

养殖废水中病原微生物的生物降解技术研究

梁思阳 区颖媚

仲恺农业工程学院资源与环境学院, 中国·广东 广州 510225

摘要: 养殖废水中病原微生物的污染是水环境污染的重要问题, 直接威胁水体生态平衡和公共卫生安全。病原微生物的传统处理方法存在效果不佳和二次污染的问题, 因此生物降解技术作为一种绿色环保的处理方法, 具有较大的应用潜力。论文综述了养殖废水中病原微生物的特点、存在的主要问题以及生物降解技术的优化对策。分析了养殖废水中病原微生物的成分和扩散机制, 阐述了其生物降解特性。然后, 讨论了当前病原微生物处理过程中存在的问题, 主要包括传统污水处理技术的局限性、抗性微生物的传播及微生物降解技术的挑战。提出了优化生物降解技术的对策, 包括高效降解微生物的筛选与优化、强化降解环境条件的提升以及生物降解与其他污水处理技术的协同应用等策略。通过多技术的协同应用, 可以显著提升病原微生物的去除效果, 为养殖废水的处理提供有效的技术支持。

关键词: 养殖废水; 病原微生物; 生物降解技术; 污水处理

Research on Biodegradation Technology of Pathogenic Microorganisms in Aquaculture Wastewater

Siyang Liang Yingmei Ou

College of Resources and Environment, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong, 510225, China

Abstract: The pollution of pathogenic microorganisms in aquaculture wastewater is an important problem of water environment pollution, which directly threatens the ecological balance of water bodies and public health safety. The traditional treatment methods for pathogenic microorganisms have problems of poor effectiveness and secondary pollution. Therefore, biodegradation technology, as a green and environmentally friendly treatment method, has great potential for application. The paper summarizes the characteristics, main problems, and optimization strategies of pathogenic microorganisms in aquaculture wastewater. Analyzed the composition and diffusion mechanism of pathogenic microorganisms in aquaculture wastewater, and elucidated their biodegradation characteristics. Then, the problems in the current pathogenic microorganism treatment process were discussed, mainly including the limitations of traditional sewage treatment technology, the spread of resistant microorganisms, and the challenges of microbial degradation technology. Strategies for optimizing biodegradation technology have been proposed, including screening and optimizing efficient degrading microorganisms, enhancing degradation environmental conditions, and synergistic application of biodegradation with other wastewater treatment technologies. Through the collaborative application of multiple technologies, the removal efficiency of pathogenic microorganisms can be significantly improved, providing effective technical support for the treatment of aquaculture wastewater.

Keywords: aquaculture wastewater; pathogenic microbes; biodegradation technology; sewage treatment

0 前言

随着养殖业的迅猛发展, 养殖废水的排放量也日益增加, 尤其是在水产养殖和畜禽养殖业中, 废水中含有大量的病原微生物, 这些微生物对水质及生态系统构成了严重威胁。病原微生物能够通过水体传播, 对人类和动物健康造成潜在风险, 严重时甚至引发疫病的爆发。因此, 研究有效的病原微生物去除技术, 特别是生物降解技术, 成为当前水污染治理领域的研究重点。传统的物理、化学处理方法存在一定的局限性, 如操作复杂、成本较高以及可能引发二次污染等问题。而生物降解技术因其环保、可持续的优势, 逐渐受到关注, 并在养殖废水处理中展现出广阔的应用前景。为了提高生物降解技术的应用效果, 必须深入探讨高效降解微生物的筛选、降解环境条件的优化以及技术间的协同作用等问

题。本研究的目的是通过分析养殖废水中病原微生物的特点与存在的问题, 探讨生物降解技术的优化对策, 以为养殖废水处理提供更加高效、环保的解决方案。

1 养殖废水中病原微生物的特点

1.1 养殖废水的成分与污染特性

养殖废水是指养殖过程中产生的水体污染物, 包含水体本身和养殖过程中排放的各种有机、无机物质。养殖废水中主要成分包括氮、磷、悬浮物、抗生素以及病原微生物等。养殖废水的污染特性主要体现在其高浓度的有机物和氮磷元素, 易导致水体富营养化, 造成生态失衡^[1]。特别是其中的有机物, 如动物粪便、饲料残渣等, 容易为病原微生物提供丰富的生长条件。养殖废水中常含有病原微生物, 如致病细菌、病毒、寄生虫等, 这些微生物可能在水体中长期存活

