

海水养殖智能投饵装备研究进展

纠手才,张效莉

(上海海洋大学海洋经济研究中心 上海 201306)

摘要:海水养殖装备智能化发展是提高渔业生产率,实现渔业现代化的重要途径。文章着重介绍了国外海水养殖智能投饵装备前沿研究,对比分析了国内海水养殖智能投饵装备研究现状,发现国内在海水养殖智能投饵装备研究过程中出现了养殖投饵配套设施研究相对滞后,已研发的投饵装备智能化程度低,新型智能化投饵装备的研发理念和设计技术落后、研发与市场需求脱节的问题。针对出现的问题,文章提出了加强海水养殖投饵配套设施的研发力度,开发投饵控制软件和养殖管理系统,研制智能化水平高、与养殖户需求相匹配的投饵装备的建议,为今后我国海水养殖智能投饵装备的研究方向提供参考价值。

关键词:海水养殖;智能化;水质监控;饵料投喂;装备

中图分类号:S953;P7

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2018)01-0021-07

Research Progress of Mariculture Intelligent Feeding Equipment

JIU Shoucai,ZHANG Xiaoli

(Shanghai Ocean University,Center for Studies of Marine Economy,Shanghai 201306,China)

Abstract: The intelligent development of mariculture feeding equipment is an important way to improve fishery productivity and realize the modernization of fishery. This paper introduced the frontier research about foreign aquaculture intelligent feeding equipment in detail, comparatively analyzed the domestic research status of aquaculture intelligent feeding equipment, and found the research process of domestic aquaculture intelligent feeding equipment appeared problems, including relatively lagging of the research of aquaculture feeding corollary equipment, low level developing of intelligent feeding equipment, backward of the research and developing concept and design of new type intelligent feeding equipment, disconnecting of market demand with new type intelligent feeding equipment research and development. In view of these problems arising, this paper put forward suggestions such as strengthening research and development of aquaculture feeding corollary equipment, developing feeding control software and breeding management system, developing the feeding equipment which is high intelligent level and match the needs of farmers.

Key words: Mariculture, Intelligentize, Water quality monitoring, Feed feeding, Equipment

收稿日期:2017-05-08;修订日期:2017-12-05

作者简介:纠手才,硕士研究生,研究方向为产业经济、海洋经济

通信作者:张效莉,教授,博士,研究方向为海洋(海岸带)经济及其综合管理、人口资源环境经济、区域经济、产业经济

众所周知,中国是世界上巨大的海水产品消费国。进入新世纪以来,随着我国综合国力的不断增强和人民生活水平的提高,海水产品尤其是优质海水产品的需求量日益上升。近些年来,随着近海水域环境污染、渔业资源枯竭等问题的出现,近海捕捞业的发展遇到了“瓶颈”,远洋捕捞和海水养殖逐渐成为海洋渔业主要的生产方式。远洋捕捞过程中涉及捕捞限额、经济纠纷和海域纷争等问题,成为导致国与国之间小规模摩擦的不稳定性因素。大力发展海水养殖、转变渔业生产方式、提高渔业生产力成为走出我国海洋渔业发展困境的重要举措。

饵料成本是海水养殖总成本的重要组成部分,占总成本比重超过一半;对于普通的养殖户,如何降低饵料成本成为最为关心的问题之一。机械地减少饵料的投喂量,不但符合水产品生长的规律,还会间接增加养殖风险,导致养殖户养殖收益的大大降低,因此对养殖过程中的饵料量进行精确地控制就显得尤为重要了^[1]。另一方面,饵料投喂技术是养殖生产过程中重要的环节,也是影响养殖收益和环境生态效益的主要因素。目前我国海水养殖生产过程中主要使用人工投饵,人工投饵存在着劳动强度大、投喂不均匀、饵料利用率低和饵料残留量大等诸多缺点,导致养殖过程中出现海水产品生长不均匀、发病率高、水质富营养化等问题。中国现有的投饵机主要是一些小型的简易投饵机,这类投饵机往往适用于小型池塘养殖,不适用于大型的工厂化海水养殖和海上网箱养殖等生产方式。另外,这类投饵机大多还存在可靠性低、投饵定时不准确、投饵距离不可调、饵料损耗高、仓料储存空间小等问题^[2-3]。因此,开展自动投饵设备和技术方面的研究,研发智能化的投饵装备成为满足中国水产养殖规模化、现代化和自动化发展的重要途径,为传统池塘养殖向规模化、自动化、智能化养殖模式转变,加快渔业现代化进程提供助力。

