

The Effect of Pond Recirculating Aquaculture Systems at Different Densities on the Growth Performance and Water Quality of *Ctenopharyngodon idellus*

Kehua Zhang

Zhaoyuan Town People's Government, Lanshan District, Linyi City, Shandong, 276000, China

Abstract

Ctenopharyngodon idellus is a major freshwater aquaculture species in China, and the pond recirculating aquaculture system offers significant advantages in resource utilization and ecological friendliness. Culture density directly affects the growth performance of *C. idellus* and water environment quality. This study systematically analyzed growth indicators, water physicochemical parameters, and microbial communities under high, medium, and low densities. Results indicate that medium-density culture yields optimal growth and feed utilization efficiency, along with relatively stable water quality and microbial ecology. High-density culture tends to cause water quality deterioration and growth limitations, while low-density culture promotes rapid individual growth but results in lower unit output. The findings provide a scientific basis for setting appropriate densities in recirculating pond systems, facilitating the high-quality development of the *C. idellus* industry.

Keywords

Recirculating aquaculture; stocking density; growth performance; water quality assessment; microbial community; ecological benefits

不同密度下池塘循环水养殖模式对草鱼生长性能及水质的影响

张克华

临沂市兰山区枣园镇人民政府，中国·山东 临沂 276000

摘要

草鱼是我国主要的淡水养殖对象，池塘循环水养殖模式在提升资源利用率和生态友好性方面具有显著优势。养殖密度直接关系到草鱼的生长性能和水体环境。本文对高、中、低三种密度下草鱼的生长指标、水质理化参数和微生物群落进行系统分析，结果表明，中等密度养殖下草鱼生长和饲料利用效果最佳，水质和微生态环境较为稳定。高密度易引发水质恶化与生长受限，低密度虽个体生长快但单位产出低。研究为合理设置循环水池塘养殖密度提供了科学依据，促进草鱼产业高质量发展。

关键词

循环水养殖；养殖密度；生长性能；水质评价；微生物群落；生态效益

1 引言

随着我国水产养殖业向高效、绿色和可持续发展不断迈进，池塘循环水养殖模式逐渐被广泛推广。该系统通过机械曝气、生物净化和水体循环，有效提升了养殖水体的自净能力和养殖密度，降低了尾水排放对环境的影响。草鱼作为我国主要的淡水养殖品种，因其生长快、适应性强和市场需求大，被广泛应用于各类养殖模式。传统池塘养殖存在水体交换率低、污染重、病害多、效率低等问题，限制了产业的健康发展。循环水养殖技术的应用极大改善了这些不足，但

养殖密度的设置直接关系到养殖效益与生态环境的双重目标。密度过高导致草鱼生长受限、水质恶化和病害风险上升，密度过低又会造成资源浪费和产量下降。因此，如何在循环水池塘中科学确定最优养殖密度，成为行业与学术界共同关注的核心问题。本文以不同密度为变量，系统分析其对草鱼生长、水质及微生态的影响，旨在为健康高效养殖管理提供理论参考和实践依据。

2 池塘循环水养殖模式的理论基础与发展现状

2.1 循环水养殖系统原理与结构

池塘循环水养殖模式是在传统池塘养殖基础上，集成水力循环、生物过滤、曝气增氧及自动化监控等技术，形成一个相对封闭的生态养殖系统。系统通常包括养殖区、生物

【作者简介】张克华（1976-），男，中国山东临沂人，本科，高级工程师，从事淡水养殖研究。

净化区、沉淀区和循环动力装置。水体通过机械或水泵动力流动,经沉淀区去除大颗粒悬浮物后,进入生物净化区,利用微生物及水生植物对有机污染物、氮磷等营养盐进行降解与吸收,最终净化后水体回流至养殖区。系统循环运行,既实现了水资源的高效利用,也大幅度降低了排污量,减少了对外部环境的负担。此外,自动化检测和智能控制系统的应用,使得池塘水质可实时监控、预警、调控,为养殖提供了技术保障。

2.2 草鱼生长生理特点及养殖需求

草鱼属草食性鱼类,生长速度快、饲料转化率高,对水质环境适应力较强,但对溶解氧、氨氮等指标较为敏感。在高密度养殖条件下,草鱼的生长表现和免疫功能容易受到胁迫,水体中有害物质积累速度加快。合理的养殖密度不仅能保证个体生长所需的空间和氧气,还能减轻种群竞争和水体富营养化压力。养殖实践表明,草鱼的生长性能、健康状况和水质状况密切相关,只有在适宜的密度下才能最大化资源利用效率和经济效益。

