

中国鱼类福利现状与机遇

Fish Welfare in China: Progress & Potential

中国农业国际合作促进会
动物福利与可持续农食分会
ICCAWW

2026

感谢以下专家与单位对本报告的审阅与指导（排名不分先后）：

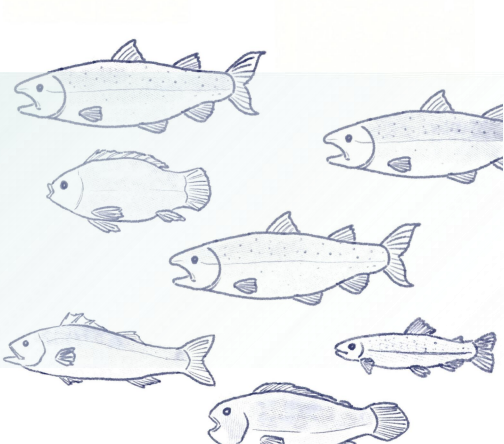
- Marco Cerqueira　葡萄牙阿尔加维大学海洋科学中心研究员、鱼类福利促进协会鱼类福利顾问
- 李　贤　中国海洋大学水产学院教授
- 缪凌鸿　中国水产科学研究院淡水渔业研究中心研究员
- 陈岗富　内江师范学院高级畜牧师
- 陶青燕　四川新一美生物科技有限公司水产事业部总经理
- 梁政远　南京农业大学硕士研究生校外导师、FAO中华区项目顾问
- 方　清　独立顾问
- Ace Aquatec Limited
- Ethical Seafood Research
- Shrimp Welfare Project
- Global Food Partners
- Norwegian Animal Protection Alliance (Dyrevernalliansen)
- FAI Farms

感谢以下单位参与案例分享（排名不分先后）：

- 青岛国信蓝色硅谷发展有限责任公司
- 宁德市夏威食品有限公司
- 洪湖市新宏水产养殖有限公司
- 舟山市品鱼鲜海洋养殖有限公司
- 广东恒兴集团有限公司
- 海南翔泰食品集团有限公司
- 新疆天蕴有机农业有限公司
- 青海民泽龙羊峡生态水殖有限公司
- 四川雅安兴林源虹鳟养殖场
- 成都市新津区水产行业协会

编排人员（排名不分先后）：

- 曾繁容　鱼类福利促进协会中国项目经理
- 吴乐乐　中国海洋大学水产学院博士后
- 陶心洁　中国农业国际合作促进会动物福利与可持续农食分会项目专员



引 言

我国水产养殖产量已连续35年位居全球首位。根据最新《全国渔业经济统计公报》，2025年全国水产养殖总产量达6325.62万吨，养殖面积7760.60千公顷，为全国居民提供近三分之一的动物蛋白来源。目前国内水产养殖品种超300个，涵盖鱼类、甲壳类、贝类及藻类等多个品类。水产养殖业不仅关乎群众增收生计，更是保障国家粮食安全重要支柱，同时也是提升我国在全球食物供给体系中战略地位的核心产业。综合产业体量、民生保障、国际影响力等维度来看，我国水产养殖业规模庞大、辐射范围广、战略意义深远。

然而，规模的扩张并不等同于发展的可持续性与产业韧性。依据《2025中国渔业统计年鉴》，2024年，病害暴发、环境胁迫与自然灾害给我国水产养殖业带来约150亿元人民币的直接经济损失，但其中的部分损失可以通过优化管理水平予以缓解甚至规避。目前国内仍有部分养殖池塘存在放养密度偏高的问题，水体氨氮超标、pH值失衡等情况较为常见，这也是处于转型阶段的产业在快速扩张与长期稳定之间寻求平衡的典型结构性特征。

在该背景之下，鱼类福利作为应对行业已有问题的实践框架，其价值愈发清晰。**改善养殖条件、降低病害风险、优化管理措施、减少经济损失，本质上与提升鱼类福利水平具有共同的目标指向。**

“动物福利”并非外来概念，其在中国传统伦理中已有深厚根基。传统养殖模式如“人放天养”“桑基鱼塘”及混养等方式，已蕴含顺应自然、减少干预的福利理念。现代化水产养殖业的发展，在追求产量的同时，更强调生产过程的规范性与产品质量安全，动物福利有望成为实现以上目标的重要手段，并将逐步成为产业进步与社会文明协同演进的重要考量维度。在现代法规层面，2026年5月1日起正式施行的新修订《中华人民共和国渔业法》第二十六至二十八条，明确要求养殖生产者科学确定养殖密度、合理使用投入品、保持养殖水体清洁，并强化了对病害防治的监管责任。其核心要求与鱼类福利的基本原则高度契合。

引 言

同时，鱼类福利在国际上正受到行业相关机构的重视，其定义主要涵盖鱼类处在其养殖环境条件下的身体与心理状态。

以广泛采用的“五域模型”框架为基础：

• 营养保障 • 优化物理环境 • 强化健康管理 • 尊重自然行为 • 促进心理健康

水产养殖中的福利评估关注的是：

在生产周期的各个阶段，鱼类是否正在经历不必要的应激和痛苦。

以上方面虽超越死亡率与饲料转化率本身，但与两者都具有深刻关联。

本报告旨在以产业现状为切入点，论证践行鱼类福利与提升生产效益、降低经济损失、满足监管要求以及进入高端市场之间的内在协同关联。从以上多重维度分析，推进鱼类福利落地实践，实则为我国水产养殖业可持续与高质量发展提供助力。

报告将围绕五个核心议题展开。首先概述**鱼类福利的重要性**，涵盖其科学依据、政策维度、经济逻辑以及与消费者健康的关联；其次探讨**鱼类感知与应激生物学**，揭示鱼类如何感知其生存环境并对不良条件作出反应；第三部分呈现来自**中国的行业案例**，基于对十余家企业的实地考察与访谈，进一步展示当前国内的福利实践情况，并探究推动实践落地的动因；第四部分**放眼国际**，从挪威、苏格兰等主要生产国（地区）的领先实践中汲取经验；报告最后提出**针对中国水产养殖业的可行建议**。

报告由**中国农业国际合作促进会动物福利与可持续农食分会**与**鱼类福利促进协会**共同编制发布，供水产养殖从业者、行业协会、企业决策者及相关主管部门等作为行业发展参考依据。本报告力求立足行业现阶段发展态势，梳理行业前沿成果与产业实践亮点，以期为我国水产养殖业绿色转型升级提出切实可行的参考建议。

目 录

引 言 1

鱼类福利的重要性 4
定义 4
相关政策 5
经济效益和风险管理 8
鱼类福利和消费者健康 9

鱼类感知和应激 11
光感知 12
声音感知 13
机械压力感知 14
水环境化学感知 16
疼痛感知 17

中国行业案例 19
系统设计搭建的福利基础 21
案例一：罗非鱼 水库生态养殖与预防性健康管理 21
案例二：大黄鱼 深远海工船养殖与全流程低应激操作 22
案例三：虹鳟 山地流水养殖与自然环境驱动的低干预管理 22
养鱼先养水：水质管理的福利实践 24
案例一：花鲈 规模化养殖中的水质监测 24
案例二：大黄鱼 有机养殖模式下的低变量水质管理 25
案例三：金鲳鱼 远海网箱养殖中的生态协同水质管理 26
创建高福利的地理标志品牌 27
案例一：新津黄颡鱼 产量上限与保价收购机制驱动的密度管理 28
案例二：安康花鲢 认证标准内嵌福利要求与高端零售渠道落实 28
案例三：龙羊峡虹鳟 国际认证与出口市场需求推动屠宰福利升级 29

鱼类福利国际实践 31
繁育与鱼苗阶段：从源头进行结构性管理 32
案例一：大西洋鲑 遗传选择与生产韧性构建 32
案例二：大西洋鲑 大规格鱼苗策略与海水暴露周期压缩 32
生长阶段：环境风险控制与系统稳定性 33
案例一：黄尾鰤 陆基循环水系统的环境封闭控制 34
案例二：大西洋鲑 可下潜网箱与表层寄生虫暴露管理 35
屠宰环节：福利管理的新兴前沿 36
案例一：大西洋鲑 大规模生产中的屠宰政策标准化 37
案例二：罗非鱼 淡水鱼种专用致昏技术的开发与市场转化 38

结语：迈向高质量和高福利水产养殖的共同路径 39
参考文献 43

01 鱼类福利的重要性

1.1 定义

1979年，英国农场动物福利委员会（Farm Animal Welfare Council, FAWC）基于《布兰贝尔报告（Brambell Report）》研究成果，系统归纳并正式确立动物福利“五大自由（The Five Freedoms）”准则，其成为全球动物福利评估与优化的核心基础框架。后续行业在其基础上迭代形成“五域模型（The Five Domains Model）”，进一步细化并完善了动物福利科学化评估体系，并用以界定动物在饲养和管理过程中应当享有的基本保障。1992年，世界农场动物福利协会（Compassion in World Farming, CIWF）首次提出“鱼类福利”概念。在鱼类养殖情境中，以上评估框架通常表现为以下具体要求：

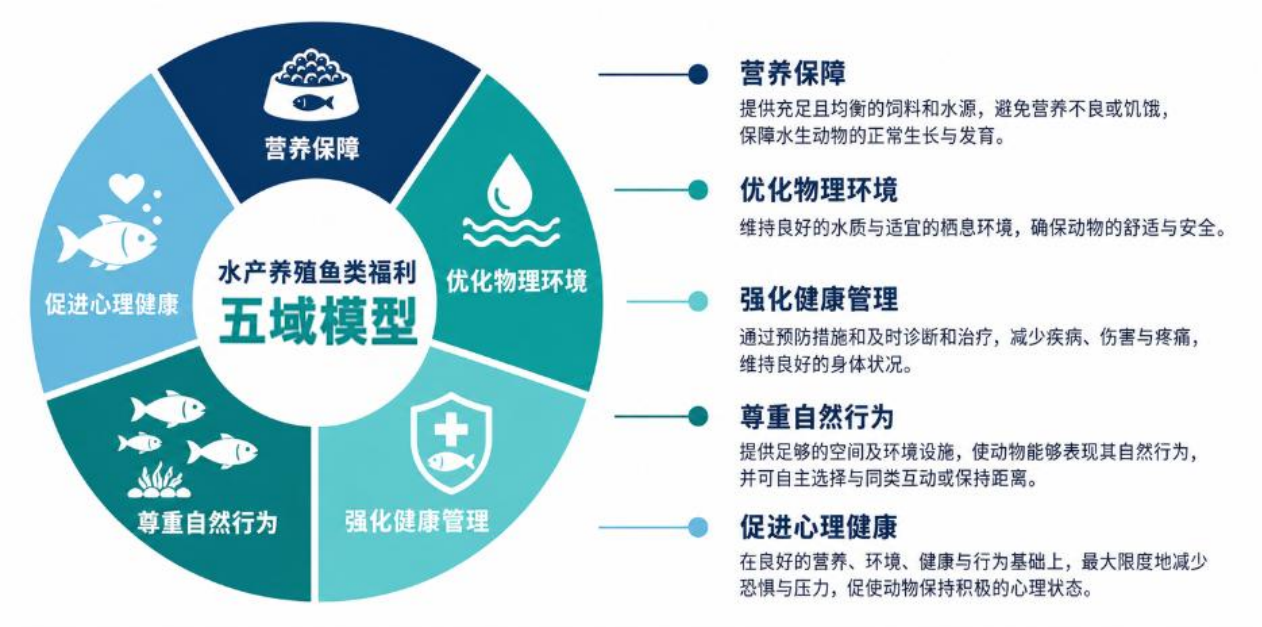


图1.1 鱼类福利五域模型

上述要求不仅反映出动物自身的福利需求，也凸显出更广泛的生态与健康管理的现实必要性，这一点在水产养殖体系中尤为显著。为应对源于全球公共卫生领域的现实挑战，“同一健康（One Health）”框架应运而生，该框架旨在强调人类、动物与环境之间的健康共生关系，通过跨学科、跨部门的协作，推动更为全面的健康管理策略，其不仅关注单一物种的福利，还同时兼顾整个生态系统的健康与可持续发展。落实到水产养殖领域，“同一健康”理念有助于从系统层面厘清鱼类福利与环境保护、食品安全以及人类健康之间的内在关联。

1.2 相关政策

我国的政策体系通过采取**可持续水产养殖发展、生态保护**和**食品安全**等方面的措施，为养殖业尽可能提供意见指导与法律支持。这些政策在提升食品供给能力的同时，也促使从业者更加关注环境保护和动物福利。

在推动生态文明建设方面，政府始终强调人与自然和谐共生。生态文明理念正融入渔业政策的各个方面，要求在渔业生产中注重生态保护，减少对水资源的过度开发。通过科学管理与技术创新，提升水域的生态功能，确保水生生物的多样性和生态平衡。

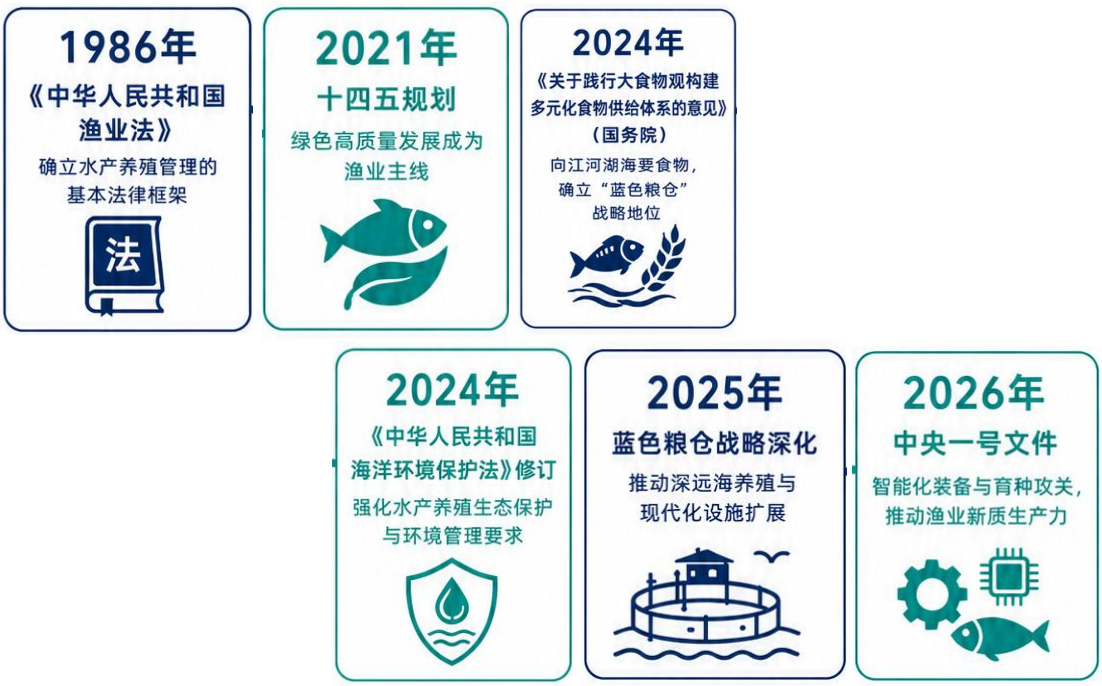


图1.2 中国渔业政策发展

“大食物观”引领下的渔业多元化发展格局

近年来，国家立足粮食安全战略，明确树立“大食物观”，着力构建多元化食物供给体系。2024年，国务院办公厅印发《关于践行大食物观构建多元化食物供给体系的意见》（国办发〔2024〕46号）明确提出，**要向江河湖海要食物**，将“**蓝色粮仓**”作为构建多元化食物供给体系的重要支柱。这一顶层设计为中国水产养殖业的发展开辟了新的战略空间。