1 国外海水养殖智能投饵装备前沿研究

1.1 智能化监控装备

1.1.1 智能化水下摄食监控装备

智能化水下摄食监控装备是国外用来监测和

控制饵料摄食情况的主要工具。为了提取养殖水域底部的残留饵料,提高饵料利用率,气力提升技术被应用在海水养殖投饵过程中。气力提升泵是运用气力提升技术的输送设备,在投饵过程中主要用于提取残余饵料,使用操作者可以根据被提取的残余饵料量来决定是否停止投饵。此外,对简单的气力提升泵加装能够自动计算和收集残余饵料装置后,能够实现当残余饵料量达到计算机设定的数值时自动停止投饵,低于设定值时又开始投饵。这样便使得由人工控制的简单的气力提升泵变为能自主控制投饵量的自动化气力提升系统。

为了能清晰地在水下观察饵料被摄食的情况,水下摄像技术被应用在投饵过程中,水下摄像机是水下摄像技术的集成装备。水下摄像机结合计算机视频分析软件、气力提升系统能够在线监测和控制大型的网箱、养殖场内水产品摄食饵料的过程,做到自动判断残余饵料量并自动控制投饵机,还可以为养殖户提供数据资料辅助养殖事业。全球应用较为广泛的水下摄像机是 AKVA 公司的 smarteye 360 Twin 水下云摄像机,该设备是一种先进的观测水产品进食饵料情况的双色水下摄像机,可以在养殖水箱、投饵船、投饵机上使用。它是由上下两个高分辨率的摄像头组成,可以拍摄清晰的单色和彩色水下视频图像,单色摄像机通常下降到养殖箱的底部拍摄,彩色摄像机在顶部拍摄,两相机可使用一个操纵杆同步做 360° 垂直运动。smarteYE 360 Twin 可以内置深度和温度传感器并通过无线视频发射器连接基地,可以全天候 360° 监察水产品的摄食情况。

随着信息技术的发展,传感器技术被广泛地应用在海水养殖过程中。目前,国外大型的养殖场除了使用气力提升系统和水下摄像机监控水产品进食饵料情况,也开始研发红外传感器和水底声波传感器来监控。红外传感系统的基本工作原理是将红外传感器安装在养殖水箱或池塘的底部来测量饵料收集装置中的残余饵料量。当被探测到的残余饵料量与总的投饵量的比值达到计算机设定的数值时,投饵装置将会停止投饵。这样在投饵的过程中能及时地监测水产品对饵料的进食情况,在水

产品进食完成后及时停止投饵,大幅提升了饵料的利用率,节省了饵料成本。声波传感系统的基本工作原理将声波传感器安装在养殖水箱或池塘的底部,声波探测水产品的活动轨迹和饵料残留轨迹并传输到计算机控制系统生成的清晰的影像图片,饵料投喂者可以通过饵料残余量影像图片和被监视养殖对象的活动迹象影像图片来判断决定是否停止投饵。FeedingSystems 公司生产的一款用于网箱养殖 The Peney 产品^[4],可以通过声波传感器监测到的水产品活动迹象来决定是否停止投饵。具体来说,由于水产品位置的改变与水产品自身食欲息息相关。当水产品处于空腹状态时,食欲较强的将会浮到水面上去食用饵料;当水产品处于饱腹状态时,食欲较差的将会下沉到网箱的中部或底部。如果投饵的过程中养殖者通过水产品活动迹象影像图发现水产品群落的集聚趋势由水面向网箱底部改变时,此时说明水产品由空腹状态转为饱腹状态,养殖者可以停止投饵了。

