



· 综述 ·

养殖鱼类的动物福利与产品品质

刘俊荣*, 刘悦朋, 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: 以提高我国养殖鱼类产品品质的动物福利策略为目标, 对国内外从动物福利到鱼福利的发展历程进行了归纳分析并提出展望。首先, 基于对陆生脊椎动物福利的五项自由原则和三大范畴的系统回顾, 对比动物福利在家畜家禽业的研究发展历程, 对鱼类福利的发展历程与现状进行了脉络梳理; 然后, 针对鱼类福利的量化评估问题, 从生理应激、行为应激以及心理应激三大应激响应机制, 对鱼类福利评价体系相关的研究进展进行了回顾, 重点针对评价指标及评价方法进行了归纳总结; 接下来, 针对养殖鱼类产业, 重点对养殖过程、离水捕捞以及致死处置三个主要环节的鱼类福利特点及研究利用现状进行了分析讨论。最后, 分析指出我国渔后动物福利存在盲区, 提出了品质易逝期动物福利方案的设计思路, 和基于品质易逝期动物福利原则以实现锁鲜调控的展望。

关键词: 鱼类; 动物福利; 鱼类福利评价; 养殖鱼产品品质

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

本文以动物福利和人类福利的关联性为出发点, 从动物福利视角探索我国水产品形象与品质的提升空间, 探讨基于产品定位的我国水产养殖产业潜在升级驱动力, 探索从终端品质倒推我国水产养殖产业从量到质升级的切实可行性。本文旨在为最大限度保持原料天然属性并突破“活而不鲜”的困局, 为改变初级水产品销售现状以减少渔后损失并实行渔后的产业化, 为降低水产品供应链碳排放, 以及为实现水产动物福利等提供一揽子解决方案的研究与实践范式。本文期望通过科学的解读渔后动物福利, 能够对终端品质升级提供靶向性指导, 同时通过优质产品形象为我国渔业产业赋予人文内涵。

1 人类福利与动物福利概述

人类对动物福利的关注历史悠久, 动物伦理

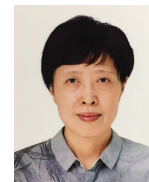
在东西方传统文化中根深蒂固。1822年, 英国通过了人类历史上第一部针对家畜的动物福利法案, 即著名的马丁法案^[1]。马丁法案掀起了从欧洲大陆到北美的第一波动物福利立法浪潮, 品种从家畜逐渐扩大到所有人类饲养的哺乳动物和囚禁的野生动物。

第二波动物保护浪潮发生在二战后, 重点围绕野生动物保护, 焦点是动物生存环境被加速破坏和蓬勃发展的动物贸易带来的各种动物伦理问题。一方面, 随着工业化快速发展促使大规模化学杀虫剂和各种农药的生产和使用, 美国海洋生物学者 Rachel Carson 于 1962 年发表了醒世之作《寂静的春天 (Silent Spring)》, 迅速引发公众的道德关怀对象从人扩展到动物和自然。另一方面, 野生动物贸易激增, 掀起了因人类过度利用导致的物种灭绝议题, 标志性成果是 1973 年由 21 个

收稿日期: 2022-12-16 修回日期: 2023-03-28

资助项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0901001); 国家自然科学基金 (32201926); 大连市高层次人才创新计划 (2021RQ097)

通信作者: 刘俊荣 (照片), 从事水产品加工研究, E-mail: ljunrong@dou.edu.cn



国家签署的《濒危动植物种国际贸易公约》(简称华盛顿公约 CITES)^[2]。CITES 要求缔约国制订国内法配合公约执行, 由此引发了 20 世纪 70 年代之后世界各国纷纷制订野生动物保护法律的潮流。

与此同时, 伴随着集约化养殖业的快速发展, 工厂化密集养殖下畜禽类的动物福利问题进入公众视线, 具有标志性意义的是 1964 年英国作家 Ruth Harrison 出版的《动物机器 (Animal Machines)》一书, 首次揭露了集约化养殖畜禽的动物福利问题, 促使英国开展针对性调查, 并于 1965 年出台了具有深远影响的农场动物福利报告^[3], 该报告推动了动物福利在科学领域的蓬勃发展。1993 年, 英国“农场动物福利委员会”(Farm Animal Welfare Council, FAWC) 提出具有深远影响的农场动物“五大自由”基本原则正是源于 The Brambell Report 报告^[4]。世界各国基于动物福利立法的现代道路正式开启, 动物福利具有生物学、伦理学、社会学等多学科解读视角。自然科学是动物福利科学研究的基础。近代科学的发展对动物福利科学的发展提供了大量的实践证据, 促进了近半个世纪动物福利事业的快速发展。

动物的生命价值已逐渐被法律所承认, 除了宠物、陪伴、资源修复、科学采样调查以及实验动物等范畴外, 还有大量用于满足人类膳食蛋白来源需求的各类集约化养殖动物。除了部分天然渔业资源外, 提供动物源性食品原料的水产养殖业是人类食品供应系统的重要支柱。近 20 年来, 动物福利一直被联合国粮食及农业组织推动的“食物伦理”(Food Ethics) 所倡导^[5]。养殖鱼类为人类提供越来越多的可持续膳食蛋白, 2020 年, 全球养殖鱼类产量高达 5 750 万 t^[6]。我国是水产养殖大国, 2020 年, 我国 79.8% 的水产品来自水产养殖, 其中 2 761.36 万 t 为养殖鱼类^[7], 几乎占全球养殖鱼类总产量的一半。相对于成熟的畜禽动物福利体系, 对鱼类福利的关注相对较迟。鱼类福利 (fish welfare) 于 20 世纪 90 年代由世界农场动物福利协会 (Compassion in World Farming) 首次提出^[8]。此后相关科学研究报道逐渐增加, 涵盖繁育、养殖、活鱼运输以及离水宰杀等各个环节。

本文以供人类食用的即经济品种养殖鱼类的产品品质为关注点, 系统回顾鱼类福利的研究发展历程与实施进展, 重点关注渔后处置, 从终端食用品质的视角阐述鱼类福利对水产品产业升级的实际价值, 为我国养殖鱼类产品形象升级提出

设想及展望。

2 鱼类福利的发展历程

2.1 鱼类福利的概念及范畴

如前所述, 基于 1965 年的共识和广泛认可, 世界动物卫生组织 (World Organization for Animal Health, OIE) 针对陆生动物福利的实施制订了基本原则, 即免于饥渴、免于恐惧、免于束缚、免于伤痛疾病以及保留天性等著名的五项自由原则^[4]。动物福利的定义是复杂的, 不同领域的评估视角不同。然而, 尽管无法达成具有共识的严格定义, 动物福利的概念均离不开生命功能、天性行为及心理感受等三大范畴^[9]。除了脊椎动物的共同属性, 鱼类还具有与陆生畜禽类不同的特质, 这使得鱼类福利并非较成熟的养殖畜禽动物福利规范的简单翻版。

