肠杆菌(230 MPN/100g)、沙门氏菌(阴性/25 g); 贝类毒素: 麻痹性贝类毒素(paralytic shellfish poisoning, PSP, 800 µg/kg)、健忘性贝类毒素(amnesic shellfish poisoning, ASP, 20 µg DA/kg)等; 其他指标: 重金属、多环芳烃和多氯联苯; 物理指标: 外观、异物; 感官指标: 气味和滋味; 环境监控: 水质(海区以贝肉中大肠杆菌含量进行划分); 追溯和标识。	[9]
美国 America	美国国家贝类卫生计划(NSSP)贝类控制指南2019修订版 the National Shellfish Sanitation Program	微生物指标: 产肠毒素性大肠杆菌(enterotoxigenic <i>Escherichia coli</i> , ETEC, 5个样品中, 1个及以上不超过330 MPN/100 g或2个及以上不超过230 MPN/100 g); 生物毒素: 麻痹性贝类毒素(80 µg/100 g)、腹泻型贝类毒素(0.16 mg/kg)等; 其他指标: 重金属、多环芳烃类有机化合物、多氯联苯等; 水质标准(海区以水样中总大肠杆菌或粪大肠菌群进行划分); 物理条件: 温度及贮藏时间。	[10]
日本 Japan	日本《食品卫生法》No. 370, 1959 Ministry of Health and Welfare Notification No. 370, 1959	微生物指标: 大肠杆菌(230 MPN/100 g)、菌落总数 (50 000 CFU/g); 贮藏要求: 温度、容器、包装。	[11]

注: MPN. 大肠杆菌最大估算值, 表示样品中大肠杆菌活菌密度估算值; DA. 多莫酸, 是健忘性贝类毒素的主要成分。

Notes: MPN. most probable number of *E. coli*, represents the estimated viable density of *E. coli* in the sample; DA. domoic acid, is the main component of amnesic shellfish toxins.

AEC) 值 (表 2) 等理化指标, 以达到检测贝类活力状态的目的。上述指标可以用于评价贝类的活力状态并在科研上被广泛应用, 但是因操作复杂、耗时长等原因, 在实际流通中的应用受限。牡蛎活力受复杂的能量代谢影响, 包括蛋白质代谢、糖代谢、脂质代谢以及氨基酸代谢<sup>[14]</sup>。此外, 线粒体作为真核细胞中主要的耗氧产能细胞器, 与能量的产生以及氧化应激反应密切相关。作为能

量代谢中心的线粒体, 其活性也可作为捕后品质控制的有效指标<sup>[15]</sup>。线粒体产生超过 90% 的 ATP, 其损伤对牡蛎活力的供应造成严重的影响<sup>[16]</sup>。溶解氧波动 (dissolved oxygen fluctuations) 是牡蛎所处生活环境常见的一个应激源<sup>[17]</sup>, 当牡蛎长期处于干露状态时, 其细胞内的氧化平衡遭到破坏, 线粒体作为细胞内氧气波动作用的主要细胞器, 其功能紊乱会导致活性氧 (ROS) 的产生增加<sup>[18]</sup>。