在该框架下，水产养殖被进一步纳入国家食物安全保障体系，成为不可或缺的重要组成部分。相较于传统种养业，水产养殖具备饲料转化效率高、不与人争粮、不与粮争地等优势。在耕地资源日趋紧张、粮食增产约束持续加剧的背景下，水产养殖在稳固国家食物供给、丰富居民膳食结构中的战略价值持续提升。

在“大食物观”战略引领下，我国水产养殖产业发展空间得到系统性拓展。政策层面确立“宜渔则渔”的科学开发原则，统筹兼顾内陆水域与海洋养殖资源：

- 在内陆水域，如积极发展大水面生态渔业，科学规范开展增殖放流；稳步推进稻渔综合种养产业高质量发展等。
- 在海洋水域，推动养殖空间从近岸水域向深远海延伸，发展深水抗风浪网箱，稳妥推进大型桁架类网箱和养殖工船建造，建设海上牧场、“蓝色粮仓”等。

值得关注的是，“大食物观”战略实现了食物保障与生态保护的有机统一。依据“生态优先、绿色发展”的原则，我国水产养殖开发严格锚定资源环境承载力，因地制宜、科学有序布局。无论是大水面生态渔业模式，还是深远海养殖扩容对近岸养殖压力的有效疏解，均体现出养殖生产与生态保护的协同增效价值。这一转型不仅保障了优质水产品的稳定供给，更推动渔业发展从传统的资源消耗型向生态友好型转变，实现了双向共赢，为我国水产养殖业绿色、可持续发展赋予了全新内涵。

可持续水产养殖发展政策

当前，我国渔业政策总体正朝向生态化、技术化方向高质量转型。在此背景下，鱼类福利理念实则与现行政策方向高度契合，政策核心措施直接改善了养殖鱼类的生存环境、生长状态与健康水平，为鱼类福利提升奠定了坚实的实践基础。

这一政策方向在“十四五”期间已形成系统性框架，并在“十五五”（2026－2030年）规划中得到延续与深化。农业农村部印发的《“十四五”全国渔业发展规划》（农渔发〔2021〕28号）从环境管控、模式升级、资源管护三个核心维度，对鱼类福利提升形成系统性、全方位的正向赋能：

- 把生态健康置于核心地位：明确将养护水生生物资源、改善水域生态环境作为重要目标，意味着将从单纯追求产量转向水域生态和鱼类种群的长期健康。
- 推动绿色健康养殖模式：加快发展池塘标准化养殖、工厂化循环水养殖、稻渔综合种养、大水面增殖等养殖模式；开展国家级水产健康养殖和生态养殖示范区创建；加强水产养殖用投入品监督管理，打击违法使用禁用、停用药物行为。
- 缓解对野生资源的压力：继续严控捕捞强度，巩固长江十年禁渔等重大保护措施成果，推动配合饲料替代野生幼杂鱼，严格限制冰鲜杂鱼等直接投喂。

进入“十五五”时期，政策重点进一步向深远海养殖装备现代化、水产种业自主可控以及人工智能与物联网等智能技术在养殖管理中的应用拓展，为鱼类福利相关实践的系统化推进提供了新的政策空间。此外，“蓝色粮仓”战略以现代化海洋渔业转型为核心，推动渔业从“以捕为主”向“养殖、捕捞、加工并举”转变。其关键举措与鱼类福利高度相关，主要体现在以下几个方面：

- **改善养殖生存环境**：战略鼓励从近岸高密度、高风险养殖转向深远海养殖、养殖工船和循环水系统。更高的水流速度、更好的溶氧条件和更低的污染水平，为养殖鱼类提供了更稳定的环境，减少应激反应和疾病风险。
- **以环境承载力约束养殖规模**：提出建立养殖容量评估制度，对超标区域进行调控，降低过度拥挤带来的资源竞争、相互伤害和疫病暴发风险，客观上提升了鱼类福利水平。
- **强化营养与健康管理**：推动精准饲喂、专用饲料研发和良种选育，同时加强病害防治与智能化管理，提高鱼类体质、抗病能力和整体健康状况。

此外，2026年中央一号文件《中共中央国务院关于锚定农业农村现代化扎实推进乡村全面振兴的意见》中更加强调支持水产养殖育种、智能化装备（如人工智能、物联网、机器人）等关键核心技术的攻关与转化，推动“农业新质生产力”在渔业的应用。

生态保护与环境管理

我国政府在生态保护方面出台了一系列严格的政策，防范水产养殖活动对自然生态系统造成破坏，同时积极推广生态友好型养殖模式。**《中华人民共和国渔业法》**和**《中华人民共和国海洋环境保护法》**共同搭建起水产养殖管理的基础性法律框架，在保障鱼类健康、规范养殖行为和降低环境负荷等方面发挥重要作用。与鱼类福利相关的主要政策要求包括：

- **科学养殖与养殖密度管理**：国家倡导资源节约型和环境友好型水产养殖模式，要求养殖主体遵循科学原则合理规划养殖规模和密度，并规范饵（饲）料及投入品的使用，在保障鱼类健康生长的同时，降低对水域生态环境的不利影响。
- **疾病防控与水产品质量安全监管**：县级以上政府相关主管部门将承担起本辖区内水产养殖技术指导、水生动物疫病监测与常态化防控的职责。2021年起，我国试行水产养殖用投入品使用白名单制度，进一步规范产品生产与使用。
- **生产记录与可追溯管理**：养殖主体需如实记录苗种来源、引种及繁育情况、疫病防控措施、用药情况等关键信息，并按照相关规定留存台账记录，保存期限不得少于两年。该项制度能够有效提升水产养殖全过程的透明度与行业监管效能，并为养殖风险防控、事故责任追溯提供坚实的数据支撑与合规依据。

我国水产养殖领域目前已围绕生态环境保护、水生动物健康、可持续生产等领域构建了较完善的政策制度体系，但现阶段尚未出台针对动物福利的具体规定或主流品种的特异性指导材料。国际上，欧盟已依托欧洲食品安全局（EFSA）就多种经济鱼类（如大西洋鲑、虹鳟、欧洲鳗鲡等）发布系统性科学意见与福利评估成果，并于2024年设立欧盟动物福利参考中心（水产）（EU Reference Centre For Animal Welfare, EURCAW Aqua）。

1.3 经济效益和风险管理

将鱼类福利纳入生产体系不仅具有重要的生态价值，更具备务实的经济合理性与产业应用价值。依据《2025中国渔业统计年鉴》，2024年，病害暴发、环境胁迫与自然灾害给我国水产养殖业带来约150亿元人民币的直接经济损失，其中相当比例的经济损失并非“不可控风险”，而是与养殖环境、精细化管理和鱼类生存状态密切相关。

从经营层面看，**低福利养殖模式会压缩养殖主体的盈利空间**。养殖过程中的长期拥挤、水质恶化和营养失衡等问题将使鱼类长期处于慢性应激状态，具体表现为生长速率放缓、机体免疫力下降、攻击行为增加和死亡率偏高。这不仅降低了产出效率，还将增加由药物、增氧、换水和补苗等引发的运营成本。同时，一旦疾病在高密度养殖群体中暴发，抗生素往往将成为最直接的应对手段，而预防性或超剂量用药等不规范操作将进一步引发病原耐药性累积、水产品药物残留、养殖尾水排放等一系列次生风险。

此外，过度投喂虽在短期内刺激增重，但却易加剧鱼类肠道负担，未被利用的饲料还将引发水体富营养化，进一步恶化生产环境，形成**“高投入—低回报”**的恶性循环。

在流通环节，鱼类福利不足同样造成显著的经济损耗。全国范围内约7%的养殖鱼在活体运输过程中死亡，而高价值品种如鲈鱼的苗种运输死亡率更高。这不仅直接减少了可销售产量，还增加了物流成本和市场波动风险。此外，苗种检测环节尚不完善，个别“带病苗”流入生产体系，放大了后端死亡率与用药支出，系统性侵蚀行业利润。

相反，以福利为导向的生产转型能够形成**“生物健康—经济稳定”**的良性循环。通过合理降低养殖密度、改善水质、优化饲喂结构和加强疾病预防，可以显著减少应激、降低死亡率并提升饲料利用效率，进而实现降本增效和稳定现金流。在宏观层面，福利导向的养殖模式有助于减少大规模疫病暴发的概率，缓冲极端事件带来的系统性冲击，提升整个产业的韧性与可持续竞争力。

同时，鱼类福利水平也逐渐与市场准入和供应链稳定性直接相关。随着国内外市场对“无抗养殖”“可追溯”和可持续水产品的需求持续提升，越来越多的采购商和终端零售商逐步将ASC、BAP等国际水产认证及同类型标准纳入核心采购准入条件。在此趋势下，稳定的养殖管理和较低的鱼类应激水平不仅能够有效提升水产品运输存活率与产品品质，更是养殖企业切入高附加值市场、融入长期稳定供应链体系的关键要素。简言之，鱼类福利管理已从传统的内部生产管理环节，逐步升级为影响企业市场竞争力和品牌信誉的重要因素。

需要说明的是，如上文所述，鱼类福利与养殖生产效益在多数管理维度上具备协同一致性，但二者的协同关系并非在所有维度下均无条件成立。以养殖密度为例，单纯降低密度会减少单位水体产量，其经济可行性往往取决于是否存在与之匹配的价格溢价或产量约束机制（详见第3.3节地理标志案例）。因此，本报告所讨论的“福利与效益协同发展”，应理解为在规范化管理框架下的总体趋势，而非各项措施均可无条件实现效益正向增益。

总体而言，将鱼类福利理念纳入行业政策与企业决策，并非抬高养殖成本的“额外负担”，而是化解经营风险、提升资源利用效率、强化产业稳健性的关键性投入。对我国水产养殖业而言，更高的鱼类福利水平意味着更低的损耗、更稳定的经营收益和更具韧性的供应链，这也是推动水产养殖业高质量发展的重要经济根基与核心支撑。

1.4 鱼类福利和消费者健康

在现代化水产产业体系中，鱼类福利已不再局限于生态环境保护范畴，更是保障水产品质量安全、维护公众健康的重要基础。行业实践与监管数据表明，养殖和捕捞过程中对鱼类生存条件、健康状况和应激水平的精细化管控，与终端产品的安全性、品质稳定性及市场认可度高度相关。总体来看，提升鱼类福利水平有助于降低水产品食品安全风险、优化产品品质，同时强化消费者对水产品类的消费信任度。

从宏观背景看，我国水产品产量规模庞大，质量安全总体稳定，仍存在提升空间。农业农村部国家农产品质量安全例行监测数据显示，2025年全国水产品抽检合格率为96.5%，低于农产品整体抽检合格率水平。

由上海海洋大学组织撰写的《中国水产品质量安全研究报告（2024）》显示，国内部分代表性省份鲜活水产品抽检合格率为93.8%。上述数据说明，仅依靠末端抽检手段难以全面保障消费安全，必须从源头生产环节切入，通过系统性改善鱼类福利水平，有效降低行业的质量风险。

从生物学特性看，鱼类肌肉组织脆弱、体内酶活性较高，死亡后极易腐败。在养殖、捕捞、暂养和运输过程中，鱼类若长期处于高强度应激状态，易出现免疫功能下降、代谢紊乱等问题，感染病原微生物的概率大幅增加，进而加剧水产品质量安全风险。因此，缓解鱼类应激、优化生存条件、降低病害暴发，是提升水产品安全性的关键前提。

养殖环境和投入品质量同样是连接鱼类福利与消费者健康的重要纽带。鱼类长期暴露于开放水域环境，易富集工业废水、农药残留及各类营养盐污染物。同时，部分养殖主体为防控病害、提升养殖产出，违规使用抗生素或违禁药物，虽可在短期内降低病害损失，但长期将引发水产品药物残留、病原菌耐药性扩散、消费者市场信任流失等外溢风险。反观通过优化养殖密度、改善水质条件和强化健康管理等方式提升鱼类福利水平，可以显著减少养殖环节对化学药物的依赖，从源头降低食品安全隐患。

近年来，相关政策和产业转型方向正逐步将改善鱼类生存条件作为筑牢水产品质量安全的重要路径。例如，深远海养殖依托水质洁净、水体流动性强的天然优势，有效降低鱼类病害发生率与污染物暴露风险；循环水养殖通过封闭式水体净化系统实现精细化管理，减少外源污染输入和用药需求。

在监管层面，通过健全生产记录制度、落实批次抽检机制、推行重点品种清单化管理，能够引导养殖主体摒弃片面追求短期增产的思路，转向长效健康养殖理念。该导向既有利于鱼类福利水平的提升，也进一步保障了消费者权益。与此同时，智慧冷链物流和全流程可追溯体系的应用，有效减少了运输“断链”可能引发的品质劣变问题，降低食品安全风险。

从宏观生态视角看，海洋环境监测、生态环境修复和渔业增殖放流等举措，不仅是为生态保护，更是为长远水产品质量安全的预防性治理。

综上所述，良好的鱼类福利并非水产品安全的附加条件，而是其内在前提。整体可形成清晰的产业因果逻辑链：

优良的养殖与水域环境，孕育出更健康的鱼体，进而产出更安全优质的产品，这既是对消费者健康的长期承诺，也是获取其持久信任的基石。

因此，在推进高质量渔业和高标准食品安全体系建设的进程中，将鱼类福利作为重要治理抓手，既契合生态文明理念，也符合公共健康利益，是我国现代水产产业体系升级发展的必然趋势。

02 鱼类感知和应激

鱼类具备与脊椎动物相似的多模态感觉系统，能够感知光照、声音、机械压力、化学信号及伤害性刺激。这些感知能力并非孤立存在，而是构成鱼类与养殖环境持续交互的生理基础：

- 光照周期调控其昼夜节律与神经内分泌状态；
- 声学环境影响其集群行为与消化功能；
- 水流与密度产生的机械压力激活侧线感受器并诱发应激反应；
- 水体化学信号影响其摄食动机与回避行为；
- 伤害性刺激可触发持续的应激疼痛与回避状态，造成行为与生理的进一步恶化。