鱼类具有与陆生脊椎动物相似的身体构成、神经系统及行为能力。由大脑和脊髓组成的中枢神经系统通过周围神经系统与感觉器官和骨骼肌相连, 此外, 鱼类的感觉器官在结构和功能上与陆生脊椎动物非常相似, 内分泌系统也是如此, 例如参与应激反应时释放激素^[10]。鱼类具有与其他脊椎动物相同的行为特征, 如觅食、逃生、争斗、求偶、繁殖甚至养育幼体等^[11]。然而, 作为具有悠久进化史的水生脊椎动物, 鱼类通过鳃与水体直接进行气体交换, 极易遭受水环境中的有害化学物质及病原体的侵扰^[12], 因此, 鱼类的动物福利与陆生动物不尽相同^[9]。相对陆生畜禽类而言, 鱼类福利的科学研究还处于早期阶段, 基于对集约化水产养殖中的饲养条件和方式的思考, 在蓬勃发展的现代化水产养殖业中萌发出了“鱼类福利”的概念, 此概念的提出也是基于陆生脊椎动物福利的三大范畴, 根据 Ashley^[13] 的结论, 鱼类福利的定义不仅基于身体健康, 同时也应免遭精神痛苦。因此, 福利比健康的寓意更广泛, 健康和避免慢性应激通常是对鱼类生长阶段的福利考量。

野生和养殖是人类获取鱼类的两大来源, 除了自然环境和生物多样性, 鱼类在人类活动中占有重要地位, 包括休闲、科研、资源修复及人类膳食蛋白消费等。在国际上, 鱼类福利越来越受到关注, 欧盟针对供人类食用的鱼类行业制订了相关福利法规, 其科学依据为“脊椎动物是具有痛觉感知的生物”, 并且将对鱼类的利用限定于改善

人类福祉, 以及关怀动物健康和环境的研究领域^[14]。无论养殖鱼类的目的是为了水产贸易、科学研究或野生鱼类的替代品, 确保鱼类的健康与福利都很重要^[10]。

2.2 养殖鱼类福利的发展历程与现状

OIE 发布了关于动物福利的相应标准, 其中包括动物运输、屠宰或捕杀, 而 OIE 对于水生动物的福利标准仅限于国际贸易以及疾病防控方面, 对营养及水质环境等方面未作要求。2001—2005 年, OIE 将包括鱼类福利在内的动物福利确定为其战略计划中的优先领域^[15]。首份关注鱼类福利的报告是英国防止虐待动物协会 (RSPCA, Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals) 编写的“关于鱼叉和垂钓的调查报告”^[16], 提出在考虑动物福利时, 所有脊椎动物均应被视为具有痛苦感知, 而不应简单以温血动物或冷血动物进行区别对待。

欧洲食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 提出了深入了解影响动物福利的基本要素, 并为欧洲政策和立法提供科学基础。2004 年, EFSA 的动物健康福利小组 (Animal Health and Welfare, AHAW) 发表了关于养殖鱼类运输和宰杀方法的科学意见^[17], 并于 2008—2009 年发表关于福利和养殖系统的科学意见, 包括大西洋鲑 (*Salmo salar*)、鲤 (*Cyprinus carpio*)、舌齿鲈 (*Dicentrarchus labrax*)、大西洋鲷 (*Sparus aurata*)、虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)、欧洲鳗鲡 (*Anguilla anguilla*)、大菱鲂 (*Scophthalmus maximus*) 和蓝鳍金枪鱼 (*Thunnus thynnus*) 的击晕和捕捞方法^[18]。此外鱼类福利也被许多国家纳入国家立法和建议, 例如新西兰动物福利法 (New Zealand Animal Welfare Act)、挪威动物保护法 (Norwegian Animal Protection Act) 和挪威动物福利法 (Norwegian Animal Welfare Act) 等, 挪威的立法给予鱼类类似于其他脊椎动物的保护水平^[19]。

随着我国社会经济的发展, 有关动物伦理的公众意识日益加强。我国针对水生动物的法律和标准有《中华人民共和国渔业法》^[20]、《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》^[21] 等, 但内容仅限于水生动物的防疫、捕捞、养殖、饲料及用药等方面, 相关动物福利内容的法律法规较单薄, 与发达国家相比, 我国的水生动物法律法规及福利发展水平较滞后^[22-23]。

鱼类是人类重要膳食蛋白来源之一, 原料生产至捕后处置的福利状态对鱼类品质、公共卫生以及环境资源可持续性等均均有直接影响。养殖过程中的低福利致使鱼体抗逆性降低, 引发免疫力下降、暴发疾病、死亡率升高和繁殖能力下降等后果, 渔药的使用进而引发潜在公共环境安全及食品安全风险^[24]。相对于生长环节, 养成后的捕捞运输环节给鱼体带来的胁迫均是急性的^[25], 始于捕捞离水的渔后处置过程, 窒息痛苦等低福利致死过程是最易被福利忽略的环节, 也是鱼品品质劣化的源头^[26]。而高福利下从养殖至致死的鱼, 不仅表现出更快的生长速率, 还能提供更高质量的产品, 其社会及经济效益是显而易见的。

3 鱼类福利的科学评价体系

3.1 生理应激响应

针对养殖鱼类如虹鳟鱼和莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) 开展的应激与量化机制等基础研究, 也被用于鱼类福利状况的客观评价指标^[27]。基于对应激的定性和定量研究, 结合应激源施以对应措施, 是评估鱼类福利状况并提高福利水平的前提^[28]。与生物功能有关的应激指标是鱼类福利状态的客观评价参数, 主要被用来评估休闲渔业、商业渔业及实验原料等鱼类状态^[29-30]。

Selye 等^[31] 提出, 无论应激源的性质如何, 应激引发脊椎动物包括鱼类的系列生理反应都是相似的, 并称其为一般适应综合征 (GAS, general adaptation syndrome)。涵盖一切应激响应的 GAS 是由一个荷尔蒙级联组成。

应激响应分为警报、抵抗、补偿或衰竭致死 3 个阶段^[32], 结果取决于胁迫强度及时间。初级响应涉及诱导神经内分泌级联反应, 包括皮质类固醇激素和儿茶酚胺的分泌和合成^[33]。次级响应涉及心血管和呼吸反应, 包括强化氧气分布以及应激应答产生能量代谢底物^[34]。三级反应涉及动物在整体上维持体内各方面的平衡, 不良适应结果关系到健康和抗病等多种行为能力。在调动和分配能量方面, 鱼类的初级和次级应激反应具有高度适应性, 可为战斗或逃跑做准备。然而, 当发生在离水至致死阶段, 该应激会改变肌肉组织的化学成分并影响排血效率, 最终影响鱼类产品的质量^[35-36]。

