

· 综述 ·

水产养殖自动投饵装备研究进展与应用

庄保陆^{1,2}, 郭根喜¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 2. 上海海洋大学, 上海 200090)

摘要: 自动投饵系统可应用于大型网箱养殖和高密度工厂化养殖等, 是提高饲料利用率, 控制养殖成本和强化产品质量控制的重要手段。文章概述了国内外自动投饵装备的发展进程, 着重介绍了国外深水网箱自动投饵装备的研究进展与应用情况, 分析了国内自动投饵装备研究使用现状, 对国内自动投饵装备的发展提出了建议。

关键词: 自动投饵; 深水网箱; 工业化养殖; 养殖设施

中图分类号: S953

文献标识码: A

文章编号: 1673-2227-(2008)04-0067-06

The evolution and application of automatic feeding system in aquaculture

ZHUANG Baolu^{1,2}, GUO Genxi¹

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China)

Abstract: The evolution of aquaculture automatic feeding system was briefly reviewed. Research progress on automatic feeding system and its application in offshore cage culture in foreign countries was emphasized in this paper. The status of automatic feeding system and its application in China was addressed as well, and some suggestions were given for the development of the national automatic feeding system.

Key words: automatic feeding; offshore cage; industrialized aquaculture; aquaculture apparatus

饲料是水产养殖中最主要的可变成本, 一般占养殖总成本的50%~80%^[1-2]。养殖管理的一个重要内容就是将饲料成本控制到最低, 既减少饲料浪费, 节省成本, 又降低残饵污染导致局部水域环境恶化的可能性^[3-5]。但投饵量过低, 又会降低养殖对象的生长速度, 延长养殖周期, 导致单位渔获其它可变成本以及养殖风险的增加。因此, 投饵过多或不足, 都将导致养殖效益的非最大化和整套养殖系统效率的降低。另一方面, 养殖对象对饵料的需求量、生长速度及其饲料转化率都是随着环境条件(包括水温、水质、溶解氧浓度、流速、光照强度和白昼的长度等)的改变而改变的, 也与饲料的品质和养殖对象的生理因素

(如年龄、成熟度、性别、激素水平以及内源性的生长规律等)等密切相关^[6-10], 这些因素使养殖对象的必需饲料量具有不确定性, 几乎不可能通过计算而获得精确数值^[5,11]。操作者常常难以精确地做到掌握最适宜满足养殖对象需求的投饵水平。为了加强饲料投喂的精确性, 减少残余饲料量, 降低饲料成本和劳动力成本, 人们开始了自动投饵系统的研发。

1 全球发展进程

1.1 传统投饵机和需求式投饵机

传统的自动投饵机只能根据编好的程序或者设置好的

收稿日期: 2008-03-05; 修回日期: 2008-03-31

资助项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA100302)

作者简介: 庄保陆(1982-), 男, 硕士研究生, 从事设施养殖工程研究。E-mail: blzhuang0201@163.com

通讯作者: 郭根喜, E-mail: scsggx@21cn.com

机械状态隔一定的时间间隔投喂固定的饲料量。虽然随后发展到投饵时间和投饵量均可调,但是诸如投饵速度和饵料抛洒面积通常还是不可调的。这种早期的自动投饵仅仅只是代替了人们抛洒饵料这个重复动作,不能根据养殖对象摄食行为的改变而做出投饵量和投饵时间的相应改变,严格地说还不是真正意义上的自动投饵。

因此,需求式投饵机作为一种可能的替代方案也就应运而生。但是,研究者很快发现占有统治地位的个别鱼会阻止其它饥饿的鱼靠近饲料出口,并且这种投饵机也只适用于能够被训练成会懂得使用这种投饵机的鱼类,在其它鱼类养殖上则不能使用这种投饵机^[10]。需求式投饵机自身原理上的局限性限制了它的使用范围。

1.2 智能投饵系统

随着对鱼类生理学、营养学和行为学认识的不断深入,人们使用计算机技术和传感器技术开发出了能在线计算养殖对象饲料需求量的投饵机。这种投饵机配备了各种监测和反馈设备,具有相当的自动判断养殖对象饲料需求的能力,被认为是具有高适应性的智能投饵系统。

