

环境友好型的新型循环水养殖系统

莫伟, 罗国栋, 王慧*, 于兰萍*

山东农业大学动物科技学院, 山东 泰安
Email: bolilala_715@126.com, wanghui2328@sdau.edu.cn

收稿日期: 2021年5月28日; 录用日期: 2021年6月12日; 发布日期: 2021年6月24日

摘要

在“绿水青山就是金山银山”绿色发展理念的践行下, 中国的水产养殖业已经进入了崭新的发展时期, 绿色高效的养殖技术层出不穷。而新时代下绿色高效养殖技术的关键在于循环水处理技术。循环水处理大致分为物理处理、化学处理、生物处理。虽然每种处理方法各有千秋, 但是在整个循环水处理体系起着相辅相成的作用, 各式新型的养殖模式也逐步得到发展。新时代下的水产养殖应做到“顺天时, 量地利”, 顺应新时代的绿色发展, 因地制宜、取长补短, 应用合理的养殖模式, 寻求经济效益与绿色发展的最佳契合点, 才能真正做到“用力少, 成功多”。

关键词

新时代, 循环水处理, 绿色高效

Environmentally Friendly New Recirculating Aquaculture Systems

Wei Mo, Guodong Luo, Hui Wang*, Lanping Yu*

College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Taian Shandong
Email: bolilala_715@126.com, wanghui2328@sdau.edu.cn

Received: May 28th, 2021; accepted: Jun. 12th, 2021; published: Jun. 24th, 2021

Abstract

China's aquaculture industry has entered a new period of development under the practice of "Lu-

*通讯作者。

cid waters and lush mountains are invaluable assets”, and green and efficient aquaculture technologies have emerged in an endless stream. The key of green and efficient aquaculture technology in the new era lies in circulating water treatment technology. Recirculating water treatment is roughly divided into physical treatment, chemical treatment and biological treatment. Although each treatment method has its own advantages and disadvantages, it plays a complementary role in the whole circulating water treatment system, and various new breeding modes have been gradually developed. Aquaculture should achieve “favorable weather, favorable geographical conditions” with adapting to the green development of the new era, adapting to local conditions, taking advantage of strengths and avoiding weaknesses. We can truly achieve “less effort and more success” by applying reasonable breeding mode and seeking the best coincidence point between economic benefit and green development.

Keywords

New Era, Circulating Water Treatment, Green Efficiently

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国是世界上唯一一个水产养殖产量超过捕捞产量的渔业大国。从2016年起,我们国家现代渔业的发展以“提质增效、减量增收、绿色发展、富裕渔民”为总目标[1],采取了一系列方法和措施来推进渔业供给方面的结构性改革,为新时期的渔业养殖技术的发展和增收提供了动力。习总书记明确指出,“绿水青山就是金山银山”。随着我国特色社会主义的快速发展,我国在环保领域逐步予以重视[2]。在新时代绿色发展理念的倡导下,渔业发展只有不断地进行技术革新,秉承全新的绿色发展理念,才能在改革的激流中急流勇进,才能取得水产养殖行业发展与生态文明建设的双赢。

二十世纪八十年代,国内纷纷花巨资引进国外的工厂化循环水养殖设施和技术[3]。随着我国经济的快速发展,工业化养殖发展开始萌芽,温室大棚+深井海水工厂化流水模式的出现,迫使养殖水体净化技术更新换代[4]。目前,我国循环水养殖主要是正在逐步兴起的淡水工厂化循环水养殖,市场份额占据越来越大。大力发展循环水养殖技术,推进渔业科技发展,是水产养殖业供给侧结构性改革的重要环节[5],也是持续推动我国水产养殖行业高效绿色发展的关键。李东宇等对亚洲龙鱼进行工厂化循环水集约化养殖,对金龙鱼可能的饲养方式、水质调节、疾病防控、日常管理等技术要点进行总结,为今后亚洲龙鱼的工厂化、大规模养殖生产提供技术参考[6]。中国水产养殖已进入4.0时代[7],绿色发展理念也逐渐备受大家的关注,我国循环水养殖技术将不断更新与完善。