目前, 鱼类应激的量化从最初血浆皮质醇的

放射免疫分析方法发展到基于基因组的分析方法, 单归纳了针对硬骨鱼类应激机制与生理指标。范围从细胞内扩展到整个动物水平^[19,37]。表 1 简

表 1 胁迫下硬骨鱼类的生理应激机制

Tab. 1 Physiological responses to stress in teleost fish

分类 classification	指标 indicator	作用机制 stress response activated mechanism	年份 year	参考文献 references
细胞和分子应激 cellular and molecular stress	热休克蛋白	皮质醇与热休克因子相互作用, 以刺激金属硫蛋白和热休克蛋白的表达	1999 2009	[38] [39]
	活性氧	由线粒体产生, 对脂质、蛋白质、DNA、RNA等产生破坏作用	2006	[40]
初级应激 primary physiological stress	儿茶酚胺	由交感神经介导肾上腺素快速分泌, 并导致嗜铬细胞释放儿茶酚胺	2003 1991	[33] [41]
	皮质醇	由下丘脑-垂体-肾间组织轴(HPI)释放, 与促肾上腺皮质激素反应, 引起肾上腺素的释放	2006	[42]
次级应激 secondary physiological stress	血糖	由儿茶酚胺和皮质醇激活肝脏或肌肉中的糖原, 引发糖异生过程	2013 2016	[25] [43]
	糖原	下丘脑-垂体-肾间组织轴激活, 分解糖原以维持大脑、免疫器官等能量需求	2008	[25]
	乳酸	应激导致剧烈运动, 肌肉中的厌氧糖酵解产生乳酸	1998 2016	[28] [44]

3.2 行为应激响应

鱼类行为是评价鱼类福利的重要指标之一^[45]。行为是鱼类面临胁迫时最直接的反应, 与生理应激同属于非创伤性福利指标。鱼类行为反应类型与初级和次级生理应激引起的神经内分泌反应差异由个体特征主导^[46], 鱼类产生的自主行为主要表现在饲养过程和致死过程中。在饲养过程中可以观察到如下行为: 环境胁迫因素导致皮肤或眼睛颜色的应激改变^[47-48]; 抵御威胁时, 慌忙躲避并停止摄食, 且体表有黏液^[49]; 缺氧时呼吸频率增加^[50]。Portz^[51]将临界游泳速度与通过控制鱼尾摆动达到疲惫时间相关联。Jain等^[52]认为鱼类游泳时个体存在差异, 创造应激后恢复的评价方法, 第一次力竭游泳至再次游泳的时间可用作鱼类应对不同应激源时生物整体状态的灵敏指标。

在宰杀过程中最常见行为反应与自发性行为有关, 如游动及鳃呼吸的频率、强度和持久性等; 对刺激的反应, 如出现侧翻时保持平衡的能力, 眼睛随着身体姿势变化而移动等^[53]。由于行为的改变是对不利条件的早期且容易观察到的反应, 因此监测行为对于评估鱼类福利很重要。福利不佳的潜在行为指标包括食欲不振及痛苦迹象, 如出现失衡症或刻板行为等。研究还发现, 将闪光与食物二者建立实时或延迟关联, 受过训练的大西洋鲑和大西洋鳕 (*Gadus morhua*) 都会游向食物出现区域, 表现出对奖励的期待, 这种反应也可以量化, 因此它们有可能为集约化养殖的鱼类提供一个敏感的非创伤性福利指标^[54]。

3.3 心理应激响应

是否具有自觉的意识能力是早期针对鱼类福利必要性的争论焦点, 与动物福利相关的感知问题属于心理健康范畴^[55]。针对鱼类是否对痛苦具有心理感知力的疑问, Chandroo等^[56]曾做过系统分析, 研究阐明了鱼类存在感知力的科学证据, 并就鱼类承受疼痛恐惧和心理压力的能力进行了评估。尽管鱼类大脑的组织结构与畜禽类有很大不同, 硬骨鱼类仍表现出相似的对感觉的认知发展水平。解剖学、药理学和行为学等数据表明, 鱼类可以通过与畜禽类相似的方式体验疼痛、恐惧和精神压力。这意味着动物福利的理念同样适用于鱼类, 鱼的痛苦感知能力应受到水产养殖业的关注。Braithwaite等^[57]对鱼类的痛苦应激响应与养殖鱼类福利之间的关联进行了总结, 当鱼体受到损伤时受体细胞会受到伤害, 并将信息沿脊髓神经传输到大脑的特定区域处理, 进而导致各种行为和生理反应。学者们针对鱼类神经内分泌系统和生理的应激机制开展了大量研究, 但由于鱼类脑部较小且结构简单, 部分学者认为鱼类缺乏类似哺乳动物对疼痛感知的大脑皮层而无法感知疼痛, 导致针对鱼类心理因素对应激反应的影响研究较为薄弱。然而, 行为、认知和神经解剖学等多方面研究表明, 鱼类与其他陆生脊椎动物相比, 同样具有对疼痛的感知系统, 例如无髓纤维 (C-fibres) 和有髓纤维 (A-delta)。由于鱼类的生活环境、生活史和进化差异与陆生脊椎动物不同, 因此痛苦的感知方式和程度也不同。有研究

表明, 鲑类对温度和化学物质等产生的伤害不敏感, 但对疼痛感知产生的电信号与哺乳动物相似^[58]。

鱼类在应对痛苦的过程中表现出长期复杂的生理和行为反应, 如虹鳟和斑马鱼 (*Danio rerio*) 在产生应激时鳃的通气性增加; 虹鳟和罗非鱼在产生应激时血浆皮质醇含量升高。此外在鲑类中记录到了警戒行为即回避痛苦体验, 如唇部注射后的疼痛期间暂停进食^[59]。在面临非创伤性胁迫刺激时, 鱼类所表现出的适应性反射行为与包括原生动物在内的所有动物相同, 其目的都是避免有害的刺激, 如鱼类可以通过条件反射将痛苦的刺激与中性刺激联系起来, 即使没有疼痛, 也能避免出现中性刺激。此外, 有些鱼类在痛苦经历中表现出学习能力, 如鲤在垂钓试验中避免接触鱼钩^[60]。因此, 鱼类的行为方式和目的可在经历痛苦感知后发生改变, 进而影响鱼类福利。

