

物联网技术在海带育苗过程中的应用研究进展

王海默, 于航, 朱绍彰, 张启宇, 刘峰, 王承国

(中国农业大学烟台研究院, 山东烟台 264670)

摘要: 海带(*Laminaria japonica*)是一种多年生大型食用藻类,育苗是海带养殖的基础环节。物联网技术与海带育苗生产融合是海带养殖育苗产业转型升级的必然选择。本研究基于相关的研究成果,从物联网技术的概念、关键技术入手,阐述了农业物联网的发展现状和海带育苗监测系统的典型架构,总结了近年来物联网技术在海带育苗过程中的应用研究。基于对现存相关问题的讨论与分析,提出提高海带育苗车间的信息化水平、加强相关技术和软硬件设施的研发能力并加大政府的引导与推动作用的对策建议,以期为海带育苗智能化生产模式的发展提供参考。

关键词: 物联网技术;海带;育苗;监测;产业转型升级

中图分类号:S951.2

文献标志码:A

论文编号:cjas2021-0081

Research Advances on the Application of the Internet of Things Technology in Kelp Seedling Cultivation

WANG Haimo, YU Hang, ZHU Shaozhang, ZHANG Qiyu, LIU Feng, WANG Chengguo

(Yantai Institute of China Agricultural University, Yantai 264670, Shandong, China)

Abstract: Kelp (*Laminaria japonica*) is a large perennial edible algae variety, and the cultivation of its seedlings is the basic step in kelp production. It is an inevitable choice to achieve the transformation and upgrading of kelp seedling cultivation by combining it with the Internet of Things (IoT) technology. Based on related research results, the concept and key technologies of the IoT technology are described to elaborate the development status of agricultural IoT and the typical framework of kelp seedling cultivation monitoring system, and the application of the IoT technology in the process of kelp seedling cultivation of the past few years are summarized. Based on the discussion and analysis of the existing problems, the countermeasures are put forward, such as improving the informatization level of kelp seedling industry, reinforcing the research and development ability of related technologies and hardware and software facilities, and strengthening the guiding and promoting role of the government, which can provide reference for the development of intelligent production mode of kelp seedling.

Keywords: Internet of Things Technology; Kelp; Seedling Cultivation; Monitoring; Industrial Transformation and Upgrading

0 引言

海带(*Laminaria japonica*)是一种常见的大型经济海藻,在中国海水养殖业中具有非常重要的地位^[1]。

近年来,海带养殖技术快速发展,其产量大幅增加^[2],2020年中国海带养殖总产量达162万t^[3]。中国海带育苗技术的系统性研究自20世纪50年代开始^[4],现工厂

基金项目: 山东省海洋与渔业科技创新计划项目“海带苗种培育信息化关键技术研究与应用示范”(2018-047);烟台市校地融合发展项目“黄渤海数字渔业创新平台”(2020XDRHXMPT10);中国农业大学URP项目“物联网技术在海带育苗过程中的应用研究进展”(U20192007);中国农业大学烟台研究院校内科研基金项目“基于物联网的海带苗种培育监测系统的设计与研究”(YT201805)。

第一作者简介: 王海默,女,2000年出生,山东济南人,在读本科生,研究方向为水产养殖学。通信地址:264670 山东省烟台市高新区滨海中路2006号 中国农业大学烟台研究院,E-mail:390179080@qq.com。

通讯作者: 王承国,男,1981年出生,山东烟台人,博士,副教授,研究方向为农业信息化技术。通信地址:264670 山东省烟台市高新区滨海中路2006号 中国农业大学烟台研究院,E-mail:wangcg@126.com。

收稿日期:2021-04-28,修回日期:2021-05-11。

化海带育苗主要采用3种方法:自然海区育苗法、人工室内育苗法(夏苗培育法)和克隆育苗法,其中,夏苗培育法在中国海带生产中的应用最为广泛^[5]。

在海带的育苗过程中,环境条件的控制是保障育苗成功的关键^[6],影响其生长的主要环境因素是温度、光照和营养盐^[7]。水质和光照会直接影响海带孢子囊群的形成和孢子囊的发育程度,决定海带幼苗的质量和成活率。目前,中国的海带育苗企业多采用人工监测环境指标的方法^[8],传统人工监测方法需要投入大量人力、物力,效率低且测量结果误差较大,而利用物联网技术可对海带育苗的环境条件进行实时的监控与管理,提供准确的数据,保证苗种正常生长。物联网技术现已逐步发展为推动海带养殖产业转型升级,提高其智能化发展水平的关键技术。