国外的循环水养殖技术经过多年的试验及改进,目前已基本趋于完善。超过10%的丹麦鲑鱼养殖企业,采用新型的循环水养殖技术提高了企业的市场竞争力[8]。日本的鳗鱼养殖、生物包静水、欧洲组装式多级静水系统的应用及澳大利亚一体化循环式工厂化养鱼模式等作为国外循环式水产养殖的代表,促进了循环式工厂化生产模式的快速发展,也增加了循环水养殖模式在水产养殖业中的比重。随着各种高新科技的发展,国外一些先进的水产养殖企业正在向全程智能化、自动化方向快速发展,助推了新一代工厂化养殖模式的向好型发展[3]。

新时代下绿色高效养殖技术的关键在于循环水处理技术。大力发展与推广以循环水为核心内容的水

产养殖新技术,可以加快传统水产养殖模式向绿色高效、低碳环保的新型可持续渔业养殖模式的转变。

2. 循环水养殖系统

近几年,循环水养殖系统(recirculating aquaculture system, RAS)受到大家的关注。RAS 是当今世界水产养殖系列模式中可达技术精准化、养殖水环境高度可控的一种先进模式[9]。运用多样的处理水组件对水产养殖产生的废水进行多重处理与检测,以达到回收利、循环使用的目的。RAS 可以摆脱气候、水源、光照等诸多自然资源条件的限制,人为的对养殖鱼类的生活环境进行控制,使其在最适水温、最佳水质、最优光照、最合适溶氧的生活环境下生长,为养殖的高产出、高品质打下坚实的基础。

3. 循环水的处理方法

3.1. 固体颗粒物质的清除

养殖尾水的颗粒性杂质可分为沉降固体、悬浮固体、微细或可溶固体三类。可沉降性的固体可经过物理或化学方法的处理而沉降,后经由养殖池排污系统快速排出。悬浮类固体不容易沉淀,主要通过过滤器过滤的方法清除,常用的过滤设备与方法主要有:转鼓式过滤器过滤、转盘式过滤器过滤、可扩展粒质过滤器过滤、倾斜筛过滤器过滤等。细微固体杂质的清除,目前循环水处理体系最常使用的方法是气浮处理,主要原理是向养殖水体中注入大量细小气泡,使其附着在养殖尾水中细小的固体杂质上,最终形成密度小于水的颗粒,包裹住气泡,漂浮在水面上,从而实现固液分离的净水方法。细微颗粒物的泡沫分离去除对稳定水质和提高养殖效益具有重要作用[10]。目前养殖循环水处理常用的方法有射流式泡沫分离器处理与叶轮气浮装置处理等。

3.2. 新型微生物处理

生物絮团技术是利用微生物调控水质的新型养殖模式[11]。向养殖水体添加合适的碳源以调节水体的碳氮比来促进养殖水体里硝化细菌等微生物的快速繁殖,形成的生物絮团能直接被养殖动物摄食,是一项能净化水质、提供饵料、降低换水量的技术[12]。目前常被用于对虾养殖领域。生物絮团技术有望成为一种新的对抗水产养殖病原菌的有效方法[13]。

3.3. 消毒

循环水消毒常见方法有:含氯消毒剂消毒、臭氧消毒、紫外线消毒等。含氯消毒剂常用的是二氧化氯,具有杀菌效果好、少残留等优势,已被广泛应用于多个行业的水处理中。但由于其具有强氧化性,在养殖水体中使用可能对养殖品种带来伤害,为养殖带来较大风险和不确定性,因此,在循环水养殖系统中使用二氧化氯消毒水体的影响大小仍需试验确定[14]。

臭氧消毒可以有效去除养殖废水的固体杂质,进行较彻底的杀菌消毒,对循环水养殖的水质进行良好的净化。臭氧具有较好的杀灭细菌的作用,对去除系统总悬浮物、总氨氮和亚硝酸盐氮的效果良好[15]。

