

营养与水质对淡水虾免疫系统的影响研究

刘祥涛 李华旺 赵馨儿
天津农学院

DOI:10.32629/as.v8i12.3549

[摘要] 为解决淡水虾养殖中营养失衡与水质失稳导致的免疫功能下降、病害频发及抗生素依赖问题。本文以淡水虾为研究对象,对营养与水质对其免疫系统的影响机制开展研究,解析关键营养要素与核心水质因子的调控作用,提出基于免疫强化的精准营养调控策略、水质-免疫协同防护策略及涵盖养殖模式创新与技术规范的协同调控保障体系,以为淡水虾绿色健康养殖相关技术研发与养殖从业者提供参考。

[关键词] 淡水虾; 免疫系统; 营养调控; 水质优化; 协同养殖
中图分类号: S966.12 **文献标识码:** A

Research on the Effects of Nutrition and Water Quality on the Immune System of Freshwater Shrimp

Xiangtao Liu Huawang Li Xin'er Zhao
Tianjin Agricultural University

[Abstract] To address the issues of immune function decline, frequent diseases, and antibiotic dependency caused by nutritional imbalance and unstable water quality in freshwater shrimp farming, this study focuses on freshwater shrimp as the research subject. It investigates the mechanisms by which nutrition and water quality affect their immune system, analyzes the regulatory roles of key nutrients and core water quality factors, and proposes precision nutritional regulation strategies based on immune enhancement, water quality-immune synergistic protection strategies, and a comprehensive regulatory support system encompassing innovative farming models and technical standards. The findings aim to provide references for the development of green and healthy freshwater shrimp farming technologies and for practitioners in the field.

[Key words] Freshwater shrimp; Immune system; Nutrient regulation; Water quality optimization; Co-culture

引言

当前淡水虾养殖向集约化、高质量方向转型,病害主动防控成为产业发展关键诉求。高密度养殖模式下,营养失衡与水质波动易诱发虾体免疫功能下降,加剧病害风险,制约绿色养殖推进。营养与水质作为调控虾体免疫的核心要素,其作用机制与协同调控价值愈发凸显。本文聚焦二者对淡水虾免疫系统的影响,系统解析调控逻辑并探索科学防控策略,为提升养殖病害防控能力、推动产业抗生素减量化、实现可持续发展提供理论与实践支撑。

1 营养与水质对淡水虾免疫系统的核心影响解析

1.1 关键营养要素对淡水虾免疫系统的调控作用

核心营养要素通过调控免疫细胞活性与免疫因子合成,为淡水虾构建稳固的免疫防御基础,其作用贯穿虾体免疫应答的全流程,直接决定虾体对养殖环境中病原的抵抗能力,同时为饲料配方优化与抗生素减量化使用提供核心支撑。蛋白质作为免

疫器官发育与免疫分子合成的物质基础,其氨基酸组成比例直接影响肝胰腺、血淋巴等关键免疫器官的发育成熟度,进而调控抗体、凝集素等免疫活性物质的合成效率,优质蛋白质供给不足会导致虾体免疫细胞增殖受阻,免疫应答启动延迟,增加病害感染风险。维生素中,VC可通过清除免疫应激过程中产生的活性氧自由基,维持免疫细胞的正常生理功能,同时促进免疫球蛋白的合成;VE则能保护免疫细胞膜的完整性,减少氧化损伤对免疫细胞的破坏,二者协同作用可显著提升虾体应对养殖环境波动的免疫应激能力。矿物质中的硒参与谷胱甘肽过氧化物酶等关键免疫酶的构成,直接调控免疫酶活性;锌则作为多种免疫相关酶的辅酶,影响免疫细胞的分化与增殖,合理的矿物质配比可通过强化虾体自身免疫功能,降低养殖过程中对预防性抗生素的依赖,为绿色养殖提供营养层面的保障。

1.2 核心水质因子对淡水虾免疫系统的影响机制

水质参数通过改变淡水虾的生理内环境与外部生存环境,

诱导机体产生应激反应,直接干扰免疫系统稳态,其调控失衡是养殖过程中虾体免疫功能下降、病害频发的核心环境诱因,也对养殖环境调控技术的实施方向具有明确指引。溶解氧作为虾体呼吸代谢的关键条件,直接影响免疫细胞的能量供给,当水体溶解氧不足时,免疫细胞呼吸代谢受阻,能量生成减少,导致吞噬细胞的吞噬活性、淋巴细胞的增殖能力显著下降,虾体对病原的清除效率降低。pH值的波动会干扰虾体血液的酸碱平衡,进而影响免疫酶的空间构象与活性,偏酸或偏碱环境均会抑制酚氧化酶、溶菌酶等核心免疫酶的活性,破坏虾体的先天免疫屏障。氨氮与亚硝酸盐作为养殖水体中的主要有毒物质,其积累会突破虾体的排泄屏障进入体内,诱导机体产生氧化应激反应,导致免疫细胞凋亡数量增加,同时抑制免疫因子的合成与分泌,使虾体免疫功能处于抑制状态,此时即使通过饲料补充营养也难以有效激活免疫应答。此外,水质因子的协同作用会进一步放大对免疫系统的损害,例如低溶解氧环境会加剧氨氮的毒性,二者共同作用下可显著提升虾体的病害易感性,凸显养殖环境精准调控对保障虾体健康的关键意义。