4 养殖鱼类的动物福利与品质

4.1 养殖过程中的鱼类福利

根据 FAO 报道, 至 2022 年, 全世界水产养殖种类为 652 个, 其中养殖鱼类品种为 313 种^[6], 养殖鱼类福利受多种因素的影响, 如养殖环境、养殖密度、捕捞运输方式和疾病预防等。养殖环境是影响鱼类福利的关键因素之一, 其中包含温度、溶解氧、pH、盐度、氨氮以及化学污染物等水质指标^[61], 除水质参数外, 照明、噪音和振动等其他因素对鱼类福利也至关重要^[62]。例如在低氧环境中, 花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 的免疫球蛋白含量降低^[63]。再如, 持续光照有助于大西洋鳕生长^[64]。此外放养密度对鱼类福利产生重大影响, 除了影响水质, 对鱼的生长、应激状况、繁殖和防御等社群行为均有重要的影响或制约^[65]。养殖环节的福利特征具有品种的针对性, 如鲆鲽类底栖性鱼的养殖密度对福利的影响相对较小^[66]。

此外, 养殖过程涉及活体捕捞和运输, 鱼体因此遭受复杂及高强度的胁迫, 是动物福利重点关注的环节。例如斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*) 应对捕捞应激时会增加白斑病的感染率^[67]。此外鱼对运输时的温度极为敏感, 在过高或过低温度下均应避免运输。设备及卫生控制对于避免物理伤害和交叉污染导致的病原体感染或环境污染物威胁等至关重要, 任何因致伤致病后果介入的治疗方法本身均可能对鱼类造成应激^[68-69]。

4.2 捕捞环节中的鱼类福利

捕捞离水是活体向食材转变的起点, 也是影响终端鱼类品质的最关键福利环节。鱼体致死过程是否人道与捕捞方法或渔具及捕后处置有密切关联, 因原料生产方式的不同, 即便针对同一品种, 野生与人工养殖的原料离水方式是有差异的, 后者往往更具有可控性。离水是鱼类进入流通环节的起点, 离水过程鱼体面临最急骤的胁迫应激, 此刻进入了品质的摇篮期即品质易逝期 (quality-determination-period, QDP), 对后续流通环节直至终端品质的影响至关重要^[70-72]。从动物伦理的视角关注渔获物品质与捕捞作业方式之间的关联是有必要的。

天然捕捞渔业最早从经济收益角度意识到渔具渔法对渔获物品质的重要性。野生白肉鱼类的传统渔业采用拖网作业方式, 从进入网具至甲板的过程中, 鱼体处于极骤胁迫状态, 在拥挤窒息下疲劳挣扎, 最终导致肌肉品质劣化, 如肌肉呈暗色并发生肌裂而造成经济损失^[73]。拖网渔业渔获物的品质参差不齐从而引起关注, 学者们针对真鳕 (*Gadus morhua*) 和黑线鳕 (*Melanogrammus aeglefinus*) 的拖网捕捞作业, 对拖网过程各环节对鱼体的应激与渔获品质之间的关联机制开展了系列研究, 发现捕捞过程导致的胁迫应激对鱼类的肌肉品质有至关重要的影响, 进而对拖网捕捞过程进行拆解, 探索拖网过程中各细节是如何影响肌肉品质的。该系列研究发现, 在经济海水白肉鱼类的商业捕捞环节增加福利措施, 能够有效从肌肉质地和白度提升现有鱼片品质。Svalheim 等^[74-76]通过模拟拖网捕捞研究发现, 在网具入口端, 大西洋鳕在捕获胁迫下的力竭行为 (exhaustive swimming) 具有可恢复性, 换言之, 不是引起鱼片质地与白度下降的主要原因。经过挣扎游动抵达网具末端网囊时, 鱼体再度面临 1~3 h 的极度拥挤, 期间垂死挣扎引起的严重应激反应, 对鱼体的生理和肌肉带来毁灭性的物理损伤或品质下降。渔船甲板是拖网作业的最后一个环节, 速杀之前, 鱼体有 15~30 min 暴露于空气中, 拥挤挣扎窒息诱导强烈应激, 使得鱼片品质骤降。Digre 等^[36]对大西洋鳕和黑线鳕经捕捞离水后活体贮藏 0、1.5、3.0 和 6.0 h 与商业处置的对比实验发现, 活体贮藏 4.5~5.5 h 后鱼片颜色明显恢复, 且皮质醇、葡萄糖、乳酸含量与无应激处置的活体相当, 捕

捞后活体恢复的时间是改善鳕鱼肉质的的重要因素。

提高捕捞过程中鱼类福利等级, 是终端产品品质及经济效益提升的关键步骤。鱼类福利等级高, 经济效益随之提升。例如, 传统底拖网改为延绳钓后, 大西洋鳕和黑线鳕的价格溢价分别达到 18% 和 10%。正如挪威动物伦理委员会 (Norwegian Council for Animal Ethics) 指出: 捕捞的持续时间和渔获量、痛苦感知时间都应缩短, 目的是在捕捞过程中温和处理, 并将损害降至最低, 提高产品经济效益^[77]。

4.3 致死过程中的鱼类福利

众所周知, 死前经历的胁迫应激对死后鱼体僵直进程的影响直接关联到鱼体品质。早期出于对改善渔获物品质的需求, 鱼类的人道致死倡议受到天然捕捞渔业行业的关注并推崇, 可见鱼类福利对鱼体品质、渔业经济收入以及动物伦理关怀等是一举多得的。由倡导到可实施, 需要有针对性的可靠评估体系, 包括商业屠宰方法、屠宰过程应激指数、鱼类品质的生理生化参数等^[78], 就天然捕捞业而言, 鱼体致死过程通常较漫长。如今, 鱼类原料生产方式越来越呈现由天然捕捞向人工养殖转变, 产业属性决定了人工养殖具有更多的生产全过程特别是离水致死环节的可控性。

窒息是传统天然捕捞渔业的主要宰杀方式, 包括空气窒息和冰水窒息等。空气窒息是将鱼体暴露在空气中, 鱼鳃向内凹陷形成闭合^[79], 阻止鱼体与环境进行氧气交换, 最终窒息而死, 窒息时间受温度和耐受低氧能力等因素影响^[80]。有研究表明, 虹鳟在 20 °C 的环境中窒息时间为 2.6 min, 在 2 °C 环境中窒息时间为 9.6 min^[81], 在空气中鱼类表现为强烈的挣扎行为, 导致血液中红细胞积压及血浆皮质醇含量升高, 随着能量物质被无氧消耗, 因乳酸积累导致肌肉 pH 下降致使肌肉蛋白劣化^[79]。冰水窒息是将鱼置于不同比例的冰水混合物中, 鱼体温度快速下降引起强烈的应激反应, 肌肉发生收缩, 代谢率和需氧量也下降, 最终窒息而死^[82]。