紫外线具有杀菌率高、杀毒快、不会产生二次污染、维护成本低等许多优点,在养殖循环水水处理中的应用极为广泛。

3.4. 生物滤池

所有对养殖用水的过滤处理中,生物过滤是关键,指的是在滤池中投放滤料,利用微生物在生物滤料上附着且快速繁殖形成生物膜,达到对养殖尾水中残留有机物、氨氮的处理,其处理效果的好坏取决于滤料上生物膜的附着量和活性[16],故在实际生产中如何选择最好的滤料显得非常重要。生物滤膜成长过程中作用主要依据微生物的生长速度来比较,其中硝化细菌的成功建立是必要的。一般表面积越大、

越易附着的滤料，在生物膜处理中效果越好。常见的生物滤料种类有无机生物滤料、有机高分子生物滤料和天然生物滤料。

4. 循环水处理的应用

随着养殖理念的更新与技术的发展，我国的循环水处理技术已在多种养殖模式中得到广泛应用。如：

4.1. 池塘循环水养殖系统

池塘循环水养殖(如图 1(a))模式是我国自美国大豆协会引进的一种全新的池塘养殖模式，与原位、异位修复技术相结合，具有绿色、高效的特点，在国外实际养殖中取得了相当不错的效果[17]。该模式是水产养殖与传统池塘养殖技术的有机结合，通过对养殖池推水通风装置的建设，使原有的静态池与推气系统共同作用，形成动态循环水养殖系统。该系统以“大面积净水，小面积养鱼”为特色，资源节约、环境友好，兼顾经济效益与社会效益[18]。

该池塘循环水养殖系统主要由流水养殖区(如图 1(b))与水质净化区两大部分组成。池塘里选择好的位置建造 2%面积左右的小养殖池，在小养殖池里对主要养殖品种进行高密度的“圈养”，养殖产生的尾水及鱼类的代谢废物均集中排放在养殖池内。利用整个养殖体系处于流水状态的特性，槽内利用推水设备(如图 1(c))借助水流推力将养殖动物的代谢废弃物连同剩余的饵料一起冲上养殖池的末端，通过废弃物回收池对其进行收集和综合处理。实现了鱼类的高密度圈养和养殖排泄物的集中排放，避免了原散养过程中残留饵料和排泄物的不断积累。约 80%的池塘区域作为水质净化区，用于饲养对水质净化有助的鱼类，也可以人工种养挺水植物，对水中的氮磷及时吸收利用，防止水体富营养化，必要时也需要对养殖池塘中的漂浮物和固体物进行及时清除。

循环水养殖池塘的面积通常大于 30 亩。本校教育基地东平湖的养殖池塘总面积约 60 亩，其中养殖水域面积约 1 亩(10 * 60 多 m²)，净水水域面积：50~60 亩。主要养殖品种是鲤鱼，净水区域辅助养殖花白鲢等。用推水增氧的方法，养殖用水循环利用进行高密度精养，一分(一个小养殖池)产量高达 10000 多斤，整个池塘总产量能达 10 万斤。池塘循环水养殖模式通过人工构建一个小的、有一定自净能力的生态系统，做到养殖废水“零排放”，废弃物循环综合利用[19]，真正的实现了新时代下水产养殖业的绿色高效发展。