1.1.2 智能化养殖水质监测装备

传统的水质监测通常是指人工使用简单的测量仪器并结合自身经验判断水质状况,这种监测方式存在人力资源消耗大、监测范围小、可靠性低等诸多弊端,无法满足水质监测实时性、动态性和精准性等特点。由无线传感器、无线通信技术、互联网构建的无线传感网络具有智能化程度高、信息时效强、覆盖区域广、支持多路传感器数据同步采集、可扩展性好等特点^[5],在水产养殖水环境监测方面具有较好的应用空间,成为解决水产养殖水质监测难题的重要突破口。

国外大型的公司及科研机构基于无线传感器网络系统研发了全天候多方位的智能化养殖水质监测设备。挪威 nodec 公司研发了一个由计算机控制的水产养殖水环境监控系统,该系统基于一个局域网和各种不同的传感器开发了特殊的软件模块,以处理不同的任务,如数据采集、自动控制、报警、记录、趋势分析、报告等。此外,公司为了提高水产养殖监控系统的性能和操作的便捷性,开发一个用户友好的高层次的人—机界面和一个可用于监测和控制水质、加热系统、生物量和供给系统的软

件^[6]。挪威 AKVA 集团公司研制的 Akvasmartccs 自动投饵系统的环境监测系统是由温度传感器和氧气传感器组成的。温度传感器被投放在设定的水深中,测量的数据被记录在投饵系统的软件中;氧气传感器连接着投喂系统,当监测到水中含氧量处于较低水平时,数据会被传输到投饵中央控制系统,投喂系统将会自动停止投饵。Lopez 等利用传感器技术和无线传输技术建立了一种无线传感网络系统,对养殖水环境中 pH、氨氮、温度等参数进行实时监测^[7]。Ebeling, J. M. 建立了计算机池塘水质采样与控制系统。系统采用 12 V 直流电泵控制各种传感器来测量包括温度、盐度、pH 值和溶解氧的实时数据,数据被传送到控制室的中央计算机上进行实时显示和磁盘存储,中央计算机对数据进行分析,辅助养殖户做出决策^[8]。Phillip G. Lee 研究指出,目前的水产养殖监控装备是朝着传感器、发射机、通信多路复用器、驱动器或输出设备、计算机硬件、计算机控制软件组成的智能化水质监控系统的方向发展的。这种系统既可以使用一台计算机进行独立控制运作,又可以使用多台微型计算机进行联网运作^[9]。

1.2 智能化投饵装备

1.2.1 集中式投饵装备

近年来,随着养殖技术的日益进步,国外的养殖规模日趋大型化,集中式投饵技术和投饵装备得到了较好的开发和应用。挪威 AKVA 集团公司的 Akvasmartccs 自动投饵系统,包括各种投饵机、环境传感器、多普勒颗粒传感器、各种水下、水面摄像机。自动投饵系统可以同时实现对 40 个网箱进行远程投饵,最大喂料量 11 520 kg/h,最大输送距离达 1 400 m^[10]。Akvasmart 自动投饵系统的研发和使用在很大程度上降低了投饵时劳动力的需求量,提高了饵料利用率,使复杂的水产养殖控制过程变得非常简单。为了满足深水网箱养殖大容量投饵的需要,美国 ETI 公司研发生产了 FEEDMASTER 自动投饵系统,在世界上许多深水网箱养殖国家得到了较好的应用。该系统拥有复杂的设计工艺,最大限度地降低了饵料颗粒的破损率,该系统由一个或者多个大型料仓、风机、分配器、基于 PLC 的控制

系统和 PC 人一机界面软件等组成,平均投饵能力达到了 100 kg/min,最高可达 250 kg/min,每套 FEEDMASTER 自动投饵系统可为多达 60 个网箱供料。加拿大 FeedingSystems 公司针对不同的养殖模式研发的自动投饵系统,可应用于大网箱、陆基养殖工厂和鱼苗孵化场 3 种养殖环境,为了提高养殖过程操控的便捷性,公司为各种不同的养殖对象分别开发出了不同的投饵控制软件,自动投饵机和专用软件的配合使用在很大程度上提高了饵料的利用率^[11]。意大利 TeehnoSEA 公司为了解决普通投饵装备在恶劣天气和海浪下正常投饵的难题,于 20 世纪 90 年代末研发出了一种沉式智能投饵机 Subfeeder-20,能将不同类型、品质、大小的饵料颗粒投入水中供水产品摄食,该智能投饵机采用自动沉浮设计工艺,实现了全天候的自动投饵。

