

南美白对虾池塘精准养殖系统研究与应用

马晓飞, 袁永明*, 张红燕, 沈楠楠

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏无锡 214081)

摘要 构建并集成完整的南美白对虾池塘精准养殖系统, 设计完善、可行的环境监测和环境传感器安装校正方案, 开展完整周期的养殖生产试验, 通过养殖环境监测数据、养殖设备精准控制记录以及养殖过程记录等数据处理和分析, 评价了南美白对虾池塘精准养殖系统的应用效果, 总结了该系统的应用中存在的问题。

关键词 南美白对虾; 池塘养殖; 精准养殖; 养殖试验; 精准控制

中图分类号 S966.12; TP273 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)16-0104-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.16.030



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research and Application of Pond Precision Culture System of *Penaeus vannamei*

MA Xiao-fei, YUAN Yong-ming, ZHANG Hong-yan et al (Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi, Jiangsu 214081)

Abstract This paper constructed and integrated the complete pond precision culture system of *P.vannamei*, and designed feasible environmental monitoring and environmental sensor installation and correction schemes, conducted full-cycle aquaculture production tests. Based on the processing analysis of aquaculture environmental monitoring data, precision control records of breeding equipment, and breeding process records, we evaluated the application effect of the pond precision culture system of *P.vannamei*, and summarized the existing problems in the application of the system.

Key words *Penaeus vannamei*; Pond culture; Precision culture; Culture experiment; Precise control

南美白对虾(*Penaeus vannamei* Boon)即凡纳滨对虾, 原产于中、南美洲太平洋沿岸的温暖水域, 与斑节对虾、中国对虾并列为世界三大养殖虾类, 因其具有成活率高、生长速度快、产量高等生物学特性, 且可在咸淡水等大范围盐度范围水域环境中生存等优势, 成为我国主要的养殖虾种, 并带来巨大的经济效益^[1]。近年来, 南美白对虾养殖业快速发展, 高密度集约化养殖比例迅速提高, 但高密度养殖对于养殖水体带来了更严重的环境压力。残饵及生物排泄物的增多会打破水体中氮、磷等营养元素的动态平衡, 导致 NH₃-N、NO₂-N 等毒害成分浓度升高^[2], 进而引起南美白对虾病害甚至导致死亡, 造成养殖户的经济损失, 并阻碍了南美白对虾养殖产业的健康发展^[3]。目前, 南美白对虾池塘养殖生产方式较为落后, 养殖过程主要依靠传统养殖经验进行水质、虾情判断。为保证养殖生产安全, 大多整夜开启增氧机增氧, 增加了养殖成本, 部分养殖户甚至高频率换水, 导致养殖水体动态平衡被破坏, 造成更加严重的经济损失。针对上述问题, 笔者设计并集成安装适用于南美白对虾池塘养殖的池塘精准养殖系统, 通过开展完整周期的南美白对虾池塘养殖试验进行系统应用试验和效果评价。

