

构建基于水产福利养殖理念的高端养殖战略研究

雷霖霖¹, 黄滨¹, 刘滨¹, 徐志方², 颜阔秋³, 翟介明⁴

(1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东青岛 266071; 2. 海尔集团技术研发中心, 山东青岛 266103; 3. 金贝儿(福建)水环境工程有限公司, 福建宁德 352100; 4. 莱州明波水产有限公司, 山东烟台 264000)

[摘要] 当前,我国的水产养殖业正处于一个全新发展时期。加快经济增长方式转变,走节能减排、绿色环保、优质高效发展道路,已经成为业界人士的共同奋斗目标。本文在“国家鲆鲽类产业技术体系”的资助下,以近10年鲆鲽类封闭式循环水养殖系统的研究为基础,面对未来发展高效养殖模式的巨大需求,积极倡导水产动物福利养殖理念,引入先进的工程化、信息化、自动化,以及现代生物技术和养殖系统控制技术,实施多学科交叉融合,构筑具有数字化、智能化和标准化的、有福利内涵的工业化养殖模式,为确保产品质量安全,实现国产养殖装备的标准化、信息化,持续推进我国高端水产养殖业的快速发展,提供理论与技术依据。

[关键词] 福利养殖;工业化;智能化;循环水;养殖模式;战略

[中图分类号] S941 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)03-0014-07

1 前言

近年来,健康养殖、生态养殖、工业化养殖和福利养殖等关键词^[1-4]已经在水产界广为流传,并成为国人关注的热点。究其原因,主要是人们经常可以听到或见到畜禽业发生灾情,如暴发人畜共患禽流感、猪链球菌病、流感等严重疫病,有的已经直接危及人类生命安全,致使广大消费者对频发的食品安全问题表现出越来越多的担忧,并引起业内专家、各级政府和国际社会的高度重视。大量研究表明,如果养殖动物的生存环境得不到基本保障,如饲养密度过高、动物活动受限、养殖环境日益恶化等,则会造成动物机体抵抗力下降,为疫病的流行和传播创造条件。对于养殖鱼类而言,如果赖以生存的水环境日益恶化,则会产生环境胁迫而出现经常性的

应激反应,导致饲料转化率降低,鱼体健康状况下降,死亡率不断上升。上述现象如果频发且盲目用药,则会导致药物残留或毒素在鱼体内积累,从而使养殖产品质量和食用安全受到严重影响。

动物福利是指在集约化养殖条件下,首先要保障养殖动物的基本生存条件,进而要求尽量提高养殖动物的福利水平,才能保证养殖对象的持续健康,最终达到向市场提供优质、安全食品的要求。因此为了达到环境友好、优质高效的生产目标,就必须构建一种养殖环境高度可控、动物福利条件优越的高端养殖系统或模式,方可不断提高养殖水平。目前,我国现行的陆基工厂化养殖大多数尚停留在开放式生产水平,养殖设施落后,水资源浪费大,废水未经处理直接排放入海,内外环境难以控制,动物福利无法保障,因而导致病害频发,产量、

[收稿日期] 2013-08-26

[基金项目] 国家鲆鲽类产业技术体系(CARS-50-G10);公益性行业(农业)科研专项(201003024)

[作者简介] 雷霖霖,1935年出生,男,福建宁化县人,中国工程院院士,研究员,博士生导师,主要从事海水鱼类生态、繁殖和增养殖技术研究;E-mail:leijl@ysfri.ac.cn