表 2 牡蛎活力与风味相关评价指标

Tab. 2 Evaluation indicators related to the vitality and flavor of oysters

品种 species	理化指标 physical and chemical indicators	风味 flavor	参考文献 reference
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	糖原含量、RNA测序、GC-TOF/MS代谢物分析		[14]
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	线粒体呼吸、细胞色素C呼吸酶活性、细胞色素C浓度、实时荧光PCR分析		[15]
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	ATP及其关联化合物、线粒体膜电位、细胞色素C的释放、Bcl-2家族蛋白的表达、半胱氨酸蛋白酶活性		[16]
美洲帘蛤 <i>Mercenaria mercenaria</i> 美洲牡蛎 <i>Crassostrea virginica</i> 海湾扇贝 <i>Argopecten irradians</i>	蛋白水解活性、总抗氧化能力、乌头酸酶活性、热休克蛋白60 (HSP 60) 的表达		[17]
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	耗氧率ROS的测定		[18]
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i> 美洲牡蛎 <i>Crassostrea virginica</i>	脂肪酸	气味: 新鲜植物气味、新鲜甜瓜味	[19]
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	一般化学组成、游离氨基酸、甜菜碱、IMP、氧化三甲胺、琥珀酸	滋味: 甜味、苦味、鲜味	[20]
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	游离氨基酸和5'-核苷酸的定量、脂质谱图分析	滋味: 甜味、鲜味	[21]
长牡蛎 <i>Crassostrea gigas</i>	糖原、pH值、ATP及其关联化合物、琥珀酸脱氢酶、游离氨基酸、菌落总数	滋味: 甜味、鲜味、酸味	[22]

此外, 风味也是生食牡蛎的重要指标。风味分为气味和滋味两种。牡蛎所含的挥发性呈味物质多达上百种, 这些物质共同决定了牡蛎的芳香特性, 对于其整体风味起到至关重要的作用。因此, 在牡蛎的感官评价中, 挥发性呈味物质所提供的独特气味被视为一个重要的评价要素, 其主要通过牡蛎中存在的多不饱和脂肪酸酶降解或自氧化反应生成<sup>[19]</sup>。牡蛎滋味的不同主要是受牡蛎自身的非挥发性呈味物质影响, 滋味化合物主要包括有机酸、5'-核苷酸以及游离氨基酸<sup>[20]</sup>。其中ATP是细胞的“能量货币”, 肌肉组织中的ATP会发生一系列的降解, 降解产物AMP和IMP含量和风味密切相关<sup>[21]</sup>。闫丽新等<sup>[22]</sup>通过对贮运过程中牡蛎的呈味化合物含量进行研究, 发现呈味核苷酸、游离氨基酸以及呈味无机盐离子三者之间存在协同效应, 使鲜味增强。

## 2 生鲜牡蛎“从离水到餐桌”的品质变化

牡蛎在捕后到流通过程中主要经历养殖、离水、清洗、净化、包装、运输和销售等环节, 经历干露、复水、低氧、碰撞、挤压、饥饿等多重胁迫影响, 导致牡蛎的活力状态产生波动, 进而对风味产生直接的影响。后文将对流通过程中各环节的胁迫因素进行分析, 并提出解决对策。

### 2.1 养殖

牡蛎作为一种重要的海洋经济贝类, 其品质受到多种因素的影响。首先, 牡蛎以海水中藻类等悬浮物质为食, 单个牡蛎每天过滤 113~189 L 的海水<sup>[23]</sup>。然而, 海水中微塑料、重金属等有害物质易在其体内蓄积<sup>[24]</sup>, 同时养殖海域的副溶血性弧菌 (*Vibrio parahaemolyticus*) 和大肠杆菌等也

是影响生食牡蛎品质的主要不利因子。通过加强养殖海域的环境监测和管控方式能够有效消除上述不利影响。我国海水养殖牡蛎以不投饵料为主<sup>[25]</sup>, 因此, 牡蛎的生长状况严重依赖于养殖环境<sup>[26]</sup>、养殖季节<sup>[27]</sup>以及养殖密度<sup>[28]</sup>。不同养殖区域的牡蛎具有不同的挥发性化合物<sup>[29]</sup>。在遗传因素、养殖环境和养殖方式的综合影响下, 牡蛎壳的外观特性和坚固性呈现出差异。同时, 牡蛎的生长位置也会对其形态产生显著影响<sup>[30]</sup>。牡蛎形状可能会影响牡蛎体腔液含量, 进而影响其维持活力的能力, 甚至对风味产生影响。牡蛎的出肉率和壳形是反映牡蛎市场价格的重要因素<sup>[31]</sup>。