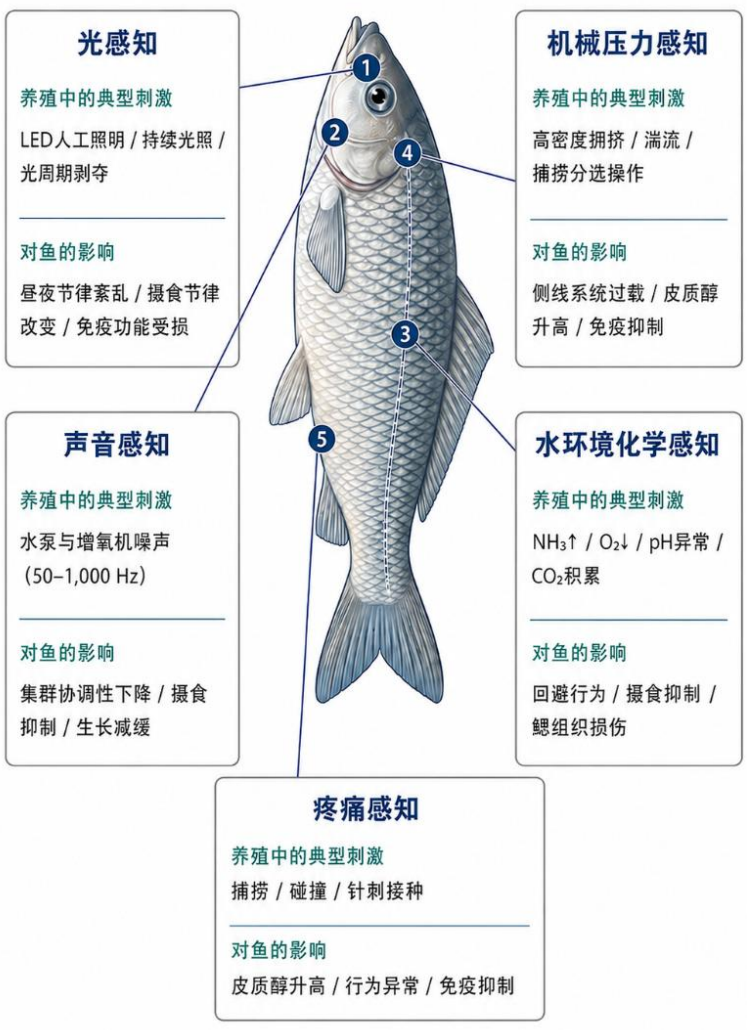


图2 养殖鱼类感知系统与养殖环境响应

在集约化的养殖条件下，工厂化车间的人工照明、循环水系统的机械噪声、高密度养殖的拥挤胁迫以及频繁的捕捞、分选与转运操作，对上述多感知通路形成持续或反复的刺激。在适度的、短期压力下，鱼类通常可恢复正常状态；但在应激过度或长期慢性胁迫的情况下，可能引发摄食积极性下降、生长缓慢、免疫力下降等问题，增加患病风险。因此，理解鱼类感知系统的生理基础及其对养殖环境的应答机制，是科学设计养殖设施、优化操作规程、提升鱼类福利与生产性能的前提条件。

然而，当前研究现状与上述需求之间存在显著落差。在物种针对性方面，现有鱼类感知生理与应激应答的系统性数据，绝大多数来自如斑马鱼等模式生物，或大西洋鲑、虹鳟等非我国传统养殖品种，而草鱼、鲫、黄颡鱼、鳜、大黄鱼等本土品种数据相对缺乏。我国养殖鱼类品种高达300余个，基于视觉、听觉、侧线感知及伤害感受等基础生理参数得出的结论，在跨物种外推层面仍存较大不确定性。

在管理规范方面，现行标准体系尚未系统纳入养殖鱼类以福利为导向的光照条件、水下噪声水平、养殖密度上限、操作环节应激缓解等相关技术规定；池塘、网箱及工厂化养殖中的感知环境管理更多依托实践经验，建立以感知生物学为依据的系统性框架，将为鱼类福利与生产效率的协同提升提供新空间。

本章将依次从光感知、声音感知、机械压力感知、水环境化学感知，以及疼痛与恐惧反应五个维度，梳理鱼类对应的感知生理基础、行为响应、生理应激及免疫效应。

2.1 光感知

感知机制

鱼类通过视网膜（含视杆和多种视锥细胞）、松果体及皮肤色素细胞感知光信号，构成多层次的感光系统。松果体合成的褪黑素呈昼低夜高的节律性分泌，是调控鱼类昼夜节律、免疫功能及应激反应的关键神经内分泌信号。不同生态位的养殖鱼种光感能力差异显著：罗非鱼等昼行淡水鱼具完整色觉且对长波光敏感；黄颡鱼等夜行种以视杆细胞为主，对弱光敏感性较强；大黄鱼皮肤黄素体对光极度敏感，光照下色素聚集、体色由金黄转为银白；大菱鲆在变态后视觉向短波方向偏移，偏好蓝绿光。在集约化养殖场景中，典型的人工光刺激包括工厂化循环水养殖车间的LED照明、沿岸网箱区的光污染，以及深水网箱下沉后造成的光周期剥夺。

行为影响

不当的人工光照条件可显著改变鱼类的摄食、活动节律及攻击行为。以罗非鱼为例，在工厂化循环水养殖条件下高光强处理显著抑制摄食行为和生长性能；光周期是其昼夜活动节律的首要同步因子，多数个体在自然光周期下表现出稳定的昼行节律，持续黑暗处理下内源节律仍可维持，但存在个体差异。光色对攻击性亦有明显影响，罗非鱼在黄光环境下攻击行为显著增强，而适宜光强下的红色背景则有助于降低丽鲷类鱼种的攻击性。草鱼苗种表现出明显的趋光偏好，水流条件可进一步干扰其趋光行为。

生理应激与免疫

持续光照或不适宜光谱可通过多条通路诱发鱼类生理应激。持续光照显著抑制褪黑素分泌，扰乱松果体时钟基因的节律性表达，大黄鱼在持续光照条件下松果体Clock基因节律性消失。红色LED处理下虹鳟皮质醇水平及肝脏氧化损伤指标显著升高，而定时日间投喂可部分缓解持续光照所致的氧化应激。在免疫方面，持续光照导致虹鳟血清IgM及补体C3、C4异常升高，提示免疫功能紊乱；大菱鲆在红色LED条件下肝脏溶菌酶活性最低、抗病力最差，而蓝色LED下免疫和抗氧化指标最优。

2.2 声音感知

感知机制

鱼类通过内耳和侧线两套声学感觉系统感知水中声波。内耳负责感受16～300Hz范围内的声压振动，其中耳石可辨别声音来源方向；侧线则主要感受50～150Hz的低频粒子运动，二者协同构成对近场与远场声信号的立体感知能力。具有鳔和韦伯氏器的骨鳔类鱼（包括草鱼、鲫鱼等鲤科鱼类）听觉尤为敏锐，可感知范围更宽的频率，而无韦伯氏器的鱼类（如大黄鱼、大菱鲆）听力敏感度相对较低。

我国学者以鲫为对象，采用听觉脑干反应法对其听觉阈值进行了系统测定：敏感频率范围为300～1000Hz，最敏感频率为800Hz，对应听觉阈值约70dB。在集约化养殖场景中，典型的人工声学干扰包括工厂化循环水养殖系统中水泵、增氧机、过滤单元产生的机械噪声，以及池塘跑道模式中增氧设备产生的持续噪声，其能量频段恰好落在多数养殖鱼类的听觉敏感区间内。

行为影响

高强度养殖噪声对鱼类的摄食行为、鱼群聚集结构及游泳模式均产生显著影响。大口黑鲈在工厂化RAS环境中的研究结果表明，115dB噪声暴露组的增重率仅为对照组的一半，且噪声组鱼群的个体间距和偏转角度均显著增大，表现为鱼群离散、集群协调性下降。后续研究进一步比较RAS与池塘跑道两种养殖声景对大口黑鲈的影响，结果显示两种养殖噪声均显著抑制消化酶活性，鱼群极性和凝聚度明显低于低噪声对照组。增氧机噪声的专项研究亦表明，噪声刺激可直接减少大口黑鲈的摄食总量，并扰乱正常游泳行为和群体结构。

此外，航道船舶噪声及水下爆破等高强度人为声源可诱发鱼类短期回避行为，并对其觅食效率及种内声波通讯产生掩蔽效应。

生理应激与免疫

持续或高强度噪声暴露可引发鱼类生理应激与免疫损害，并且影响程度存在显著的物种差异。大口黑鲈在RAS工业噪声条件下，血液、肝脏和肠道的抗氧化及免疫相关指标均显著受损。对比海上网箱声景与陆基养殖场噪声的国际实验表明，金头鲷在陆基养殖噪声条件下皮质醇和血糖水平显著升高，生长性能劣于海上声景组，提示持续性机械噪声是陆基集约化养殖中不可忽视的应激源。虹鳟在养殖生产噪声条件下可出现应激反应，但在典型RAS噪声水平（115～150dB）下，生长率、饲料转化率和存活率未见显著差异，提示该物种对养殖噪声的适应能力相对较强。

我国工厂化养殖设施中泵机、增氧机等设备的各类参数差异较大，其声学特征尚未经过系统测定，现行养殖标准及法规亦未设置针对水下噪声的管控要求，声景管理在国内养殖生产中仍处于起步阶段。此外，被动声学技术也正被逐步探索用于养殖鱼类摄食行为的非损伤监测，这在提升生产管理效率的同时，也为鱼类声学福利评估提供了潜在工具。声感知相关环境因素可显著影响鱼类的行为表现、应激水平和免疫状态，与鱼类福利及生产性能直接相关联。

2.3 机械压力感知

感知机制

鱼类通过侧线系统和内耳前庭器官构建对水体机械压力信号的感知能力。侧线系统是鱼类特有的机械感受器官，由分布于体表和头部的两类神经丘组成：

• 管道神经丘位于皮下液体管道中，主要感受0.03～20mm/s范围内的水流速度，可感知湍流与扰动；
• 自由神经丘裸露于体表，主要感知低于30Hz的流速变化，对极微弱的稳态水流具有极高灵敏度。

两类神经丘协同工作，使鱼类能够感知近场流体动力变化，对摄食、避敌、集群和洄游等行为具有不可或缺的作用。

在集约化养殖场景中，典型的机械压力刺激包括RAS系统中水泵与管道产生的高速湍流、网箱在大风浪下的水流冲击、大网捕捞与分选操作中的物理追赶，以及过度拥挤下个体间的频繁或持续接触压力。

行为影响

高养殖密度及其所产生的拥挤接触压力，是集约化养殖中影响鱼类行为表现最为直接的机械压力胁迫来源之一。在封闭养殖空间中，鱼体与池壁、网壁及其他个体间的持续物理接触构成对侧线系统和皮肤机械感受器的慢性低强度刺激，长期过度激活这一感知通路将干扰鱼类对正常水流扰动信号的辨别能力，并触发持续的应激性行为响应。

• 在大黄鱼的工厂化流水养殖系统中，高密度组的摄食行为显著受抑，饲料转化率明显劣于低、中密度组，生长性能随密度升高呈显著下降趋势，血清皮质醇水平亦随之升高，表明拥挤接触压力持续干扰了鱼体的正常摄食驱动。
• 在草鱼的高密度拥挤实验中，转录组分析显示脑组织出现213个差异表达基因，富集通路涉及神经信号整合与转导，提示拥挤胁迫对行为调控的神经基础造成了系统性干扰，与侧线及机械感受通路的持续过载具有内在关联。

生理应激与免疫

机械压力胁迫可通过下丘脑-垂体-肾间组织（HPI）轴激活，导致皮质醇持续升高，进而引发免疫抑制和氧化损伤。

• 深远海大黄鱼流速应激研究发现，高流速处理组血清乳酸浓度持续上升、皮质醇水平显著升高，肝细胞出现水肿及胞质空泡化，肠道绒毛高度降低、杯状细胞数量减少。
• 拥挤胁迫作为另一类机械压力源，在草鱼的养殖密度实验中显示：高密度组鱼体的脾脏组织发生炎症反应，出现黑色素-巨噬细胞中心增多和粒细胞浸润，炎性细

胞因子基因表达水平显著上升，血清溶菌酶、酸性磷酸酶及碱性磷酸酶活性均明显下降。

• 罗非鱼高密度养殖研究发现，感染海豚链球菌后高密度组鱼体的皮质醇升高幅度更大，C型溶菌酶、热休克蛋白70（HSP70）及炎性细胞因子基因表达模式均显著异于低密度组，表明拥挤胁迫会放大病原感染引发的应激与免疫紊乱。

我国现行池塘工程化循环水养殖和工厂化RAS的设施设计标准中，未包含水流机械刺激对鱼类福利影响的评估指标。拥挤胁迫方面，尽管已有草鱼密度-免疫实验的初步数据，但在网箱和大型流水槽等主流商业规模下的福利临界密度研究仍付诸阙如；捕捞、分级、转塘等人为物理操作所产生的急性机械应激，迄今缺乏系统量化评估。

2.4 水环境化学感知

感知机制

水环境在昼夜交替、天气变化、投喂、增氧、换水变化中不断波动，而鱼类依托多层次化学感受系统监测水环境动态。鳃神经上皮细胞是感知溶解气体的核心受体，高密度池塘在凌晨常出现溶氧下降，阴雨天或藻相失衡时夜间缺氧风险更高。嗅觉系统中，痕量胺相关受体基因家族在水体胺类信号检测中具有关键地位，鲤科等淡水养殖鱼类具有较丰富的痕量胺相关受体基因，提示其对生物胺类化学信号具备较强的感知潜力。

这意味着当养殖水体中有机物分解、残饵腐败或水质恶化时，鱼类能够通过嗅觉系统感知部分相关化学变化。味蕾与孤立化学感受细胞构成接触式补充通路，与上述系统协同实现对氨氮、溶解氧、pH及CO_2的多模态化学感知。

行为影响

水化学因子异常对养殖鱼类行为也会产生可量化的显著影响。

• 罗非鱼在非离子氨浓度0.79mg/L条件下出现垂直位置波动与聚群行为，浓度升至2.65mg/L时游泳活动显著增强并呈现典型回避反应，随后活动逐步衰减。

• 草鱼对低氧的呼吸反应具有明显的温度依赖性。研究表明，随适应温度升高，其以摄氧率界定的临界溶氧浓度下降；但在低氧持续加重时，氧气提取效率会先行下降，随后摄氧率也明显下滑，意味着在夏季长期高温或高密度养殖条件下，呼吸效率受限，进而影响摄食、活动和生长表现。

生理应激与免疫

水环境化学胁迫通过下丘脑-垂体-肾间组织（HPI）轴激活引发系统性应激级联反应。急性氨氮暴露可引起大黄鱼血糖升高、血清总蛋白与白蛋白下降，肝脏氧化应激增强与鳃形态异常。黄颡鱼氨暴露后溶菌酶活性、补体溶血活性、总免疫球蛋白及吞噬指数均显著降低，呈全面免疫抑制状态。对草鱼而言，急性氨氮胁迫会改变肠道组织形态与消化酶活性，高氨条件下肠道损伤和部分消化功能受损更明显。

除氨氮外，亚硝氮对鱼类的危害机制更直接地表现为干扰血液氧运输。在大黄鱼中，48小时亚硝氮暴露可导致血红蛋白下降、高铁血红蛋白和皮质醇升高，并伴随免疫指标下降和鳃小片变形，造成缺氧样应激与呼吸组织损伤。保持水体适宜的溶氧水平有助于将亚硝氮快速氧化为毒性较低的硝氮，从而降低其毒性风险；而在RAS系统中，硝氮虽急性毒性较弱，长期累积仍可对鱼体健康产生慢性压力。此外，不适宜的盐度或盐度剧变同样可引发渗透调节失衡，导致应激与免疫力下降，在淡海水交替养殖情景中尤需关注。