质量、效益以及食品安全的信誉度下降,严重制约着我国水产养殖业的可持续发展。因此摆在我们面前的是理念与技术的挑战。

进入21世纪以来,雷霖霖等积极投入陆基工厂化提升至工业化循环水养殖模式的研究,为实施水产福利养殖提供了可靠载体。工业化循环水养殖是一种养殖技术精准化、环境综合条件高度可控的先进养殖模式,即在整个产业链上集成了多种先进设施与技术,可按各种鱼类生理、生态需求,自动调控水温、水质,使养殖鱼类虽在集约化生产状态下,但水质环境完全处于物联网智能化调控之中,实现产业链安全可靠运行,养殖鱼类的福利条件能够持续得到满足。由于这种养殖系统还具有节水、节地、节能、减排等特点,可以大幅度提高生产效率,是当前养殖生产中工业化技术应用水平最高的一种模式,被国际公认为现代化海水养殖的发展方向^[5]。因此,在大力推行工业化循环水养殖的今天,应当广泛开展福利养殖相关学科的研究,建立福利评价标准,为构建更高层次的福利养殖模式提供更多的前沿技术,将成为今后维系养殖业发展与国民食品安全的头等大事。

2 水产动物福利养殖的基本概念和实践意义

动物福利(animal welfare)一词,20世纪60年代初源自英国,主要针对畜牧业在集约化生产中出现诸如疾病增多、机体损伤加剧、死淘率上升、异常行为频发等,人们为此提出应该在保证畜禽正常生产的同时,充分重视畜禽的福利状况,以提高畜禽在生产过程中的福利水平^[6]。为了定义理想的动物福利状态,世界养殖动物福利协会(FAWC)建立了享有“五大自由”的标准框架^[7]。其分别为:“享有不受饥渴的自由,享有生活舒适的自由,享有不受疼痛、伤害和疾病的自由,享有生活无恐惧和悲伤感的自由,享有表达其正常行为的自由”。动物身体健康、舒适是被普遍认同为最能衡量福利是否良好的一个必要条件^[8]。福利应侧重于动物自身感受、强调动物的健康生长。因此,福利养殖理念是健康养殖的核心和基础,研究养殖福利应以研究健康养殖模式为前提。

“水产动物福利养殖”的概念涉及影响养殖动物的所有生产环节^[9,10],如养殖基地建设、养殖过程、产品收获、运输、加工与营销策略等各个方面,具体涉及的主要内容包括以下4个方面。

1)养殖水环境。集约化养殖条件下的水环境,是直接对鱼类产生胁迫的最重要因素,包括水质条件和环境条件。水质条件指水体中所含有的氨氮、亚氮、化学需氧量(COD)、pH、溶解氧(DO)、氧化还原电位(OPR)、盐度等指标;环境条件主要指温度、流速(变速)、流态、声、光、电等。水质条件差,特别是氨氮、亚氮指标高时,对养殖鱼类的危害最严重,相当于人类生活在污染较严重的环境之中,会直接导致健康水平的下降和疾病的入侵。从养殖鱼类感受的角度来看,如果水环境恶化,则会表现为活力减弱、生长缓慢、病害频发、成活率下降。因此,改善和优化养殖水质条件是提高福利养殖的首要条件。

2)养殖管理。对于高度集约化的养殖模式而言,养殖密度的制定一直以来是值得从业者深入探讨的棘手问题。选择适宜的养殖密度可以减少养殖鱼体过度接触而造成伤害,降低采食时的相互干扰和争抢概率,减少因躲避而发生碰撞和疾病传播机会。另外,要减少因人为惊扰而产生应激反应,就必须提高从业人员技能和素质,善待养殖动物,提高科学投饲策略,保持良好的环境卫生和严格执行养殖规程等,如一方面要主动调动养殖鱼类的食欲,满足其温饱福利,另一方面要避免过度投喂影响水质恶化,引发病害发生。

3)饲料与营养。现在养殖鱼类的温饱虽已不再是集约化养殖的突出问题,但饲料与营养却永远是一个关系到养殖鱼类健康、快乐成长的重要福利因素。

4)病害防治。毋庸置疑,病害是水产养殖的关键点,养殖鱼类遭受疼痛、伤害之苦,严重时会影响养殖成活率,甚至导致养殖的完全失败。对于水生养殖动物而言,病害侵袭似乎难以完全避免,但是作为管理者最重要的责任应该是要做好防疫、预警、免疫预防和及时诊治的工作,以便有效减少疾病的发生。