1.2.2 高精度投饵装备

为了提高小型养殖场或网箱投饵过程精确度和稳定性,国外开发了高精度的投饵技术,研制成功能进行自动投饵的投饵机器人,追求高精度投饵。芬兰的 Arvo-tec 公司研发了适用于拥有 30 个以上养殖池的养殖场的机器人投饵系统,实现了高精度陆基池塘养殖投饵模式。该系统由几个小型的漏斗形投饵机器人组成,通过在池与池之间设置不同的投饵程序,使投饵机器人沿着安装在养殖池上方的轨道在各个养殖池之间进行移动投饵,实现了无人操作的自动投饵过程。对投饵机器人系统加装各种水质监测传感器装置后,还可以实现对养殖水环境进行监测,采集到的数据自动传输到中央控制系统,控制系统分析后自动对投饵程序做出一定的修正,实现了投饵过程的高精度^[12]。日本 NITTO SEIKO 公司针对深水网箱养殖开发了自动投饲系统,该系统也采用小料仓投喂的形式,将小料仓悬挂在每个深水网箱上方,通过操作控制面板和中央计算机,实现了多个小料仓进行集成控制,还可以通过手机来实现随时随地远程控制^[13]。

2 我国海水养殖智能装备研究现状及存在的主要问题

2.1 我国海水养殖智能投饵装备研究现状

2.1.1 饵料投喂装备研究

中国水产科学研究院南海水产研究所成功研

制了我国第一个具有自主知识产权的深水网箱养殖远程多路自动投饵系统。深水网箱养殖远程多路自动投饵系统由投饵机组、自动控制系统、多路饲料配送系统、饲料喷投系统、能源供给系统组成,可以实现手动、自动和远程 3 种控制模式。该自动投饵系统在投饵输送距离为 300 m/h,投饵量为 1 200 kg/h,吨料能耗为 8.4 kW/(t·h⁻¹),投饵破碎率小于 0.7%,喷投距离达 11.3 m,完全满足深水网箱集群养殖的要求^[14]。

郭根喜等研发了一套远程气力输送自动投饵系统,并设计了以 PLC 为控制核心,集编程、传感器等技术为一体的自动化控制系统。该投饵系统由进料、供气、传输、动力、控制和降噪等 6 套子系统构成,采用低压压送式气力输送工艺,可以达到 300 m 以上的输送距离和实现 1 586 kg/h 的饵料投放量^[15]。

汪昌固基于深海网箱装备技术、自动控制技术、数字化养殖管理技术,设计完成了包含投喂机械装置、光伏发电系统、视频传输系统、无线数据传输、养殖管理界面等软硬件装置的深海网箱养殖远程智能投喂系统,为解决我国目前深海网箱养殖存在的劳动强度大,养殖成本高,投饲精度低,养殖管理困难等问题,提高渔业生产效率提供了一条可行的途径^[1]。

胡昱等通过分析深水网箱自动投饵工作流程,研究设计了一种可以应用于深水网箱养殖的定时、定点、定量投喂饲料的智能投饵机。该智能投饵机是由供气系统、供料系统、传输系统、PLC 控制系统 4 部分组成。其中供气系统主要由罗茨风机与球阀构成,供料系统主要由旋转下料器、小料仓和吸料器构成,传输系统主要由分配器与输料管道构成,PLC 控制系统由继电器、断路器、熔断器等组成^[16]。

赵建宝等将物联网技术与负压气力输送工艺相结合构造了高效投喂智能装备,可以实现投饵的远程控制、大面积均匀投饵、大料仓物料余量的远程监测和故障实时报警等功能,解决了养殖过程中饲料投喂不均匀、抛撒面积有限、投喂实时监控不到位等问题,大大降低了劳动强度,节约了养殖成本^[17]。