2.5 疼痛感知

感知机制

鱼类具备疼痛感受的生理结构，这是其对伤害产生反应和行为变化的基础。以草鱼、鲫鱼、罗非鱼等常见养殖鱼类为例，它们的皮肤和鳍部含有对热、机械压力及化学刺激敏感的神经纤维，这些纤维能产生可检测的神经信号。虽然鱼类皮肤中此类慢速传导纤维占比较低（鲤鱼和虹鳟约4～5%），但有研究进一步提示，鱼类大脑中类似杏仁核的区域可能参与疼痛信号的整合，并与情绪性回避学习相关联，从而使鱼类能够记住并长期回避曾造成伤害的环境。不过，鱼类疼痛是否具备与高等脊椎动物相类似的情绪或意识维度，目前学界仍存在争议；相关证据虽较为有力，但尚未形成定论。

在养殖情境中，起网拉网（鳞片脱落、鳍条撕裂）、分级筛选（体表摩擦）、注射接种（针刺）及高密度放养（持续体表碰撞）均可直接激活上述系统，构成典型的伤害性刺激来源。

行为影响

伤害性刺激可引发持续数小时的多维度行为改变。

• 以罗非鱼为例，尾鳍机械损伤后游泳活动显著增加，皮质醇持续升高达6小时以上，且镇痛药物给药后上述行为改变均显著减轻，表明行为异常源于疼痛整合而非单纯反射。

• 大黄鱼经反复抄网追赶应激30天后，新环境探索行为显著下降，绝对与相对临界游泳速度均受到实质性损害。

• 大西洋鲑经疫苗注射后可能引发的腹腔炎症将导致其游泳活动减弱，摄食行为异常，上述行为改变可持续3天。

常见行为异常还包括摄食抑制、鳃盖开合频率加快及回避学习，这类指标均可在养殖生产现场观测获取，可作为鱼类福利评估的参考依据。

生理应激与免疫

痛觉相关操作应激通过激活HPI轴引发系统性生理变化，对生产性能产生可量化的负面影响。一项涵盖108个鱼种的综合分析显示，高密度养殖使鱼类皮质醇水平平均升高11.3%，特定生长率下降9.4%，饲料转化率上升8.8%，杂食性鱼种受影响程度尤为突出。

宰前和屠宰过程中的应激会耗尽肌肉糖原、加速乳酸积累、降低肌肉pH，从而加快僵直期起始并损害肉质物理性状。例如，大菱鲆运输应激后肌肉品质指标的显著劣化已有量化记录，印证了宰前处置方式对终端产品经济价值的影响。持水性下降、肌肉硬度降低、脂质氧化加剧等品质变化均对出肉率、加工损耗及市场售价产生直接的经济影响。

03 中国行业案例

在我国水产养殖企业中，与鱼类福利相关的实践已在一定范围内开展。其背后的推动力更多源于产业自身的发展需求：提升养殖效率、保障水产品质量安全、推动产业绿色转型，以及满足消费者对高质量蛋白的日益增长需求。近年来，政策层面不断强调“渔业高质量发展”“生态健康养殖”与“水产品质量安全”，并鼓励通过绿色化、标准化与品牌化提升产业竞争力。在这一背景下，许多与鱼类福利相关的管理措施，实际上已经以生产优化和风险控制的形式逐步进入行业实践。

驱动相关投入的核心逻辑仍然是以**存活率、饲料转化率、疾病控制**为核心的生产效率与产品品质稳定性提升。当降低应激、改善水质或控制养殖密度能够带来可量化的经济回报时，企业便倾向于采纳福利相关做法。这一逻辑与国际头部企业的发展路径具有相似性：福利改善往往首先被视为提升生产表现与降低不确定性的管理工具，而后才逐渐延伸为品牌、认证与市场竞争能力的一部分。

这一动机结构决定了福利实践在行业中的分布特征。在鱼体健康与存活率直接挂钩、且效益反馈清晰的领域，实践落地程度往往较高，水质管理即为典型的例证。稳定的水体环境既能降低鱼类的慢性应激负荷，也直接影响死亡率与用药成本，二者的利益导向高度一致。与此同时，部分企业也开始依托地理标志认证、生态养殖标签及品牌化建设路径，提升产品品质，构建消费者信任。上述现象表明，相关生产实践虽尚未在国内市场被系统性地纳入“鱼类福利”框架之下，但其部分底层逻辑已经与高品质水产品的消费发展趋势形成呼应。

在鱼类天性需求、正向体验等难以与生产指标直接挂钩的维度，行业层面的关注目前仍较为有限。五域模型等评价框架在本次受访企业中几乎未见应用，福利改善更多作为效率提升的附带效应产生，而非被有意识地识别与追踪。

在标准化与行业规范层面，我国水产养殖福利化实践体系仍处于建立初期。目前，现行国家、行业标准主要聚焦于水质指标、用药管理与产品质量安全等维度，尚未针对我国水产主养品种形成以应激管理、操作规范、感知环境调控等福利维度为导向的生产操作规程。

近年来，水产动物福利相关标准化工作已取得阶段性进展。**中国农业国际合作促进会动物福利与可持续农食分会**先后于2022及2023年完成草鱼、大黄鱼养殖福利改善参考文件的起草，并在此基础上正式推动团体标准的研制工作。2025年5月，《农场动物福利要求 大黄鱼》团体标准在青岛通过专家审定，成为中国首个专门针对养殖鱼类的动物福利团体标准，标志着我国鱼类福利标准化工作取得重要突破。此外，《农场动物福利要求 草鱼》团体标准正处于起草与审查阶段，预计于2026年内完成审定。

上述进展表明，国内的鱼类福利发展已不再停留于单纯的理念层面，而是正依托标准化建设路径向可操作、可执行的行业规范转化。本章梳理的企业案例，正是这一转型进程中部分先行主体的实践缩影。

下文将从养殖系统设计、水质管理与地理标志认证三个维度，系统梳理当前行业中福利相关实践的典型路径。本报告案例基于对十余家大中型水产养殖企业所开展的实地调研与深度访谈整理而成，样本涵盖淡水、海水品种，覆盖各类养殖规模与系统类型。



图3 经济测算基准（仅适用于本报告）

本章在第3.1、3.2节后附有经济情景测算，旨在将上述逻辑转化为可量化的参照。需要说明的是，这些测算为示意性情景分析，而非对特定企业经营数据的还原，说明与鱼类福利相关的管理改善在经济层面的潜在影响方向与量级。

具体数值将因物种、地区与系统设计而异，但“减少可避免损失即改善净收益”的逻辑具有普遍适用性。测算仅计入直接可量化的成本节省与收益提升，未涵盖养殖尾水改善、抗生素减量的公共卫生效益及鱼类生存质量本身等难以货币化的次级效益。

3.1 系统设计搭建的福利基础

在任何具体的管理决策之前，养殖系统本身的设计，包括池塘、网箱、工船、水库等，已经为可实现的福利结果设定了基本框架。系统设计决定了水质的可控程度、操作流程的规范性、密度管理的灵活度，以及疾病控制对药物干预的依赖程度，也决定了哪类风险能够在结构层面被提前规避。

当养殖系统与物种需求不匹配时，高密度竞争、水质波动、慢性应激、频繁药物干预与粗放操作往往会相互叠加，形成持续性的健康与管理压力。相反，当系统结构与养殖物种的生物学特性相适配时，许多原本需要高强度人为干预的问题，会在日常运行中被自然缓冲或减少。从这个角度来看，养殖模式的选择本身就是一个影响深远的福利决策。

以下三个案例来自差异显著的养殖系统、物种与资本投入层级。物种的选取并非偶然：每一个案例中，养殖品种的生物学特性与系统设计之间都存在内在关联。理解这一关联，有助于评估相关实践的可复制性与行业适用范围。

案例一：罗非鱼 水库生态养殖与预防性健康管理

海南翔泰食品集团有限公司采用水库生态养殖模式，以罗非鱼为主养品种，每亩水面放养1300～1400尾，依据水质承载力、生长速度与养殖安全综合设定。水库的核心优势在于其天然的环境缓冲能力：相较于池塘养殖，水库拥有远高于养殖生物量的水体容积，氨氮与有机废物在积累至危险浓度前已被自然稀释；风力、水温驱动的水体混合与分层共同维持溶解氧的均匀分布，大幅降低了池塘养殖中常见的夜间低氧风险。这种自我调节能力使水质长期保持相对稳定，减少了紧急增氧、大量换水等本身即构成应激事件的人为干预需求。在适配的放养密度与水库环境的双重支撑下，翔泰得以实现养殖全程零用药，疾病暴发的概率从源头降低，而非依赖药物进行后端控制。

然而，零用药并不意味着放任管理。翔泰在育苗阶段实施疫苗接种，同时通过每日定时监测溶解氧、水温、pH与氨氮等关键指标，实现潜在问题早期的精准识别。

罗非鱼对水温与水化学条件的耐受范围相对宽泛，与水库环境的自然波动特性高度适配，进一步降低了管理干预的需求。当养殖系统的结构性条件与物种生物学需求相匹配时，预防性管理与低干预运营可相互支撑，而非替代。

案例二：大黄鱼 深远海工船养殖与全流程低应激操作

大黄鱼是我国最具经济价值的海水养殖鱼种之一，同时也是对环境波动与操作应激高度敏感的品种。其对溶氧、水温以及捕捞操作的敏感性，使稳定、可控的养殖环境成为提高存活率与维持产品品质的重要前提。

青岛国信蓝色硅谷发展有限责任公司以深远海智慧养殖工船为核心载体，运营移动封闭式舱体养殖模式。工船养殖模式是“农业新质生产力”在渔业领域的典型体现，通过智能中控系统，对溶氧、水温、盐度、pH、氨氮与亚硝酸盐等指标进行24小时动态监测，并根据环境变化实时调节水体条件，日最大换水次数为16次。这种高频、稳定的环境管理方式，能够减少剧烈波动带来的急性应激风险。

在出鱼操作中，企业采用无损伤活鱼泵、软质网具与湿滑操作台面，并严格将离水时间控制在90秒以内，以减少机械损伤与操作应激。收获阶段则采用低温镇静结合装箱的处理方式，减少损耗同时提升肉质。受访技术总监明确表示，工船模式能够系统性保障水质稳定、密度管理、低应激操作、饲料营养与疾病预防等核心环节，并将鱼类福利视为维持产品品质、高溢价与生产稳定性的关键基础。

然而，福利导向的系统设计并不必然依赖高资本投入与高度自动化。某些情况下，物种需求与自然环境条件之间的高度匹配，同样能够形成低干预、低应激的养殖结构。

案例三：虹鳟 山地流水养殖与自然环境驱动的低干预管理

虹鳟是典型的冷水鱼种，对溶解氧含量、水体洁净度与水流速度要求严格，在温暖、静止或有机负荷较高的水体中极易产生慢性应激，表现为摄食下降、免疫力减弱与拥挤攻击行为增加。正是该物种的生理需求，决定了适宜的系统需具备低温、高流速与洁净水源等条件。

四川雅安兴林源虹鳟养殖场提供了同结构逻辑下的低资金投入版本。该农场利用山地积雪融水构建流水养殖系统，无需循环水设备，而是依靠持续的自然水流维持高溶氧与低有机负荷的水体环境。雪融水水温常年稳定在虹鳟适宜生长的低温区间，溶解氧充足，有机物随水流自然稀释消散，从根本上消除了集约化养殖中最常见的慢性应激来源。养殖密度约为30kg/m³，并通过分池放养（大规格个体处于下游、小规格个体处于上游）进一步减少个体间竞争与摩擦，降低因拥挤引发的攻击行为与体表损伤风险。粪污随流水自然消散，人工清洁需求极低，避免了频繁操作干预对鱼群造成的额外应激。

在这一系统中，疾病控制主要依靠持续改善水质与增强水流速度来提升鱼体自身状态，而非依赖频繁的药物干预。稳定的低温、高氧环境使虹鳟得以维持正常的摄食节律与活动状态，鱼体的生理负担显著低于在温水或静水条件下养殖的同类。

三个案例覆盖了从低资本生态养殖到高资本技术密集型系统的不同路径，也涵盖了从适应性较强的出口主导品种到对应激高度敏感的高价值鱼种。它们的共同点并不在于资本规模或技术复杂程度，而在于系统结构与物种需求之间的匹配程度。当两者高度契合时，水质稳定性得以在无需持续高强度干预的条件下自然维持。

数据聚焦：水环境质量与养殖经济效益 来自云南37家农场的实证

水质稳定性的经济价值可通过不同养殖系统的对比数据加以量化。杨群兴等（2022）对云南省37家池坝塘养殖场的调查，系统比较了传统池坝塘养殖与微流水养殖模式在相同品种（草鲤成鱼）条件下的生产经济效益。微流水养殖通过持续引入清洁水源维持水质稳定，与本节水库生态养殖、山地流水养殖在核心机制上具有共同逻辑：依靠水环境的自然稳定性降低慢性应激，而非依赖药物干预进行后端控制。

数据聚焦：水环境质量与养殖经济效益　　杨群兴等，《云南农业大学学报》2022 · 2020年实测数据

	池坝塘养殖（草鲤成鱼）	微流水养殖（草鲤成鱼）	变化幅度
投入指标			
养殖总成本/亩	¥13,114	¥24,825	+89%
饲料系数（FCR）	**1.56**	**1.19**	**−24% ↓**
每公斤饲料成本	¥8.29	¥6.04	−27% ↓
药品费占总成本	4.0%	2.2%	−45% ↓
每公斤药品成本	¥0.36	¥0.14	−61% ↓
产出指标			
净产量/公顷	**14,250 kg**	**38,280 kg**	**x2.7倍**

图3.1 水环境质量与养殖经济效益

驱动两种模式经济差异的核心并非投入规模，而是水质稳定性对饲料转化效率的系统性影响。微流水模式下饲料系数从1.56降至1.19，意味着同等饲料投入可多产出约31%的鱼；每公斤产出的药品成本从0.36元降至0.14元，降幅61%。这两项效率指标的改善相互强化：更低的慢性应激使鱼体免疫功能更完整，疾病风险降低，药物需求随之下降，而更高的饲料转化效率则使单位土地面积的可持续养殖强度显著提升。在此基础上，微流水系统的净产量较传统池塘提升169%，实现了养殖渔业的稳定盈利和鱼类福利提升的双赢效益。

需要说明的是，调查中的微流水系统的亩均净产量约为传统池塘的2.7倍，反映出更高的养殖密度。持续水流交换能够在较高密度下维持水质稳定，但养殖密度本身仍是影响鱼类福利的独立变量。本节引用该对比旨在说明水质稳定投入的经济逻辑，具体福利结果还取决于密度控制与日常管理实践。

3.2 养鱼先养水：水质管理的福利实践

在生长阶段，溶解氧、水温、氨氮与养殖密度是鱼类面临的主要环境胁迫来源。环境持续波动下，鱼类需持续消耗能量维持生理稳态，进而造成免疫功能下降、摄食效率降低，疾病发生风险升高，药物干预需求也随之增加。本次调查结果与该逻辑相吻合：水质管理更为稳定精细的企业，往往同时具备更高的饲料转化率与更低的抗生素使用频率。