1 物联网的发展与应用现状

1.1 物联网的概念

物联网(Internet of Things, IoT)的概念于1999年由MIT的Auto-ID实验室提出。Auto-ID的概念是:以无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)和射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)为支撑,将互联网与信息传感设备连接起来,以实现智能化识别、定位与管理的功能^[9]。2005年,在突尼斯举行的信息社会世界峰会(World Summit on the Information Society, WSIS)上,国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)正式提出了“物联网”的概念^[10]。ITU在报告中指出,物联网可以实现人与物、物与物在任何时间、任何地点的信息交换。

目前,公认的物联网概念是以标准的通信协议为基础,将信息传感设备与互联网连接起来,进行信息交换和通信的智能网络^[11],是互联网向物体的拓展与延伸。

1.2 物联网的关键技术

1.2.1 射频识别技术 射频识别技术(RFID)是利用无线电信号获取物体的物理信息,经加工后传输到处理器进行数据处理,以完成对物体的身份验证和信息获取的一种农业物联网规模化识别的主要技术^[12-13]。

1.2.2 传感器技术 传感器可以对化学信号、电信号、生物信号等其他形式的多种信号进行观察或测量,适用于工业、农业、军事等多个领域。农业中所用的传感器主要有3类:物性型传感器、生物传感器、微机电传感器^[14]。

1.2.3 信息传输技术 信息传输技术是物联网中传递信息的渠道。农业物联网中常用的是无线局域网技术,包括ZigBee、蓝牙、Wi-Fi等,其通讯距离较短^[15],适合

作为前端无线传感器的组网形式,其中ZigBee以其低功耗、低成本的特点应用最普遍。

1.2.4 信息处理技术 农业物联网包含若干个节点,节点和数据的多样性使数据处理较为复杂。信息处理技术可以从大量数据中提取出有效的内容,获得与目标事物相关的信息^[16]。农业大数据的主要处理技术是Map Reduce编程模型与Hadoop架构(分布式系统基础架构)^[17]。

1.3 农业物联网技术的发展状况

农业物联网技术是通过智能监控、数据采集、远程传输、智能分析和自动化控制等物联网技术对农业生产过程进行监控与管理,使农业生产在适宜生态条件下进行的一项技术。农业物联网技术广泛应用于种植业、畜牧业、渔业,实现了对农业环境^[18-19]、资源^[20]、生产过程^[21-22]、农产品流通与质量监管^[23-27]等环节信息的获取与共享。近年来,水产养殖物联网步入了快速发展期^[28],其应用主要体现在养殖水环境监控与区域管理^[29-33]、养殖动物饲喂^[34-36]与生长状况管控^[37]、水产品加工、水产品质量监管与溯源^[38]等方面。物联网技术的应用满足了中国现代农业发展的内在需求,促使中国农业向高产、高效、优质和安全的方向发展^[39]。

2 物联网技术在海带育苗过程中的应用

在海带育苗过程中应用最为广泛的是物联网感知技术,是利用传感设备监测温度、溶解氧、pH、氨氮等水质参数及光照等环境因子,以实现实时监控海带育苗环境的目的。

2.1 海带育苗环境监控系统结构

海带育苗环境监控系统的典型架构可分为3层:感应层、传输层、应用层^[40],如图1所示。

感应层利用溶解氧、pH、盐度、光照等环境因子的传感器及摄像头等感知设备对海带育苗车间的水质参数和光照参数进行监测。感应层是整个环境管理系统的关键部分,功能是采集“物”的相关信息^[41]。