2 基于免疫强化的淡水虾养殖营养调控策略

2.1 精准营养配方优化策略

依据淡水虾不同生长阶段的免疫需求优化营养配比,是通过营养调控强化虾体免疫基础的核心路径,直接决定饲料营养对免疫功能的支撑效率,同时为饲料添加技术升级与抗生素减量运用提供关键方向。淡水虾幼虾阶段免疫器官尚未发育成熟,对蛋白质的需求更为迫切,此时需精准提升饲料中优质蛋白比例,优化蛋能比以保障肝胰腺、血淋巴等免疫器官的正常发育,为后续免疫功能构建奠定物质基础;成虾阶段需应对养殖密度增加、水质波动等环境应激,饲料配方应适当提高能量供给,平衡蛋白与能量的适配性,避免因能量不足导致蛋白质过度消耗,进而削弱免疫应答能力^[1]。在此基础上,需精准添加功能性营养素,免疫增强剂如 β -葡聚糖可激活虾体吞噬细胞活性,促进免疫因子合成;益生菌如芽孢杆菌能调节虾体肠道菌群平衡,通过肠道黏膜免疫间接强化整体免疫功能,减少因肠道菌群紊乱引发的病害风险。针对不同养殖阶段的免疫特性动态调整配方,可让营养供给与免疫需求精准匹配,避免营养过剩或不足带来的免疫短板,从饲料源头降低病害发生概率,减少预防性抗生素的使用,助力绿色养殖模式落地。

2.2 科学投喂模式与营养吸收保障

规范投喂行为、提升营养吸收效率,是最大化营养对虾体免疫支撑作用的关键环节,其核心逻辑在于通过优化投喂全流程,让饲料营养充分被虾体吸收利用,避免营养流失与水质污染间接损害免疫功能。淡水虾具有明显的摄食节律,清晨与傍晚摄食活跃度最高,需据此精准调控投喂时间,同时根据虾体生长规格、水温变化动态调整投喂量,避免过量投喂导致饲料残饵沉积水体,引发氨氮、亚硝酸盐积累,进而诱发虾体应激、抑制免疫功能。优化投喂方式同样重要,分段投喂可匹配虾体不同时段的摄食需求,减少单次投喂压力;定点投喂能引导虾体集中摄食,

降低饲料浪费率,同时便于观察虾体摄食状态,及时发现免疫异常信号。抗营养因子的消除是保障营养吸收的前提,饲料中的植酸、凝集素等抗营养因子会阻碍蛋白质、矿物质的吸收,需通过高温处理、酶制剂添加等技术手段予以消除,确保饲料中营养成分能有效被虾体消化吸收。营养吸收效率的提升可直接强化虾体免疫基础,避免因营养匮乏导致免疫功能弱化,减少病害感染风险,进而降低治疗性抗生素的使用频率,形成“科学投喂-高效吸收-免疫强化-健康养殖”的良性循环。

3 水质优化与免疫防护协同策略

3.1 养殖水环境精准调控技术策略

通过多维度水质调控技术构建适配淡水虾免疫稳态的水环境基础,是实现水质优化与免疫防护协同的核心路径,其核心逻辑在于通过精准干预水质关键参数,消除水质异常对虾体免疫的抑制作用,为免疫功能正常发挥提供环境保障。针对溶解氧不足诱发免疫细胞能量供给不足的问题,养殖者需优化增氧设备配置,结合水体循环系统设计提升水体溶氧均匀度,确保虾体栖息区域持续维持适宜溶氧水平,从能量供给层面保障免疫细胞活性。同时,需实施pH值与碱度协同调控,通过合理添加缓冲剂稳定水体酸碱平衡,或借助水生植物种植等生态调控手段调节水体pH值,避免偏酸或偏碱环境破坏免疫酶活性与先天免疫屏障^[2]。针对氨氮、亚硝酸盐积累诱发的氧化应激与免疫抑制,需采用微生物制剂分解水体有毒物质,搭配底质改良技术清除沉积的残饵与排泄物,从源头减少有毒物质生成。这些多维度调控技术并非孤立运用,而是通过协同作用维持水质整体稳态,避免单一参数调控引发其他水质因子失衡,进而形成“水质稳定-免疫保护”的协同效应,降低环境应激导致的病害风险。