在本次调查的企业中，水质管理是覆盖面最广、实践成熟度最高的福利相关领域。受访企业无一例外地在水质管理上投入了可量化的人力与设备资源，部分企业已形成系统化、日常化的操作规程。对于水产养殖而言，许多健康与福利问题直接涉及环境控制：稳定、适宜的水体环境既是生产效率的基础，也是降低鱼体生理负担、支持健康状态与正常行为表达的直接条件。因此，水质管理也是当前阶段与鱼类福利结合最为自然、重合度最高的领域。

案例一：花鲈 规模化养殖中的水质监测

广东恒兴集团有限公司的花鲈养殖采用围堰池塘陆基规模化模式。花鲈对溶解氧与水质波动较为敏感，在氨氮积累或低氧条件下易出现摄食抑制、游动异常与免疫力下降，因此稳定的水质管理是维持鱼体健康状态的直接前提。

恒兴在部分养殖池塘安装了与移动终端联动的在线水质传感器，实现溶解氧、水温、pH与氨氮的实时监测；同时结合人工巡塘，通过观察鱼体摄食行为、游动状态以及水色、水味变化辅助判断水质状况。

这种“数据监测+现场观察”并行的管理方式，使水质异常能够在早期被识别并响应。鱼群行为往往比单一水质指标更早反映出潜在问题，浮头、进水口集群或摄食骤降等行为信号，通常是水体溶氧下降或氨氮升高的先兆。

当水质出现异常时，企业的应对流程具有明确的优先级：首先开启增氧系统并调整投喂策略，减少有机负荷的进一步积累，同时加强水体交换稀释有害物质；若上述措施效果有限，则将该池塘鱼群转移，对池塘进行清塘与清底作业，从根本上消除污染源。这一分级响应机制将水质干预从被动救急转变为主动管理，缩短了鱼类暴露于不良水质条件下的累积时间，从而降低慢性应激对免疫功能与生长表现的持续损耗。

在饲料管理上，恒兴使用海鲈专用配合饲料，并根据水质状况与天气变化动态调整投喂量和频率，饲料转化率约为1.2～1.5。精准投喂在此具有直接的水质意义：残饵与粪污是池塘氨氮积累的主要来源，过度投喂不仅加重鱼体消化负担，也加速水质恶化，形成应激循环。通过将投喂决策与水质监测数据挂钩，恒兴在源头上减少了水质波动的主要驱动因素。

案例二：大黄鱼 有机养殖模式下的低变量水质管理

宁德市夏威食品有限公司采用了一种不同于传统强化监控路径的管理方式。其核心逻辑并不在于增加环境控制强度，而在于通过减少污染变量来降低整体管理复杂度。企业使用水下无人机定期观察大黄鱼群活动状态与整体健康水平，日常水质监测则采用便携式设备，每日早晚各测一次。相较于依赖固定式在线监测系统，其管理重点更多放在维持环境整体稳定性，而非高频控制。

更值得关注的是，该企业养殖模式不使用商业配合饲料，而是通过雷达引鱼的方式，每隔2～3天启动声学装置，将周边野生鱼虾引入养殖区域作为自然饵料。这一做法从源头减少了人工饲料输入带来的残饵与排泄污染变量。叠加有机认证中的无药使用要求，其整体路径体现出一种“以环境设计减少干预需求”的管理思路，同时实现高端品牌建设。需要指出的是，该模式的饵料来源依赖周边水域的野生鱼虾资源，长期或规模化实施可能对局部生态形成一定压力，宜纳入持续监测，以确保养殖模式与水域承载能力相匹配。

这一案例的重要性在于，管理策略并非不断加强监测与控制，而是通过减少系统中的干扰变量，降低后续管理压力与疾病风险。这种“低变量系统”与高度实时控制的技术路径形成了另一种不同的环境管理逻辑。

案例三：金鲳鱼 远海网箱养殖中的生态协同水质管理

海南翔泰食品集团有限公司金鲳鱼板块的水质管理则体现出另一种高适应性、低干预的路径。远海围栏网箱模式下，自然水体交换充足，企业主要使用便携式仪器监测溶解氧、水温、pH与氨氮等基础指标。值得关注的是，该企业在网箱养殖中引入篮子鱼（又称泥鲪鱼）作为清洁品种。网箱网衣的生物附着是海水养殖中普遍存在的问题：附着生物堵塞网孔后，网箱内外水体交换受阻，溶解氧水平随之下降，废物积累加速。

研究表明，严重附着会使网箱内水流速度下降27～36%，直接恶化养殖鱼类的生存水质条件，对其健康与福利产生负面影响。篮子鱼属草食性鱼类，以藻类及附着生物为食，通过自然觅食行为持续清理网衣、维持网孔畅通，从而保障网箱内外正常的水体交换与溶氧水平。这一实践说明，部分环境与健康管理问题，并不一定需要通过增加设备投入解决，而可以通过利用生态关系本身，实现更低干预、更高适应性的管理效果。

三个案例呈现了水质管理的不同技术路径，从传感器实时监测到低变量系统设计，再到生态协同管理，但其底层经济逻辑是一致的：主动维持水质稳定的投入，无论采用何种形式，其回报来自对可避免损失的规避。以传感器监测方案为参照，可以量化这一逻辑的经济量级。

数据聚焦：水质监测投入与损失风险的量级对比

以覆盖溶解氧、pH、氨氮与水温等核心指标、含手机联动与自动预警功能的终端水质监测方案为参照，设备总投入7～15万元，使用年限3～5年，年均摊销成本为1.4～5万元。若采用基础传感器方案，年均成本可降至1～2万元。

以亩产500公斤，出塘价10元/公斤的基准计算，一口20亩成鱼池对应产值10万元。当该池塘发生中等规模病害事件时，综合损失包括：死亡鱼损失（按30%死亡率，3,000公斤×10元/公斤）3万元，以及紧急用药成本0.3～0.5万元，单次事件总损失为3.3～3.5万元。以基础方案年均成本1～2万元为参照，一次病害事件的损失已超越监测系统的全年投入，每避免一次该类事件，当年监测系统的投入即可完全收回。

在实际生产中，水质问题并非偶发状况，氨氮超标、水体参数波动等问题在整个养殖周期内反复出现。水质监测体系可全覆盖、全天候稳定发挥预警作用，每规避一次异常风险，即可累加对应的生产效益，且整体监测运维成本保持稳定。

因此，水质监测投入的核心争议不再是“是否值得投入”，而是每年可规避多少损失。从该逻辑来看，监测系统的核心价值并非强调零风险、零损失，而在于推动水质异常处置由传统被动应急补救，转向常态化、精细化的主动预防管理，这也是本节三个案例所呈现的共同实践逻辑。

3.3 创建高福利的地理标志品牌

无论是认证体系的准入要求、出口客户的采购条件，还是国内高端渠道的品质门槛，市场信号能够从根本上改变养殖户的生产决策逻辑。在传统大宗商品市场中，价格压力驱动养殖户最大化产量，而高密度、高用药往往是这一逻辑的必然结果。当市场结构能够为更高品质、更低干预的生产方式提供稳定的价格溢价时，养殖密度的克制便不再是经济上的自我牺牲，而成为理性的商业选择。与此同时，当认证标准本身将福利相关要求直接编码为生产规范时，改善便不再依赖个别企业的主动意识，而能够在认证体系覆盖的范围内系统性复制。

在我国市场中，地理标志是农业与食品领域较为成熟的制度工具，其核心机制在于实现产品产地、品质与品牌认知的深度绑定，形成稳定的市场差异化优势与价格溢价。目前，全国已有超过5000个产品获得地理标志认证，其中水产品超过200个。

对于水产养殖而言，地理标志的意义不止于品牌建设：当地理标志体系能够建立稳定的价格溢价时，“较低产量+更高单价”的经营模式在经济上变得合理，降低放养密度也因此成为可能，并非因为福利标准被强制要求，而是因市场结构与福利化生产模式形成良性循环。在国际市场，ASC、BAP等第三方认证体系则通过另一套机制发挥作用：认证准入条件直接规定了养殖密度、用药规范、可追溯性乃至屠宰方式等具体要求，而欧美主要零售商将认证资质纳入采购条件，使这些要求具备了实质性的市场约束力。

本节通过三个案例，呈现市场与认证需求驱动福利改善的不同机制。前两个案例考察地理标志认证如何通过价格溢价与标准约束，在不同程度上为降低养殖密度、减少药物干预创造有利条件。第三个案例则呈现一种更为直接的国际市场传导路径：国际认证机构的强制性要求与出口客户的采购条件，推动中国头部企业完成了从屠宰方式到设备配置的具体变革，并为国内加工业的未来走向提供了清晰的参照。

案例一：新津黄颡鱼 产量上限与保价收购机制驱动的密度管理

新津区位于四川省成都市西南部，以黄颡鱼（俗称“黄辣丁”）为核心养殖品种。新津黄颡鱼已获得国家地理标志产品认证。在此基础上，当地行业协会建立了一套将产量限制与保价收购相结合的市场管理机制，形成了以价格溢价换取产量约束的结构性激励体系。

产量约束机制与鱼类福利改善之间的关联，主要通过密度控制这一中间路径实现。密度下降不仅有助于维持溶解氧、氨氮等关键水质指标在适宜范围内，也能明显降低病害发生率和用药频次，从而减少鱼类面临的疾病压力和养殖应激。相关研究（赵忠波，2016）同样表明，随着放养密度提高，黄颡鱼的终重、增重和特定生长率都会下降，而亚硝态氮等有害物质在水体中则会上升，说明高密度会同时损害鱼类生长表现并加速水质恶化。与此同时，参与养殖户通常将养殖周期延长至8个月以上，而非其他地区常见的3个月快速养成模式，这种更长的饲养周期有助于提升鱼体发育质量、肉质紧实度和食用品质。

根据协会规定，参与地标体系的养殖户每亩年产量不得超过2000斤，显著低于周边常规养殖密度。对于遵守产量限制的养殖户，协会提供高于普通市场价的最低保价收购；参与地标体系的养殖户实际获得的收购价格为13元/斤，较普通市场价（8元/斤左右）高出约5元/斤，使“减量提价”的形式在经济层面上得以实现。正因为执行逻辑依托于市场激励而非直接干预养殖习惯，养殖户对这一体系的接受程度相对较高，相应态度更加积极。新津黄颡鱼的营销逻辑，是以地理标志认证、统一标准化养殖和分级销售为基础，通过稳定品质和品牌背书来提升市场认可度，并进入商超、政府采购及高端消费渠道。

为支撑这一品牌叙事，协会要求每一户养殖户先由第三方检测机构对池塘淤泥和水质进行检测，并核查药残浓度及是否含有违禁药物，不符合要求者不得参与地标养殖。与此同时，价格差异会向消费者作出说明，强调其来自更严格的水质管理、密度控制和药残检测，从而把“更高价格”转化为“更高品质与更强安全保障”的信号。

案例二：安康花鲢 认证标准内嵌福利要求与高端零售渠道落实

安康市位于陕西省南部汉江流域，境内水资源丰富，水质优良，是陕西省最重要的渔业产区。2018年前后，瀛湖及周边水库长期存在的高密度网箱养殖模式因水体污染问题被全面清退，当地渔业面临转型压力。在此背景下，安康市推动以花鲢为代表的滤食性鱼类大水面生态养殖作为替代路径，并于2021年成功申请国家地理标志产品认证，将安康花鲢纳入国家知识产权保护体系。

安康花鲢地理标志标准对产地范围、养殖环境、苗种投放、日常管理与捕捞操作均作出了明确规定。在养殖环境上，认证要求水面超过1000亩、水深超过10米的水库，客观上限定了低密度、高水质的养殖条件。在日常管理中，标准明确规定全程不投饵、不投药、不投肥，花鲢仅依靠滤食水体中天然浮游生物生长，该种养殖模式与鱼类福利水平的提升存在直接关联。在苗种投放上，两批次合计每亩年投放量控制在60～80尾之间。在捕捞上，标准规定实行分级捕捞，仅起捕养殖满3龄、体重达2公斤以上的个体；起捕后须在网箱或运输船中进行驯化锻炼，短途运输驯化不少于2～3天，长途运输驯化7天以上，以降低鱼类在捕捞操作中的急性应激强度、提高运输存活率。

花鲢作为滤食性鱼类，在适宜的水库环境中能够持续进行自然觅食行为，活动空间充足，水质稳定，慢性应激风险显著低于高密度池塘精养模式。同时，花鲢也对自然水环境有利。每生产1公斤花鲢可从水体中移除约20克氮、1.5克磷和119克碳，同时消耗约40公斤蓝藻，水体的自然净化与鱼类的健康生长之间形成相互促进的关系。

除地理标志认证外，安康花鲢同年通过了农业农村部全国名特优新农产品认证及官方富硒检测认证，产品硒含量在0.1～0.6毫克/公斤，蛋白质含量超过14克/100克，脂肪含量低于2克/100克，形成了可量化的健康附加值叙事。在渠道端，安康市推动认证产品进入西安盒马鲜生等一线新零售平台，建立了覆盖多家门店的配送合作，并在安康本地推行一鱼一标二维码溯源体系，以可验证的品质承诺支撑终端定价。

案例三：龙羊峡虹鳟 国际认证与出口市场需求推动屠宰福利升级

青海民泽龙羊峡生态水殖有限公司是我国淡水虹鳟养殖规模最大的企业，年产量约1.5万吨，占全国淡水虹鳟总产量的50%以上。公司同时持有有机、ASC、BAP及HACCP等多项认证，主要客户覆盖国内高端商超、精品餐饮及出口渠道。正是这一出口导向与高标准认证的组合，推动该企业完成了目前国内淡水养殖业中数一数二的屠宰福利升级。

推动这一变化的外部压力来自两个方向。其一是认证体系的时间表：ASC自2027年起将强制要求宰前致昏，BAP则要求达到95%以上的有效致昏率；其二是出口客户的直接要求：欧洲零售商与采购商已将人道屠宰纳入供应商资质条件。面对这些市场要求，龙羊峡已配置电致昏装置，在我国养殖企业中率先完成了设备部署的转变。

这一实践的意义超越了设备本身。结合其捕获流程来看，龙羊峡采用真空吸鱼泵将鱼体随水流平稳导入浮动捕捞平台，全程持续注入深层低温库水，鱼体自聚拢至放血的全流程控制在4小时以内。电致昏在这一流程末端的介入，使鱼类在失去意识后完成放血，从而将捕捞操作中这一后期关键应激胁迫环节纳入福利管理范围。从科学角度看，宰前应激会耗尽肌肉糖原、加速乳酸积累、提前触发僵直，导致持水性下降与货架期缩短；致昏的引入在改善福利的同时，也直接保护了产品的加工价值，两者利益方向完全一致。

在更广泛的行业层面，适用于虹鳟等冷水淡水鱼种的电致昏参数，包括电场强度、作用时长与水体导电性校准，仍需系统性验证，尚无行业共识标准可供参照。但作为我国淡水养殖业中已确认的首批致昏实践案例之一，龙羊峡提供了一个具有现实可参照性的起点：外部市场要求能够推动具体设备投资，而高价值出口定位为承担这一投入创造了经济条件。