相比之下, 人工养殖使鱼体在整个离水致死过程具有更多的可控性。例如养殖大西洋鳕捕捞后历经活体运输、活体冷却、麻醉及速杀等环节中, 研究人员聚焦活体在传输过程中的拥挤程度, 通过血浆皮质醇、葡萄糖、乳酸和渗透压等参数分析鱼体应激水平, 结合活体冷却后的肌肉糖原

水平, 发现应激强度会直接影响死后僵直进程, 进而影响肌肉品质及其稳定性^[83]。

常规鱼类商业宰杀方式选择多以可操作和降低成本为主, 最理想的人道宰杀方式是最大限度地降低鱼体死前应激和对疼痛的感知能力。例如, 在宰杀前使用麻醉剂, 可以最大限度降低鱼类对疼痛的感知^[36], 并且麻醉剂对于鱼肉品质没有不良影响, 但化学药物的潜在食品安全风险仍需被谨慎对待。针对产业实际操作和研究探讨的鱼体宰杀方式汇总见表 2。

5 问题与展望

5.1 人类福利与动物福利

食源性动物集约化养殖产业为人类生产优质膳食蛋白以满足人类福利基本需求。集约化养殖产业不断触发动物伦理话题, 动物福利日益受到公众关注, 越来越多的研究与实践表明, 提高动物福利不仅可有效提高产品品质, 同时还能获得显著经济效益。与此同时, 作为满足增长中人口对膳食蛋白需求的重要保障渠道, 集约化养殖产业的管理体系也因动物福利驱动而不断得到提升。水产养殖过程具有品种、区域及生产模式不同等特性, 不同生产系统面临着不同的福利挑战。我国是水产养殖大国, 渔业发达国家或地区优势养殖产业的动物福利实践可为我们提供良好的借鉴。

5.2 我国渔后动物福利存在盲区

鱼体生长达到商品规格后养殖生产告一段落, 随之而来的是渔后加工流通。捕捞离水标志着鱼从活体开始向食材转变。因水产原料生产地点及操作特有的局限性, 鱼体离水至致死这个渔后初始阶段一直没有引起广泛关注, 该阶段是品质的摇篮期即品质易逝期, 对流通过程及终端鱼体品质有至关重要的延迟效应, 也是在我国长期被忽略的养殖鱼类动物福利的最后一环。

5.3 品质易逝期动物福利方案

聚焦离水至致死过程, 将其解构为死前应激 (捕捞离水和活体传送) 及致死应激 (宰杀方式), 剖析各个处置条件下鱼体所处福利状况, 探索有效的福利指标。从动物福利视角进行渔后调控, 以最佳鱼类福利实践, 实现最优鱼体品质目标。

品质易逝期动物福利方案的实践意义在于, 突破国内普遍对水产品“鲜度”体验的认知局限性

表 2 养殖鱼类致死方法与动物福利

Tab. 2 Slaughtering methods and fish welfare in aquaculture industry

机制 mechanism	品种 species	操作 handling	优势 advantage	缺点 disadvantage	文献 references
窒息 asphyxiation	虹鳟、大泷六线鱼	离水后暴露于空气	成本低, 操作简单	强烈应激, 鱼品品质差	[84-85]
	虹鳟 鲈、鲑	置于不同比例的冰水混合物中	鱼体中心温度降低, 减少鱼片裂痕, 延长产品货架期	窒息时间长, 延长痛苦时间	[81-82, 86]
致昏 stunning	鲑、虹鳟、鳗、鳕	饱和二氧化碳水浴	麻醉效果较好, 适用范围广泛	导致鳃出血, 有黏液产生	[87]
	鲑	通过木棍或其他坚硬物体直击鱼头部致晕	操作简单, 击晕效果较好	人工操作降低准确性和动物福利	[78]
	鲑、虹鳟	鱼头部通入适当电流	普遍常用的人道屠宰方法	强烈的挣扎行为, 导致肌肉淤血及脊柱断裂	[79, 88]
断髓 spinal cord cut	鲑、大菱鲆、大泷六线鱼、红鳍东方鲀	通过头部插入尖锐刀具, 对脑部和脊髓形成损伤	最快、应激最小的宰杀方法之一	不适合批量处理小型鱼类	[85, 89-91]
破髓 spinal cord destruction	褐牙鲆、许氏平鲉、日本竹荚鱼	通过钢丝线插入鱼骨髓, 快速抽插破坏鱼骨髓	快速死亡, 福利状况最佳	准确性较低, 操作困难	[92-94]

带来的对水产原料稍纵即逝美味品质的认知壁垒, 指导渔业企业有的放矢进行有效技术资源配置, 以锁鲜品代替初级农产品形式的活鱼销售, 为从根本上改变我国自主水产品终端产品品质形象与前期渔业投入不符的状况提供基础研究与行业实践范式。基于品质易逝期动物福利原则的锁鲜调控机制, 有望为最大限度保持原料天然属性, 为改变初级水产品销售现状实行渔后的产业化, 为突破“活而不鲜”的困局, 为适应水产品供应链低碳流通, 为实现水产动物福利等提供一揽子解决方案。科学解读渔后动物福利对于终端品质升级可提供靶向性指导, 同时通过优质产品形象为我国渔业产业赋予人文内涵。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

[1] Razzano F C. The martin act: an overview[J]. *Journal of Business & Technology Law*, 2006, 1(1): 125-132.

[2] Goldsmith E I. The convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora[J]. *Journal of Medical Primatology*, 1978, 7(2): 122-124.

[3] Brambell F W R. Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems[M]. London: Her Majesty's Stationery Office, 1965.

[4] Farm Animal Welfare Council. Report on priorities for animal welfare research and development[M]. Surbiton, Surrey: Farm Animal Welfare Council, 1993.

[5] FAO. Ethical issues in food and agriculture[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001.

[6] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2022[M]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022: 26.

[7] 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. 2020 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.

Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese).

[8] Lymbery P. Welfare of farmed fish[J]. *Veterinary Record*, 1992, 131(1): 19-20.

[9] Huntingford F A, Adams C, Braithwaite V A, et al. Current issues in fish welfare[J]. *Journal of Fish Biology*, 2006, 68(2): 332-372.

[10] Jobling M. Fish in aquaculture environments[M]//Huntingford F, Jobling M, Kadri S. *Aquaculture and behavior*. Chichester: Wiley - Blackwell, 2012.