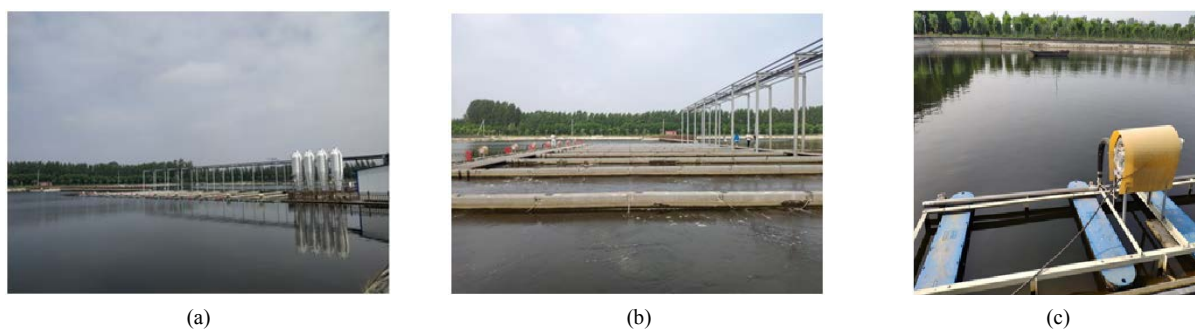


Figure 1. Pond circulating aquaculture system, photo taken on May 26, 2019 shows Dongping County, Shandong Province. (a) Pond recirculating aquaculture system; (b) Flowing water culture area; (c) Water pushing equipment

图 1. 池塘循环水养殖系统，2019 年 5 月 26 日摄于山东省东平县。(a) 池塘循环水养殖系统；(b) 流水养殖区；(c) 推水设备

4.2. 工厂化循环水养殖系统

是将科技、工业与养殖产业转型紧密融合发展起来的系统，是集不同技术要素于一体的高投入、高

产出的养殖模式[20];是一个集现代信息技术、水处理技术和生物过滤技术为一体[21]的高技术养殖方式。该体系(见图2)主要是将养殖池里的水通过抽水泵汇至特定的水处理设备进行集中处理,水处理包含物理过滤、生物膜处理、气浮处理、紫外线杀菌、消毒、脱氮、以及增氧机增氧等。



Figure 2. Factory raised white prawns, photo taken on Oct. 20, 2018 shows the city of Rizhao

图2. 工厂化养殖南美白对虾, 2018年10月20日摄于日照市

相较于传统养殖模式,工业化循环水养殖具有循环利用、无污染、零排放、占地少、水资源污染少、品质高、密度高、病害少、不受地域气候影响、资源利用率高、周期短、效益高、养殖环境可控等诸多优点,符合当代新型发展的要求,是水产养殖向高端养殖方式转变的必然趋势[22]。也是实现新时代水产养殖业绿色高效发展与解决传统水产养殖模式环境污染巨大隐患的重要途径。随着科技的不断发展与更迭,智能化时代的到来,潮汐能与太阳能等新能源应用于工厂化水产养殖研究的不断发展。新时代下,工厂化水产养殖有更广阔的发展前景与更大的养殖舞台。

4.3. 集装箱循环水处理系统

集装箱养殖技术,又称受控式集装箱循环水绿色生态养殖技术[23],通过对一些废弃集装箱加以利用,变废为宝,改造成小型的水产养殖基地。是一种利用集装箱进行标准化、模块化、工业化循环水养殖的新兴模式[24]。集装箱养殖是新时代下环保养鱼催生的产物,具有低环境污染、集约资源、生态循环、高品质、高产出等特点,是新时代水产养殖业高效、绿色、协调发展的一次成功实践。2018年,集装箱养殖技术成为渔业领域唯一入选农业农村部2018年十项重大引领性农业技术的新型养殖模式,应用前景被许多养殖户看好,在全国范围内得到了广泛的推广与应用。经过近几年的不断改进与完善,新型集装箱养殖技术已经可以做到短周期、高产量、优质量、高效循环养殖,为广大养殖户提供了大量的便利与高额的经济效益。

在整个集装箱循环水养殖系统中,最为核心的三大技术分别为:生物脱氮、代谢废物处理、微纳米增氧。如图3(a)~(c)所示,集装箱循环水养殖系统主要使用物理过滤、多孔流化床生物填料及增氧一体化处理设备对养殖废水进行处理。

农业农村部副部长于康震指出:“集装箱养鱼通过推动设施装备标准化、水质调控精准化、养殖过程清洁化、生产管理智能化,使核心技术集成化、傻瓜化,操作简单,便于管理,可控性强,实现了水产养殖从工厂化到工程化再到工业化”。这种新式的养殖模式具有养殖密度大、鱼类品质好、养殖用水可以进行调节控制、养殖风险较低、对环境污染小、规模化运营和简易式操作[25]等优点。很多水产界人士曾指出,新型集装箱循环水养殖技术很可能成为新时代下水产养殖的重要方向。