图片来源：青海民泽龙羊峡生态水殖有限公司

三个案例呈现了市场与认证驱动福利改善的三种不同机制与成熟度层次，具有不同的可推广性。认证标准内嵌福利要求的模式，最具系统性复制潜力，但前提是认证体系本身具备足够的公信力与执行能力。

市场激励间接传导的模式，在不要求养殖户将福利作为明确目标的前提下实现了实质性改善，在直接监管难以推行的背景下具有更高的推行空间。国际市场压力驱动的模式，目前主要影响具备出口能力的头部企业，但随着认证要求的时间表临近，其传导范围将逐步扩大。

04 鱼类福利国际实践

鱼类福利领域的探索并非我国水产业的孤立现象。过去十余年间，全球多个主要水产养殖地区已逐渐将鱼类福利纳入产业升级与市场竞争的核心议题。其中，欧盟一直处于相关监管与产业实践的前沿，并于2020年推出的**《从农场到餐桌战略》（Farm to Fork Strategy）**明确承诺全面修订动物福利立法，并首次将养殖鱼类纳入法规框架。公众舆论也强烈支持这一方向：2024年一项覆盖欧盟9个国家、超过9,000名受访者的调查显示，91%的受访者认为鱼类福利应当获得与其他养殖动物同等或更高程度的保护；80%的受访者支持立法要求生产者依据现有最佳科学证据满足养殖水生动物的福利需求。

在这一政策与市场环境下，国际水产养殖体系中的多家头部企业，已经将福利相关实践系统性地嵌入其生产逻辑之中。其驱动力在很大程度上来自商业层面：降低死亡率、提高成活率、改善鱼体品质、提升加工稳定性、满足买方审核要求，以及进入高标准零售与认证体系。这些实践的形成路径，是在“问题先行、效益驱动”下的产业升级过程，而非“理念先行”的空泛倡导，这与我国企业在养殖升级中的经验殊途同归。

值得关注的是，这些企业通常并非停留在单一技术改进层面，而是长期投入资源建立专门的研发与验证体系，包括持续优化养殖环境、研究鱼类生理应激反应、改进运输与暂养流程，以及重构生产系统设计等。部分企业甚至将鱼类福利纳入内部绩效指标与品牌战略之中。这种持续性的研发投入，本身便是一种重要的行业信号：在国际头部企业的判断中，改善鱼类福利条件并非短期成本，而是一项具有长期回报预期的生产投资。换言之，当企业选择以机构化、系统化的方式持续投入相关能力建设，而非仅将其视为一次性的合规要求时，这一决策本身便反映出行业对“更高福利水平能够带来更优生产结果”这一逻辑的长期信心。

与此同时，欧洲消费者也展现出为福利认证水产品支付溢价的真实意愿。针对德国、丹麦和挪威市场的研究发现，消费者愿意为带有可信福利标签的水产品每公斤额外支付1.3～2.0欧元（约合人民币10～15.7元）。对于我国出口企业而言，这不仅意味着新的合规要求，也意味着一个正在形成的长期市场机会。随着动物福利认证逐渐成为进入欧洲高端零售渠道的重要条件，能够率先建立相关能力的企业，也更有可能获得稳定订单、高附加值市场以及更强的品牌议价能力。

以下三节分别从繁育与鱼苗管理、养殖系统设计，以及屠宰与市场端的福利要求三个维度，梳理国际实践的前沿路径。这些案例并不构成可直接移植的操作范本，

但其底层逻辑，通过系统性设计降低应激负荷、减少不确定性暴露、将福利条件转化为市场信号，为理解我国水产业的潜在发展方向，提供了有价值的参照坐标。此外，欧盟是全球最大的水产品单一市场，进口额达630亿美元，占全球水产品进口总额的41%。随着福利认证标准逐步成为这一市场的重要准入门槛，相关国际实践的价值不再局限于提供行业范本，更成为提升产品出口竞争力、对接国际贸易规则的重要参考。

4.1 繁育与鱼苗阶段：从源头进行结构性管理

繁育与鱼苗阶段是整个生产周期中最早能够对生物风险进行结构性塑造的环节。该阶段的决策会直接影响鱼类的疾病易感性、应激耐受能力以及生理稳健性，从而决定后续养殖阶段的死亡率分布与生产稳定性。在国际水产养殖体系中，该阶段通常通过三类机制降低后续不确定性：遗传层面的抗风险设计、早期发育阶段的环境塑形，以及标准化健康管理体系。

案例一：大西洋鲑 遗传选择与生产韧性构建

选择育种正从单一生长速度导向，逐步转向多性状综合筛选体系，将抗病性、生理稳定性与应激耐受能力纳入核心指标。以苏格兰大西洋鲑养殖企业Scottish Sea Farms为例，相关育种计划与AquaGen等遗传育种机构合作，在超过20项性状中进行综合选择，其中包括对阿米巴鳃病（AGD）的抗性筛选，该病是当地海水养殖主要死亡原因之一。在该育种计划相关生产批次中，商业数据表明整体存活率由约82%提升至90%。

生产方同时指出，该结果受到海水温度变化及养殖管理调整等多重因素共同影响，因此遗传贡献属于系统性改进的一部分，而非唯一决定因素。该机制的本质，是将部分疾病风险从养殖阶段前移至遗传设计阶段，从而降低后端管理压力。

案例二：大西洋鲑 大规格苗种策略与海水暴露周期压缩

第二类机制通过控制孵化及幼鱼阶段的环境条件来影响鱼类的生理发育，从而提高其后续适应能力。在挪威大西洋鲑养殖的常规模式下，鱼苗通常在体重达到100～150克时即被转移至海水网箱进行养殖。然而，这一阶段的鱼体生理适应能力尚不成熟，海水转移后的早期死亡率显著偏高。挪威全国数据显示，平均约16%的鱼苗在达到上市规格前死亡，且死亡多集中于海水转移后的初期阶段。与此同时，网箱养殖环境中海虱密度较高，而驱虱处理操作本身即会造成鱼体应激加剧、生长受阻与死亡率上升，构成常规模式下的系统性福利压力。

针对此难题，北欧大西洋鲑养殖企业Bakkafrost采用的大规格苗种策略通过延长淡水陆基养殖阶段，将鱼苗转移至海水前的平均体重从传统约100克提升至500克左右。这一调整使海水养殖暴露周期由约18～24个月缩短至10～13个月，从而显著降低鱼类在高风险海域中暴露于寄生虫与环境波动的总时间。体型更大的鱼苗在生理上对海水环境的适应能力更强，海水转移后的早期死亡风险相应降低，对驱虱操作的耐受能力也更为稳健。

该模式依赖高度资本化的循环水养殖系统（RAS）与控制环境设施，同时延长淡水阶段也可能影响鱼类正常的生理转盐过程与适应能力，需在系统设计中加以关注。尽管如此，这一策略的底层逻辑与国内案例中所呈现的系统性思路高度一致：通过前端的生命周期设计，将潜在的生物风险前移至可控阶段，从而降低后续养殖阶段的死亡波动与干预依赖。

另外，数家水产企业正在开展长期研究项目，并已取得具有前景的初步成果，但相关技术和实践尚未实现大规模商业化应用。全球最大的多宝鱼生产企业之一Stolt Sea Farm与丹麦技术大学（Danmarks Tekniske Universitet）开展长期合作研究益生菌对于降低鱼苗与幼鱼病原压力的效率和商业用途。

实验室研究发现，在多宝鱼鱼苗培育条件下，含有暗棕色杆菌属（*Phaeobacter*）的益生菌生物过滤系统可在144小时内将鳗弧菌（*Vibrio anguillarum*）降至不可检测水平。同时，在暴露于病原的条件下，使用该益生菌过滤系统的鱼苗累计死亡率为35%～40%，与未感染对照组之间无统计学差异，而未使用该系统的感染组仔鱼死亡率则高达76%。

繁育与孵化阶段的国际实践表明，这一环节的管理逻辑正在从“产量导向”的传统育种模式，逐步转向以“早期健康基础与系统韧性”为核心的多维框架。在这一过程中，遗传育种不再仅聚焦生长速度，而是将抗病性与应激耐受能力纳入核心选择指标；同时，通过延长或重构早期养殖阶段的环境条件，以及引入益生菌等生物调控技术，行业正在将部分高风险提前至生命周期早期的可控阶段，从而降低后续海水养殖中的不确定性与疾病波动。

4.2 生长阶段：环境风险控制与系统稳定性

生长阶段是鱼类暴露于环境波动与疾病压力最集中的环节。该阶段的核心问题并非风险是否存在，而是如何在生产过程中对这些风险进行结构性预判与主动管理。我国水产养殖业在该阶段的部分损失具有可规避性，能够通过稳定养殖环境条件、提升问题响应速度，进一步优化风险防控机制。

国际上，生长阶段的环境风险管理主要形成两类路径：一是通过工程化封闭系统实现对水质参数的精准控制；二是通过空间结构设计系统性降低鱼类暴露于高风险环境区域的程度。

两类路径的共同逻辑在于，将环境干预从事后救急转变为结构性预防。然而，两者的管理要求存在本质差异：循环水养殖系统的福利优势高度依赖于持续、精准的主动管理，而空间结构设计则通过改变鱼类与风险源之间的物理关系，从根本上降低干预需求。

案例一：黄尾鰤 陆基循环水系统的环境封闭控制

循环水养殖系统通过对水体进行过滤、再处理与循环利用，在封闭系统内实现对关键环境变量的结构化控制，包括温度、溶解氧、氨氮、二氧化碳以及悬浮颗粒物等。这种设计的核心意义在于，将原本高度依赖外部环境波动的养殖过程，转化为一个可控的工业化生产系统，从而显著降低环境不确定性对鱼类生理状态的影响。在系统运行良好的情况下，这种环境稳定性能够降低鱼类的慢性应激水平，提高生长表现的可预测性，并减少对抗生素等治疗性投入的依赖。在荷兰黄尾鰤养殖企业The Kingfish Company一年产量约4000吨的陆基海水RAS系统中，水体循环利用率达到99.6%，系统内关键水质参数被维持在较窄范围内，包括pH约为7.4，水温约23℃，二氧化碳低于6mg/L，悬浮固体低于4mg/L，养殖密度维持在75～100kg/m³。在这一运行条件下，该系统实现了商业化生产以来零抗生素使用，并在2023年实现饲料转化率1.36，显著优于常规商业养殖的1.6～2.3区间。这些指标的背后，是系统对二氧化碳、氨氮与溶氧的持续精准控制，任何一项参数的持续偏移，都会在鱼类行为与生长数据中快速显现。

这一案例也进一步揭示出生长阶段基础设施决策中的一个关键前提，即鱼种与养殖模式之间的适配程度。例如，黄尾鰤在循环水系统的高密度条件下表现出较强的环境耐受性，个体间攻击性较低，对捕捞与操作应激的恢复能力较强，因此更适合在高度集约化的RAS系统中维持稳定生产。

相较之下，部分鲑鳟类在疾病敏感性与应激反应方面更为脆弱，使其在系统性故障情境下更易出现放大性风险。美国大西洋鲑企业Atlantic Sapphire在2020～2022年间多次出现大量死亡事件，如在2021年某次事故中，企业预计损失约500吨大西洋鲑，这主要与溶氧不足、氮积累以及生物滤池失效有关。这一案例说明，尽管循环系统的经济收益主要来自环境稳定性所带来的饲料效率提升、疾病管理成本下降以及生产预测性增强，但这种稳定性依赖较高的持续管理成本。循环系统将风险从外部环境转移至工程系统本身，一旦核心模块，如氧气供应、生物过滤或氮循环等发生故障，风险会在封闭环境中迅速放大。

案例二：大西洋鲑 可下潜网箱与表层寄生虫暴露管理

与封闭式循环水养殖系统不同，开放式海水网箱养殖无法完全控制水体环境变量，但可以通过空间结构设计降低鱼类暴露于高风险环境区域的程度。这一逻辑的生物学前提在于海虱的垂直分布特性：海虱幼虫具有趋光性，自然集中于水体表层，通常集中在水面以下10米以内，在水温较高、盐度较低的表层水体中密度最高。这意味着，在常规网箱养殖中，鱼类在正常游动和摄食过程中不可避免地频繁穿越高寄生虫密度区域，持续面临感染压力。

挪威Lerøy Seafood Group将这一生物学特性转化为系统设计的核心依据，开发并部署了可下潜网箱与半封闭式漂浮结构相结合的“Preline屏蔽技术”。该系统将鱼群位置维持在更深的水层，同时通过专用管道从水下20～30米深处抽取低虱密度的洁净水体，以层流方式输送至养殖舱内，使鱼类在避开表层高风险区域的同时仍能获得充足的水体交换。根据该公司2024年年度报告，这一系统设计使海虱处理频率降低约85%，存活率明显提升。该案例通过结构性设计系统性地减少鱼类与高密度寄生虫区域的接触时间不但降低了海虱感染本身对鱼体造成的慢性应激与组织损伤；同时减少了企业驱虱操作的频率和成本。

两个案例呈现了生长阶段环境风险管理的两种不同逻辑。通过工程化封闭实现环境参数的精准控制，福利优势真实且可量化。循环水养殖系统在我国已有相当规模的应用基础，广泛应用于大菱鲆、虹鳟、石斑鱼等高价值品种的工厂化养殖场景。但其环境可控、胁迫更低的养殖优势，必须建立在系统化主动管理的基础之上，核心要求是对CO_2、氨氮、溶氧与悬浮固体等关键指标的持续监测与精准调控。若缺失这类管控能力，系统不仅无法发挥相应的优化效果，其封闭循环的养殖特征还易造成水质隐患持续累积，导致养殖风险难以被及时识别与处置。

可下潜网箱则代表另一种路径：不试图控制整个养殖环境，而是通过改变鱼类与风险源之间的接触空间，系统性降低感染暴露与治疗干预的频率。两种路径在底层逻辑上高度一致：**将环境干预从被动应急转变为结构性预防，但对管理能力的依赖程度截然不同。**

4.3 屠宰环节：福利管理的新兴前沿

在我国，绝大多数淡水养殖鱼类以活鱼形式运抵市场，屠宰环节在传统上并不构成水产养殖管理的核心议题。然而，这一格局正在发生系统性变化。截至2024年年底，全国水产加工品总量达2253.75万吨，占全国水产品总产量的30%。与此同时，城镇化进程加速、家庭规模缩小与生活节奏加快，正推动即食、即烹与预处理水产品的需求快速增长。一线城市对高端预制菜的偏好持续上升，小包装休闲水产食品在三四线城市同样实现快速增长，下沉市场占比已达35%。冷链物流与电商渠道的扩张进一步加速了这一趋势。行业正从传统初加工向精深加工转型，意味着越来越多的养殖鱼类将在到达消费者之前经历某种形式的加工处理，屠宰环节在整个产业链中的重要性将随之显著上升。

在这一背景下，屠宰方式对鱼类福利与产品品质的双重影响值得重视。屠宰前或屠宰过程中经历高强度应激的鱼类，会发生一系列级联式生理变化：肌肉糖原迅速耗尽，乳酸加速积累，肌肉pH下降，僵硬期提前启动，进而导致自溶期和腐败期提前，鱼肉持水性下降、肌肉硬度降低、脂质氧化加剧与货架期缩短，最终影响加工出成率与产品市场价值。