1.2.1 监测手段 (1) 气力提升与水下摄像。国内现行的人工投饵通常是使用勺子、铁锹等手工工具抛洒饲料,并且是用人眼凭经验来判断养殖对象需求的饲料量。随着养殖容器尤其是海水网箱,朝越来越大越来越深的方向发展,凭人眼观察判断而进行投饵的盲目性也越来越突出。国外反馈和判断摄食情况的简单办法是利用气力提升泵和水下摄像机。当被气力提升泵提升上来的残余饵料颗粒的数量达到一个显著值时,操作者就可以停止投饵。此外,一些养殖场也在投饵时使用水下摄像机来观察摄食情况。目前,气力提升和水下摄像也仅仅只是一种操作者对投饵和摄食情况做出判断的协助手段而已,可靠性和自动化水平有待提高。简单的气力提升经过加装残余饵料量计算器和收集残余饵料的装置等自动化改进后可成为气力提升系统,在残余饵料量达到一个设定值时自动停止投饵。水下摄像方面,今后可能会将画面、视频分析软件和摄像机结合起来使用,做到全自动判断残饵量并自动关闭投饵机。(2) 传感器系统。除气力提升和水下摄像外,传感器也是一种常用的监测手段。传感器系统收集到的数据可以直接作为自动控制程序中的变量来控制投饵。目前常用的主要是红外传感器和水底声波传感器。红外传感系统的基本原理是用设置在养殖容器下方的传感器测试沉降到残饵收集装置中的残余饲料颗粒数量;当散落到收集装置中的饲料量占总投饵量的比值达到“投饵专家软件”设定的边界值时,说明鱼已经吃饱,可以停止投饵。甚至,“投饵专家软件”可以将最近一次的投饵数据跟原来的投饵数据进行比较分析,然后对投饵量和投饵时间进行连续性的在线优化。显然,这样在喂饱鱼的同时,降低了饵料的投喂量,减少

了浪费。

声波传感系统的基本原理为传感器朝水面安装在养殖容器下方,生成鱼和饲料颗粒的影像图片,通过影像图片监视残饵量或者养殖对象的行为来决定是否停止投饵。声波传感监测残饵量的典型应用是 AKVA 公司的多普勒单元,该仪器能将饲料颗粒和其它物质区分开来,然后判断沉降到养殖容器底部的饲料量是否达到了一个显著水平。Feeding Systems A. S. 公司的一款类似产品——The Peneye 则使用了水下传感器来监测网箱中鱼的位置和密度。一般情况下,鱼位置的改变跟鱼食欲的变化是相关的^[12]。当鱼饥饿时,鱼将浮到水面去抢食饵料;当鱼的食欲开始降低时,这种聚集到水面的趋势也会降低。投喂饵料时如果鱼聚集在网箱的底部,通常说明鱼已经吃饱了。当然,鱼位置的改变有时候也是由掠食动物(凶猛鱼类或海鸟)的攻击、水质的改变或鱼病引起的。利用软件分析鱼群位置和密度信号可以为投饵机的控制系统提供基本的参考数据。