1 池塘精准养殖系统

池塘精准养殖系统主要由养殖环境监测模块、精准控制模块、专家系统模块以及人机交互模块组成, 各功能模块之间通过混合组网实现通信和数据传递。通过系统软硬件设

备设施的集成, 系统能够完成和实现养殖环境监测、养殖精准控制、养殖方案更新、养殖现场查看等主要功能。系统结构如图 1 所示。

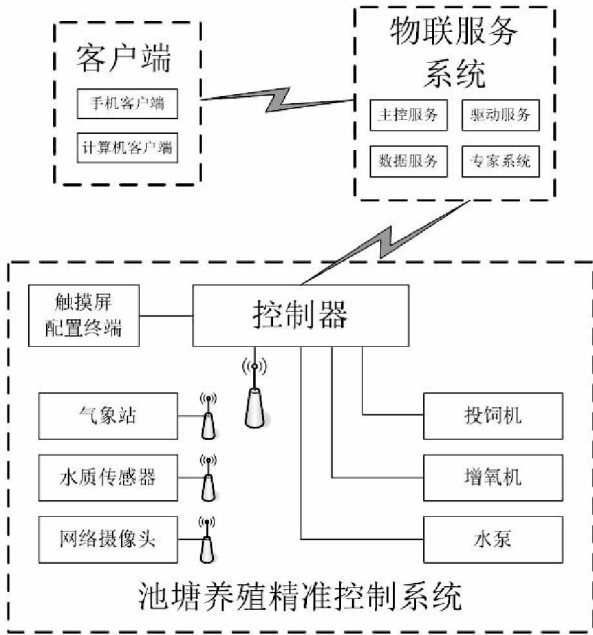


图 1 系统结构

Fig.1 The structure of the system

用户将养殖基本信息(如池塘面积、水深、连续养殖年限、养殖对象、规格等)输入系统物联服务系统, 系统会根据控制器上传的实时环境监测数据(气象、水质等)调用水产专家系统^[4]的智能算法进行数据处理和分析, 智能判断养殖状况并生成较适宜的养殖方案。系统首次运行时, 用户可以使用远程配置程序或现场配置终端将养殖方案配置到控制器;

基金项目 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心基本科研业务费专项(2017JBFM06); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项(2017HY-ZD0904)。

作者简介 马晓飞(1989—), 男, 山东阳信人, 助理研究员, 硕士, 从事渔业经济与信息技术研究。*通信作者, 研究员, 硕士生导师, 从事渔业经济与信息技术研究。

收稿日期 2018-12-14

养殖过程中,控制器实时采集养殖环境参数并上传至物联服务系统,同时根据环境数据和已下载的养殖方案进行精准控制。物联服务系统将控制器上传的数据进行智能分析和处理,通过专家系统判断当前养殖环境状况的一般性。对于异常状况,及时生成控制处理方案,通过控制器及时处理异常状况;对于非异常状况,则智能生成下一阶段的养殖控制方案,并将新方案同现有方案进行差异化比对后下载更新到控制器。控制器下载配置完养殖控制方案后可以独立运行,对养殖过程进行精准控制。系统运行流程如图 2 所示。

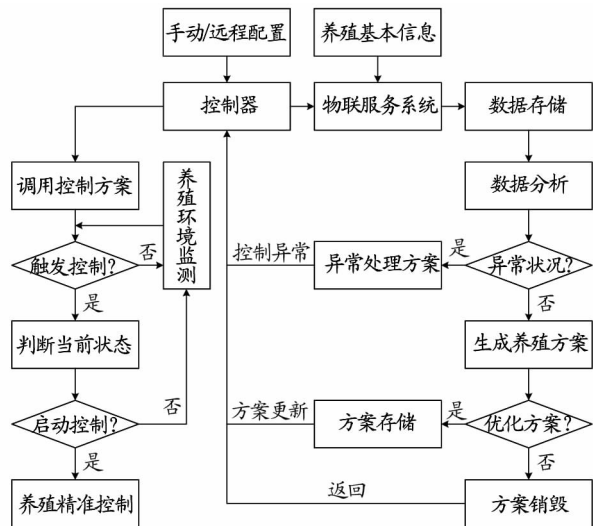


图 2 系统工作流程

Fig.2 The work flow of the system

2 试验设计与系统集成

2.1 试验设计 选择南美白对虾池塘养殖开展池塘养殖自动控制系统应用试验。试验地点为江苏省常熟市。试验时间为 2017 年 9 月 27 日至 10 月 3 日。池塘长、宽、深分别为 140、50、2.5 m。养殖对象为南美白对虾,规格约 60 尾/kg。

气象环境监测方案:实时监测气温、湿度、大气压力、风速、总辐射量、光和有效辐射量等气象数据;控制器采集频率 5 s/次,服务器采集频率 1 min/次,数据库存储频率 10 min/次。

水质环境监测方案:实时监测水温、pH、溶解氧、溶氧相对饱和度、氧分压等水质参数^[5-7];控制器采集频率 5 s/次,服务器采集频率 1 min/次,数据库存储频率 10 min/次。

传感器校正方案:使用传感器自带校正软件进行传感器校正;pH 传感器在 pH 分别为 4 和 7 的标准液中分别进行校正;光学溶解氧传感器使用两点校正法^[8],分别在溶解氧饱和环境及零氧环境下校正。