中国农业大学针对鲢鱼开展的一项对比实验证实，致昏处理的鱼体在肌糖原水平与综合品质指标上均显著优于割鳃放血方式，后者在所有测量指标中表现最差。这一结果表明，屠宰方式的改善在福利与产品价值之间并不存在根本矛盾，两者的利益方向高度一致。

目前国际商业水产养殖中，高福利屠宰方式包括**机械打击致昏、干式电击晕致昏**与**水中电击晕致昏**三类，均获世界动物卫生组织与欧洲食品安全局认可，共同目标是在尽可能降低应激的情况下使鱼类迅速失去意识。市场层面亦印证了这一方向的商业可行性：2024年6月，水产养殖进步中心委托市场研究机构Savanta对希腊、意大利、西班牙与法国四国1,600名消费者开展调查，结果显示83%的受访者支持对鲷鱼与鲈鱼实施电致昏人道屠宰，其中购买上述鱼种的消费者中有80%表示愿意为经人道屠宰处理的产品支付溢价。

然而，这三类方式的适用性高度依赖物种特性与生产系统结构。值得注意的是，电致昏参数包括电场强度与作用时长，必须依据水体导电性与鱼种生理特性进行专门校准：淡水与海水的导电性差异显著，针对海水鱼开发的设备无法直接应用于淡水鱼类，每个鱼种实际上都需要独立验证的操作规程。这一技术门槛，使一般价位更低的淡水鱼类的电击致昏实践在全球范围内普遍滞后于海水鱼类，也是屠宰技术领域物种特异性研究与技术开发至今仍十分有限的根本原因之一。



图4.3 人道屠宰对鱼类福利与产品品质的双重提升

案例一：大西洋鲑 大规模生产中的屠宰政策标准化

Mowi是全球最大的大西洋鲑生产企业，年产量约46.5万吨，年屠宰鲑鱼约1.22亿条，养殖地点覆盖挪威、苏格兰、爱尔兰、法罗群岛、加拿大与智利。该企业在监管要求与商业驱动的双重背景下，于2022年宣布在其所有农场与国家统一采用打击致昏屠宰方案，成为全球首家就大西洋鲑人道屠宰作出全球性承诺的生产企业。

打击致昏之所以适合大西洋鲑，与其物种生理特性密切相关。鲑鱼头部的最优致昏位置，即大脑最接近头骨表面、颅骨最薄处，位于眼睛正上方略后方，位置固定且易于定位；鲑鱼体型一致性较高，使自动化致昏设备能够在连续生产条件下保持稳定的击打位置与力度。目前，商业化机械致昏系统正是以大型鲑鳟类为核心开发对象。相比之下，体型差异较大或脑部形态不易定位的品种，在相同设备试验下往往出现定位偏差与致昏失效。

案例二：罗非鱼 淡水鱼种专用致昏技术的开发与市场转化

罗非鱼是全球产量最大的淡水养殖鱼种之一，也是我国重要的出口水产品。淡水环境导电性显著低于海水，直接套用海水鱼电致昏设备会导致电场分布不均、致昏一致性下降，使大规格或混合规格批次中出现大量无效致昏。

全球最大罗非鱼生产企业Regal Springs是第一家专门针对罗非鱼研究、开发并大规模实施电致昏方法的企业。该企业与电击技术企业Ace Aquatec合作，部署了专门针对罗非鱼的水中电致昏系统，使鱼体在一秒以内迅速失去意识，目前已覆盖其全球主要生产区域，每年影响数千万条鱼的处理流程。在操作规范方面，该企业明确禁止使用二氧化碳麻醉、放冰室息或未经致昏的放血方式。

推动这一转型的市场逻辑同样清晰：ASC认证（水产养殖管理委员会认证）已规定自2027年起必须实施屠宰前致昏，BAP认证（最佳水产养殖规范）要求达到95%以上的有效致昏率，而玛莎百货、乐购、Sainsbury's、奥乐齐与Lidl等欧盟主要零售商已将致昏实践纳入采购条件。相关企业人士表示，经福利认证的罗非鱼产品在欧洲市场每公斤可获得约0.14英镑（约合人民币1.3元）的价格溢价。

随着我国加工业持续扩张、出口产品认证要求趋严，这一技术空白将成为影响我国水产加工业长期竞争力的重要变量。我国淡水养殖产量巨大，草鱼、鲤鱼、罗非鱼等主要品种均面临与罗非鱼相似的物种特异性技术门槛。现有商业化致昏设备几乎均为海水鱼或鲑鳟类设计，适用于我国主要淡水养殖鱼种的系统尚处于早期开发阶段。率先投入相关物种专用致昏技术研发与验证的企业或机构，将在未来的市场准入与供应链稳定性方面占据先机。

结 语

迈向高质量和高福利水产养殖的共同路径

本报告所呈现的科学研究和行业案例指向统一的结论：**实现鱼类福利与实现高效、可持续水产养殖的条件在绝大多数情况下是一致的。**稳定的水质降低慢性应激，进而降低疾病风险，从而减少死亡率和治疗成本。合理的放养密度使鱼类能够在无过度生理负担的状态下正常摄食和生长，既提升生产效率，也改善产品品质。屠宰环节的规范操作保护肌肉完整性、延长货架期，直接影响终端产品的经济价值。

鱼类对水质恶化、拥挤和操作刺激的应激反应，科学证据对比正日益清晰。下一步的关键，不再只是证明这些问题存在，而是将已有证据转化为实践，并探索出普遍适配我国水产行业各类主体的可行推进路径。鱼类福利并非仅适用于头部企业或新型前沿养殖模式的高端理念，本报告记录的案例横跨水库生态养殖、山地流水系统、深远海工船和池塘养殖等多种模式，但其中的福利改善均可依托共通的基本原则：保持稳定的水质、设定合理的放养密度、减少操作应激，精细化日常观测。推进目标并非在现有生产体系之外再叠加一套新的管理框架，而是重塑行业认知——良好的养殖实践与良好的福利实践在本质上高度统一。

事实上，我国水产养殖业正朝着这一方向迭代演进，只是这类变化并不总以“鱼类福利”的概念被明确界定。本报告案例表明，许多与福利相关的实践已被行业作为提升生产稳定性、降低风险和提高产品价值的管理措施所采纳。换言之，在不少场景下，福利改善并不是脱离现有生产体系之外的新要求，而是行业长期积淀形成的科学养殖逻辑与优良生产范式的重要组成部分。

本报告所记录的国内案例，其福利相关证据主要来自存活率、饲料转化率、用药成本等生产性指标。这些指标对生产者和产业而言直观且有价值，也与鱼类福利高度相关，但它们本质上是福利的间接代理指标，而非直接的动物福利结果测量。随着行业与学界对鱼类福利认识的深化，未来将有更多动物福利评估指标被实际测量、记录并纳入生产管理与评价体系之中。

结 语

迈向高质量和高福利水产养殖的共同路径

从国际趋势来看，鱼类福利正逐渐从企业的自愿选择转变为供应链与市场准入要求。消费者对高福利产品的需求不仅体现在调查数据中，也体现在真实的支付意愿上，同时部分国家也正在推动将养殖鱼类逐步纳入动物福利立法的修订范围。

ASC和BAP等主要认证体系正在引入强制性宰前致昏要求。英国和欧盟的主要零售商已将福利实践纳入采购条件。对于出口企业而言，尤其是面向欧洲和北美市场的企业，这些变化并非遥远的未来，而是正在到来的要求。

与此同时，国内市场格局也在悄然转变。水产加工品和预制菜的快速增长、消费者对可追溯性和食品安全的日益重视，以及国家对“高质量发展”和“绿色养殖”的持续强调，共同营造出一种环境：低抗生素使用、稳定生产、清洁水体等与福利相关的属性，正在转化为市场差异化竞争力和消费者信任。我国消费者已逐渐展现出为认证、可追溯水产品支付溢价的意愿，随着中等收入群体购买力的持续增长和对食品安全关注度的居高不下，这一趋势仍将延续。

推动鱼类福利实践：从认知到行动

我国水产养殖底蕴深厚、业态多元，涵盖数百个养殖品种、数十类养殖体系，覆盖沿海与内陆全域市场，主体形态既有小型家庭农场，也有大型一体化养殖企业，单一化、一刀切的改造方案并不具备普适性。但现有研究与产业实践仍可提供一批适用范围广、技术门槛低、经济可行性高的基础实践切入点供全行业参考。

一、水质管理：持续稳定的水体环境是降低死亡率、减少用药依赖的前提条件。本报告案例显示，无论是常规的人工检测，还是依托数字化传感器设备或生态化系统，能够持续、系统开展溶解氧、氨氮、pH、水温等指标监测的养殖主体，普遍表现出更低的病害发生率、更低的死亡率，以及对化学药物治疗更少的依赖。

结 语

迈向高质量和高福利水产养殖的共同路径

二、养殖密度：控制密度既是福利干预，也是生产风险管理措施。超密放养是诱发鱼类慢性应激、免疫抑制和水质恶化的结构性驱动因素。片面提高放养密度并不必然带来产出提升，一旦超出水体环境承载力，产出反而可能下降。本报告3.3节的地理标志案例表明，无论是协会设定的产量上限还是相关认证标准，这类制度性机制均可以构建相应经济条件，让低密度、高附加值的养殖模式成为养殖主体的理性选择。

三、饲料管理：精准投喂是连接水质、密度与鱼体健康的枢纽环节。饲料在养殖总投入中占比超过65%，是影响水质稳定性、鱼体健康与生产效率最直接的可控变量之一。饲料管理的优化涉及多个层面：

- 其一，推广优质配合饲料，以降低饲料系数、减少残饵积累为目标，从源头降低氨氮负荷与水质波动风险；
- 其二，减少野杂鱼作为饵料的使用，有助于降低病原菌通过饵料途径进入养殖系统的风险；
- 其三，建立基于水质监测数据、摄食行为观察与生长表现的动态投喂策略，依据不同鱼种的生理需求与发育阶段实时调整投喂量与频率。过度投喂不仅会加重鱼体的消化负担，也是池塘水质恶化最常见的驱动因素之一。

四、育种与苗种健康管理：上游缺口无法由下游管理完全弥补。通过在孵化阶段系统性提升鱼体免疫力与健康水平，从根本上预防养殖周期中的福利问题，是最具杠杆效应的路径之一。将抗病性和应激耐受能力与生长性状并列纳入选择指标的育种计划，可以降低整个生产周期的死亡风险，本报告的国际案例对此有所呈现。在苗种阶段，病原体筛查和疫苗接种等基础健康管理措施，可以显著降低进入养成系统的病害负荷。反之，若苗种健康管理存在缺口，后续的水质管理或密度控制均难以完全弥补由此带来的后果。

结 语

迈向高质量和高福利水产养殖的共同路径

五、人道屠宰：随着国际认证与欧洲零售商要求的逐步落地，宰前致昏正从自主选择转变为出口企业的必备条件。但其意义不止于出口合规：规范的屠宰方式直接影响肉质与货架期，而随着国内预制菜、精深加工与高端生鲜市场的快速扩张、消费者对品质要求的持续提升，人道屠宰同样正在转化为国内市场的产品价值。当前，适用于我国主要淡水养殖鱼种的物种特异性致昏技术仍处于早期开发阶段；率先投入相关研发与验证的企业，将在市场准入与供应链稳定性方面占得先机。

迈向未来：从局部改善到系统转型

在具体技术干预之外，还需要建立能够使福利改善持续推进、系统落实的制度基础。这包括：基于我国养殖实际的物种特异性福利指南；养殖户能够实际操作、成本可控的监测与评估工具；以及学术研究机构、行业协会、政府推广体系与企业之间更加有效的协作机制。

这些实践性优先事项，只有在相应的技术支持、知识传播与行业激励机制下，才能真正长期扎根。本报告希望成为这一过程中的一个起点：梳理已有知识，分享实践经验，并推动关于我国鱼类福利未来更多可能性的讨论。我们也期待来自养殖从业者、研究者、政策制定者、行业协会及企业的进一步参与，共同推动产业向更加高效、更具韧性、也更加重视鱼类福利的方向发展。

我国水产养殖业的规模意味着，即便是渐进式、局部性的福利改善，只要能够持续推广，也将对数量极其庞大的养殖鱼类产生实际影响。这不仅关系到动物福利本身，也关系到产业长期的稳定性、产品质量与消费者信任。对于一个正在迈向高质量发展的产业而言，这是一个值得认真对待的方向。

参考文献

• 曹杰，王琪，梅俊，谢晶．2021．有水与无水保活运输对大菱鲆生理应激及鱼肉品质的影响．水产学报，45(7)：1034-1042.

• 李超,王晓杰,宋佳坤.鱼类的侧线机械感受系统和仿生学等应用研究[J].科学通报，2017,62(22):11.

• 刘丹,李文杰,杜洪波,等.航道噪声对鱼类影响初步分析[J].人民长江，2021，052(009):58-64.

• 刘曾宇，周志成，吕为群．光照周期对尼罗罗非鱼幼鱼昼夜节律调节的作用．上海海洋大学学报，2019，28(2)：180-189.

• 钱振家，徐金铖，刘晃，崔铭超，张成林．流速对大黄鱼福利养殖生长性能和生理生化指标的影响[J]．南方水产科学，2025，21(3)：53-63.

• 王莉平，张东，刘鑫，林听听，刘声宇，王孝杉，李思平．模拟捕食者风险对大黄鱼幼鱼行为、游泳能力及应激水平的影响[J]．水生生物学报，2022，46(6)：796-810.

• 王羿宁，于江南，庄鑫，李泓泉，刘宏超，于晓明，李敬尧，张国胜．鲫听觉特性研究[J]．大连海洋大学学报，2018，33(6)：775-781

• 吴燕燕，陶文斌，李来好，杨贤庆，陈胜军，林婉玲，荣辉．宁德地区养殖大黄鱼形态组织结构与品质特性[J]．水产学报，2019，43(6)：1472-1482.

• 赵浩翔，龚文奥，夏继刚，付世建．养殖环境颜色和光照强度对慈鲷个性行为的影响[J]．水生生物学报，2025，49(3)：032516.

• 张宁，林晨宇，许家炜，施家月，罗佳，白艳勤，尹入成，石小涛．水流对草鱼幼鱼趋光行为的影响[J]．水生生物学报，2019，43(6)：1253-1261.

• Ankamah-Yeboah, I., Jacobsen, J. B., Olsen, S. B., Nielsen, M., & Nielsen, R. (2019). The impact of animal welfare and environmental information on the choice of organic fish: An empirical investigation of German trout consumers. Marine Resource Economics, 34(3), 247–266.

• Bjørge, M. H., Nordgreen, J., Janczak, A. M., Poppe, T., Ranheim, B., & Horsberg, T. E. (2011). Behavioural changes following intraperitoneal vaccination in Atlantic salmon (Salmo salar). Applied Animal Behaviour Science, 133(1–2), 127–135.

• Bjørndal, T., & Tusvik, A. (2020). Economic analysis of on-growing of salmon post-smolts. Aquaculture Economics & Management, 24(4), 355–386.