因此,对水产福利养殖可以定义为:在集约化养殖模式下,为养殖动物提供一个符合其生物学习性、适于生长和极少有胁迫感的软硬件养殖环境,并保障饲料供应充足、疾病防控措施严密和控管规程精准的一种高端养殖生产模式。也就是说,福利养殖所追求的终极目标是:规避各种胁迫带来的生理、生化和行为等一系列压力,以保障养殖动物健康、安全成长。因此,评估降低应激反应的方法成为今日水产养殖业界一个非常活跃的研究课题。

大量研究证明,水产养殖动物特别是鱼类,对外界的胁迫因子都会产生生理、生化反应^[11-15],故寻找胁迫反应信息各种途径被视为动物福利研究的重要内容。例如,胁迫应激反应会引起鱼体血液中多种激素水平的变化,其中较常见的激素有皮质醇、肾上腺素、生长激素、性腺激素等^[16-28];此外,血液中的红细胞数量、白细胞数量、血红蛋白含量、细胞脆性及细胞直径等血液生理指标,也会在胁迫因素影响下发生一定的变化^[20];血浆中的葡萄糖和乳酸的水平经常与皮质醇一同用于评估胁迫应激水平^[21, 22];血清中的许多酶成分也是反映鱼体胁迫状况的重要指标,包括超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶、溶菌酶、转氨酶等^[20]。近年来,通过研究鱼体内与胁迫相关基因的表达,进而筛选敏感的生物标志物用于评估胁迫应激程度以改善鱼类福利,已经成为新的研究热点;热激蛋白、生长激素和抗菌肽家族等重要胁迫相关基因已经成功地被应用于评价海鲈、鲷、鲟等养殖鱼类的动物福利^[23-25]。

由于各种水产动物的养殖福利是生活在复杂多样或特定的生态条件下的,其生理、生化和行为等方面均会产生一系列微妙变化,甚至产生较大的差异。因此截至目前,尚无一种可靠的方法能够准确评估水生养殖动物的福利水平^[26, 27]。但是,随着养殖设施、养殖技术以及生物学研究的不断深入,在一个设施装备精良、环境条件稳定的封闭式循环水工厂化养殖条件下,深入阐释水生养殖动物福利将成为可能^[28]。今后,基于福利养殖理念,构建一个水产养殖动物的健康评价机制,实时或定期监测水产养殖动物和环境的主要代表性指标,通过对照经过科学筛选而设定的动物健康和环境标准,对偏离标准较大的指标采取调控相关的环境和营养参数,实施精准管控,使养殖动物回归到健康生长状态是完全可以做到的。

3 “理念与技术”高度融合的工业化循环水福利养殖模式

3.1 我国工业化循环水养殖模式与智能化技术开发概况

目前,中国是全球第一水产养殖大国,但养殖理念和模式较为传统,陆基工厂化养鱼起步较晚,技术装备较落后,近年来循环系统养殖虽有所发展,但仍以室内高密度流水养殖为主体。至2008年,工厂化养殖总面积达到 $2.9919 \times 10^7 \text{ m}^2$,平均单产为

7.4 kg/m^3 ,其中淡水工厂化养殖面积为 $1.6428 \times 10^7 \text{ m}^2$,平均单产为 8.2 kg/m^3 ;海水工厂化养殖面积为 $1.3671 \times 10^7 \text{ m}^2$,平均单产为 6.4 kg/m^3 。虽然我国工厂化养殖规模不小,但养殖环境可控性差,盲目追求养殖产量和经济效益,急功近利明显,尤其水产福利养殖未得到应有的重视,严重制约了养殖产业的可持续发展。预测如果今后大力推进高起点、智能化的陆基循环水福利养殖,则可以收到“软件与硬件合一、理念与技术融合”的健康养殖效果,就必然受到业界的认同,而成为建设现代渔业的主体养殖模式。