## 2.2 捕后处置

在全球范围内, 牡蛎的养殖和采捕方式存在显著的区域差异性。韩国和日本等牡蛎产业发达的国家已实现牡蛎采收机械化, 牡蛎在捕捞船上清洗后会直接运至加工厂, 有效避免陆地处理的二次污染<sup>[32]</sup>。在我国, 养殖者更多地采用天然海域的吊笼养殖, 在养殖期间吊笼表面经常附着紫贻贝 (*Mytilus edulis*)、藻类等, 牡蛎间也会相互附着。因此, 采捕后需要进行清除附着物作业。目前, 该作业未形成规范, 通常在露天环境进行, 附着物未及时清理导致蚊蝇滋生, 恶劣的卫生环境加大了二次污染概率。此外, 作业人员、空中飞鸟排泄物等外源污染物也未进行有效控制。通过锤砸、刀割等方式将牡蛎进行分离, 不但效率低, 且容易对牡蛎造成伤害, 一旦牡蛎外壳受损, 即会导致牡蛎体腔液流失, 严重影响牡蛎的货架期。因此, 对收获的牡蛎进行接力干预来降低捕后致病菌水平至关重要<sup>[33]</sup>。而作业自动化和操作标准化的提高是未来发展的重要方向。

## 2.3 清洗、净化环节

牡蛎在采捕后首先经过清洗环节, 以去除外壳表面附着物, 提高牡蛎的外观品质。目前牡蛎加工厂主要以物理振动以及滚刷配合喷淋装置的方式对牡蛎表面的污染物进行清洗, 此过程往往会使牡蛎暴露在空气中, 并伴随着挤压、碰撞等物理胁迫。此外, 清洗环节会加大外部污染物侵入内部的可能性。净化环节是为了除去牡蛎体内的细菌、寄生虫和其他污染物, 以提高牡蛎的食品安全性和存活率。目前, 双壳贝类的净化技术主要分为灭菌海水暂养法、物理净化法、化学净化法以及生物净化法<sup>[34]</sup>。采用紫外杀菌和臭氧杀菌的灭菌海水较为广泛。臭氧杀菌能力依菌属而

异, 一般在 0.1~1.0 mg/L 的浓度下进行 1~2 min 的处理可杀死 99% 的细菌<sup>[35]</sup>, 但该过程极易使牡蛎暴露在残留的臭氧中, 从而影响活力。我国常用经砂滤罐过滤的海水以及臭氧杀菌海水来净化牡蛎。日本一些地区是用深层海水来净化牡蛎<sup>[36]</sup>, 深层海水通常被认为是干净且富含营养的水源, 且水温常年稳定在 2~4℃, 海水溶解氧含量高, 也有助于缓解极端波动对牡蛎造成的胁迫。

此外, 净化海水的盐度以及温度也是影响生鲜牡蛎品质的重要因素。在净化过程中, 牡蛎为了抵消盐度的波动会闭壳, 但如果盐度波动剧烈且持续时间长, 牡蛎可能会停止呼吸, 甚至死亡<sup>[37]</sup>。不同的净化盐度还会对牡蛎的营养成分产生明显的影响。当盐度波动幅度为 $\pm 2$ 时, 糖原和蛋白质等含量显著降低, 总脂质含量出现下降, 盐度的波动还使抗氧化酶的活性发生明显的变化<sup>[38]</sup>。并且还会影响牡蛎的菌落总数, 以及它们的死亡率和生理过程<sup>[39]</sup>。因此, 盐度是净化过程中的一个关键环境因素。此外, 还可以通过使用低温净化海水来降低副溶血性弧菌的数量<sup>[40]</sup>。但温度的极端波动也会影响牡蛎的成活率和品质, 冷却速率越快, 对牡蛎的温度压力越大, 从而导致牡蛎品质下降<sup>[41]</sup>。