自动养殖设备:叶轮式增氧机,功率 3 kW,交流电电压 380 V,3 台;水车式增氧机,功率 3 kW,交流电电压 380 V,2 台。

应急增氧控制方案:溶解氧浓度小于 4.0 mg/L 时启动增氧机,增氧至溶解氧浓度大于等于 5.5 mg/L 时停止增氧机,完成应急增氧控制。

调水控制方案:表层水体溶解氧相对饱和度大于等于

130%时启动增氧机搅水,溶解氧相对饱和度小于 105%时停止增氧机,完成调水控制。

变频搅水控制方案:溶解氧浓度区间为 4.0~6.5 mg/L,7 档水流搅动速度(25~50 Hz),溶解氧浓度大于 6.5 mg/L 时以最低运行频率(25 Hz)搅动水流;当溶解氧浓度低于 4.0 mg/L 时,全速搅水并应急增氧。

应用对照试验方案:对照组养殖环境与试验池塘相同,养殖控制由工人根据养殖经验完成并记录启动/停止增氧机时间、投饲情况等养殖数据,完成对照试验。

2.2 系统集成

2.2.1 网络拓扑.控制器与传感器、控制器与服务器之间的互联互通需要借助通信模块实现,系统选用 ZigBee 通信方式实现传感器与控制器自组网和数据通信;使用 TCP/IP-RS485 转换器实现控制器的网络接入和数据通信,在不具备宽带上网条件的野外池塘通过 GPRS/WCDMA/LTE 等支持 2G/3G/4G 数据传输的通信模块实现控制器同服务器的数据通信^[9-10]。系统网络拓扑结构如图 3 所示。

2.2.2 设备安装.3 台叶轮式增氧机^[11]采用绳索固定安装于池塘中央位置并等距分布,2 台水车式增氧机对角安装且水流方向相对,2 套水质监测浮筒安装于水车增氧机尾部同中心叶轮增氧机位于同一垂直线处,溶解氧传感器安装深度为 50 cm,pH 传感器的安装深度为 100 cm,气象站安装于池塘岸边。设备安装排布如图 4 所示。

3 应用效果分析

3.1 气象环境监测效果 应用试验过程中使用气象站传感器在线监测气象变化并存储数据,同时根据天气预报人工记录试验过程中的气象状况。天气预报气象变化与气象环境监测数据见表 1。由表 1 可以看出,气象监测站实时监测的气象环境数据较为准确,与天气预报数据基本一致。阴雨天气时,空气湿度一般大于 85%,雨前及雨中大气压出现明显下降,人体感觉“闷”,雨后出现回升;总辐射量表明日出和日落的时间节点以及当天太阳辐射强度,10 月份日出时间约为 06:00—06:30,日落时间为 18:00—18:30,最高值一般出现在中午 11:30—12:00,阴雨天气太阳总辐射量明显减弱,日平均辐射量一般低于 150 W/m²。

在养殖自动控制过程中,天气变化会对水质环境产生影响,造成水体缺氧等异常现象;阴雨等天气会影响养殖对象摄食,对于投饲控制具有重要的参考价值。根据天气变化科学制定自动控制方案具有一定的意义和实际作用,能够有效减少饲料和能源的浪费,提高养殖安全性。

3.2 水质环境监测效果 应用试验过程中使用光学溶解氧传感器和 pH 传感器在线监测水质溶解氧、水温、pH 变化并存储数据。选取 2017 年 9 月 27 日至 9 月 29 日共计 3 d 的水质监测数据进行分析,水质变化曲线见图 5。

通过水质变化曲线(图 5)可以较为直观地观察出试验过程中养殖池塘溶解氧、水温、pH 参数的变化趋势,养殖水体 pH 较为稳定,pH 维持在 7.8~8.3,略偏碱性;由于进行自动增氧控制,水体溶解氧浓度保持在 3.5 mg/L 以上,增氧作