传输层主要由以无线传感网络(WSN)为基础的网关节点构成,功能是将感应层获取的育苗车间环境因子数据按照通讯协议传输到远程控制中心。

应用层负责对数据进行融合,为用户提供环境参数监测数据、数据分析、历史记录查询、预测预警等,允许用户利用远程移动客户端对海带育苗设施进行控制。

2.2 物联网技术在海带育苗水质监测中的应用

水质监测系统的技术流程是:将水温、盐度、pH等传感器采集的信息通过无线通信的方式上报至网关节点,经网关节点对得到的信息进行融合处理后,利用无线通信网络将数据上报至远程服务器,育苗技术人员

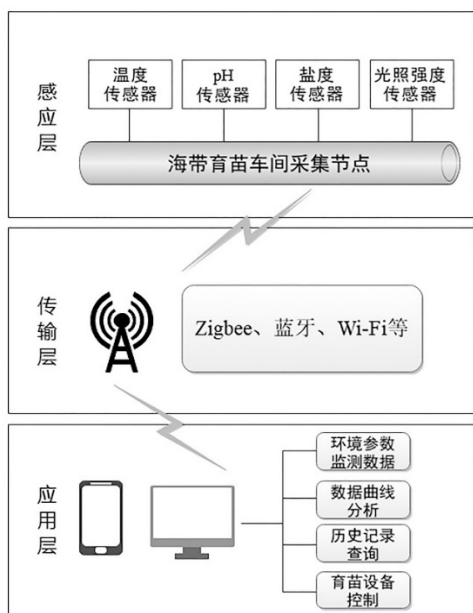


图1 海带育苗环境监控系统典型架构图

使用客户端的服务器精准掌握海带育苗过程中的各项环境参数^[42]。

栾培贤等^[43]设计的水质环境参数监测系统采用数据信息层、业务处理层和功能表示层三层架构的B/S(浏览器/服务器)模式,数据信息层中的感知数据库、专家知识数据库、池塘影像数据库经过业务处理层的处理后,在功能表示层以文字、图标、视频等形式交互,允许用户使用手机或网页进行环境数据的监控和设备的远程控制。

华芳芳等^[44]利用网际组态软件Web Access设计了一种物联网水产养殖环境监控系统,用户可通过Web浏览器查看水质的实时相关参数、控制设备,或者远程连线专业人员解决实际生产问题。李新成等^[45]设计了一种融合水质传感监测、无线网络及云计算等物联网技术的水质管控系统,该系统利用手机模块将水质传感器测得的水体环境参数实时上传至上位机进行相关处理,向用户提供实时监控数据与追溯过往数据的功能;上位机根据生产需要,自动对比环境因子监测数据与App设定的环境因子范围,进行遥控增氧、自动投饵、开启水泵等操作。Huan J等^[46]开发了一种基于窄带物联网(Narrow Band Internet of Things, NB-IoT)技术的水质监测系统,负责多个传感器信息的远程采集和数据储存,以NB-IoT为代表的低功耗广域网(Low Power Wide Area Network, LPWAN)相对于3G、4G等传统的无线通信技术具有低能耗、续航时间长、网络覆盖范围大的优点^[42]。毛力等^[47]设计的水质监测系统引

入了信息融合和数据挖掘等技术,对养殖池塘进行智能控制和集中管理。

2.3 物联网技术在海带育苗水质预测中的应用

在实际海带育苗生产中,水质参数具有随机性、非线性变化、特征复杂且相互影响的特点,预测的难度较大^[37]。刘双印^[48]设计了最小二乘法支持向量回归机(Support Vector Regression, SVR)的水质预测方法,降低了运行时间(2.3464 s)和均方根误差MSE(67.9%),将5个核心预警指标的预警准确度均提高至91%以上。笄英云^[49]采用支持向量机水质预测模型,有效解决了传统的人工神经网络算法网络结构不稳定、推广能力差的缺点。孟连子^[50]结合支持向量回归机和网络搜索法,寻找最佳分类参数,对不同程度的水质污染情况的预警精度在92%以上。

尽管近几年来水质环境预测已成为智慧水产养殖领域的一个研究热点,但这类模型大多只能在实验室条件下进行,在实际海带育苗生产过程中的应用较少,仍需结合实际情况进一步探索。