水产养殖数字化研究与应用,从“十一五”开始进入国家“863”计划,取得了初步进展。但在自动化、数字化、信息化等高新技术应用上基本停留在简单的、局部的养殖监控层次,除对单项水质因子实行监控和简单的疾病预检之外,尚缺乏对复杂环境因子,特别是与鱼类生理、生化,以及行为学信息相关的监控,更缺乏系统性和整体性的装备系统运行,这方面与国外相比存在较大差距。近年来,少数龙头企业对前沿技术进行了追踪,但除个别厂家外仅限于部分养殖车间的在线监测,尚未形成覆盖整个养殖场区的数字化监管系统,因而尚不能发挥整体效果;同时还存在重视硬件建设而忽视软件开发的倾向,导致数字化模型缺失和配套技术中存在的问题无法获得权威性的解决方案。因此,今后应当大力构建基于福利养殖理念的高端工业化循环水养殖模式,以适应我国现代渔业建设的战略需要。

3.2 构建工业化循环水福利养殖模式的策略

目前,我国的封闭式循环水养殖系统可以分为设施型和设备型两大类。随着工业化循环水养殖产业的快速发展,这种分类方法略显简单,对于一般的养殖企业或个体养殖户来说,尚难根据自身条件来选定所需要的系统装备,因此希望有单一和组合型的装备以供选择。为了满足不同规模、不同层次用户对循环水养殖系统的需求,建议制造商和营运商今后应当从循环水系统的产能和建造成本上对其系列产品进行标定,以帮助用户比较容易地从型号和类型上甄别出这些系统的特征和水平,同时有利于引导我国的循环水养殖装备制造工业朝着标准化、模块化的方向发展。

1)按系统产能标定。以构建年产5吨级、10吨级、20吨级的封闭循环水标准化养殖单元系统为基

础,配套生产标准化、系列化、模块化的设施与装备,进一步可按不同规模需求进行单元组合,如组装年产50吨级、100吨级,甚至可以组装任何级别的封闭式循环水养殖工厂。

2)按系统造价标定。设计出简约经济型、节能实用型、高端智能型3种不同类型的封闭式循环水养殖系统,供不同经济实力的养殖企业和个体业户选择。

亦可采用产能和造价综合标定方法,建造10吨级或更高级别的高端智能型封闭式循环水养殖系统等系列产品。

工业化循环水养殖鱼类的福利状况,通常由养殖水环境、营养饲料、病害防治和日常养殖管理四大影响因子决定。这四大影响因子与世界养殖动物福利协会所提的“五大自由”标准基本相符,因此应当全面分析这些影响因子的可控性及其相互间的耦合性,巧妙运用工程化技术手段使其实现智能化联动调控,就能基本保障养殖动物达到良好的福利状况。根据我国经济鱼类主养品种的生物学特性,结合我国的经济状况、养殖技术和装备制造水平,以及养殖从业人员的素质和技能状况,探索构建适合我国国情的、理念与技术高度融合的工业化循环水养殖模式,这就是我们当前有效推进工业化循环水福利养殖战略的基本保证。

3.3 工业化福利养殖系统中物联网智能化管控平台的构建

数字化、智能化和物联网技术在工业化养殖模式上的应用,是现代渔业发展到一个全新阶段的突出标志。工业化水产福利养殖对信息实时获取和智能化处理的要求很高。智能化管控平台具体可以分为:基于物联网的传感器网络、报警监控系统、通信网络、智能数据处理中心和手持移动终端等5个主要组成部分。

物联网的传感器网络主要由ZigBee通信的各种传感器网络组成,可对包括水质指标中的温度、pH、DO、氨氮、亚硝酸氮、盐度和氧化还原电位等关键参数实施在线监控。该网络的特点是自组织、低成本、低能耗、近距离、低复杂度。每一个zigbee节点都可以作为路由节点,中继其他节点的无线电信号。每一个ZigBee群组,如一个水箱配备一台ZigBee可编程逻辑控制器(PLC),该PLC将ZigBee传输来的传感器数据打包,并通过工业现场总线(如CAN总线、Profibus)发送到智能数据处理中心。