[11] Neves R J. *Introduction to aquaculture*. Matthew Landau[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 1992, 11(2): 259.

[12] Hurley I A, Mueller R L, Dunn K A, et al. A new time-scale for ray-finned fish evolution[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2007, 274(1609): 489-498.

- [13] Ashley P J. Fish welfare: current issues in aquaculture[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2007, 104(3-4): 199-235.
- [14] Festing S, Patel T. The ethics of research involving animals: a review of the Nuffield council on bioethics report from a research perspective[J]. *Alternatives to Laboratory Animals*, 2005, 33(6): 654-658.
- [15] Lund V, Mejdell C M, Röcklinsberg H, *et al.* Expanding the moral circle: farmed fish as objects of moral concern[J]. *Diseases of Aquatic Organisms*, 2007, 75(2): 109-118.
- [16] Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals. Report of the panel of enquiry into shooting and angling (1976-1979)[M]. London: Panel of Enquiry into Shooting and Angling, 1980. 173-177.
- [17] European Food Safety Authority (EFSA). Food Safety considerations of animal welfare aspects of husbandry systems for farmed fish - scientific opinion of the Panel on Biological Hazards[J]. *EFSA Journal*, 2008, 6(12): 867.
- [18] European Food Safety Authority (EFSA). Food Safety considerations concerning the species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed fish[J]. *EFSA Journal*, 2009, 7(7): 1190.
- [19] Kristiansen T S, Fernö A, Pavlidis M A, *et al.* The welfare of fish[M]. Cham: Springer International Publishing, 2020.
- [20] 中华人民共和国生态环境部. 中华人民共和国渔业法 [EB/OL]. (2008-02-01) [2022-11-18]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/fl/200802/t20080201_117912.shtml. Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Fishery Law of the People's Republic of China[EB/OL]. (2008-02-01) [2022-11-18]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/fl/200802/t20080201_117912.shtml (in Chinese).
- [21] 中华人民共和国农业农村部. 中华人民共和国水生野生动物保护实施条例 [EB/OL]. (2019-04-28) [2022-11-18]. http://www.cjyzbgs.moa.gov.cn/zcjd/201904/t20190428_6220248.htm. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Regulations of the People's Republic of China for the Implementation of Aquatic Wildlife Protection[EB/OL]. (2019-04-28) [2022-11-18]. http://www.cjyzbgs.moa.gov.cn/zcjd/201904/t20190428_6220248.htm (in Chinese).
- [22] 牛瑞燕, 孙子龙, 李候梅. 动物福利的现状与对策 [J]. *动物医学进展*, 2006, 27(2): 108-111.
- [23] Niu R Y, Sun Z L, Li H M. Current situation and countermeasures of animal welfare[J]. *Progress in Veterinary Medicine*, 2006, 27(2): 108-111 (in Chinese).
- [24] 徐鹏, 何燕, 黄娇. 浅谈水生动物的福利问题 [J]. *中国水产*, 2021(8): 53-55.
- [25] Xu P, He Y, Huang J. On the welfare of aquatic animals[J]. *China Fisheries*, 2021(8): 53-55 (in Chinese).
- [26] Lilley J H, Roberts R J. Pathogenicity and culture studies comparing the *Aphanomyces* involved in epizootic ulcerative syndrome (EUS) with other similar fungi[J]. *Journal of Fish Diseases*, 1997, 20(2): 135-144.
- [27] Sampaio F D F, Freire C A. An overview of stress physiology of fish transport: changes in water quality as a function of transport duration[J]. *Fish and Fisheries*, 2016, 17(4): 1055-1072.
- [28] Robb D H F, Kestin S C. Methods used to kill fish: field observations and literature reviewed[J]. *Animal Welfare*, 2002, 11(3): 269-282.
- [29] Iwama G K. The welfare of fish[J]. *Diseases of Aquatic Organisms*, 2007, 75(2): 155-158.
- [30] Sopinka N M, Donaldson M R, O'Connor C M, *et al.* Stress indicators in fish[J]. *Fish Physiology*, 2016, 35: 405-462.
- [31] Brydges N M, Boulcott P, Ellis T, *et al.* Quantifying stress responses induced by different handling methods in three species of fish[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2009, 116(2-4): 295-301.
- [32] Landsman S J, Wachelka H J, Suski C D, *et al.* Evaluation of the physiology, behaviour, and survival of adult muskellunge (*Esox masquinongy*) captured and released by specialized anglers[J]. *Fisheries Research*, 2011, 110(2): 377-386.
- [33] Schreck C B, Tort L. The concept of stress in fish[J]. *Fish Physiology*, 2016, 35: 1-34.
- [34] Selye H. Stress and the general adaptation syndrome [J]. *Br Med J*, 1950, 1(4667): 1383-1392.
- [35] Gallo V P, Civinini A. Survey of the adrenal homolog in teleosts[J]. *International Review of Cytology*, 2003, 230: 89-187.
- [36] Wedemeyer G A, Barton B B, McLeay D J. Stress and acclimation[M]//Schreck C B, Moyle P B. *Methods for*