2.4 物联网技术在海带育苗光照强度监测中的应用

目前,中国对海带育苗过程中光照强度的监测工作普遍由人工完成。穆元杰等^[8]设计的一套海带育苗光照强度监测系统,有效解决了海带育苗过程中传统光照强度监测方法非实时性、准确度低的问题。该系统架构包括:信息感知层、数据传输层和系统应用层。信息感知层的光照强度采集节点具有准确采集光照,将光信号转化成电信号,将电信号转化成光照强度的具体数值并将其传输到下一层次的功能。数据传输层由网关节点组成,负责收集采集节点的信号,通过以太网或分组无线服务技术(General Packet Radio Service, GPRS)将信号解析并传递至应用平台,用户在监测平台上完成实时监测数据、远程控制数据上传频率、添加或删除光强采集节点的功能。

杜兴林等^[51]设计的海带育苗光照强度监测系统,其通信方式包括Wi-Fi通信、无线局域网、互联网通信方式。该系统为三层架构体系,将太阳能气象站和光照强度传感器获得的数据信息在采集节点的处理中降噪之后汇集到网关节点,最终传输到自行设计的移动终端App中,提供便捷、高效、同步监测光照强度的功能。于宵汉^[52]将海带育苗水质监测模块与光照强度监测模块结合,设计了一种B/S架构下基于Web的海带育苗环境综合监测系统。尚明华等^[53]设计了一种海带育苗光照监测与报警装置,实现当光照强度超过限定范围时自动报警的功能。

表1列举了上述几种有代表性的海带育苗环境监

表1 海带育苗环境监控系统的对比

文献	通信方式	测试结果	应用层设计	优点
栾培贤 ^[43]	GPRS/3G/4G	-	B/S 架构在线水质监测系统	远程控制设备,性能稳定
华芳芳 ^[44]	GPRS	无线信号丢包率 <5/10000	基于 Web 的水质参数 监测系统	数据传输可靠
李新成 ^[45]	GPRS	测量误差在允许范围内	水质智能管控 App	操作简单、适应性较好
Huan J ^[46]	NB-IoT	温度 MRE:0.15% pH MRE:2.48%	IoT 水质监测平台	NB-IoT 技术稳定可靠,数据 获取便捷,响应及时
毛力 ^[47]	Zigbee/GPRS/3G	-	水质监控系统	信息融合技术改进,效率和精度较高
穆元杰 ^[8]	以太网或 GPRS	误差率≤2.0%	海带育苗光照监测平台	实际使用结果准确、性能稳定
杜兴林 ^[51]	Wi-Fi	误差率<2.0%	海带育苗光照监测 App	移动端 App 便于使用
于霄汉 ^[52]	Zigbee/GPRS/3G	-	B/S 架构下基于 Web 的 海带育苗环境监测系统	集水质监测功能与光照 监测功能于一体

控系统,对其通信方式、测试结果、应用层设计和优点进行了总结。

3 存在的问题

3.1 海带养殖育苗产业生产模式落后

现代化海带养殖育苗模式是物联网技术应用的基础^[54]。中国海带养殖业以小规模生产模式为主,仍处于粗放型生产阶段,组织化、机械化程度较低。海带育苗生产基地大多位于海边,位置偏远,供电及网络通信条件较差,难以满足以物联网技术为代表的新兴信息技术的应用条件。且中国能够兼顾物联网技术设备运营维护和育苗生产的专业技术人员很少,基层育苗工人普遍文化水平较低,多依靠经验完成生产工作,缺乏物联网专业知识,物联网技术的应用意识薄弱,一定程度上限制了现代化海带养殖模式的发展。

3.2 关键设施和技术的自主研发能力薄弱

中国物联网技术的研发能力与数据分析模型成熟度较低。尽管某些科研单位,如中国农业大学、中国农科院和国家农业信息化工程中心等已经开展物联网技术和设备的研究工作^[15],但物联网技术在海带育苗中的应用大多还处于试验阶段^[54],相关软硬件设施和育苗生产的融合度不高,传感器设备及相关应用软件的研发理念较为落后。且海带育苗环境较为复杂,对信息传感设备的性能和系统的稳定性要求较高,育苗企业所使用的传感器主要依赖于进口,核心设备的研发能力与发达国家仍有较大差距,难以达到海带养殖育苗产业转型升级的需求。