• Cao, S., Zhao, D., Huang, R., Xiao, Y., Xu, W., Liu, X., Gui, Y., Li, S., Xu, J., Tang, J., Qu, F., Liu, Z., & Liu, S. (2021). The influence of acute ammonia stress on intestinal oxidative stress, histology, digestive enzymatic activities and PepT1 activity of grass carp (Ctenopharyngodon idella). Aquaculture Reports, 20, 100722.

• Cornejo, P., Guerrero, N. M., Montes, R. M., Quiñones, R. A., & Sepúlveda, H. H. (2020). Hydrodynamic effect of biofouling in fish cage aquaculture netting. Aquaculture, 526, 735367.

• Duan, S., Vasconcelos, R. O., Wu, L., Li, X., Li, X., Sun, W., Li, X., & Li, X. (2025). Managing Aquaculture noise: Impacts on fish hearing, welfare, and mitigation strategies. Reviews in Aquaculture, 17(3).

• Filiciotto, F., Giacalone, V. M., Fazio, F., Buffa, G., Piccione, G., Maccarrone, V., Di Stefano, V., Mazzola, S., & Buscaino, G. (2013). Effect of acoustic environment on gilthead sea bream (Sparus aurata): Sea and onshore aquaculture background noise. Aquaculture, 414–415, 36–45.

• Grimsrud, K., Nielsen, H., Navrud, S., & Olesen, I. (2012). Households' willingness-to-pay for improved fish welfare in breeding programs for farmed Atlantic salmon. Aquaculture, 372–375, 19–27.

• Guo, M., Xu, Z., Zhang, H., Mei, J., & Xie, J. (2023). The Effects of Acute Exposure to Ammonia on Oxidative Stress, Hematological Parameters, Flesh Quality, and Gill Morphological Changes of the Large Yellow Croaker (Larimichthys crocea). Animals, 13(15), 2534.

• Hang, S., Zhao, J., Ji, B., Li, H., Zhang, Y., Peng, Z., Zhou, F., Ding, X., & Ye, Z. (2021). Impact of underwater noise on the growth, physiology and behavior of Micropterus salmoides in industrial recirculating aquaculture systems. Environmental Pollution, 291, 118152.

• Hansen, A., & Reutter, K. (2004). Chemosensory Systems in Fish: Structural, Functional and Ecological Aspects. In The Senses of Fish (pp. 55–89).

• He, Y., Yu, H., Zhao, H., Zhu, H., Zhang, Q., Wang, A., Shen, Y., Xu, X., & Li, J. (2021). Transcriptomic analysis to elucidate the effects of high stocking density on grass carp (Ctenopharyngodon idella). BMC Genomics, 22(1), 620.

• Khan, F. U., Younas, W., Shang, Y., Tu, Z., Khan, M. I., Zuberi, A., & Wang, Y. (2023). Effects of acclimation temperature on growth, physiology and thermal tolerance of the juvenile grass carp Ctenopharyngodon idella. Aquaculture, 581, 740421.

• Li, W., Li, D., Yang, Q., Liu, L., Liu, J., Lu, J., Wang, Y., Tang, R., Li, L., & Zhang, X. (2023). Long-term crowding stress induces chronic inflammatory response and declines the immunity of grass carp (Ctenopharyngodon idella). Aquaculture, 577, 739976.

• Lin, W., Li, L., Chen, J., Li, D., Hou, J., Guo, H., & Shen, J. (2018). Long-term crowding stress causes compromised nonspecific immunity and increases apoptosis of spleen in grass carp (Ctenopharyngodon idella). Fish & Shellfish Immunology, 80, 540–545.

• Martins, C. I. M., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M. T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J., Carter, T., Planellas, S. R., & Kristiansen, T. (2011). Behavioural indicators of welfare in farmed fish. Fish Physiology and Biochemistry, 38(1), 17–41.

• Matsumoto, T., & Kawamura, G. (2005). The eyes of the common carp and Nile tilapia are sensitive to near-infrared. Fisheries Science, 71(2), 350–355.

• Poli, B. M., Parisi, G., Scappini, F., & Zampacavallo, G. (2005). Fish welfare and quality as affected by pre-slaughter and slaughter management. In Aquaculture International (Vol. 13, Issues 1–2, pp. 29–49).

• Prol-García, M. J., & Pintado, J. (2013). Effectiveness of Probiotic Phaeobacter Bacteria Grown in Biofilters Against Vibrio anguillarum Infections in the Rearing of Turbot (Psetta maxima) Larvae. Marine Biotechnology, 15(6), 726–738.

• Qiang, J., He, J., Yang, H., Xu, P., Habte-Tsion, H. M., Y, X., MA, & Zhu, Z. X. (2016). The changes in cortisol and expression of immune genes of GIFT tilapia Oreochromis niloticus (L.) at different rearing densities under Streptococcus iniae infection. Aquaculture International, 24(5), 1365–1378.

• Roques, J. A., Abbink, W., Geurds, F., Van De Vis, H., & Flik, G. (2010). Tailfin clipping, a painful procedure: Studies on Nile tilapia and common carp. Physiology & Behavior, 101(4), 533–540.

• Roth, B., Imsland, A., Gunnarsson, S., Foss, A., & Schelvis-Smit, R. (2007). Slaughter quality and rigor contraction in farmed turbot (Scophthalmus maximus); a comparison between different stunning methods. Aquaculture, 272(1–4), 754–761.

• Sánchez-Vázquez, F. J., López-Olmeda, J. F., Vera, L. M., Migaud, H., López-Patiño, M. A., & Míguez, J. M. (2019). Environmental cycles, melatonin, and circadian control of stress response in fish. Frontiers in Endocrinology, 10, 279.

• Shi, L., Ng, J. K., Xiong, Q., Ao, K. F., Shin, S., Law, C. T., Mu, W., Liu, G., Rao, S., & Tsui, S. K. (2025). Comparative genomic analysis of immune-related genes and chemosensory receptors provides insights into the evolution and adaptation of four major domesticated Asian carps. BMC Genomics, 26(1), 529.

• Sneddon, L. U. (2015). Pain in aquatic animals. Journal of Experimental Biology, 218(7), 967–976.

• Sneddon, L. U., Braithwaite, V. A., & Gentle, M. J. (2003). Do fishes have nociceptors? Evidence for the evolution of a vertebrate sensory system. Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences, 270(1520), 1115–1121.

• Song, W., Jiang, Q., He, Y., Ma, B., Tang, Y., & Zhao, J. (2026). Crowding-induced physiological stress, not aggression, makes high stocking density more worthy of attention in aquaculture. Aquaculture, 616, 743700.

• Stone, D. a. J., D'Antignana, T., Bansemer, M. S., & Morison, J. (2016). Final report: Refining Yellowtail Kingfish Feeds and Feed Management.

• Sun, W., Wu, L., Liu, F., Li, X., Li, X., Zhou, J., Li, X., & Li, X. (2025). Retinal spectral sensitivity and neurotransmitter-mediated light preferences in turbot (Scophthalmus maximus): A novel strategy for optimizing spatial efficiency in intensive aquaculture. Aquaculture, 611, 743018.

• Wang, K., Li, K., Liu, L., Tanase, C., Mols, R., & Van Der Meer, M. (2020). Effects of light intensity and photoperiod on the growth and stress response of juvenile Nile tilapia (Oreochromis niloticus) in a recirculating aquaculture system. Aquaculture and Fisheries, 8(1), 85–90.

• Wang, Y., Li, X., Xu, T., Li, H., Liu, J., Yang, Q., Li, W., Zidan, S. R. S., Jiang, C., Yuan, Y., Tang, R., Yu, L., Li, L., Zhang, X., & Li, D. (2025). Long-Day Photoperiod Improves the Growth and Muscle Quality of Grass Carp (Ctenopharyngodon idella). Foods, 14(3), 504.

• Wilkinson, R. J., Paton, N., & Porter, M. J. (2008). The effects of pre-harvest stress and harvest method on the stress response, rigor onset, muscle pH and drip loss in barramundi (Lates calcarifer). Aquaculture, 282(1–4), 26–32.

• Wu, L., Wang, Y., Li, J., Song, Z., Xu, S., Song, C., Han, M., Zhao, H., Zhou, L., Wang, Y., Li, X., & Yue, X. (2020). Influence of light spectra on the performance of juvenile turbot (Scophthalmus maximus). Aquaculture, 533, 736191.

• Wysocki, L. E., Davidson, J. W., Smith, M. E., Frankel, A. S., Ellison, W. T., Mazik, P. M., Popper, A. N., & Bebak, J. (2007). Effects of aquaculture production noise on hearing, growth, and disease resistance of rainbow trout Oncorhynchus mykiss. Aquaculture, 272(1–4), 687–697.

• Xiao, C., Liu, Z., Li, D., Refaey, M. M., Tang, R., Li, L., & Zhang, X. (2017). Acute nitrite exposure alters the metabolism of thyroid hormones in grass carp (Ctenopharyngodon idellus). Chemosphere, 186, 798–804.

• Xu, H., Shi, C., Ye, Y., Mu, C., & Wang, C. (2022). Effects of different photoperiods and feeding regimes on immune response, oxidative status, and tissue damage in juvenile rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Frontiers in Marine Science, 9.

• Xu, J., Miao, X., Liu, Y., & Cui, S. (2005). Behavioral response of tilapia (Oreochromis niloticus) to acute ammonia stress monitored by computer vision. Journal of Zhejiang University. Science A, 6B(8), 812–816.

• Xu, Z., Zhang, H., Guo, M., Fang, D., Mei, J., & Xie, J. (2022). Analysis of Acute Nitrite Exposure on Physiological Stress Response, Oxidative Stress, Gill Tissue Morphology and Immune Response of Large Yellow Croaker (Larimichthys crocea). Animals, 12(14), 1791.

• Yang, Y. (2024). The Welfare of Farmed Freshwater Fish During Live Transport, with a Focus on the Chinese Context.

• Yi, M., Zhai, W., Wang, M., Wang, H., Liu, Z., Gao, F., Ke, X., Song, C., Cao, J., & Lu, M. (2022). The Welfare of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus, GIFT Strain) Juveniles Cultured in Different Light Spectra. Frontiers in Marine Science, 9.

• Ytrestøyl, T., Takle, H., Kolarevic, J., Calabrese, S., Timmerhaus, G., Rosseland, B. O., Teien, H. C., Nilsen, T. O., Handeland, S. O., Stefansson, S. O., Ebbesson, L. O. E., & Terjesen, B. F. (2020). Performance and welfare of Atlantic salmon, Salmo salar L. post-smolts in recirculating aquaculture systems: Importance of salinity and water velocity. Journal of the World Aquaculture Society, 51(2), 373–392.

• Yu, J., Wang, Y., Xiao, Y., Li, X., Xu, X., Zhao, H., Wu, L., & Li, J. (2020). Effects of chronic nitrate exposure on the intestinal morphology, immune status, barrier function, and microbiota of juvenile turbot (Scophthalmus maximus). Ecotoxicology and Environmental Safety, 207, 111287.

• Yu, J., Wang, Y., Xiao, Y., Li, X., Zhou, L., Wang, Y., Du, T., Ma, X., & Li, J. (2020). Investigating the effect of nitrate on juvenile turbot (Scophthalmus maximus) growth performance, health status, and endocrine function in marine recirculation aquaculture systems. Ecotoxicology and Environmental Safety, 208, 111617.

• Yu, Y., Wang, L., Huang, W., Yu, D., Sun, Q., & Cui, M. (2024). Effects of Stocking Density on Fatty Acid and Amino Acid Composition in Muscle, Serum Cortisol, Stress and Immune Response in Large Yellow Croaker (Larimichthys crocea). Journal of Marine Science and Engineering, 13(1), 36.

• Zhang, G., Ye, Z., Jiang, Z., Wu, C., Ge, L., Wang, J., Xu, X., Wang, T., & Yang, J. (2024). Circadian patterns and photoperiodic modulation of clock gene expression and neuroendocrine hormone secretion in the marine teleost Larimichthys crocea. Chronobiology International, 41(3), 329–346.

• Zhang, L., Li, Q., Lyu, J., Kong, C., Song, S., & Luo, Y. (2016). The impact of stunning methods on stress conditions and quality of silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) fillets stored at 4° C during 72h postmortem. Food Chemistry, 216, 130–137.

• Zhang, M., Li, M., Wang, R., & Qian, Y. (2018). Effects of acute ammonia toxicity on oxidative stress, immune response and apoptosis of juvenile yellow catfish Pelteobagrus fulvidraco and the mitigation of exogenous taurine. Fish & Shellfish Immunology, 79, 313–320.

• Zhang, Y., Shitu, A., Hang, S., Ye, Z., Xu, W., Zhao, H., Zhao, J., & Zhu, S. (2023). Assessing the Impacts of Aquaculture Soundscapes on the Growth, Physiology and Behavior of Micropterus salmoides. Fishes, 8(7), 377.

• Zhao, Z., Dong, S., & Xu, Q. (2017). Respiratory response of grass carp Ctenopharyngodon idellus to dissolved oxygen changes at three acclimation temperatures. Fish Physiology and Biochemistry, 44(1), 63–71.

组织介绍

• 中国农业国际合作促进会动物福利与可持续农食分会

China Association for the Promotion of International Agricultural Cooperation

International Cooperation Committee of Animal Welfare

中国农业国际合作促进会动物福利与可持续农食分会(ICCAW)是2013年经农业部批准、民政部登记、中国农业国际合作促进会设立的分支机构，是中国专业推广动物福利的社会团体。工作宗旨主要有：发挥国际协作沟通的桥梁作用，结合我国国情推行动物福利理念；秉承动物、人和环境“同一健康、同一福利”理念，保障动物源性食品安全；引进国外先进的理念与养殖技术，提高我国福利养殖水平；加强对外宣传与交流，介绍我国相关生产企业的成功经验，服务其“走出去”的战略目标；致力于行业建设，制定《农场动物福利要求》系列标准与相关评价体系，推动行业标准化进程等。2017年～2026年，协会与联合国粮食及农业组织共合作举办七届“动物福利大会”，大会的成功召开向世界充分介绍了中国动物福利工作的积极成效。此外，我会还组织有多场会议、论坛与培训活动，汇集众多国内外畜牧行业专家及优秀企业开展交流。

官网：http://www.iccaw.org.cn
电话：010-82106318
地址：北京市海淀区中关村南大街12号30号楼质标所南405

• 鱼类福利促进协会

Fish Welfare Initiative

鱼类福利促进协会(FWI)致力于通过研究最有效的改善路径、携手相关各方推动落实，从而提升全球养殖鱼类的福利水平。从养殖到捕捞及运输，我们关注鱼类生命周期的各个阶段，并联合举办了多场与水生动物福利相关的行业论坛及专题活动。本报告旨在梳理鱼类福利在水产行业绿色发展扮演的重要角色，并推动各方就这一议题展开更广泛的交流与讨论。

陶心洁 | taoxinjie@iccaw.org.cn
中国农业国际合作促进会动物福利与可持续农食分会

曾繁容 | ryan@fwi.fish
鱼类福利促进协会

本报告内容基于现有资料与研究整理，仅供参考，不构成任何官方立场、政策建议或行业标准。
报告观点由编写团队提出，供业界交流讨论之用。
因编者水平有限，报告若有不足之处，敬请批评指正。

中国农业国际合作促进会
动物福利与可持续农食分会
ICCAW

2026