## 2.4 活品流通

生鲜牡蛎的运输方式有 2 种, 有水运输和无水运输<sup>[42]</sup>。目前, 我国牡蛎的运输以淡水冰为主要控温方式, 淡水冰融化后对牡蛎产生严重胁迫, 导致牡蛎重量减轻, 口感变差, 还会出现部分牡蛎死亡的现象, 进而使得经营成本大幅度提高。此外, 无水运输时牡蛎的呼吸模式由有氧变成无氧, 涉及到复杂的呼吸代谢改变, 包括糖酵解、TCA 循环、氧化磷酸化等途径<sup>[43]</sup>。当处于无水状态 4 d 后, 其 AEC 值降至 67.59%<sup>[44]</sup>, 使牡蛎品质大幅下降。因此, 为维持流通中活品牡蛎的质量, 应采取一系列措施降低其代谢活性<sup>[45]</sup>。如运输前对牡蛎进行预冷处理, 使其进入休眠状态, 降低应激反应, 减少能量代谢损失, 提高其品质<sup>[46]</sup>。此外, 还需要关注以下几个关键控制点: 温度<sup>[47]</sup>、湿度<sup>[48]</sup>、透氧性、包装的选择以及避免震动和挤压。在牡蛎的运输过程中, 必须高度重视并妥善控制各种因素造成的叠加影响, 以确保牡蛎的品质及其食用安全性不受影响。

## 2.5 销售

牡蛎销售过程中的产品储存也至关重要, 控

制适当的温度会延缓牡蛎品质下降速率以保障牡蛎的品质<sup>[49]</sup>。为了确保牡蛎在食用前保持良好的活力, 应选择冷藏而不是冷冻储存<sup>[50]</sup>, 因此, 冰温保鲜 (-2~0℃) 是市场流通过程中最主要的保鲜方法<sup>[51]</sup>。长期的干露导致牡蛎生物体产生一系列的代谢反应, 进而影响牡蛎的滋味和气味<sup>[52]</sup>。随着干露时间的延长, 牡蛎活力不断下降, 其风味也呈下降趋势<sup>[53]</sup>。在-1℃干藏不仅可有效抑制微生物的生长, 并可将其保质期延长至 21 d<sup>[36]</sup>。此外, 无水销售过程中保湿对牡蛎来说也至关重要, 该过程需要在 100% 的湿度下冷藏保存以维持其水分平衡, 过低的湿度可能导致牡蛎脱水, 影响其品质, 部分商家通过对牡蛎进行捆绑包装, 以防止其开口而导致体腔液流失。

### 3 存在问题与展望

总之, 生鲜牡蛎作为一种珍贵的海鲜美食, 其品质与安全性至关重要。从养殖、捕捞到后续的清选、净化、运输以及销售, 各环节都需要高度重视, 并且需要政府监管部门协调配合, 从养殖环境、流通管理、标准制订等方面加强监管。随着生活水平的不断提升, 人们对生食牡蛎的需求量也在不断增加。然而当前我国在捕后处理方面仍存在加工装备相对落后、自动化程度较低、作业未规范化等不足, 这些问题不仅导致牡蛎在流通过程中损耗率较高, 而且对生鲜产品的食品安全供应构成了巨大的隐患。因此, 应普及牡蛎捕后加工装备的智能化和机械化, 加大流通过程中保活保鲜技术的研发, 同时完善相关质量标准体系, 以满足消费者对高品质生鲜牡蛎的需求。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献 (References):