验进行投喂、增氧控制并记录,选取 2017 年 9 月 27 日至 9 月 29 日的养殖控制数据进行分析,结果见表 2。

表 1 试验过程天气预报与气象监测数据

日期 Date	天气预报数据 Weather forecast data			气象环境监测数据 Meteorological monitoring data				
	天气 Weather	气温 Air temp- erature//℃	风力 Wind power	气温 Air temp- erature//℃	气压 Air pressure hPa	湿度 Humidity %	风速 Wind speed m/s	总辐射量 Total radi- ation//W/m ²
09-27	晴转多云	20~28	≤3 级	23.40~27.86	101.25	66.22	1.72	417.92
09-28	多云转阵雨	22~27	3~4 级	19.50~27.50	101.35	70.91	2.47	388.66
09-29	阵雨	22~25	4~5 级	21.97~23.13	101.49	88.13	3.50	110.06
09-30	阵雨转中雨	19~28	3~4 级	23.24~28.18	101.06	85.05	1.61	258.94
10-01	阵雨转多云	14~22	4~5 级	17.80~24.91	101.18	73.35	3.29	154.48
10-02	晴转多云	14~24	≤3 级	14.79~23.13	101.69	63.90	1.07	441.68
10-03	多云	18~26	≤3 级	15.94~25.67	101.86	71.23	1.07	377.86

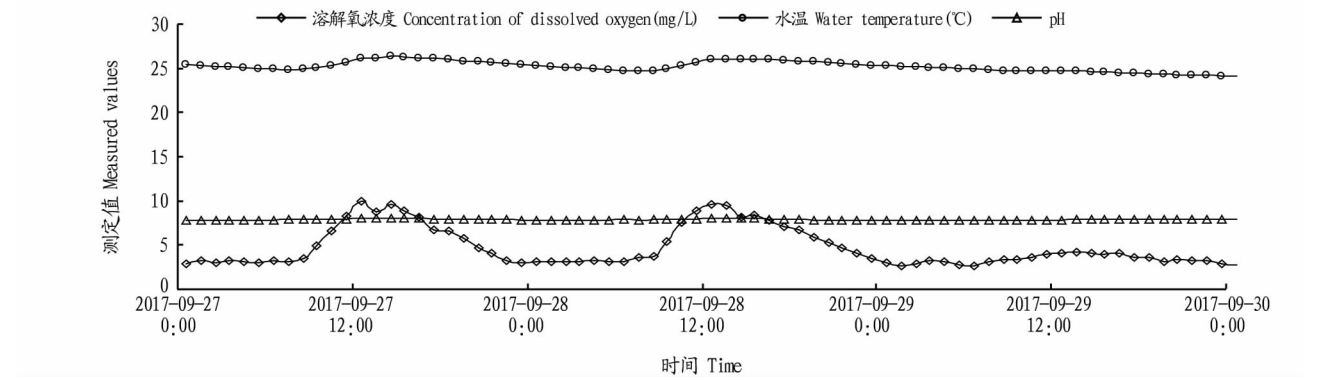


图 5 水质的变化曲线

Fig.5 The change curve of water quality

表 2 试验过程中养殖控制对比

池塘 Pond	09-27			
	增氧 Oxygen aeration	调水 Water transfer	总耗时 Total time//h	投饲 Feeding
试验池塘 Test pond	00:15—01:40、02:20—03:56、04:26—05:17、05:44—06:47、23:31—次日 00:34	14:36—15:40	7.0	3 次,定时定量
对照池塘 Control pond	00:00—02:00、03:00—07:30、22:00—24:00	13:00—13:30	8.5	3 次,定时定量
池塘 Pond	09-28			
	增氧 Oxygen aeration	调水 Water transfer	总耗时 Total time//h	投饲 Feeding
试验池塘 Test pond	00:42—01:04、01:58—02:48、04:06—04:53、05:55—06:53	13:10—13:37	4.5	3 次,定时定量
对照池塘 Control pond	00:00—02:00、03:00—07:30、22:00—24:00	无	8.0	3 次,定时定量
池塘 Pond	09-29			
	增氧 Oxygen aeration	调水 Water transfer	总耗时 Total time//h	投饲 Feeding
试验池塘 Test pond	01:44—03:57、06:08—08:06、19:56—20:52	无	5.2	1 次,定量
对照池塘 Control pond	00:00—07:30、19:00—22:00	无	10.5	无投喂