2.1.2 水质监控装备研究

闫敏杰等基于无线传感器网络研究设计了鱼塘实时在线监测系统,该系统利用无线传感器网络节点测量养殖水域的温度和溶氧量,并通过 Zigbee 无线网络将数据传输到终端控制系统,控制系统做出判断同时发出报警信号并控制增氧机为池塘增氧^[18]。

张淋江等构建了基于 ZigBee 技术、GPRS 技术、网络数据库技术、视频监控技术的水产养殖水质监控系统,对池塘的水质状况进行实时监测。其工作原理为利用池塘各个检测点的温度传感器、溶解氧传感器、pH 值传感器采集池塘的水温、溶氧值、酸碱度等参数;采集到的数据经路由汇总,通过 GPRS 模块及时传送至监控中心;监控中心依据水质指标系统数据,从而制订相应的水质调节措施^[19]。

张世良在利用各种水环境传感器的基础上结合 ZigBee 技术和 GPRS 技术建立成本低廉、控制精度高的水产养殖水环境因子智能化监控系统,实现了对养殖场水体温度、水位、水中溶解氧的浓度、pH 值等参数的实时监控^[20]。

杨琛等基于物联网技术建立了水产养殖水环境智能监控系统,该系统采用传感机器技术、ZigBee 技术、GPRS 技术实现对养殖水质的各类关键指标:温度、溶解氧含量、浊度的实时采集和远程显示。此外,对系统升级后,可以通过手机终端远程控制喂食器、加热器、增氧机,实现智能化远程养鱼^[21]。

2.2 我国海水养殖智能投饵装备研究过程中存在的主要问题

2.2.1 海水养殖投饵配套设备方面的研究相对滞后

智能投饵装备不是单一的养殖投饵设备,只有建立以投饵设备为核心、以附属配套设备为辅助的投饵系统,才能形成先进的生产力。国外常用的海水养殖投饵配套设备主要包括养殖工船、水下摄像机、增氧机、气力提升泵、传感器和气象卫星等。目前,我国针对海水养殖投饵配套设备的研究相对滞后,核心技术不成熟,不能实现标准化、规模化生产。我国海水养殖业小型的养殖户养殖投饵配套

设施极为不健全,很多池塘只有老旧的增氧机;大型的网箱或工厂养殖企业与国外大型养殖企业相比仍存在性能差、设备陈旧、自动化水平低等问题,同时也缺少与大面积池塘养殖、大型网箱养殖和高密度工厂化养殖等相适应的海水养殖投饵配套设备。

2.2.2 我国已研发的海水养殖投饵装备智能化程度较低

目前我国针对海水养殖智能投饵装备的研究,多是将饵料投喂设备和水质监控设备独立分开的,整个投饵系统的智能化水平较低,缺乏整体协调运作能力。一方面,我国现有设计研发的饵料投饵装备大都是建立在气力输送工艺和 PLC 控制系统上的在线控制投饵量的低水平的投喂装备;另一方面,由于养殖对象对饵料的需求量、自身生长速度及其饲料转化率等随着环境条件的变化而变化,所以投饵过程的对水环境的监控变得尤为重要。目前我国针对水质监控设备的研究主要集中在基于无线传感器网络的水质监测系统上,监测手段单一、智能化水平较低。

2.2.3 新型智能化投饵装备的研发理念和设计技术比较落后

先进的研发理念和设计技术是新产品进入市场,获取用户持续青睐保持旺盛生命力的重要体现。目前我国新型智能化投饵装备的研发理念趋向于统一化、标准化,缺乏个性化和人性化。我国海水养殖品种繁多,养殖水域环境复杂,新型智能化投饵装备的研发具有鲜明的个性化特点。新型智能化投饵装备设计技术主要依靠传统经验,缺乏坚实的理论依据和标准化的设计参数和体系,显著落后于美国、挪威等国家。许多设计研发工作都是在简单的经验和实践的基础之上开展的,可靠性较差,严重制约了我国新型智能化投饵装备的发展。

2.2.4 海水养殖投饵装备的研发与市场需求脱节

出于基本国情,我国海水养殖业发展过程中出现了一些特有的问题,诸如养殖散户多、养殖规模小、缺乏养殖龙头企业、养殖管理水平低、行业服务体系不健全等问题。这些问题也在一定程度上影响着我国新型智能化投饵装备的研发、推广及应