- Fish Biology. Bethesda: American Fisheries Society, 1990.
- [35] Olsen S H, Sørensen N K, Larsen R, *et al.* Impact of pre-slaughter stress on residual blood in fillet portions of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua*) — Measured chemically and by Visible and Near-infrared spectroscopy[J]. *Aquaculture*, 2008, 284(1-4): 90-97.
- [36] Digre H, Rosten C, Erikson U, *et al.* The on-board live storage of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) caught by trawl: fish behaviour, stress and fillet quality[J]. *Fisheries Research*, 2017, 189: 42-54.
- [37] Iwama G K, Thomas P T, Forsyth R B, *et al.* Heat shock protein expression in fish[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1998, 8(1): 35-56.
- [38] Kassahn K S, Crozier R H, Pörtner H O, *et al.* Animal performance and stress: responses and tolerance limits at different levels of biological organisation[J]. *Biological Reviews*, 2009, 84(2): 277-292.
- [39] Feder M E, Hofmann G E. Heat-shock proteins, molecular chaperones, and the stress response: evolutionary and ecological physiology[J]. *Annual Review of Physiology*, 1999, 61: 243-282.
- [40] Lesser M P. Oxidative stress in marine environments: biochemistry and physiological ecology[J]. *Annual Review of Physiology*, 2006, 68: 253-278.
- [41] Barton B A, Iwama G K. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids[J]. *Annual Review of Fish Diseases*, 1991, 1: 3-26.
- [42] Barton B A. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids[J]. *Integrative and Comparative Biology*, 2002, 42(3): 517-525.
- [43] Dhanasiri A K S, Fernandes J M O, Kiron V. Acclimation of zebrafish to transport stress[J]. *Zebrafish*, 2013, 10(1): 87-98.
- [44] Iversen M, Finstad B, Nilssen K J. Recovery from loading and transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts[J]. *Aquaculture*, 1998, 168(1-4): 387-394.
- [45] Martins C I M, Galhardo L, Noble C, *et al.* Behavioural indicators of welfare in farmed fish[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2012, 38(1): 17-41.
- [46] Schjolden J, Stokhus A, Winberg S. Does individual variation in stress responses and agonistic behavior reflect divergent stress coping strategies in juvenile rainbow trout?[J]. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2005, 78(5): 715-723.
- [47] O'Connor K I, Taylor A C, Metcalfe N B. The stability of standard metabolic rate during a period of food deprivation in juvenile Atlantic salmon[J]. *Journal of Fish Biology*, 2000, 57(1): 41-51.
- [48] Suter H C, Huntingford F A. Eye colour in juvenile Atlantic salmon: effects of social status, aggression and foraging success[J]. *Journal of Fish Biology*, 2002, 61(3): 606-614.
- [49] Brown C, Warburton K. Social mechanisms enhance escape responses in shoals of rainbowfish, *Melanotaenia duboulayi*[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1999, 56(4): 455-459.
- [50] Handy R D, Depledge M H. Physiological responses: their measurement and use as environmental biomarkers in ecotoxicology[J]. *Ecotoxicology*, 1999, 8(5): 329-349.
- [51] Portz D E. Fish-holding-associated stress in Sacramento River Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) at south Delta fish salvage operations: effects on plasma constituents, swimming performance, and predator avoidance[D]. Los Angeles: University of California, 2007.
- [52] Jain K E, Hamilton J C, Farrell A P. Use of a ramp velocity test to measure critical swimming speed in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology*, 1997, 117(4): 441-444.
- [53] Van de Vis J W, Oehlenschläger J, Kuhlmann H, *et al.* Effect of the commercial and experimental slaughter of eels (*Aguilla anguilla* L.) on quality and welfare[M]// Farmed fish quality. Fishing News Books. Oxford: Blackwell Publishers, 2001: 234-248..
- [54] Folkedal O, Stien L H, Torgersen T, *et al.* Food anticipatory behaviour as an indicator of stress response and recovery in Atlantic salmon post-smolt after exposure to acute temperature fluctuation[J]. *Physiology & Behavior*, 2012, 105(2): 350-356.
- [55] Cottee S Y. Are fish the victims of 'speciesism'? A discussion about fear, pain and animal consciousness[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2012, 38(1): 5-15.
- [56] Chandroo K P, Duncan I J H, Moccia R D. Can fish suf-

- fer? Perspectives on sentience, pain, fear and stress[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2004, 86(3-4): 225-250.
- [57] Braithwaite V A, Ebbesson L O E. Pain and stress responses in farmed fish[J]. *Revue Scientifique et Technique*, 2014, 33(1): 245-253.
- [58] Sneddon L U. Clinical anesthesia and analgesia in fish[J]. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 2012, 21(1): 32-43.
- [59] Sneddon L U. Trigeminal somatosensory innervation of the head of a teleost fish with particular reference to nociception[J]. *Brain Research*, 2003, 972(1-2): 44-52.
- [60] Beukema J J. Angling experiments with carp (*Cyprinus carpio* L.) II. Decreasing catchability through one-trial learning[J]. *Netherlands Journal of Zoology*, 1970, 20(1): 81-92.
- [61] Segner H, Reiser S, Ruane N, *et al.* Welfare of fishes in aquaculture[R]. Budapest: FAO and Agriculture Organization of the United Nations, 2019: 1-18.
- [62] Toni M, Angiulli E, Malavasi S, *et al.* Variation in environmental parameters in research and aquaculture: effects on behaviour, physiology and cell biology of teleost fish[J]. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, 2017, 5(6): 00137.
- [63] Scapigliati G, Scalia D, Marras A, *et al.* Immunoglobulin levels in the teleost sea bass *Dicentrarchus labrax* (L.) in relation to age, season, and water oxygenation[J]. *Aquaculture*, 1999, 174(3-4): 207-212.
- [64] Puvanendran V, Brown J A. Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods[J]. *Aquaculture*, 2002, 214(1-4): 131-151.
- [65] Ellis T, North B, Scott A P, *et al.* The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout[J]. *Journal of Fish Biology*, 2002, 61(3): 493-531.
- [66] Greaves K. Manipulating aggression among juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in culture conditions[D]. Glasgow: University of Glasgow, 2001.
- [67] Davis K B, Griffin B R, Gray W L. Effect of handling stress on susceptibility of channel catfish *Ictalurus punctatus* to *Ichthyophthirius multifiliis* and channel catfish virus infection[J]. *Aquaculture*, 2002, 214(1-4): 55-66.
- [68] Thorburn M A, Teare G F, Wayne Martin S, *et al.* Group-level factors associated with chemotherapeutic treatment regimens in land-based trout farms in Ontario, Canada[J]. *Preventive Veterinary Medicine*, 2001, 50(1-2): 165-176.
- [69] Sørum U, Damsgård B. Effects of anaesthetisation and vaccination on feed intake and growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. *Aquaculture*, 2004, 232(1-4): 333-341.
- [70] 赵前, 周进, 刘俊荣, 等. 水产品鲜活品质评价体系研究进展 [J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(4): 706-716. Zhao Q, Zhou J, Liu J R, *et al.* Evaluation of sushi-grade seafood quality: a review[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2021, 36(4): 706-716 (in Chinese).
- [71] 周进, 赵前, 刘俊荣, 等. 鱼贝类鲜活品质调控机制研究进展 [J]. 水产科学, 2022, 41(2): 316-324. Zhou J, Zhao Q, Liu J R, *et al.* Freshness quality regulation of fish and shellfish: a review of research progress[J]. *Aquatic Science*, 2022, 41(2): 316-324 (in Chinese).
- [72] 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).
- [73] Thomas P M, Pankhurst N W, Bremner H A. The effect of stress and exercise on post-mortem biochemistry of Atlantic salmon and rainbow trout[J]. *Journal of Fish Biology*, 1999, 54(6): 1177-1196.
- [74] Svalheim R A, Karlsson-Drangsholt A, Olsen S H, *et al.* Effects of exhaustive swimming and subsequent recuperation on flesh quality in unstressed Atlantic cod (*Gadus morhua*)[J]. *Fisheries Research*, 2017, 193: 158-163.
- [75] Svalheim R A, Aas-Hansen Ø, Heia K, *et al.* Simulated trawling: exhaustive swimming followed by extreme crowding as contributing reasons to variable fillet quality in trawl-caught Atlantic cod (*Gadus morhua*)[J]. *PLoS One*, 2020, 15(6): e0234059.
- [76] Svalheim R A, Burgerhout E, Heia K, *et al.* Differential response to air exposure in crowded and uncrowded Atlantic cod (*Gadus morhua*): consequences for fillet quality[J]. *Food Bioscience*, 2019, 28: 15-19.