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2023 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fisheries statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023 (in Chinese).
- [2] Walton W C, Rikard F S, Chaplin G I, *et al.* Effects of ploidy and gear on the performance of cultured oysters, *Crassostrea virginica*: survival, growth, shape, condition index and *Vibrio* abundances[J]. *Aquaculture*, 2013, 414-415: 260-266.
- [3] 广西农产品质量安全服务协会, 广西水产学会. 钦州市牡蛎养殖技术规范: T/GXNS 006—2023[S/OL]. (2023-10-12).  
<https://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/91050/>. Guangxi Agri-products Quality Safety & Service Association, Guangxi Fisheries Society. Technical specification for oyster culture of Qinzhou: T/GXNS 006-2023[S/OL](2023-10-12)<https://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/91050/>(in Chinese).
- [4] Prunte V L, Walton W C, Jones J L. Effect of gear type on *Vibrio* spp. levels in farm-raised oysters (*Crassostrea virginica*) after routine handling and resubmersion[J]. *Journal of Food Protection*, 2021, 84(3): 381-388.
- [5] Cong X H, Wang Q, Sun C, *et al.* Temperature effects on the nutritional quality in Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) during ultraviolet depuration[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102(4): 1651-1659.
- [6] Wei H M, Tian Y Y, Yamashita T, *et al.* Effects of thawing methods on the biochemical properties and microstructure of pre-rigor frozen scallop striated adductor muscle[J]. *Food Chemistry*, 2020, 319: 126559.
- [7] Jiménez-Ruiz E I, Márquez-Ríos E, Cárdenas-López J L, *et al.* Impact of two commercial *in vivo* transport methods on physiological condition of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. *Journal of Chemistry*, 2015, 2015: 431074.
- [8] Global Seafood Alliance (GSA). BAP farm standard: Best aquaculture practices certification standards, implementation guidelines[EB/OL]. [2023-02-07]. <https://www.bapcertification.org/downloadables/pdf/BAP%20-%20BAP%20Farm%20Standard%20-%20Issue%203.1%20-%202007-February-2023.pdf>.
- [9] The European Parliament, The Council of the European Union. Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin[S/OL]. [2004-04-29]. <http://data.europa.eu/eli/reg/2004/853/2023-02-15>.
- [10] U. S. Food and Drug Administration. National shellfish sanitation program (NSSP)[S/OL]. [2022-10-29]. <https://www.fda.gov/food/federalstate-food-programs/national-shellfish-sanitation-program-nssp>.
- [11] Ministry of Health, Labour and Welfare (Japan). Food Sanitation Act, Notification No. 370, 1959[S/OL]. [2022-06-29]. [https://www.mhlw.go.jp/web/t\\_doc?dataId=00ta5900&dataType=1&pageNo=1](https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00ta5900&dataType=1&pageNo=1).