Figure 3. (a) Container recirculating aquaculture system in Dongping, photo taken on May 26, 2019; (b) Integrated water treatment system: integrating filtration, aeration and biofilm treatment; (c) Porous Fluidized Bed Biofilm: The main function of the porous fluidized bed biofilm is to allow microorganisms to multiply rapidly and form biofilm

图 3. (a) 东平湖集装箱循环水养殖体系，摄于 2019 年 5 月 26 日；(b) 一体化水处理体系：集过滤、增氧、生物膜处理于一体；(c) 多孔流化床生物填料：主要作用是供微生物快速繁殖，形成生物膜

4.4. 生态式循环水处理系统

生态式养殖是将养殖水产动物与水生植物、微生物等生态因子一起构成一个具有自我调节能力的生态系统。利用物质循环、能量流动、自我调节、自我修复等生态学功能，对生产过程中可能的废弃用水、残饵粪便进行净化处理，达到养殖生态系统的相对稳定，推进生态循环水养殖的可持续发展。常见的生态式循环水养殖模式主要有：

(1) 稻渔综合种养

稻田养殖是集传统和现代化于一身的农业生态系统[26]。常见的种养模式有稻鱼养殖、稻虾养殖、稻蟹养殖等。通过对稻田生态系统进行工程化改造，将水稻种植与水产品养殖技术进行有机结合。通常在水稻田里挖一些适合水产品养殖的环形小沟，环形小沟里养殖水产品，环沟外种植水稻。该养殖模式在保证水稻与养殖水产品品质的同时，有效的改善稻田养殖的生态环境，提高稻田的经济附加值，增加稻田的经济效益。

(2) 鱼菜共生体系

基于生态学共生原理，人工构建多营养级生态系统，做到整个生态系统各类物种之间和平共处，一个物种的生存对其他物种有利，是一种环保、有效的养殖模式。构建鱼菜共生体系最重要的是要做到鱼-菜-菌的生态平衡[27]。整个体系水上种植绿色蔬菜，水里养殖水产品，两者起到互补促进的作用，通过鱼菜共生体系物质的内循环，达到养鱼不换水、种植蔬菜不施肥、直接利用有机肥的高效养殖效果，在养殖鱼类高产出的同时，收获大量的优质无公害蔬菜，进而取得更为客观的经济效益。基于系统自身的独特性，对我们生活环境的保护和污染物质排放的减少都有积极的作用[28]。“鱼菜共生”养殖体系是新时代特色水产养殖发展的一个重要方向，也是农业科技创新的体现[29]。

(3) 深远海绿色循环水养殖

是新时代智慧水产、数字渔业发展的重要产物。是在深远海使用坚实的材料建设大型的智能化、水平很高的养殖渔场。物联网技术用于引导大数据、人工智能和水产养殖的高度集成。我国位于海南省的第一座深远海智能化养殖渔场年产量可以达到 6000 t 鱼,可以抵抗 17 级台风与较强海浪的冲击。深远海养殖代表着现代渔业的发展方向[30],未来海水养殖产业,深远海智能海洋牧场必然是其重要发展的方向之一[31]。

(4) 多营养层次生态养殖

是近几年产生的一种新式的特色养殖模式,一方面可以更为有效的对立体的养殖空间进行更为充分的利用,另一方面还以水质控制、生态位补充、营养循环、生物疾病预防、质量和安全控制、废物减少等为基础,建立的生态调控健康养殖模式[32]。通过放养各种营养级的养殖品种,与养殖水域的水生植物、微生物、养殖环境共同构成健康科学的生态系统,如把吃食性鱼类、滤食性鱼类与一些高附加值鱼类分层搭配、合理混养等。常见模式有:通威“365”模式、虾蟹混养模式、鱼虾混养、虾蟹贝混养等。