- [77] Karlsson-Drangsholt A, Svalheim R A, Aas-Hansen Ø, *et al.* Recovery from exhaustive swimming and its effect on fillet quality in haddock (*Melanogrammus aeglefinus*)[J]. *Fisheries Research*, 2018, 197: 96-104.
- [78] 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.
- [79] Robb D H F, O'Callaghan M, Lines J A, *et al.* Electrical stunning of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): factors that affect stun duration[J]. *Aquaculture*, 2002, 205(3-4): 359-371.
- [80] Kestin S, Wotton S, Gregory N. Effect of slaughter by removal from water on visual evoked activity in the brain and reflex movement of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Veterinary Record*, 1991, 128(19): 443-446.
- [81] Parisi G, Mecatti M, Lupi P. *et al.* Comparison of five slaughter methods for European sea bass. Changes in isometric contraction force and pH during the first 24 hours post mortem. Special Publication. 2002(32). 417-418.
- [82] Skjervold P O, Fjæra S O, Østby P B, *et al.* Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. *Aquaculture*, 2001, 192(2-4): 265-280.
- [83] Skjervold P O, Fjæra S O, Østby P B. Rigor in Atlantic salmon as affected by crowding stress prior to chilling before slaughter[J]. *Aquaculture*, 1999, 175(1-2): 93-101.
- [84] 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*, 2008, 74(5): 1146-1156.
- [85] 刘悦朋, 刘俊荣, 蔡琰, 等. 排血对大泷六线鱼的锁鲜增强效应 [J]. 大连海洋大学学报, 2022, 37(4): 668-675.
- Liu Y P, Liu J R, Cai Y, *et al.* Effects of bleeding on quality enhancement for freshness-locked in rock greenling *Hexagrammos otakii*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2022, 37(4): 668-675 (in Chinese).
- [86] Gråns A, Niklasson L, Sandblom E, *et al.* Stunning fish with CO₂ or electricity: contradictory results on behavioural and physiological stress responses[J]. *Animal*, 2016, 10(2): 294-301.
- [87] Southgate P, Wall T. Welfare of farmed fish at slaughter[J]. *In Practice*, 2001, 23(5): 277-284.
- [88] Lines J, Kestin S. Electric stunning of trout: power reduction using a two-stage stun[J]. *Aquacultural Engineering*, 2005, 32(3-4): 483-491.
- [89] Lambooi E, van de Vis J W, Kloosterboer R J, *et al.* Welfare aspects of live chilling and freezing of farmed eel (*Anguilla anguilla* L.): neurological and behavioural assessment[J]. *Aquaculture*, 2002, 210(1-4): 159-169.
- [90] 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 Dalian Ocean University*, 2020, 35(4): 570-576 (in Chinese).
- [91] 冷寒冰, 刘俊荣, 徐美禄, 等. 红鳍东方鲀死后僵直及生化变化特性 [J]. 水产学报, 2020, 44(1): 156-165.
- Leng H B, Liu J R, Xu M L, *et al.* Postmortem biochemistry and rigor development of pufferfish (*Takifugu rubripes*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(1): 156-165 (in Chinese).
- [92] 周进, 刘俊荣, 赵前, 等. 养殖褐牙鲈的极限品质及锁鲜调控 [J]. 水产学报, 2022, 46(7): 1167-1177.
- Zhou J, Liu J R, Zhao Q, *et al.* Upper limit of quality and freshness control of the culture *Paralichthys olivaceus*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(7): 1167-1177 (in Chinese).
- [93] 赵前, 刘俊荣, 周进, 等. 致死胁迫对许氏平鲷锁鲜效果的影响 [J]. 水产学报, 2021, 45(7): 1043-1053.
- Zhao Q, Liu J R, Zhou J, *et al.* Effects of slaughter stress on freshness-locked products of *Sebastes schlegelii*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(7): 1043-1053 (in Chinese).
- [94] Jiang T, Yuan P X, Hirasaka K, *et al.* The effect of blood deposition on the degradation of the connective tissue of the yellowtail *Seriola quinqueradiata* during storage[J]. *Fisheries Science*, 2019, 85(6): 1099-1107.

A review of animal welfare in farmed fish and impacts on product quality

LIU Junrong*, LIU Yuepeng, XU Tanye

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

Abstract: From the point of view of the link between animal welfare and human welfare, the potential upgrading driving force of domestic aquaculture industry was discussed, tracing from the products quality-enhancement back to the practical feasibility of the industry-upgrading from quantity to quality. This paper focuses on fish aquaculture, explores the space for improving the quality reputation of domestic fish products from the perspective of animal welfare, and systematically reviews relevant literature from the following aspects. Firstly, the 'Five Freedoms' principle and the definition scope of animal welfare were reviewed, and the development process and current situation of fish welfare were discussed by comparison with the research and development process of animal welfare in livestock and poultry industries. Secondly, focusing on the quantitative assessment of fish welfare, the literatures related to the fish welfare evaluation system were reviewed, the evaluation indicators and evaluation methods were summarized from stress mechanisms of physiological response, behavioral response and psychological/pain response. Thirdly, in view of the fish aquaculture industry, the profiles and practice status of fish welfare were analyzed and discussed, with emphasis on aquaculture production, catching and post-harvest handling. Finally, an ignored fish welfare link from catching to death was pointed out, which is the critical transform phase from live animal to food raw material. Also, a package solution of fish welfare at the quality determination period was prospected: ① to maintain the natural properties of fish to the maximum and break through the dilemma of "fresh but not tasty enough"; ② to change the current situation of sales of primary aquatic products and reduce both quantity and quality losses post-harvest by implement post-fishery industrialization; ③ to reduce carbon emissions in the supply chain by substituting freshness-locked products for live fish. In conclusion, the implementation of animal welfare at the critical transform phase is necessary to provide targeted guidance for the practicing of harvest and post-harvest handling/slaughtering, and at the same time enrich cultural value to domestic seafood products through high-quality products induced by improved animal welfare.

Key words: fish; animal welfare; fish welfare assessment; quality of farmed fish products

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

Funding projects: National Key R & D Program of China (2018YFD0901001); National Natural Science Foundation of China (32201926); Dalian High-Level Talent Innovation Program (2021RQ097)