报警监控系统,主要由网络互联协议(IP)高清数字摄像机、安防监控系统等组成。每一台IP摄像机都有一个独立的IP和域名,其采集的视频数据经授权后可在全球任意电脑上用Web直接查看。视频数据会矩阵式实时显示在监控中心大屏幕上。安防监控系统主要由红外、设备故障、火警、入侵防范等部分组成,一旦有警情发生,监控大厅会立即响起警报,并在地图上标明警情的坐标,大屏幕会自动切换到警情所在监控区域。现场的工作人员手持终端也会实时收到报警消息,指引其立即处理。

通信网络,主要由ZigBee PLC、工业现场总线、交换机、路由器、光纤、机柜等组成。ZigBee PLC将收到的ZigBee数据通过工业现场总线发送到监控中心,并最终实时显示到监控软件。监控的视频、语音数据将通过交换机、光纤等组成的以太网络传输到监控中心。

智能数据处理中心由工业组态软件、智能分析服务器、数据存储服务器、监控终端等组成。工业组态软件如iFIX、组态王等在组态画面上实时显示各个传感器的参数,并按照编程规则对设备进行控制。智能分析服务器,具有一定的人工智能,可对传感器、视频、安防等系统的数据进行综合处理,如可以根据监控图像分析鱼群的行为、活力、状态等感观性状。智能数据处理中心,通过数据的实时分析及智能化处理,在实现对水产养殖全过程的自动控制与智能化管理的同时,形成对鱼类各种影响因子与饲料投喂量的数据库,结合科学的动物健康评价标准,可对大量养殖数据进行处理挖掘,分析影响动物健康的各种指标、参数,探索其最经济、最健康的福利养殖控制参数,并可进行最佳配合,从而组合形成工业化福利养殖的高端模式,不断改进自动控制与智能化管理水平,以提高养殖鱼类的幸福指数、循环系统经济效益和推进福利养殖事业的发展。手持移动终端,由专用的手机硬件和软件组成,通过WI-FI或3G信号与智能数据处理中心直接通信,根据授权级别在手持移动终端上可以实现传感器数据、报警信息、监控视频、视频通话、设备控制等功能即时读取。工厂管理者和现场工人通过手持终端机可以随时随地掌控现场的局势。

由物联网技术装配的智能化水产福利养殖管控平台,集成了远程视频监控技术、准确识别技术、水质监测技术、自动精准投喂技术、设备远程智能控制技术、设备故障自动报警、专家远程诊断、决策

管控技术以及病害预警防控等技术,最终实现对水产养殖全过程的自动化控制与智能化管理。该系统如果与物联网物流体系相结合,则可形成从养殖、运输、营销到餐桌的商品鱼质量安全追踪体系,构成一体化的管理系统,实现鱼类福利养殖的终极目标——保障人类健康安全和呵护人与动物和谐相处的生态环境。

3.4 发展工业化循环水福利养殖的技术路线

工业化水产福利养殖,是由多种先进装备配套、组装而成的一种封闭式循环水系统。它的装备

综合性能很强,涉及装备制造、防腐材料、机械设计、远程监控、自动控制、生物技术、水质处理、紫外线杀菌、营养饲料、病害防治、智能化管理等诸多行业,显现科技与产业、生物技术与工程技术的关联度很高。根据循环水养殖系统工艺流程的运行特点,尤其当福利养殖理念注入系统内核之时,构建高端的、人性化的工业化养殖模式,发展新概念养殖战略就会成为从业者的必然选择。为了实现上述福利养殖方案,拟采取如图1所示的技术路线。