1.2.2 大容量、高效率智能投饵方式 国外新近开发的投饵机,则呈现出大容量、高精度的趋势,能同时对多个大型养殖池或网箱进行投饵的中央投饵系统,追求的是大投饵量;为一系列小型养殖池或网箱进行自动投饵的自动投饵机器人,追求的是高投饵精度。(1) 中央投饵系统。中央集中式的气力输送投饵系统在欧洲、美洲某些国家已经得到开发应用。其基本工作流程是饲料从料仓到下料装置(有计量料量的功能),然后通过喷射器到主输送管道,再经过分配阀的分配后进入各自的管道到达目的池或者网箱。整个流程是靠风机产生高速气流驱动管道中的饲料流动而实现的。应用这种投饵模式的典型产品是 AKVA 公司的 Marina CCS 中央投饵系统和 ETI (Environmental Technologies Inc) 公司的 FEEDMASTER™ 自动投饵系统等。AKVA Marina CCS 不同的型号 (CCS32、CCS63、CCS90 和 CCS110) 其管径从 32 到 110 mm 不等,输送的饲料颗粒直径也可以从粉末状到 25 mm 以上,其中 CCS110 的输送距离可以达到 1 400 m。这种中央投饵系统很大程度上降低了投饵时劳动力的需求量,但投资成本较高,并且不适合应用于离岸较远、大面积分散分布的网箱养殖。因此,AKVA、ETI、Feeding Systems AS、ARE 和 Sinergia 等公司又开发出了以海上平台为基础的投饵系统。该系统完全由计算机控制,且配备的大型饲料桶仓漂浮在海面上,可以为远离陆地的网箱投饵。该投饵系统在配备卫星定位系统、远程遥控系统、现场水域环境和气象条件监测系统、反馈型自动控制系统以后,其性能可以得到很大程度的提高。据悉,美国新罕布什尔大学的大西洋海洋水产养殖研究中心 (Atlantic marine aquaculture center) 正在实施的“开放性海域水产养殖计划”(open ocean aquaculture project) 对开放性海域网箱养殖自动投饵系统做了长期的系统研究,并开发

出了多种具备不同投饵能力的该类型投饵系统。(2) 自动投饵机器人。芬兰的 Arvo-tec 公司为陆基养殖系统, 尤其是那些拥有养殖池数量在 30 个以上的, 开发出了“机器人投饵系统”。其特点是投喂量小但精度高。这套系统由 1~4 个小型的漏斗形投饵单元——投饵机器人组成, 这些投饵单元沿着安装在养殖池上方的轨道在各个养殖池之间移动投饵。该系统用一个计算机控制系统实现了无人操作, 池与池之间可以设置不同的投饵程序。升级后的机器人系统可以对水温和溶解氧浓度进行监测, 再将数据反馈到控制系统并自动地对投饵程序做出一定的修正, 以满足饲料需求的任何细微变化。例如, 池内的溶解氧含量降低到了一个可能令养殖对象感到不舒适的水平时, 这套系统就会减少或者停止投饵并拉响警报。当投饵机器人到达轨道上的饵料补充点时, 大料仓可以自动向机器人上的漏斗型小料仓补充饲料。日本 NITTO SEIMO (日东制网) 公司的自动投饵系统也采用了小料仓投喂的形式, 将小料仓悬挂安装在每个深水网箱上方, 通过操作控制面板和中央控制计算机来实现对小料仓的投饵控制, 并可以对多个小料仓进行集成控制, 还可以通过电话机来实现遥控。

1.3 自动投饵装备研发趋势

纵观全球自动投饵系统的发展进程可以发现, 作为养殖配套设施之一的投饵系统是随着池塘养殖或网箱养殖的发展而不断发展的, 且与养殖池塘或网箱的形式相匹配。例如, 传统的自动投饵机适合个体户小型池塘养殖。需求式投饵机作为一种减少饵料浪费的可能方式应用在小型池塘、室内工厂化养殖或者小型网箱中, 但是由于自身的局限性很快就处在了被淘汰的边缘。于是又发展出了监测与反馈系统, 使智能投饵系统成为避免投饵过度带来饵料浪费的更好的替代方式, 可以应用在池塘、室内养殖池和离岸较近的网箱上。其后又分别针对室内养殖池和网箱养殖的特点开发出了自动投饵机器人和中央投饵系统, 各自朝着高精度和大容量 2 个不同的方向发展。针对开放性海域大型网箱养殖方式, 开发出漂浮在海面上的全自动大容量投饵系统。

投饵系统配备的监测、反馈与控制系统越来越智能, 监测项目从摄食情况到水环境条件均有涉及, 美国 OOA 计划最近研究的漂浮式大容量投饵系统甚至已经将现场天气条件的监测结果也结合到了投饵自动控制参数中。反馈与控制系统正朝着与图片、视频分析软件结合的趋势发展, 智能化将进一步提高。随着人们对影响养殖对象摄食和消化的环境因子、生理因素和饲料品质等因素了解、掌握的不断深入, 投饵系统还将在上述产品的基础上向更加精巧、精确的方向发展。