- [12] 浙江省质量技术监督局. 牡蛎养殖技术规范: DB 33/T 457—2014[S/OL]. (2014-02-28). <http://www.gdzjtb.com/upload/result/DB33-T-457-2014.pdf>. Quality and Technology Supervision of Zhejiang Province. Technical specification for oyster culture: DB 33/T 457-2014 [S/OL]. (2014-02-28). <http://www.gdzjtb.com/upload/result/DB33-T-457-2014.pdf> (in Chinese).
- [13] 国家卫生健康委员会, 农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2021[S]. 北京: 中国农业出版社, 2021. National Health Commission of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard-maximum residue limits for pesticides in food: GB 2763-2021[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2021 (in Chinese).
- [14] Li B S, Song K, Meng J, *et al.* Integrated application of transcriptomics and metabolomics provides insights into glycogen content regulation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*[J]. *BMC Genomics*, 2017, 18: 713.
- [15] Sussarellu R, Dudoignon T, Fabioux C, *et al.* Rapid mitochondrial adjustments in response to short-term hypoxia and re-oxygenation in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*[J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2013, 216(9): 1561-1569.
- [16] Wang X D, Wang M Q, Xu J C, *et al.* Soluble adenylyl cyclase mediates mitochondrial pathway of apoptosis and ATP metabolism in oyster *Crassostrea gigas* exposed to elevated CO<sub>2</sub>[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 66: 140-147.
- [17] Ivanina A V, Sokolova I M. Effects of intermittent hypoxia on oxidative stress and protein degradation in molluscan mitochondria[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2016, 219(23): 3794-3802.
- [18] Adzighli L, Sokolov E P, Ponsuksili S, *et al.* Tissue-and substrate-dependent mitochondrial responses to acute hypoxia-reoxygenation stress in a marine bivalve (*Crassostrea gigas*)[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2022, 225(1): jeb243304.
- [19] Josephson D B, Lindsay R C, Stuibler D A. Volatile compounds characterizing the aroma of fresh Atlantic and Pacific oysters[J]. *Journal of Food Science*, 1985, 50(1): 5-9.
- [20] Lin H, Wang X X, Zhang B, *et al.* Comparison of taste components between triploid and diploid oyster[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2002, 1(1): 55-58.
- [21] Gao J X, Zhang Y Y, Huang X H, *et al.* Comparison of amino acid, 5' -nucleotide and lipid metabolism of oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) captured in different seasons[J]. *Food Research International*, 2021, 147: 110560.
- [22] 闫丽新, 殷中专, 蔡琰, 等. 牡蛎捕后贮运过程中的活力和呈味特性 [J]. *中国食品学报*, 2022, 22(12): 224-233. Yan L X, Yin Z Z, Cai Y, *et al.* Vigour and taste characteristics of *Crassostrea gigas* during post-harvest storage and transportation[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(12): 224-233 (in Chinese).
- [23] Grizzle R E, Greene J K, Coen L D. Seston removal by natural and constructed intertidal eastern oyster (*Crassostrea virginica*) reefs: a comparison with previous laboratory studies, and the value of in situ methods[J]. *Estuaries and Coasts*, 2008, 31(6): 1208-1220.
- [24] Luo H, T Wang Q, Nie X P, *et al.* Heavy metal contamination in the cultivated oyster *Crassostrea rivularis* and associated health risks from a typical mariculture zone in the South China Sea[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2018, 101(1): 33-41.
- [25] 宋林生. 我国海水养殖贝类病害发生现状及防控策略 [J]. *水产学报*, 2023, 47(11): 119412. Song L S. The occurrence and prevention and control strategies of mollusc diseases in marine aquaculture of China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(11): 119412 (in Chinese).
- [26] Bi S J, Chen L P, Sun Z K, *et al.* Investigating influence of aquaculture seawater with different salinities on non-volatile taste-active compounds in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15(2): 2078-2087.
- [27] 张智翠, 薛长湖, 李兆杰. 山东沿海牡蛎糖原、游离氨基酸及重金属含量的季节变化 [J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(5): 6-8. Zhang Z C, Xue C H, Li Z J. Seasonal various of glycogen, free amino acid and heavy mental residue of oyster along the east coast of Shandong[J]. *Food Research and Development*, 2006, 27(5): 6-8 (in Chinese).
- [28] Capelle J J, Hartog E, Creemers J, *et al.* Effects of stocking density and immersion time on the performance of oysters in intertidal off-bottom culture[J]. *Aquaculture International*, 2020, 28(1): 249-264.
- [29] 黄艳球, 杨发明, 秦小明, 等. 不同养殖区香港牡蛎的化学组成及特征气味成分分析 [J]. *食品科学*, 2019, 40(14): 236-242. Huang Y Q, Yang F M, Qin X M, *et al.* Chemical composition and characteristic odor components of oysters from different culture areas in Hong Kong [J]. *Food Science*, 2019, 40(14): 236-242.