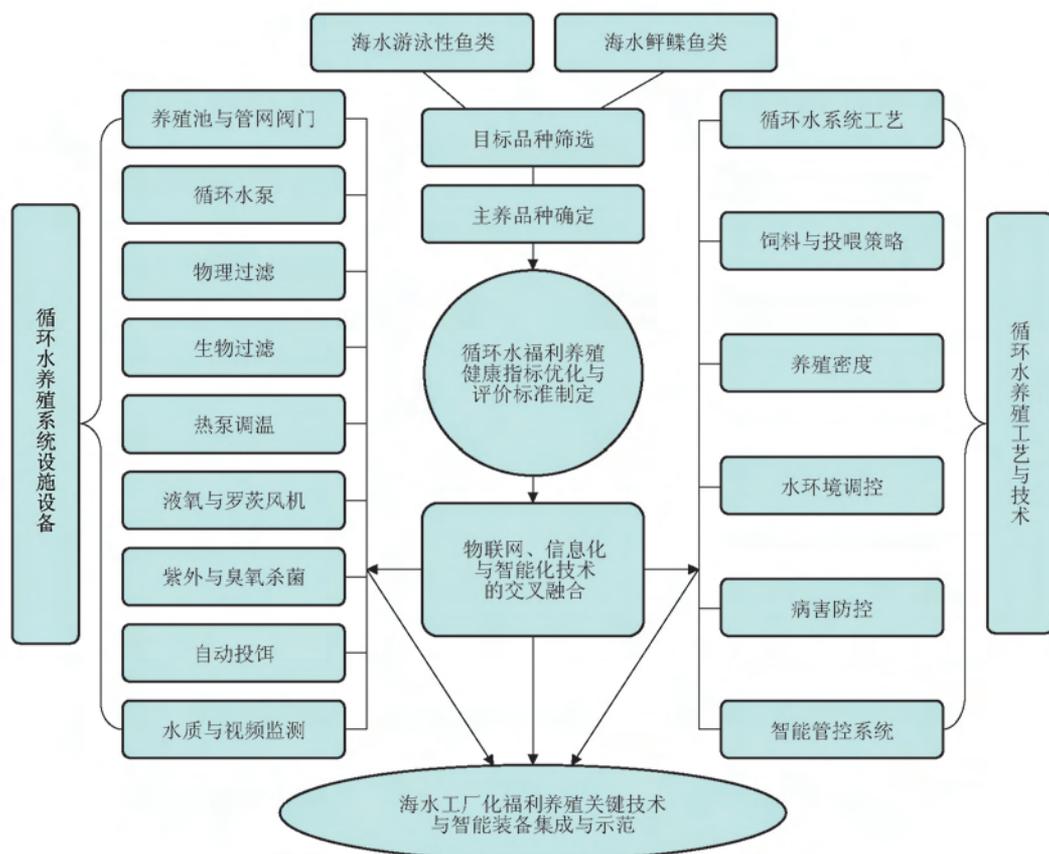


图1 实施福利养殖的技术路线与集成方案框图

Fig.1 The flow chart of technical route and integrated program of welfare culture

1)以工厂化循环水养殖条件为基础,开展不同福利水平下,各种影响因子对鱼类生理指标的关联度分析和敏感性试验。对能够充分体现养殖鱼类福利的健康生理指标进行筛查、优选、评定,建立起工厂化循环水模式下,海水鱼类福利养殖的生理指标评价方法和标准,科学合理地确定海水鱼类在工厂化福利养殖条件下可供参照的生理指标。

2)以提升海水工厂化福利养殖水平为目标,确定工厂化循环水系统的优化设计方案和工艺;以参

照性强的福利养殖生理指标为标准,改进与水环境调控关联度较高的物理过滤和生物过滤等关键设备;研发高效生物功能菌的筛选与快速扩繁挂膜技术;构建标准化、系列化、模块化的装备制造标准体系。

3)在已有鱼类配合饲料研制基础上,根据封闭式循环水养殖环境条件和特点,进行配方改进,开发不易离散且可改善鱼类肌肉品质的营养配方;进行投喂策略和精准投喂技术与装备的研究。

4)利用变频技术和智能调控技术,对水泵、微滤机、气浮机、生物滤器(或滤池)、罗茨风机、纯氧、臭氧、调温、紫外、自动投饵、在线监测、电动阀门等设备进行联机运行或兼容性升级改造,形成机械化与自动化水平较高的工业化循环水系列设施与装备。