2.3 国内外研究现状与发展趋势

近年来,国内外对循环水养殖系统的技术集成、养殖模式优化及生态效应进行了大量研究。欧美及东亚部分国家在循环水系统的标准化设计、能耗控制、污染净化和养殖管理等方面取得了显著进展。我国学者围绕池塘循环水系统的工艺创新、微生态调控、密度优化等开展了深入探索,积累了丰富数据与案例。但目前针对草鱼等大宗淡水鱼类在循环水养殖中不同密度设置对其生长及水质的系统研究仍相对有限,密度过高或过低均可能影响生产效益与生态环境。因此,深入剖析不同密度对池塘循环水系统的作用机理,探索适合我国国情的高效、绿色草鱼养殖模式,已成为亟需解决的重要课题。

3 不同密度池塘循环水养殖草鱼的实验设计与监测方法

3.1 实验设计与分组设置

本研究选择水源充足、水体条件均一的标准池塘,构建池塘循环水系统,设定高密度组(HD, 60尾/立方米)、中密度组(MD, 40尾/立方米)、低密度组(LD, 20尾/立方米)三种实验处理。所有实验组均采用相同规格池塘、同龄健康草鱼苗种、统一的饲料配方与投喂管理制度。各组池塘均配备循环水动力装置、生物净化单元及自动水质监测设备,确保环境条件的可比性与实验数据的准确性。实验周期设为180天,涵盖草鱼主要生长季节。

3.2 生长性能与饲料利用率评价

在整个实验过程中,通过定期对不同密度组草鱼进行随机抽样,测定鱼体重量和全长,动态记录其生长变化。结合起止阶段的数据,计算平均增重率、日增重率、饲料系数和成活率等关键参数,其中增重率反映养殖周期内的生长幅

度,日增重率衡量个体生长速度,饲料系数评价饲料利用效率,各项数据均采用统一公式进行处理。所有数据经过多次测量和统计学分析,以确保结果的科学性和准确性。通过上述综合评价,能够量化揭示不同养殖密度下草鱼的生长差异,为科学优化养殖管理和提升养殖效益提供重要依据。

3.3 水质理化指标与微生物群落监测

定期(每10天)检测各池塘循环水的主要理化指标,包括溶解氧(DO)、pH值、氨氮(NH₄⁺-N)、亚硝酸盐(NO₂⁻-N)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)等。采用标准水质分析方法,确保数据的准确可靠。水体微生物群落结构采用高通量测序技术进行分析,评估不同密度下微生物多样性与功能变化。所有数据录入数据库,采用多元统计方法进行关联性与差异性分析。

4 不同密度下草鱼生长性能比较

4.1 高密度养殖对生长性能的影响

高密度组池塘养殖单位面积产量显著提升,但草鱼个体增重率和成活率明显下降。实验期间,高密度组草鱼日增重率较低,体重变异系数增大,饲料系数明显高于中密度和低密度组,部分鱼体出现生长停滞、体表损伤等应激症状。水体中溶解氧消耗速度加快,氨氮和亚硝酸盐浓度升高,水质恶化频率增高,增加了鱼类疾病和死亡风险。高密度养殖虽然可提高单位产量,但容易导致草鱼个体生长不均、品质下降和经济效益的不稳定,长期大规模应用风险较高。

4.2 中密度养殖的综合效益表现

中密度组实验结果显示,草鱼的日增重率、平均体重、成活率及饲料系数等生长指标表现最佳。池塘水质保持相对稳定,溶解氧充足,有害物质浓度较低,水体透明度高,微生物群落多样性处于较优状态。养殖期间草鱼健康状况良好,未出现大规模病害,整体经济效益较高。中密度养殖能够较好平衡单位产出与资源环境承载力,实现养殖效率和环境保护的有机统一,是循环水池塘养殖草鱼的优选模式。

4.3 低密度养殖的资源利用及生长表现

低密度组草鱼个体增重速度快,体型匀称,生长空间充裕,水体环境压力小,理化指标长期处于优良水平。饲料利用率高,生长发病率低。但由于单位面积养殖量偏低,池塘资源利用率不足,整体产量和经济效益不及中密度组。长期维持低密度养殖,不利于提升养殖业的资源配置效率和市场供应能力,仅适合特定高端市场或特色生态养殖需求。

5 不同密度下池塘循环水水质演变及其影响机理

5.1 水体溶解氧动态变化与调控

溶解氧作为决定水体生态系统健康的核心指标,对鱼类生长和微生物活性至关重要。高密度组因鱼体呼吸和饲料分解产生的耗氧量大,夜间及高温时段易出现氧气不足,需加强机械曝气和水体流动。中密度组溶解氧波动幅度较小,

维持在适宜草鱼生长的水平。低密度组则长时间保持较高溶解氧,生态环境压力最小。研究表明,循环水系统能够有效缓解养殖密度升高带来的溶氧压力,但高密度下仍需合理配置曝气和流量调控设施。