用。目前我国新型智能化投饵装备的研发环节与市场推广、应用环节衔接不够得当,研发单位无法及时获取最前沿的用户需求信息,导致新型智能化投饵装备的研制出现时滞性,与市场实际需求不匹配,市场可推广性差等问题。新型智能化投饵装备研发过程中消耗了大量的人力资源和经济资源,却得不到较好应用,无法获得应有的收益,在一定程度上打击了科研机构和企业研发信心。

3 对我国海水养殖智能投饵装备研究方向的建议

随着社会的不断发展和生活水平的普遍提高,人们对水产品的需求量和需求质量也逐年上升。传统养殖模式中单一品种、小规模的生产方式已经不能满足现有需求量的要求,日益严重的水体污染也使得水产品的质量远远达不到社会需求质量的要求,因此大力发展规模化、标准化、集约化养殖模式,研发和推广符合中国国情的、操作简便、经济性高的智能投饵装备迫在眉睫。此外,智能投饵装备的成功研制和推广需要投入大量的人力资源及经济资源,需要通过政府、企业、中介组织、科研单位、金融机构的共同努力方能实现。

根据我国海水养殖业发展战略方向和国内外海水养殖智能投饵装备的研究现状及市场需求,为今后我国海水养殖智能投饵装备的研究方向提出几点建议。

3.1 加强海水养殖投饵配套设施的研发力度

智能化的投饵系统是一个完整的体系,包括投饵机、养殖工船、增氧机、水下摄像机等,完整的养殖投饵体系对提高海水养殖业生产效率发挥着极为重要的作用。今后科研机构或企业应当在政府宏观政策的指导下,充分意识到研发海水养殖投饵配套设施的必要性和紧迫性,积极学习、消化、吸收国外发达国家研发海水养殖投饵配套设施的经验,建立科学合理的研发理念,掌握核心研发技术,同时也要结合我国海水养殖业投饵配套设施的使用现状,努力研制符合我国国情的满足用户需求的高水平现代化的海水养殖投饵配套设施,逐步建立完善的配套设施体系。

3.2 开发投饵控制软件和养殖管理系统

国外针对养殖不同品种的海水产品的生活习

性分别开发了不同的专业性较强的投饵控制软件。我国今后研制的新型智能化投饵装备应当在实现饵料自动投喂的基础上,依靠计算机技术、无线通信技术、射频识别技术等,朝着结合养殖水质温度、pH、溶氧量等关键参数,并综合考虑水产品生长状况和养殖海域环境,开发设计出养殖决策系统、养殖智能管理系统、数字化控制软件,使复杂的养殖过程便捷化、准确化的方向努力。

3.3 研制智能化水平较高的投饵装备

国外新近研制的智能投饵装备的监控系统智能化水平越来越高,朝着与可视化分析软件结合的趋势发展。今后我国新型海水养殖智能投喂装备的研制,应当秉承精准化、自动化、智能化的原则,朝着针对不同养殖对象的特定模式,设计研发相适应的智能投饵装备,并结合各种水下、水面高清、环境传感器、红外传感器等监测和反馈设备,开发数字化控制软件和智能管理系统,同时利用图片与视频分析软件和物联网技术,实现人工向远程监控的方向发展。

3.4 研制与养殖户需求相匹配的智能投饵装备

健全的中介服务体系是新产品推向市场,实现市场化、产业化的重要前提。今后我国科研单位应当把对接养殖户,满足养殖户的个性化需求作为研制新型智能化投饵装备的首要目标,积极与养殖户进行沟通,掌握养殖户需求的动态变化;与中介服务机构建立良好的合作共赢机制,与海水养殖业龙头企业合作成立海水养殖投饵设备及配套设施推广平台,使海水养殖投饵系统最新的研究成果能够及时的市场化并面向广大的养殖户。