作为配套设施之一的投饵系统的发展是与池塘养殖、网箱养殖的发展进程相一致的。中国深水网箱养殖正处于

高速发展阶段, 研发与其相配套的自动投饵系统等配套设施成为当务之急。

2 国外研究与应用现状

2.1 国外典型应用概述

在自动投饵装备的研制和使用方面, 国外如挪威、美国、加拿大、丹麦、日本、爱尔兰、德国、意大利、智利等国, 网箱养殖普遍使用自动投饵装备, 从饵料的运输、储存、输送以及投放都有精确的数量控制。值得一提的是, 早在 1986 年挪威就有将自动投饵系统和音响集鱼系统结合使用在鳕鱼幼鱼养殖上的生产实践^[13]。

国外深水网箱养殖一般是将自动投饵系统安装在海上工作平台上 (也有安装在工作船上的, 若网箱离岸较近也可将投饵系统安装在陆地上), 再由海上工作平台布置 PVC 管道到各网箱。只要在投饵机的控制器 (一般为 PLC) 或连接控制器的电脑上设置好投喂参数就可自动工作, 整个操作过程自动化程度相当高。

加拿大 Feeding Systems 公司成功研制了适用于大网箱、陆基养殖工厂和鱼苗孵化场的自动投饵系统, 并为各种不同的养殖对象 (如虾类、鳕、虹鳟、比目鱼、罗非鱼和鲈鱼等) 分别开发出了不同的投饵控制软件。在自动投饵机和专用软件的配合下很好地提高了饵料的利用率。

美国 ETI 公司生产的 FEEDMASTER 自动投饵系统在许多国家得到了推广使用。该系统的特点是对饲料颗粒基本没有机械损伤和热损伤, 且具有很高的投饵精确性、可靠性和很大的饲料储存容量。FEEDMASTER 自动投饵系统的投饵能力平均达到了 $100 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$, 最高可达 $250 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$ 。每套 FEEDMASTER 自动投饵系统可支持 24~60 个直径约为 10 cm 的饲料输送管道, 即一套自动投饵系统最高可为 60 个网箱供料, 当然也可以为一个超大型网箱提供 2 条以上的喂料管道。该投饵系统的自动控制系统是基于 PLC 的, 在 PLC 的基础上使用了 PC 做为与人机交流的媒介, 在 PC 上安装专业的投饵软件, 可在软件操作界面上直接设置投饵参数, 操作简便。每套系统可以附带 2 个以上的储料仓, 以便为不同的养殖对象供应不同的饵料。

意大利的浮式网箱养殖已于 20 世纪 90 年代基本采用了专门的自动投饵技术^[14]。意大利 Techno SEA 公司于 20 世纪 90 年代末研发出了沉式自动投饵机 Subfeeder-20。该机主要由 HDPE 制成。当升降式网箱或沉式网箱沉降到海面以下时该机仍可为网箱自动投饵, 实现了在恶劣的天气和海况条件下的自动投饵, 是一种全天候的自动投饵机。该机可以用各种类型和各种大小的饲料颗粒喂鱼, 能适用于不同品质的饲料。但该机体积较小, 单套的储料量仅为 20 kg, 若要在大型网箱上使用, 必须将单套的储料量设计得更大些, 或者将多套单机组合成系统。

2.2 FEEDMASTER 自动投饵系统

FEEDMASTER 自动投饵系统是专为深水网箱养殖设计的高精确性、高可靠性、大容量的自动投饵系统,是当前世界上深水网箱自动投饵系统工艺形式上使用得最多的模式之一。