5. 新时代循环水养殖系统的优势

新时代下水产养殖追求经济效益与绿色发展的最大公约数与最佳契合点便是新型循环水养殖。在今后将追求经济效益与绿色发展最小公倍数乃至更高效的持续发展过程中,循环水处理模式也将起到举足轻重的作用。相对于传统养殖模式,循环水养殖系统的单位产量可以节约 50~100 倍的土地和 160~2600 倍的用水,比传统养殖节约 90%~99%的用水和 99%的用地。新时代循环水体系所产生的废物会及时排出养殖池,经一系列循环处理,达标后再回流至养殖池循环利用,极大地减轻了水产养殖对环境的污染,资源重复利用极大地节省了水资源,极大地提高了资源利用率;还将促进我国水产品由数量型向质量型转变,在水产品销售与出口中形成强大的竞争力[33]。

6. 循环水养殖技术展望

新时代下,绿色高效理念俨然已成为当今水产养殖业发展的关键词与主旋律。基于环境要求及可持续发展的高压,我国水产养殖已经进入了供给侧结构性改革全新发展的阶段,循环水养殖体系的提出与完善正是渔业转型的强力推动剂。循环水处理体系的目标是通过多种方法对养殖水体进行处理,防止鱼类代谢产物和粪便的积累,提高水和空间的使用效率,减少对环境的污染[34]。新时代下的养殖应做到“顺天时,量地利”,既要顺应新时代的绿色发展要求,又要做到因地制宜、就地取材,选择合适的水处理设备、合理搭配养殖品种、应用合理的养殖模式。只有合理协调高效养殖与环保低碳的关系,寻求经济效益与可持续发展的最佳契合点,才能真正做到“用力少,成功多”。

基金项目

山东省农业良种工程日子课题(2019LZGC014)及山东省“双一流”奖补资金(Funds of Shandong “Double Tops” Program) (SYL2017YSTD11)资助。

参考文献

- [1] 杨子江,刘龙腾,李明爽. 我国渔业发展的基本态势和面临的问题[J]. 中国水产, 2018(12): 65-68.
- [2] 李守祥,王玉柱,祝殿业,赵维海. 浅谈发展养殖生产注意的几个问题[J]. 山东畜牧兽医, 2018, 39(6): 79-80.
- [3] 张晓双,傅玲琳,吕振明,伊祥华,王彦波. 国内外循环式工厂化水产养殖模式研究进展[J]. 饲料工业, 2017, 6(531): 61-64.
- [4] 雷霖霖,门强,王印庚,王秉新. 大菱鲆“温室大棚+深井海水”工厂化养殖模式[J]. 海洋水产研究, 2002(4): 1-7.
- [5] 宿墨. 我国水产养殖产业供给侧改革的思考——推广工厂化循环水养殖技术的机遇与动力[J]. 中国水产,