5.2 营养盐积累与水体富营养化风险

高密度养殖池塘氨氮、亚硝酸盐、总磷等营养盐累积速度快,长期超标将导致水体富营养化,诱发蓝藻暴发和水质恶化。实验期间,高密度组池塘在雨季、温度升高等条件下,营养盐波动剧烈,需增加生物净化单元面积和频次,提升系统降解能力。中密度组营养盐浓度波动较小,水质安全稳定。低密度组水体净化负荷最小,但养殖经济性不足。表明科学配置生物滤池、调控养殖密度是保障循环水系统水质安全的关键。

5.3 微生物群落结构变化与生态效应

不同密度下水体微生物群落结构存在明显差异。高密度组细菌群落中嗜氨、亚硝化细菌比例升高,部分条件致病菌数量增加,易诱发鱼类疾病。中密度组微生物多样性丰富,优势种类以分解有机物和氮循环为主,维持生态平衡。低密度组微生物总量较低,但结构单一。高通量测序数据显示,适宜密度有利于有益微生物定植,促进营养物质高效转化与水质自净。应加强微生物调控与系统维护,发挥循环水养殖系统的生态优势。

6 不同密度循环水养殖经济与生态综合效益分析

6.1 单位产出与经济效益评估

本研究发现,高密度养殖组的单位水体产出量显著高于中密度和低密度组,表面上提高了整体产量,但由于高密度下草鱼生长速度变慢、饲料转化率降低、疾病频发,导致养殖成本增加,实际经济效益并未达到预期。相比之下,中密度组在单位面积产量、鱼体均匀度、产品质量和市场售价等方面均表现优异,投入产出比高,风险可控,经济回报最佳。低密度组虽然个体生长快、成品率高,但总产出有限,难以满足大规模市场需求,适合高端或特色水产品市场。综上,科学调控养殖密度,结合养殖系统的优化运行,是提升循环水池塘经济效益和养殖可持续性的关键。企业应根据实际条件和市场定位,合理平衡产量、成本与风险,实现效益最大化。

6.2 环境承载力与生态风险

养殖密度直接关系到池塘生态系统的承载力和环境风险。高密度组水体中的有害物质和有机污染物积累速度加快,自净能力难以匹配,易造成水质恶化和生态失衡,需大

量增加曝气、生物净化等技术投入来缓解环境压力。中密度组的环境负荷处于合理范围,养殖尾水达标排放率高,生态安全风险较低,更利于可持续经营。低密度组环境压力最小,对水体和周边生态影响较轻,但池塘资源利用效率不高。建议根据池塘规模、水体循环能力和外部环境敏感性等因素,科学确定最优养殖密度,实现生态保护与养殖生产的平衡与双赢。

6.3 可持续发展路径探讨

推动循环水池塘养殖的可持续发展,需要在实践中不断完善管理体系和技术手段。建议以中密度养殖为基础,结合现代自动化、智能化管理,提升系统运行效率与管理精度。通过完善生物净化系统、强化水质监测与预警机制,合理调控水体营养盐和微生物多样性,可有效提升养殖系统的环境承载力和抗风险能力。同时,鼓励池塘生态多样化建设,如复合种养、生态浮岛、湿地植物配置等,进一步促进系统稳定性。未来应加强数据化决策与动态管理,推动水产养殖模式绿色、高效、可持续转型,为行业健康发展和生态文明建设提供坚实基础。

7 结语

池塘循环水养殖模式为我国草鱼等淡水鱼类产业升级提供了重要技术途径和实践样板。密度设置作为系统管理的核心,直接影响养殖效益、水质安全和生态稳定。本研究系统对比了高、中、低密度下草鱼生长性能、水体质量、微生物群落和综合效益。结果表明,中密度循环水养殖在实现产量、经济、生态多重目标方面具有最优表现,是推广现代池塘健康养殖的合理选择。高密度虽具潜在增产空间,但伴随环境压力与管理风险,需慎重权衡。低密度有利于产品品质和生态安全,但资源利用不足,需结合市场定位科学应用。未来,应进一步加强池塘循环水系统技术创新与智能管理,提升水质净化能力和生态调控水平,探索复合种养、精准投喂和智慧养殖等新模式,推动我国草鱼产业向绿色、高效、可持续方向迈进。

参考文献

- [1] 周辉明,陶志英,邓勇辉,等.淡水池塘循环水养殖模式研究综述[J].江西水产科技,2022,(06):56-64.
- [2] 温利,李温蓉,陶玲,等.池塘循环水养殖对混养草鱼食用品质的影响[J].水生生物学报,2023,47(08):1353-1362.
- [3] 池塘循环流水槽养殖模式[J].湖南农业,2025,(08):24.
- [4] 卢鹏旭,肖调义.池塘内循环流水槽养殖模式概述[J].当代水产,2025,50(05):76-77.
- [5] 李文卫,易雪健,毕冬梅,等.池塘工程化循环水生态养殖模式初探[J].海洋与渔业,2020,(12):62-63.