5)通过观察记录、检测试纸和视频等手段,收集病鱼早期行为表征等资料,结合实验室临床观察和疫病的症状分析,开发快速诊断技术,或建立远程疾病诊断和预警系统,尽力提高诊断速度和效果。在工厂化循环水系统基础上,研究单池回水管路旁通隔离阻断病原的设计方案,将有早期带病者的养殖池从循环系统中隔离出去,实施临时的流水养殖,并可对症施药,形成循环系统病害预警与隔离防控体系。

6)对水质环境、养殖密度、水循环速率、气水比、营养饲料与投饲策略、病害免疫防控、智能化监测等与养殖鱼类福利有关的影响因子进行定量和定性分析研究;结合水质自动在线监测系统,集成循环水系统所有设施装备,利用物联网智能化、信息化技术手段,实现循环水系统多种设备、多种技术的智能化联机调控,以达到海水工厂化福利养殖系统的标准化构建。

综上所述,本文以鲆鲽类工业化养殖为样板,运用制造业、工程化、信息化和自动化等多种先进技术,将其统一在福利养殖理念之下,形成一个先进的、完备的装备系统,使其所有技术内涵均与鱼类的福利需求实现高度融合。那么,在我国成功构建具有节能减排、优质高效,形成鱼与系统和谐运转的、工业化形态的高端水产养殖产业,就必定能够成为现实。

参考文献

[1] 雷霖霖. 鲆鲽类工业化养殖发展之路[J]. 海洋与渔业·水产前沿, 2010(4): 32-35.

[2] 顾宪红. 动物福利和畜禽健康养殖概述[J]. 家畜生态学报, 2011, 32(6): 1-5.

[3] 郭艳青, 许尚忠, 孙宝忠, 等. 欧盟犍牛福利养殖措施及其效果分析[J]. 中国牛业科学, 2006, 32(5): 90-92.

[4] 胡景威, 李 锋, 单安山. 实施畜禽福利养殖的必要性及措施[J]. 饲料工业, 2009, 30(3): 50-53.

[5] 雷霖霖. 中国海水养殖大产业架构的战略思考[J]. 中国水产科学, 2010, 17(3): 600-609.

[6] 姜成钢, 刁其玉, 屠 焰. 羊的福利养殖研究与应用进展[J]. 饲料广角, 2008(5): 37-40.

[7] Farmed Animal Welfare Council. Report on the welfare of farmed fish, PB 2765 [R]. London: Farmed Animal Welfare Council, 1996.

[8] Schreck Carl B. Immunomodulation: Endogenous factors [M]//

George Iwama, Teruyuki Nakanishi. The Fish Immune System: Organism, Pathogen, and Environment. Waltham: Academic Press, 1997: 311-337.

[9] 林建斌. 水产养殖与水产动物福利浅析[J]. 中国水产, 2012(9): 31-33.

[10] 王亚军, 吴立山, 刘必谦. 水产养殖动物福利概述[J/OL]. 中国科技论文在线, 2007 [2007-09-19]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/200709-377>.

[11] Barton Bruce 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.

[12] Wendelaar Bonga S E. The stress response in fish [J]. Physiological Reviews, 1997, 7(3): 591-625.

[13] Iwama G K, Pickering A D, Sumpter J P, et al. Fish Stress and Health in Aquaculture [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

[14] Fisheries Society of the British Isles. Breifing report 2: Fish welfare [R]. Cambridge: Fisheries Society of the British Isles, 2002.

[15] Conte F S. Stress and the welfare of cultured fish [J]. Applied Animal Behaviour Science, 2004, 86(3-4): 205-223.

[16] 王文博, 李爱华. 环境胁迫对鱼类免疫系统影响的研究概况[J]. 水产学报, 2002, 26(4): 368-374.