由表 2 可以看出,试验池塘增氧时间段与人工经验增氧时间段基本吻合,且自动增氧控制更加科学合理;采用自动控制的试验池塘增氧机使用时长明显少于人工经验控制的对照池塘,自动控制可以明显降低养殖电力消耗;在晴天中午进行有效的调水控制,能够明显改善水体质量,减缓池塘内溶解氧浓度的下降速度,进一步减少晚间增氧机的开机时

间,节约能源消耗;自动控制系统能够结合气象水质监测状况,合理规划投喂,做到阴雨天时少投喂或不投喂;使用养殖自动控制,控制操作有理有据,实现养殖过程全托管,有效节约了劳动力,可减少因养殖经验欠缺或其他劳动力主观因素而造成的养殖损失。

(下转第 137 页)

估指标、核算范围等仍需逐渐标准化,同时各类统计数据、森林二类调查数据等也需更加规范化和系统化,以使不同研究者、不同区域特别是小尺度区域的研究结果具有可比性。

3.3 不足之处 观山湖区属于县域尺度的行政区,与大尺度行政区域相比较,在数据的系统性和完整性上存在劣势,由于数据缺乏,特别是由于建区晚等客观原因,生物多样性价值、文化价值中的教育价值等部分关键生态系统服务价值在目前结果中未得到全面体现。此次研究只是做了一些探索性工作,在方法选择、指标选取、定量化评价、生态损益应用等方面还有待于进一步深入、完善。

参考文献

[1] DAILY G C, HAROLD A M, PAUL R E. Nature's services; Societal dependence on natural ecosystem[M]. Washington: Island Press, 1997: 1-28.

[2] Millennium Ecosystem Assessment; Biodiversity synthesis report [R]. Washington DC: World Resources Institute, 2005.

[3] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.

[4] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 等. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究[J]. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761.

[5] 马国霞, 於方, 王金南, 等. 中国 2015 年陆地生态系统生产总值核算研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(4): 1474-1482.

[6] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.

[7] 贵州德稻生态文明大数据中心有限公司. 德稻生态损益管理大数据平台科技项目咨询报告(编号: 2018017287)[R]. 上海: 中科院上海科技咨询查询中心报告, 2017.

[8] 贵阳市观山湖区地方志编纂委员会办公室《观山湖年鉴》编辑部. 观山湖年鉴 2016[M]. 贵州: 贵州出版集团贵州人民出版社, 2016: 68-80.

[9] 贵阳学习网. 观山湖区将建各类公园 33 个[EB/OL]. (2016-02-18) [2019-01-23]. <http://gyxxw.gygov.gov.cn/c6416/20160218/i1007725.html>.

[10] 刘世荣, 代力民, 温远光, 等. 面向生态系统服务的森林生态系统经营: 现状、挑战与展望[J]. 生态学报, 2015, 35(1): 1-9.

[11] 赵士洞, 张永民, 赖鹏飞. 千年生态系统评估报告集[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 55-57.

(上接第 107 页)

4 结论

南美白对虾池塘精准养殖系统能够实时监测气象、水质状况并对增氧机、水泵等养殖设备进行精准控制,能够有效保证养殖生产过程的顺利实施,提高传统养殖生产的智能化、信息化水平。通过养殖试验,精准养殖系统控制精准及时,能够部分替代传统经验养殖操作,保证了南美白对虾养殖过程的安全,但在南美白对虾池塘养殖精准投饲控制方面仍需要进行不断研究和改进,以适应南美白对虾养殖生产实际。

参考文献

[1] 李美林, 黄晓林, 陈琛, 等. 模拟阴天对南美白对虾养殖水体理化及其生长指标的影响[J]. 水生生物学报, 2017, 41(3): 523-529.

[2] 孙国铭, 汤建华, 仲霞铭. 氨氮和亚硝酸氮对南美白对虾的毒性研究

[12] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.