- position and characteristic odorans of oyster (*Crassostrea hongkongensis*) from different culture areas[J]. *Food Science*, 2019, 40(14): 236-242 (in Chinese).
- [30] Mizuta D D, Wikfors G H. Seeking the perfect oyster shell: a brief review of current knowledge[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2019, 11(3): 586-602.
- [31] 仲晓晓, 李琪, 孔令锋, 等. 长牡蛎出肉率与壳形性状的 QTL 定位分析 [J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 574-579.
- Zhong X X, Li Q, Kong L F, *et al.* Quantitative trait locus analysis of meat yield and shell shape traits in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(3): 574-579 (in Chinese).
- [32] 朴正根, 黄六一, 慕永通. 韩国牡蛎生产与贸易研究 [J]. 渔业信息与战略, 2013, 28(1): 56-62.
- Piao Z G, Huang L Y, Mu Y T. Research of oyster production and trade in South Korea[J]. *Fishery Information & Strategy*, 2013, 28(1): 56-62 (in Chinese).
- [33] Gyawali P, Fletcher G C, McCoubrey D J, *et al.* Norovirus in shellfish: an overview of post-harvest treatments and their challenges[J]. *Food Control*, 2019, 99: 171-179.
- [34] 林恒宗, 高加龙, 范秀萍, 等. 双壳贝类净化技术研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(11): 449-457.
- Lin H Z, Gao J L, Fan X P, *et al.* Research progress on depuration technology of bivalves[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(11): 449-457 (in Chinese).
- [35] 黒沢和寛, カオイリスーザン, カリアガアナベル. オゾンによるマガキおよびミナミマガキの浄化 [J]. 水産増殖, 1991, 39(4): 393-398.
- Kurosawa K, Caoile S, Cariaga A. Bacterial depuration of oysters, *Crassostrea gigas* and *C. iredalei* by ozonated seawater[J]. *Aquaculture Science*, 1991, 39(4): 393-398 (in Japanese).
- [36] Dong S L, Niu Y B, Wei H M, *et al.* Effect of superchilling storage on maintenance of quality and freshness of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. *Food Quality and Safety*, 2023, 7: 008.
- [37] Knowles G, Handlinger J, Jones B, *et al.* Hemolymph chemistry and histopathological changes in Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in response to low salinity stress[J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2014, 121: 78-84.
- [38] Chen L P, Shi H H, Zhang X M, *et al.* The effect of depuration salinity on the survival, nutritional composition, biochemical responses and proteome of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) during anhydrous living-preservation[J]. *Food Control*, 2022, 138: 108977.
- [39] Bagenda D K, Nishikawa S, Kita H, *et al.* Impact of feeding on oyster depuration efficacy under conditions of high salinity and low temperature[J]. *Aquaculture*, 2019, 500: 135-140.
- [40] Su Y C, Yang Q R, Häse C. Refrigerated seawater depuration for reducing *Vibrio parahaemolyticus* contamination in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. *Journal of Food Protection*, 2010, 73(6): 1111-1115.
- [41] Bi S J, Xue C H, Wen Y Q, *et al.* Effects of cooling rates during depuration on the quality of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) at anhydrous preservation stage[J]. *Food Chemistry: X*, 2023, 17: 100606.
- [42] Maeda-Martínez A N, Ormart P, Mendez L, *et al.* Scallop growout using a new bottom-culture system[J]. *Aquaculture*, 2000, 189(1-2): 73-84.
- [43] Yin Z Z, Li M, Cai Y, *et al.* Examination of the effects of dry storage stress on mitochondrial energy synthesis in the scallop *Mizuhopecten yessoensis*[J]. *Aquaculture*, 2023, 575: 739770.
- [44] Jiang P H, Chen D J, Chang X Y, *et al.* Study on the regulation mechanism of quality deterioration due to chilling stress and dry exposure during anhydrous storage and transportation of Yesso scallop *Patinopecten yessoensis*[J]. *Foods*, 2023, 12(15): 2902.
- [45] Bi S J, Xue C H, Xu L L, *et al.* Physiological responses of clam (*Ruditapes philippinarum*) to transport modes with different temperatures[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2023, 22(2): 517-526.
- [46] 林恒宗, 高加龙, 梁志源, 等. 冷胁迫方式对太平洋牡蛎无水保活期氧化应激及能量消耗的影响 [J]. 广东海洋大学学报, 2022, 42(2): 95-103.
- Lin H Z, Gao J L, Liang Z Y, *et al.* Effect of cold stress methods on antioxidant and energy metabolism of *Crassostrea gigas* in water-free live storage period[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2022, 42(2): 95-103 (in Chinese).
- [47] Buen - Ursua S M A, Ludevese G. Temperature and size range for the transport of juvenile donkey's ear abalone *Haliotis asinina* Linne[J]. *Aquaculture Research*, 2011, 42(8): 1206-1213.
- [48] Barrento S, Powell A. The effect of transportation and rewatering strategies on the survival, physiology and batch weight of the blue mussel, *Mytilus edulis*[J]. *Aquaculture*, 2016, 450: 194-198.
- [49] Jiménez-Ruiz E I, Ocaño-Higuera V M, Maeda-Martínez A N, *et al.* Effect of seasonality and storage temperature on rigor mortis in the adductor muscle of lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus*[J]. *Aquaculture*, 2013, 388-