4 展望

随着物联网和大数据的不断发展,未来我国海水养殖业将会形成养殖大数据库。在生产环节智能投饵系统可以利用计算机、环境传感器、无线传感网络、无线射频技术,对养殖水环境信息和海水产品生长状况信息进行采集、整理、分析,辅助养殖户做出最优化的养殖决策。

在流通环节和消费环节利用无线射频技术对海水产品从加工、运输、销售、消费等过程进行标志、跟踪,通过互联网平台进行远程监测、安全预

警、追溯管理,逐步建立海水产品质量安全追溯体系。同时利用物联网对海水产品从养殖、检疫、运输、交易、消费等全过程进行数据数据采集和记录,在此基础上构建海水养殖业全产业链大数据库。

参考文献

[1] 汪昌固.网箱智能投喂系统开发及关键技术研究[D].太原:太
原科技大学,2014.

[2] 林健康.TEJ500 水产养殖自动投饵机[J].农机化研究,2003
(1):165—168.

[3] 施槐奎,周丽英,金仰贤,等.投饵机在水产养殖中的推广及应
用[J].浙江农机,2006(2):22—23.

[4] FERNOA, HUSEI, JUELLJE, et al. Vertical distribution of
Atlantic salmon (SalmosalarL.) innetpens: trade-off between
surface light avoidance and food attraction[J].Aquac,1995,132
(3):285—296.

[5] WILLIG A.Wireless sensor networks:concept, challenges and
approaches[J].Elektrotechnik and Informations Technik,2006
(6):224—231.

[6] HANSEN E.Computer aided control and monitoring of aqua-
culture plants[J]. Modeling Identification & Control,1987,8
(1):27—38.

[7] LOPEZ M,MARTINEZ S,GOMEZ J M,et al.Wireless moni-
toring of the pH,NH4+ and temperature in a fish farm.Proce-
dia Chemistry,2009,1(1):445—448.

[8] EBELING J M.A computer based water quality monitoring and
management system for pond aquaculture[J].Northeast Re-
gional Aquaculture Engineering Service,Ithaca,NY,1991,21
(10): 233—48.

[9] LEE P G.A review of automated control systems for aquacul-
ture and design criteria for their implementation[J].Aquacul-

tural Engineering,1995,14(3):205—227.

[10] AKVA Group.2009—2010 网箱水产养殖[R].挪威:AKVA
Group,2010.

[11] QIESTAD V,PEDERSEN T,FOLKVORD A,et al. Automatic
feeding and harvesting of juvenile Atlantic cod (Gadus movhua
L.) in a pond[J].Modeling Identification and Control,1987,20
(7):199—203.

[12] TAN P S,NGOI B K A.A Knowledge-based advisor for the
automatic selection and sequencing of orienting devices for vi-
bratory feeding[J].Engng Applic AnifIntell,1995,8(1): 1
—22.

[13] Mehmet Yasar Gundogdu. Design improvements on rotary
valve particle feeders used for obtaining suspended airflows
[J].Engng Applic Anif Intell,1995,8(1):25—33.

[14] 李璟.我国首套深海网箱自动投饵系统研制成功[J].中国水
产,2009(11):69—70.

[15] 郭根喜,庄保陆,王良运,等.基于 PLC 的远程气力输送自动
投饵控制系统的设计与实现[J].南方水产科学,2008,4(6):7
—16.

[16] 胡昱,郭根喜,黄小华,等基于 PLC 的深水网箱自动投饵系统
[J].南方水产科学,2011,7(4):61—68.

[17] 赵建宝,张晓青.基于物联网技术的高效投饲技术与装备的应
用开发 [J].江苏农机化,2014(4):21—23.

[18] 闫敏杰,夏宁,侯春生,等.基于无线传感器网络的鱼塘监控系
统[J].中国农学通报,2010,26(16):388—392.

[19] 张淋江,刘志,唐国盘.基于无线传感器网络的水产养殖水质
监测研究[J].电脑知识与技术,2015(5).

[20] 张世良.基于物联网的渔业智能化养殖系统的设计[J].宁德
师范学院学报,2015,27(3):299—302.

[21] 杨琛,白波,匡兴红.基于物联网的水产养殖环境智能监控系
统[J].渔业现代化,2014,41(1):35—39.