[13] 贵阳市观山湖区人民政府. 观山湖区跻身首批国家生态文明建设示范区[EB/OL]. (2017-09-21) [2019-01-23]. http://www.guanshanhu.gov.cn/xwzx/bmdt/201709/t20170921_1488182.html.

[14] 马鹏嫣, 王智超, 李晴, 等. 秦皇岛市北戴河区森林生态系统服务功能价值评估[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 286-292.

[15] 仲启铤, 张桂莲, 崔心红. 崇明三岛森林生态系统服务价值动态评估[J]. 中国城市林业, 2018, 16(4): 22-27.

[16] 付殿霞. 甘肃迭部县森林生态系统服务价值评估[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014: 11-25.

[17] 张乐勤, 许信旺, 荣慧芳, 等. 安徽省石台县森林生态系统服务价值研究[J]. 农业技术经济, 2010(11): 122-127.

[18] 王祖华, 蔡良良, 关庆伟, 等. 淳安县森林生态系统服务价值评估[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(5): 757-761.

[19] 周金明. 建阳市森林生态系统服务价值动态评估[J]. 福建林业科技, 2015, 42(1): 80-83.

[20] 尹飞. 遂昌县森林生态系统价值评估[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011: 1-28.

[21] 姜永华, 江洪. 森林生态系统服务价值的遥感估算: 以杭州市余杭区为例[J]. 测绘科学, 2009, 34(6): 155-158.

[22] 周聪轩. 平江县生态资产评估方法构建与应用[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016: 36-43.

[23] 黄江效, 上官卉彦, 吴一凡. 惠安县森林生态系统服务功能价值评估[J]. 江西农业学报, 2014, 26(1): 102-106.

[24] 陈清, 洪国斌, 傅松玲, 等. 绩溪县森林生态系统服务功能价值评估[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(4): 514-518.

[25] 文冰彬, 刘琪璟, 孟盛旺, 等. 景东县森林生态系统服务价值评估[J]. 林业调查规划, 2017, 42(2): 106-112, 116.

[26] 柴永煜. 青海省门源县森林生态系统服务功能价值评估[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2015, 33(1): 101-106.

[27] 游天根. 永定县森林生态系统服务功能价值评估[J]. 福建林业科技, 2011, 38(3): 121-126.

[28] 张旭峰, 袁红珊, 吴水荣, 等. 县域尺度森林生态系统服务价值评估实践探索: 以河南省西峡县为例[J]. 生态经济, 2017, 33(11): 158-161, 195.

[29] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.

[30] 王金南, 马国霞, 於方, 等. 2015 年中国经济-生态生产总值核算研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 1-7.

[J]. 水产养殖, 2002(1): 22-24.

[3] 李倩, 周志明, 杭小英, 等. 南美白对虾不同养殖密度水质变化规律与养殖效益的分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(2): 100-104.

[4] 张红燕, 袁永明, 马晓飞, 等. 池塘养殖自动控制系统研发[J]. 微型机与应用, 2017, 36(1): 99-102.

[5] 尚景玉, 唐玉宏. 溶解氧传感器研究进展[J]. 微纳电子技术, 2014, 51(3): 168-175.

[6] 曾文辉, 匡迎春, 欧明文, 等. 水产养殖水质监测温度补偿系统[J]. 中国农学通报, 2016, 32(11): 17-21.

[7] 陈瑶, 薛月菊, 陈联诚, 等. pH 传感器温度补偿模型研究[J]. 传感技术学报, 2012, 25(8): 1034-1038.

[8] 郑受辉, 潘建明, 杨俊毅, 等. 荧光猝灭法溶解氧传感器实验室校准方法研究[J]. 海洋技术学报, 2016, 35(1): 62-67.

[9] 马晓飞, 袁永明, 张红燕, 等. 基于 Modbus 的水产物联网设备驱动服务系统设计[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(10): 65-68, 72.

[10] SHAHIN FARAHANI. ZigBee Wireless Networks and Transceivers[M]. Burlington: Newnes, 2008.

[11] 谷坚, 顾海海, 门海, 等. 几种机械增氧方式在池塘养殖中的增氧性能比较[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 148-152.