[17] Demers Nora E, Bayne Christopher J. The immediate effects of stress on hormones and plasma lysozyme in rainbow trout [J]. Developmental & Comparative Immunology, 1997, 21(4): 363-373.

[18] Stave J W, Roberson B S. Hydrocortisone suppresses the chemiluminescent response of striped bass phagocytes [J]. Developmental & Comparative Immunology, 1985, 9(1): 77-84.

[19] Barton Bruce A, Peter Richard E, Paulencu Christine R. Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at rest, and subjected to handling, confinement, transport, and stocking [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1980, 37(5): 805-811.

[20] 许源剑, 孙 敏. 环境胁迫对鱼类血液影响的研究进展[J]. 水产科技, 2010(3): 27-31.

[21] Arends R J, Mancera J M, Munoz J L, et al. The stress response of the gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) to air exposure and confinement [J]. Journal of Endocrinology, 1999, 163: 149-157.

[22] Davidson John, Good Christopher, Welsh Carla, et al. The effects of ozone and water exchange rates on water quality and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* performance in replicated water recirculating systems [J]. Aquacultural Engineering, 2011, 44(3): 80-96.

[23] Brambell F W R. Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. Command 2836 [R]. London: HMSO, 1965.

[24] 吕 青, 卢晓中, 杜 琦, 等. 水产养殖动物的福利及其维护和应用[J]. 水产科技情报, 2009, 36(3): 113-116.

[25] Acerete L, Balasch J C, Espinosa E, et al. Physiological responses in Eurasian perch (*Perca fluviatilis*, L.) subjected to stress by transport and handling [J]. Aquaculture, 2004, 237(1-4): 167-178.

[26] Ribas L, Planas J V, Barton B, et al. A differentially expressed enolase gene isolated from the gilthead sea bream (*Sparus aurata*) under high-density conditions is up-regulated in brain after *in vivo* lipopolysaccharide challenge [J]. Aquaculture, 2004, 241(1-4): 195-206.

[27] Salas-Leiton Emilio, Anguis Victoria, Martín-Antonio Beatriz,

et al. Effects of stocking density and feed ration on growth and gene expression in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*): Potential effects on the immune response [J]. Fish and Shellfish Immunology, 2010, 28(2): 296–302.

[28] Ashley Paul J. Fish welfare: Current issues in aquaculture [J]. Applied Animal Behaviour Science, 2007, 104 (3/4) : 199–235.

Strategic research on the construction of high-end farming industry in China based on the concept of aquatic animal welfare

Lei Jilin¹, Huang Bin¹, Liu Bin¹, Xu Zhifang²,
Yan Kuoqiu³, Zhai Jieming⁴

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, Shandong 266071, China; 2. Technology R&D Center, Haier Group, Qingdao, Shandong 266103, China; 3. Goldbill (Fujian) Aquaculture Technology Co. Ltd., Ningde, Fujian 352100, China; 4. Laizhou Mingbo Aquatic Co. Ltd., Yantai, Shandong 264000, China)

[Abstract] At present, Chinese aquaculture industry is in a new period of development. Speeding up the transformation of economic growth mode, following the way of energy-saving and emission reduction, environmental protection, quality and efficient, have become people's common pursuit of the industry. In this paper, studies are under the support of the project named "Chinese flatfish industry technology system" based on nearly 10 years' work of flatfish closed recirculating aquaculture system. The contents of this paper refer to facing the huge demand of efficient healthy aquaculture industry in future, advocating the idea of aquatic animal welfare, introducing and cross merging advanced manufacturing technology, information technology, automatic control technology, modern biological technology and precision farming technology, so as to thoroughly build a digital, intelligent and accurate industrialized mode of aquaculture. The purpose of this paper is to provide theoretical and technical support to realize the localization, standardization and information in Chinese aquaculture, which will not only improve quality and safety level of aquacultural product, but also stimulate the formation of farming equipment manufacturing industry and intelligent control technology, so as to constantly advance development of high-end culture mode in China.

[Key words] welfare culture; industrialization; intelligent; circulating water; culture mode; strategy