FEEDMASTER 自动投饵系统由一个或者多个配有气密式旋转下料器的大型料仓、风机、分配器、基于 PLC 的控制系统和 PC 人机界面软件等组成。

(1) 料仓和气密式旋转下料器。料仓和气密式旋转下料器等一同组成储料系统。标准的料仓由 2 个耐腐蚀的大型筒仓组成,可分别装不同的饲料。气密性旋转下料器将料仓和输送气流隔离开来,同时起到了计量投饵量的作用。下料器有 6 或 8 个腔室,每个腔室体积一样,能储存等量的饲料。下料器由一个 0.56 kW 1 800 rpm 可变扭矩交流电动机或者直流电动机驱动。电动机通过一个蜗杆齿轮减速器减速为 18 rpm,且转速可以在 1 和 27 rpm 之间调节。操作者根据网箱大小和网箱内生物量的多少改变下料器转速,优化投喂到每个网箱(或鱼池)的饲料量。旋转下料器密封件设计得非常巧妙,让整个旋转阀芯可以在几分钟内就轻易拆除下来以便清洗。整个下料器的制造材料与饲料颗粒的粘合系数非常小,饲料颗粒不易黏附在下料器内。

(2) 风机。风机输出的空气流是饲料颗粒从筒仓输送到网箱的动力源。该系统使用了罗茨风机(positive displacement blower)而非再生式风机(风泵,regenerative blower)。相比于再生式风机,罗茨风机有它独特的优点,消耗的功率更小,输出的空气温度低、压力高,且其性能曲线更符合整套系统的工况要求。罗茨风机输出气体的温度大约只有再生式风机的一半,例如输出气体压力为 33 kPa 时,输出空气的温度分别约为 50 和 120℃。较低的空气温度不易软化聚乙烯材料制造的输送管道,使其使用寿命较长(50℃以上,聚乙烯管道的强度和耐磨性都将降低许多)。此外,较低的空气温度也不会使饲料颗粒软化,不会造成饲料中油分的挥发和饲料颗粒的破损。挥发出来的油分容易在输送管道的低凹处蓄积,以致堵塞管道。该风机较高的输出压力降低了油分挥发并堵塞管道的可能性,并实现了较长的饲料输送距离。

罗茨风机有电动和柴油机 2 种驱动方式。电动模式下,风机由一台 22 kW 1 800 rpm 电动机驱动。电动机配有电子调速单元,可以调节风机的速度,也可实现风机的软启动。柴油机直接驱动时,通过调节柴油机的速度即可调节风机的转速。柴油机可同时带动发电机为分配器和旋转下料器等电动机供电。

(3) 滑管式分配器。标准的分配器配备有一支进料管道和 24、36、48 或 60 支直径约 7.6 cm 的输出管道。该分配器是由 0.56 kW 1 800 rpm 的电动机通过蜗杆齿轮减速器

减速到 12 rpm 后驱动的。分配器的定位是通过一个安装在减速器输出轴上的传感器来实现的。使用传感器可以确保曲管端口与分配板上的孔洞(分配板上的孔洞连接着将饲料输送到各个网箱的输送管道)精确地对齐,误差小于 0.03 mm,并保证不让饲料颗粒受到挤压、切割而破碎。电动机的启动、调速、停止均是经矢量型变频调速驱动器(vector type variable frequency drive)实现的。这使得分配器的曲管可以快速地向选定的输出管道孔洞移动,并且在到达选定的位置之前就开始减速,方便最终的精确定位。

(4) 旋风撒料器。每根饲料输送管道的末端均配备有一个饲料撒布器。撒料器可以将饲料的抛洒面积占到大网箱(30 m×30 m 或者周长 130 m)水体表面积的 75%以上,并且可以根据网箱大小和现场风速、风向调整饲料抛洒面积。它的原理是,利用输送饲料的高速空气冲击一个设置在撒料器内的涡轮,涡轮带动抛洒盘达到 800 rpm 的速度,这个抛洒盘可以使饲料均匀地抛洒到半径高达 18 m 的圆周范围内。抛洒半径是可调的,通过调整风机的速度、饲料碰撞抛洒盘的位置和角度、以及撒料器距离水面的高度来实现。