3.2 水质-免疫联动监测与预警策略

建立水质-免疫联动监测与预警体系,是提前规避水质异常对虾体免疫潜在损害的关键保障,其核心价值在于通过同步追踪水质参数与免疫指标的动态变化,实现风险的早发现、早干预,强化水质优化与免疫防护的协同性。养殖者需构建核心水质参数实时监测网络,重点追踪溶解氧、pH值、氨氮、亚硝酸盐等关键指标的变化趋势,通过在线监测设备实现数据的实时采集与传输,避免传统监测滞后导致的风险扩散。同时,需同步监测淡水虾核心免疫指标,包括酚氧化酶、溶菌酶等免疫酶活性及虾体抗病力相关指标,精准捕捉水质异常引发的免疫应激信号。在此基础上,构建水质异常-免疫应激预警模型,通过关联分析水质参数阈值与免疫指标变化规律,设定科学的预警阈值,当监测数据触及阈值时及时启动响应措施。这一联动体系打破了水质调控与免疫防护分离的传统模式,使水质调控更具针对性,能够根据免疫指标反馈动态调整调控策略,确保水质优化措施精准匹配免疫防护需求,提升协同调控的效率与科学性。

4 营养与水质协同调控保障体系

4.1 养殖模式创新支撑体系

生态养殖模式创新是强化营养与水质协同调控效果的核心支撑,其核心逻辑在于通过构建闭环式生态系统,实现营养资源

的循环利用与养殖水质的自然净化,为协同调控策略落地提供环境与资源基础,进而保障淡水虾健康生长、减少抗生素依赖。养殖者可借助稻虾综合种养模式,利用水稻等水生植物吸收水体中多余的氮磷营养,降低水质富营养化风险,同时虾类粪便可为水稻生长提供养分,形成“稻护虾、虾养稻”的营养循环链条,减少人工饲料投喂量与残饵污染^[3]。工厂化循环水养殖模式则通过精准控制水体环境参数,实现水质的可控化管理,搭配精准营养投喂系统,可根据虾体生长需求动态调整饲料营养配比,避免水质波动与营养失衡的叠加影响,为虾体免疫功能稳定发挥提供恒定环境。多营养层次综合养殖模式通过搭配滤食性生物、腐生生物等,构建多物种协同的生态系统,既能高效净化水体中的残饵、排泄物等污染物,又能提升养殖水体的营养利用效率,形成生态防护闭环,进一步强化营养与水质的协同调控效果,推动绿色养殖模式规模化落地。

4.2 技术推广与管理规范体系

标准化管理与技术赋能构成的技术推广与管理规范体系,是保障营养与水质协同调控策略落地见效的关键保障,其核心价值在于通过明确操作标准、提升养殖者实操能力、建立全流程监管机制,确保协同调控措施精准落地,维护淡水虾养殖的稳定性与安全性。相关部门需牵头制定营养与水质调控技术的标准化操作规范,明确不同养殖模式下的饲料营养配比标准、水质参数调控阈值、功能性饲料添加规范等核心内容,避免养殖者盲目操作导致协同调控失效。针对养殖从业者技术水平参差不齐的问题,需构建分层分类的技术培训与实操指导体系,重点讲解营养优化、水质调控的核心原理与实操技巧,提升养殖者对协同调控策略的理解与应用能力。全流程质量追溯与动态管理机制的建立同样关键,需覆盖饲料采购、水质调控、虾体健康监测等全环节,通过动态追踪养殖数据,及时发现协同调控过程中的偏

差并调整策略,同时为产品质量安全提供追溯依据,倒逼养殖者规范执行协同调控措施,从管理层面确保营养与水质协同调控的持续性与有效性。

5 结语

营养与水质是维系淡水虾免疫系统稳态的核心要素,二者的协同调控是破解养殖病害难题、推动绿色养殖的关键路径。本研究系统阐明了关键营养要素与核心水质因子对淡水虾免疫系统的调控逻辑,构建了涵盖营养优化、水质协同防护及全链条保障的完整技术体系。这些成果不仅为破解营养与水质调控脱节的行业痛点提供了理论支撑,更为养殖实践中免疫强化、抗生素减量应用提供了可落地的技术方案。未来随着生态养殖模式的进一步推广与监测技术的迭代升级,营养与水质协同调控理念将深度融入淡水虾养殖全流程,助力产业实现生态效益与经济效益的统一,保障淡水虾养殖产业的可持续高质量发展。

[参考文献]

- [1]施振宁.几种观赏用淡水虾虎鱼养殖技术[J].科学养鱼,2024,(04):85-86.
- [2]高玉倩,王洋,杨广,等.淡水、半咸水养殖凡纳滨对虾部分生物学特性的比较[J].饲料工业,2023,44(20):35-42.
- [3]李放,邓林艳,张婉婷,等.淡水虾腥味脱除技术研究进展[J].农产品加工,2023,(03):89-92.

作者简介:

刘祥涛(2001--),男,汉族,山东菏泽人,硕士在读,研究方向:淡水养殖。

李华旺(2000--),男,汉族,辽宁大石桥人,硕士在读,研究方向:贝类遗传育种。

赵馨儿(1997--),女,汉族,山东临沂人,硕士在读,研究方向:水产养殖。