并扩散,对环境和水质造成污染^[2]。根据养殖方式的不同,水产养殖废水和畜禽养殖废水中病原微生物的种类有所差异。水产养殖废水中常见的病原微生物包括水霉、链球菌、弧菌等,而畜禽养殖废水则以大肠杆菌、沙门氏菌、布鲁氏菌等为主^[3]。因此,养殖废水的污染成分复杂,且由于病原微生物的高耐受性,使得其处理更加困难。由于养殖废水的高浓度污染特性,其对水体和环境的危害极为严重,急需通过有效的处理技术进行治理。

1.2 病原微生物的环境行为与扩散机制

病原微生物在养殖废水中的存活和扩散行为是决定其危害程度的关键因素。养殖废水中的病原微生物通常以悬浮状态存在,部分病原微生物在水中能够长期存活并繁殖。影响其存活和传播的主要因素包括水温、pH 值、溶解氧以及水体中其他微生物群落的竞争作用。例如,较高的水温和适宜的 pH 值往往能为病原微生物的生长提供有利环境。水中溶解氧浓度较高时,病原微生物的代谢活动也会更加活跃,从而促进其繁殖。病原微生物在水体中的扩散机制主要包括水流带动、鱼类或其他水生生物的迁移以及与水体中的悬浮颗粒结合后沉积等^[4]。当养殖废水直接排放到周围水域时,病原微生物会随水流传播到更广泛的区域,从而影响环境生态系统的稳定性。病原微生物在水中的扩散还与养殖规模和废水排放方式密切相关。养殖场规模越大,废水排放量越高,病原微生物扩散的速度也越快,危害范围也随之扩大^[5]。因此,理解病原微生物在养殖废水中的环境行为和扩散机制,有助于采取更有效的控制措施,减少其对环境和水质的危害。

1.3 病原微生物的降解与去除机制

病原微生物的降解与去除是养殖废水处理中的关键环节。现有的病原微生物降解技术主要包括物理、化学和生物处理方法。物理方法如紫外线照射、过滤和沉淀等,能够对水中的病原微生物进行初步的去除。然而,物理方法的去除效果受到微生物种类、废水中悬浮物浓度等因素的影响,难以完全去除病原微生物。化学方法主要通过使用消毒剂(如氯、臭氧等)来杀灭水中的病原微生物。尽管这些方法能够快速去除病原微生物,但往往伴随着二次污染问题,且不具备选择性,容易对水体中的有益微生物造成损害^[6]。相比之下,生物降解方法具有较好的效果和更少的环境负担。生物降解主要依赖于微生物的代谢作用,将病原微生物分解为无害物质。此过程不仅高效环保,而且在处理过程中不会产生有害的副产物。然而,生物降解方法的效果受温度、pH 值、氧气浓度等多种环境因素的影响,因此需要针对不同类型的养殖废水选择合适的微生物菌群并优化处理条件。

2 养殖废水中病原微生物的存在问题

2.1 传统污水处理技术的局限性

传统的污水处理方法,包括物理、化学和生物处理技术,存在一定的局限性,尤其在面对养殖废水中的病原微生物时,效果往往不理想。物理方法如沉淀、过滤和紫外线照

射,虽然能够对部分病原微生物进行去除,但由于养殖废水中的有机物和微生物密度较高,这些方法通常只能进行初步处理,不能达到完全净化的目的。传统化学处理方法,如氯消毒和臭氧氧化,虽然能够杀灭病原微生物,但这些方法通常不具备选择性,可能对水体中的有益微生物和环境造成不利影响。并且,化学消毒过程中可能会产生有毒的副产物,对生态系统带来潜在风险^[7]。相比之下,生物处理方法,如活性污泥法和厌氧处理法,虽然在去除有机物方面效果较好,但在去除养殖废水中的病原微生物时,效果仍然有限。这是因为病原微生物的种类繁多,且存在较强的抗性,传统生物处理技术对其去除能力较弱。