(5) 控制系统。控制系统的核心部件是 PLC。操作者可以通过 PLC 上的屏幕控制整套投饵系统。但是,通过 PC 来实现人机交流更方便控制参数的读取、故障检修以及运行参数的调整。系统运行状况可以连续地在 PC 屏幕上直观地显示出来。显示的内容包括所有电动机的运行状态、分配器曲管的位置、选定的料仓、每个自动阀的阀位和发电机组的运行状况及其关键性参数。PC 控制系统时刻监视所有设备的运行状况,系统中任何部件一旦发生故障或有其它异常状况发生,控制系统可立即发出警报。控制系统能快速地将发生故障的部件识别出来,以便提高维修的速度,减少系统停工的时间。另外,操作者可以通过无线遥控器控制投饵系统。

电脑根据每个网箱中鱼、虾的数量、平均体重和实际水温,计算每个网箱需要的投饵量。操作者可以随时同时改变所有网箱的投饵量或者单独改变任一网箱的投饵量。电脑每天一次自动算出网箱中鱼或虾总的生长量,并且自动计算网箱中鱼或虾的平均体重。操作者可以将 1 d 分成多个时间周期,如设 8 h 为一个周期。可以在任何一个时间周期内,对所有网箱或者任何一个网箱投喂每天需求投喂的全部饲料量或者其中的一部分,即可以将每天需求的饲料量平均或非平均地分配到多个时间周期里投喂——因为养殖对象在 1 d 内的不同时间段对饲料的需求量往往是不同的。

3 国内研究与应用现状

目前,国内深水网箱养殖普遍使用小杂鱼或袋装颗粒

饲料,基本上还是人工搬运和投喂。国内池塘养殖使用一些小型的简易自动投饵机,但是这些机器完全不能满足深水网箱养殖等高密度、大容量养殖的使用要求。

大连水产学院曾于20世纪90年代初研制成功一种机械式对虾投饵装置^[15]。该装置是由柴油机带动开式叶轮水泵,水泵产生的高压水从贮饵装置中将饵料冲入管道再从喷嘴直接喷于水体中,达到投饵的目的。该装置构造简单,投饵能力低,无自动控制系统。

虞宗敢等^[16]应用气力输送工艺来代替人工投喂,并对气力输送系统的组成和布局进行了初步设计。该气力投喂系统输送距离为50 m,投喂能力为500 kg·h⁻¹。系统由控制设备子系统、送料设备子系统和输送设备子系统3个部分组成,可设计为自动或半自动控制。

宋协法和路士森^[17]研究了适用于深水网箱养殖和其它高密度养殖方式的投饵机。该机以汽油机水泵作为动力来源,水泵产生的高压水携带颗粒饲料与水的混合物通过管道向网箱中心上空抛洒以实现投喂。该机额定功率为4 kW,其饵料抛洒速度最高可达200 kg·h⁻¹。

除此之外,“十一五”期间国内已明显加强了自动投饵系统的研究,已有多家科研机构和企业共同针对适用于深水网箱养殖等高密度养殖场合的自动投饵技术与装备进行系统的设计、试验研究,相信实现深水网箱养殖自动投饵为期不远。

4 展望与建议

据近年的统计资料显示,鱼类和虾类养殖产量在中国水产养殖总产量中所占的比重正在逐年增大。此外,中国水产养殖所用的饲料正逐步从大量使用低值野杂鱼向人工配合饲料转变,水产养殖业对人工配合饲料的需求正在逐步增大。相对于水产养殖业发展的数量和规模,中国水产养殖配套设施的研发方面则相对滞后,机械化和自动化程度均较低,其中比较突出的是目前国内缺少与大型深水网箱养殖、高密度工厂化养殖、水库大水面网箱养殖和大面积池塘养殖等相配套的自动投饵装备和技术。饵料的投喂基本上还是养殖户根据个人经验进行的。因此,开展自动投饵装备和技术方面的研究,研制和生产符合中国国情的、操作相对简便且经济性较高的自动投饵装备和技术已成为当务之急。强化养殖配套设施研发、推广,改变养殖配套设施滞后制约养殖业发展的现状,提高养殖的自动化水平是今后水产养殖行业规模经营的发展趋势。

根据国内外技术发展现状、发展趋势以及产业应用需求分析,中国在开发自动投饵技术与装备方面应注意如下几个问题:

(1) 针对池塘养殖、网箱养殖和室内工厂化养殖模式自身的特点,区别设计出适合特定养殖模式的自动投饵系

统。

(2) 加强投饵程序和控制软件的开发,建立便捷的人机交流模式。

(3) 提高投饵智能化水平,结合各种监测、反馈设备(水下摄像机、传感器等),做到精确投饵,降低残饵量,减少饵料浪费。

(4) 深入研究影响网箱中养殖对象摄食的各方面因素(水文、天气、生理条件等),借助对各影响因素的监测,预先优化投饵程序。

参考文献:

- [1] GODDARD S. Feed management in intensive aquaculture [M]. New York: Chapman & Hall, 1996.
- [2] 谢信桐. 如何正确判定水产饲料的实际养殖效果 [J]. 科学养鱼, 2005 (7): 66.
- [3] 何志强. 水产饲料对水产养殖的影响 [J]. 北京水产, 2006 (3): 48-50.
- [4] 朱崇梅, 杨亚平. 水产养殖中如何提高饲料利用率 [J]. 河南水产, 2003 (1): 35-36.
- [5] CHO C Y, HYNES J D, WOOD K R, et al. Development of high-nutrient-dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches [J]. Aquac, 1994, 124 (4): 293-305.
- [6] 胡圣峰. 浅析影响饲料系数的因素 [J]. 渔业致富指南, 2002 (5): 53-54.
- [7] 冯辉. 水产饲料系数的测定和影响因素 [J]. 饲料研究, 2001 (3): 28-30.
- [8] 姜志强, 谭淑荣. 不同光照强度对花鲈幼鱼摄食的影响 [J]. 水产科学, 2002, 21 (3): 4-5.
- [9] 姚雪梅, 王红勇, 邢少雷, 等. 不同水温和水质理化因子对糙海参摄食、生长影响研究 [J]. 水产科学, 2007, 26 (5): 292-295.
- [10] ALANARA A. The use of self-feeders in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) production [J]. Aquac, 1996, 145 (1): 1-20.
- [11] CHO C Y, DOMINIQUE P. Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feeds and feeding [J]. Prog Fish-Cult, 1997, 59 (2): 155-160.
- [12] FERNO A, HUSE I, JUELL J E, et al. Vertical distribution of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in net pens: trade-off between surface light avoidance and food attraction [J]. Aquac, 1995, 132 (3): 285-296.
- [13] QIESTAD V, PEDERSEN T, FOLKVORD A, et al. Automatic feeding and harvesting of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in a pond [J]. Modeling, Identification and Control, 1987, 8 (1): 39-46.
- [14] 姚维志. 意大利试验沉式自动投饵机 [J]. 进展, 2000 (2): 47.

- [15] 何宝快. 对虾养殖投饵装置的研制 [J]. 水产科学, 1990, 9 (2): 21-24.
- [16] 虞宗敢, 高翔, 虞宗勇. 气力投饲系统的研制 [J]. 渔业现代化, 2006 (2): 45-46.
- [17] 宋协法, 路士森. 深水网箱投饵机设计与试验研究 [J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 36 (3): 405-409.

《中国人工鱼礁的理论与实践》征订启事

该书作者以亲身的经历和体会为主线, 并借鉴国外人工鱼礁建设的成功经验, 系统地介绍了我国人工鱼礁建设的基本理论及实践经验。全书共分9章, 第1章介绍了人工鱼礁的历史和发展概况; 第2~7章叙述了开展人工鱼礁建设工作所涉及的一些基本知识和做法, 包括人工鱼礁的类型、机能、设计、选址、投放、调查评估和经营管理等; 第8章总结了我国早期人工鱼礁建设的一些经验教训, 并提出一些参考性建议; 第9章基于人工鱼礁的作用和发展趋势, 对我国人工鱼礁建设的前景作了展望, 并提出今后的一些研究课题。

该书由广东科技出版社出版, 16开精装本, 共210页, 单价78.00元。欲购买者, 请与中国水产科学研究院南海水产研究所杨吝联系。

地址: 广州市新港西路231号南海水产研究所渔业工程研究室

邮编: 510300

联系电话: 020-89108330; 13660799898

电子邮箱: scsfish@21cn.com