3.3 缺乏统一的行业标准及资金支持

物联网技术在中国的应用起步较晚,农业物联网行业缺乏统一的行业标准和对于物联网技术全面、规范的管理。海带育苗企业、相关科研单位的基础设施

无法兼容共享,只能在各自平台上自主进行物联网技术的应用研究,不利于物联网技术的产业化发展。且在物联网系统的设计中,由于开发者未能很好地兼顾效能和成本,且软件开发、运营和育苗车间传感器、监控设备等硬件设备的配置、维护等都需要消耗大量的资金,给企业和个人带来了巨大的经济负担。海带育苗企业大多不愿在未见效益的情况下投入大量资金,养殖成本的增加在一定程度上制约了物联网技术在海带育苗领域的推广。

4 对策建议

4.1 提升海带育苗车间的物联网信息化水平

全面提升海带育苗车间的物联网信息化水平,改善物联网技术的应用环境,是推动规模化、现代化、精准化海带养殖模式发展的必要支撑。针对中国海带育苗领域小规模经营的现状,应适当扩大海带育苗企业的生产规模,提高育苗车间的供电条件、扩大网络覆盖范围,加强信息化基础设施的建设,如配置环境参数监测设备、智能控制设备、监控设备等,并搭建数据监测平台,为物联网技术在海带养殖业中的应用创造良好的条件。

4.2 加强物联网技术和相关设施的自主研发能力

结合海带育苗生产的实际,加大物联网关键技术与设备的研发力度是物联网技术市场化发展的重要驱动力。重视基础技术的研究创新,研发高灵敏度、高稳定性、低功耗的国产化传感器。此外,将物联网技术与自动控制技术相结合,物联网系统可根据设定的环境参数阈值,结合当前参数的实时数据自动控制相关设备,以实现自动化培育生产。例如,当海带育苗车间的光照强度超出适宜范围时,系统自动控制打开遮光设备,使得光照强度保持在适合幼苗生长的区间内,以保

证其正常的生长发育。同时在海带育苗生产中增加环境指标采集节点的种类,如空气温度/湿度采集节点、二氧化碳浓度采集节点、氨气浓度采集节点等。多样的环境因子采集节点使系统能够更加全面地监测海带育苗车间内的各项环境参数,为养殖育苗企业提供稳定、可靠的监测数据,以供养殖者更加全面地掌握海带育苗车间的具体环境状况。同时,使用低功耗、大容量的LPWAN和5G等新一代通信技术并降低其使用成本,充分利用大数据分析、数据挖掘、人工智能等技术加强系统对重要环境参数的智能预判、预警能力,也是海带育苗物联网未来发展的趋势。

4.3 加大政府的引导与推动作用

物联网技术作为农业领域的高新技术,应用基础较为薄弱,且一次性投入成本较高。当前海带养殖育苗产业信息化程度低、产出效益不高、市场化运作不完善且养殖者薪资待遇较低,在此情况下政府应率先建立一批海带苗种培育的物联网示范工程,并给予试点企业资金补贴与技术支持,以推动信息化设备与海带育苗生产的结合。此外,中国农业物联网行业应用标准工作组应建立完善的物联网技术在海带育苗领域的应用标准,构建标准化、云计算化数据共享平台,以保障科研院所和海带育苗企业的研发团队能利用现有的生产信息和数据更加高效地开展相关研究工作,加快海带养殖规范化、精准化的进程。针对专业技术人才缺乏的问题,渔业部门可开展物联网专业知识培训,并牵头组织育苗企业或个体养殖户到示范基地交流学习。同时,在高校实施相关的培养方案,并对到基层就业的高校毕业生和其他有技术背景的高素质人才提供优良待遇与薪资补贴,以吸引更多人才,推动海带育苗物联网产业的发展。