- 391: 35-41.
- [50] Aaraas R, Hernar I J, Vorre A, *et al.* Sensory, histological, and bacteriological changes in flat oysters, *Ostrea edulis* L., during different storage conditions[J]. *Journal of Food Science*, 2004, 69(6): 205-210.
- [51] 薛长湖, 李兆杰. 我国水产品加工和流通产业科技现状与发展趋势 [J]. *水产学报*, 2023, 47(11): 119817.
- Xue C H, Li Z J. Current situation and development trend of science and technology in aquatic product processing and circulation industry of China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(11): 119817 (in Chinese).
- [52] 杨昭, 梁瑞进, 何春兰, 等. 牡蛎挥发性风味成分研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(11): 196-203.
- Yang Z, Liang R J, He C L, *et al.* Progress in characterizing the volatile flavor components of oyster products [J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(11): 196-203 (in Chinese).
- [53] 徐美祿, 冷寒冰, 李亚烜, 等. 捕后干藏-复水处理对太平洋牡蛎活品贮藏稳定性的影响 [J]. *大连海洋大学学报*, 2019, 34(6): 828-833.
- Xu M L, Leng H B, Li Y X, *et al.* Influence of air exposure-rehydration post-harvest on stable storage of Pacific oyster *Crassostrea gigas*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2019, 34(6): 828-833 (in Chinese).

## Current situation and countermeasures for quality and safety management of raw oysters from out of water to table

LI Man<sup>1</sup>, WANG Zhuolin<sup>2</sup>, LIU Zepeng<sup>1</sup>, ZHAO Hui<sup>1</sup>, LU Hang<sup>1</sup>,  
JIANG Yusheng<sup>3</sup>, YUAN Chunhong<sup>2</sup>, TIAN Yuanyong<sup>1\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2. Iwate University, Faculty of Agriculture,

Department of Food Production and Environmental Management, Morioka 0208550, Japan;

3. Dalian Key Laboratory of Breeding, Reproduction and Aquaculture of Crustaceans,  
Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** The safety and quality of raw oysters are key factors influencing their sales price. This study first reviewed the current status of safety and quality management of raw oysters in various countries, categorizing them into three main perspectives of safety, vitality, and flavor quality. Subsequently, the impact of key links such as farming, fishing, cleaning, purification, transportation and sale on the quality of raw oysters were analyzed from the perspective of the distribution chain. As filter-feeding bivalves, oysters were susceptible to multiple safety hazards from farming to sale, mainly including shellfish toxins, heavy metals, harmful microorganisms, and viruses, which can impact their safety. These hazards can be eliminated through standardized farming practice and distribution management. From out of water to the dining table, oysters were exposed to a series of environmental stressors (such as dehydration, temperature, oxygen, density, etc.), leading to a severe decline in vitality and flavor quality, as well as significant economic losses. Due to differences in the mode, intensity, and duration of stress, the effects of the same or different stressors at different links are highly complex. The rapid and accurate assessment of vitality is the foundation of distribution quality management. This article presents a systematic analysis of the metabolism and vitality of oysters under multiple stressors, as well as the correlation between metabolites and flavor, and explores targeted quality control strategies, which could help achieve precise quality control. We look forward to providing a theoretical basis for establishing controllable operations and enhancing the quality and market value of oysters at the point of sale.

**Key words:** oysters; fresh; edible; safety; quality; standards; from out of water to table

**Corresponding author:** TIAN Yuanyong. E-mail: [tianyuanyong@foxmail.com](mailto:tianyuanyong@foxmail.com)

**Funding projects:** National Key Research and Development Program of China (2022YFE0117900); Key Laboratory of Environment Controlled Aquaculture (Dalian Ocean University), Ministry of Education (202323)