- 2017(1): 40-44.
- [6] 李东宇, 潘志, 刘旭成, 张孟才. 工厂化循环水养殖亚洲龙鱼(金龙鱼)初探[J]. 中国水产, 2020(9): 64-68.
- [7] 罗茵. 中国水产养殖已进入 4.0 时代[J]. 海洋与渔业, 2019(7): 28-29.
- [8] 谢龙. 工厂化循环水养殖模式现状分析[J]. 当代水产, 2019(8): 90-91.
- [9] 雷霖霖, 黄滨, 刘滨, 徐志方, 颜阔秋, 翟介明. 构建基于水产福利养殖理念的高端养殖战略研究[J]. 中国工程科学, 2014, 16(3): 14-20.
- [10] 季明东, 李建平, 叶章颖, 朱松明. 泡沫分离器去除养殖循环水中不同粒径细微颗粒物的效果[J]. 农业工程学报, 2018, 34(19): 202-207.
- [11] 朱林, 车轩, 刘兴国, 刘晃, 王小冬. 生物絮团技术在水产养殖中的应用[J]. 山西农业科学, 2019, 47(9): 1680-1682.
- [12] 董杨, 符书源, 蒙爱云, 杨和昆. 生物絮团技术在凡纳滨对虾工厂化养殖中的应用试验[J]. 渔业现代化, 2018, 45(6): 26-31.
- [13] Crab, R., Lambert, A., Verstraete, W., et al. (2010) The Application of Bioflocs Technology to Protect Brine Shrimp (*Artemia franciscana*) from Pathogenic *Vibrio harveyi*. *Journal of Applied Microbiology*, **109**, 1643-1649.
- [14] 韩厚伟, 王先平, 张黎黎, 刘豪, 胡佳平, 王顺奎, 于凯松, 江鑫, 赵丽丽, 邵伟, 王振洋. 二氧化氯消毒对循环水养殖系统的影响评价[J]. 水产科学, 2016, 35(6): 718-722.
- [15] 管崇武, 张宇雷, 宋红桥, 张海耿, 王健. 臭氧对循环水养殖水体水质的净化效果及机理研究[J]. 渔业现代化, 2018, 45(6): 14-18.
- [16] 崔云亮, 顾志峰, 郑兴, 王爱民. 5 种滤料在循环养殖系统中去除氨氮效果的比较[J]. 热带生物学报, 2015, 6(3): 235-241.
- [17] 宋超, 孟顺龙, 范立民, 等. 中国淡水池塘养殖面临的环境问题及对策[J]. 中国农学通报, 2012(26): 89-92.
- [18] 王朋, 徐钢春, 徐跑. 大口黑鲈池塘工程化循环水养殖系统的溶解氧时空变化及菌群响应特征[J]. 水生生物学报, 2019, 6(43): 1290-1298.
- [19] 樊厚瑞. 池塘循环流水养殖模式的发展现状和效益分析[J]. 农村经济与科技, 2019, 30(8): 40-42.
- [20] 刘大安. 水产工厂化养殖及其技术经济评价指标体系[J]. 中国渔业经济, 2009, 27(3): 97-105.
- [21] 黄俊奇, 宋绍京, 曹建清, 叶爱萍. 浅析工业化水产养殖系统及其关键技术[J]. 上海第二工业大学学报, 2016, 33(4): 330-337.
- [22] 王卫平, 张海鹏, 王永彬. 加速推广工厂化循环水养殖的探讨[J]. 河北渔业, 2015(11): 78-84.
- [23] 池潜. 集装箱养殖浅析[J]. 渔业致富指南, 2019(12): 35-36.
- [24] 农新. 网箱养鱼新出路——集装箱式生态养殖[J]. 农村新技术, 2018(11): 4-7.
- [25] 杨丽专, 刘付永忠, 李勇, 李旭威. 罗非鱼受控式高效循环水集装箱养殖技术[J]. 海洋与渔业, 2017(6): 60.
- [26] 钱国明, 张立进, 金建康, 巢思琴, 夏玉峰. 稻渔综合种养的发展与对策[J]. 农村实用技术, 2019(12): 50-51.
- [27] 欧明烛, 马菁华, 杨朔, 刘芳, 任启飞. 鱼菜共生的关键技术及发展前景[J]. 绿色科技, 2020(1): 183-184.
- [28] 姚时苗. 现代景观农业的发展与研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2018.
- [29] 尹立鹏. “鱼菜共生”生态养殖模式研究[J]. 乡村科技, 2019(26): 115-116.
- [30] 市政府发展研究中心课题组. 发展深远海“一条鱼”养殖产业大有可为[N]. 福州日报, 2019-12-02(003).
- [31] 邓炳林. 深远海智能养殖平台最新发展[J]. 中国船检, 2020(2): 32-36.
- [32] 陈学洲, 李健, 高浩瀚, 常志强, 韩振兴. 多营养层次综合养殖技术模式[J]. 中国水产, 2020(10): 76-78.
- [33] 水产养殖网. 工业化的循环水养殖模式, 养殖密度那么高, 如何调节好水质? [Z/OL]. 2019. https://www.sohu.com/a/348779597_179360
- [34] Wang, K., Li, K., Liu, L.P., Tanase, C., Mols, R. and Meer, M.D. (2020) Effects of Light Intensity and Photoperiod on the Growth and Stress Response of Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a Recirculating Aquaculture System. *Aquaculture and Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.03.001>