参考文献

- [1] 李基磐. 中国海带养殖业回顾与展望[J]. 中国渔业经济, 2010, 28(1): 12-15.
- [2] 常宗瑜, 张扬, 郑中强, 等. 筏式养殖海带收获装置的发展现状[J]. 渔业现代化, 2018, 45(1): 40-48.
- [3] 农业部渔业渔政管理局. 2020中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [4] 李大鹏, 芦永红, 吴超元. 海带遗传育种及育苗生物技术历史及现状[J]. 生物学通报, 2002(8): 1-3.
- [5] 金振辉, 刘岩, 张静, 等. 中国海带养殖现状与发展趋势[J]. 海洋湖沼通报, 2009(1): 141-150.
- [6] 苏丽. 与海带品种培育相关的繁殖与栽培问题的研究[D]. 青岛: 中国科学院大学, 2018.
- [7] 蔡霞. 大型藻类对氮的吸收利用模型研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018.
- [8] 穆元杰, 欧阳美, 王富军, 等. 物联网技术在海带育苗光照强度监测中的应用[J]. 山东农业科学, 2016, 48(1): 134-137.
- [9] 孙其博, 刘杰, 黎彝, 等. 物联网: 概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 1-9.
- [10] International Telecommunication Union. Internet reports 2005: the internet of things[R]. Geneva: ITU, 2005.
- [11] 葛文杰, 赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 222-230, 277.
- [12] 薛亮, 黄新, 任超. 物联网技术在林业中的应用研究综述[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(11): 1-3, 7.
- [13] RUIZ Garcia, LUNADEI L. The role of RFID in agriculture: applications, limitations and challenges [J]. Computers and electronics in agriculture, 2011, 79(1): 42-50.
- [14] 李瑾, 郭美荣, 高亮亮. 农业物联网技术应用及创新发展策略[J]. 农业工程学报, 2015, 31(S2): 200-209.
- [15] 李道亮, 杨昊. 农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 1-20.
- [16] 刘强, 崔莉, 陈海明. 物联网关键技术与应用[J]. 计算机科学, 2010, 37(6): 1-4, 10.
- [17] 岳宇君, 岳雪峰, 仲云云. 农业物联网体系架构及关键技术研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(4): 79-87.
- [18] HAMRITA T K, HOFFACKER E C. Development of a 'smart' wireless soil monitoring sensor prototype using RFID technology [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2005, 21(1): 139-143.
- [19] 朱伟兴, 戴陈云, 黄鹏. 基于物联网的保育猪舍环境监控系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 177-182.
- [20] 阎晓军, 王维瑞, 梁建平. 北京市设施农业物联网应用模式构建[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 149-154.
- [21] BISHOP-Hurley G, SWAIN D, ANDERSON D M, et al. Virtual fencing applications: Implementing and testing an automate cattle control system [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 56(1): 14-22.
- [22] BOWMAN, KIM D. Longevity of Radiofrequency Identification Device Microchips in Citrus Trees [J]. Hort Science, 2010, 45(3): 451-452.
- [23] 杨信廷, 钱建平, 孙传恒, 等. 蔬菜安全生产管理及质量追溯系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2008(3): 162-166.
- [24] SPIESSLMAYR E, WENDL G, ZAHNER M, et al. Electronic identification (RFID technology) for improvement of trace ability of pigs and meat [J]. Precision livestock farming, 2005, 50: 339-345.
- [25] 柳平增, 王秀娟, 马鸿渐, 等. 生姜产业链物联网信息感知系统研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(12): 204-208, 197.
- [26] BERTINO E, CHOO K, GEORGAKOPOULOS D, et al. Internet of Things (IoT): Smart and Secure Service Delivery [J]. ACM Transactions on Internet Technology, 2016, 16(4): 1-7.
- [27] KAMILARIS A, PITSILLIDES A. Mobile Phone Computing and the Internet of Things: A Survey [J]. IEEE internet of things journal, 2016, 3(6): 885-898.
- [28] 李灯华, 李哲敏, 许世卫. 我国农业物联网产业化现状与对策[J]. 广东农业科学, 2015, 42(20): 149-157.
- [29] 颜波, 石平. 基于物联网的水产养殖智能化监控系统[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 259-265.

- [30] 张旭晖,时冬头,王欣欣,等.河蟹高温热害综合指数的构建及应用[J].中国农学通报,2015,31(2):118-130.
- [31] PARRA L, LLORET G, LLORET J, et al. Physical Sensors for Precision Aquaculture: A Review [J]. IEEE sensors journal, 2018, 18(10):3915-3923.
- [32] 尚明华,穆元杰,李翠洁,等.海产贝类养殖物联网平台光照强度采集器设计与实现[J].山东农业科学,2018,50(11):154-158.
- [33] GODFREY C, FARZANA P. Aquaculture monitoring and control systems for seaweed and fish farming [J]. World journal of agricultural research, 2014, 2(4):176-182.
- [34] 陈澜,杨信廷,孙传恒,等.基于自适应模糊神经网络的鱼类投喂预测方法研究[J].中国农业科技导报,2020,22(2):91-100.
- [35] 王志勇,冯书庆,林礼群,等.网箱养殖平台自动投饲系统设计与试验分析[J].渔业现代化,2020,47(5):52-58.
- [36] ATOUM Y, SRIVASTAVA S, LIU X. Automatic feeding control for dense aquaculture fish tanks [J]. IEEE signal processing letters, 2015, 22:1089-1093.
- [37] 李道亮,刘畅.人工智能在水产养殖中研究应用分析与未来展望[J].智慧农业(中英文),2020,2(3):1-20.
- [38] 杨信廷,孙传恒,钱建平,等.基于流程编码的水产养殖产品质量追溯系统的构建与实现[J].农业工程学报,2008(2):159-164.
- [39] 王笑娟,刘彩凤,谢虹,等.我国农业物联网发展现状·存在问题和对策[J].安徽农业科学,2017,45(1):215-217.
- [40] 李道亮.物联网与智慧农业[J].农业工程,2012,2(1):1-7.
- [41] 秦怀斌,李道亮,郭理.农业物联网的发展及关键技术应用进展[J].农机化研究,2014,36(4):246-248,252.
- [42] 尹宝全,曹闪闪,傅泽田,等.水产养殖水质检测与控制技术研究进展分析[J].农业机械学报,2019,50(2):1-13.
- [43] 栾培贤,王常安,闫学春,等.基于物联网的镜鲤池塘养殖环境监测系统[J].水产学杂志,2019,32(2):49-54.
- [44] 华芳芳,张伟,江莹旭,等.基于Web的水产养殖环境监控物联网系统[J].农业工程,2014,4(3):27-30.
- [45] 李新成,林德峰,王胜涛,等.基于物联网的水产养殖池塘智能管控系统设计[J].水产学杂志,2020,33(1):81-86.
- [46] HUAN J, LI H, WU F, et al. Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT [J]. Aquacultural engineering, 2020, 90(C).
- [47] 毛力,肖炜,杨弘.用信息融合技术改进水产养殖水质监控系统[J].水产学杂志,2015,28(2):55-58.
- [48] 刘双印.基于计算智能的水产养殖水质预测预警方法研究[D].北京:中国农业大学,2014.
- [49] 笪英云.基于机器学习理论的水质预测技术研究[D].金华:浙江师范大学,2015.
- [50] 孟连子.基于支持向量机的渔业养殖水质预测与预警[D].天津:天津理工大学,2018.
- [51] 杜兴林,刘春娥,张启宇,等.海带育苗过程光照强度监测系统的设计与实现[J].海洋科学,2020,44(5):115-122.
- [52] 于霄汉.海带养殖育苗监测系统的设计与实现[D].泰安:山东农业大学,2015.
- [53] 尚明华,秦磊磊,刘淑云,等.一种海带育苗光照监测与报警装置[P].中国专利,CN204143208U,2015-02-04.
- [54] 杨宁生,袁永明,孙英泽.物联网技术在我国水产养殖上的应用发展对策[J].中国工程科学,2016,18(3):57-61.