2.2 病原微生物的耐受性与抗性传播问题

病原微生物的耐受性和抗性是养殖废水处理中的一大难题。随着养殖业规模的扩大,抗生素和消毒剂的广泛使用,许多病原微生物已对常规消毒剂产生了抗性。这些抗性微生物能够在养殖废水中长期存活,并通过水体扩散传播到周围环境中,对生态环境和人类健康造成潜在威胁。抗生素的滥用是病原微生物产生抗性的主要原因之一^[8]。抗生素能够通过养殖废水排放到环境中,导致病原微生物在水体中获得抗药性基因,从而形成抗性菌株。这些抗性微生物在水体中繁殖和扩散,可能通过食物链传递到人类和动物体内,最终影响公共健康。因此,抗性微生物的传播是养殖废水处理中亟待解决的问题之一^[9]。针对抗性微生物的传播,当前的治理措施仍然不足,难以有效遏制抗性基因的传播。因此,探索新型降解技术、优化污水处理工艺、加强抗性微生物的监测与控制,是解决这一问题的关键。

2.3 微生物降解技术在应用中的挑战

微生物降解技术在养殖废水处理中具有巨大的潜力,但在其实际应用中仍面临诸多挑战。降解微生物的选择和优化是技术应用的核心。不同类型的病原微生物具有不同的生物降解特性,当前许多研究集中在筛选适应性强、降解效率高的微生物菌株^[10]。然而,这些菌株的培养和应用仍然存在一定难度,尤其是在复杂的养殖废水环境中,微生物的生存和降解能力常受到温度、pH 值、营养物质浓度等因素的影响。微生物降解过程中可能出现副产物和二次污染。例如,部分微生物在降解病原微生物时,可能产生一些次生代谢物或毒性物质,造成水体二次污染^[11,12]。因此,如何确保微生物降解过程的安全性和高效性,是目前技术发展的难题。微生物降解技术的工程化和产业化应用也面临技术瓶颈。微生物的降解过程往往较慢,且需要长期的培养和维护,而大规模的污水处理需要高效、稳定的处理工艺。如何将微生物降解技术从实验室研究推向实际应用,是实现其广泛应用的关键。

3 养殖废水中病原微生物生物降解技术的优化对策

3.1 高效降解微生物的筛选与优化

表 1 概述了养殖废水中病原微生物降解技术优化的三

种主要策略，包括高效降解微生物的筛选、基因改造技术及多菌种复合培养的应用。这些策略通过不同的方法提高病原微生物的降解效率，帮助解决养殖废水中的病原微生物污染问题。表 1 总结了每种策略的具体方法和其带来的优势。

表 1 养殖废水中病原微生物降解技术优化策略

策略	具体方法	优势
高效降解微生物的筛选	选择放线菌、芽孢杆菌等具有良好降解能力的菌种	能在多种环境下生长，降解养殖废水中的多种病原微生物
基因改造微生物	通过基因编辑技术改造微生物基因，增强其降解能力和适应性	提高降解效率，能够在苛刻环境中存活并有效分解病原微生物
多菌种复合培养	通过复合培养不同菌种，利用微生物的协同作用提高降解效率	增强菌群的适应性，提高降解效果，适应多变的废水环境

3.2 强化降解环境条件提升效率

微生物降解技术的效率不仅依赖于微生物的降解能力，还与环境条件密切相关。因此，调控养殖废水中的环境参数以优化降解条件是提升降解效率的重要手段。在生物降解过程中，环境参数如 pH、温度和溶解氧等直接影响微生物的生长与代谢活动。微生物在特定的环境条件下生长繁殖最为迅速，降解效率也最高。例如，大部分降解微生物在中性或弱碱性的环境中表现出较强的降解能力，因此调节废水的 pH 值至适宜范围，可以有效提高微生物的活性和降解效率。在温度方面，大多数微生物在 30℃ ~40℃ 的温度范围内具有较好的降解效果，过高或过低的温度都会抑制微生物

的代谢活动。因此，通过调节废水温度，确保微生物在最佳温度下生长，可以显著提高降解效率。溶解氧则是影响微生物呼吸和代谢的关键因素，适宜的溶解氧浓度能够促进微生物的有氧代谢，从而加速降解过程。除了这些基本的环境参数外，营养物质的添加和生物刺激策略也是强化降解效果的有效途径。通过适量添加氮、磷等元素，能够为降解微生物提供充足的营养，促进其生长和代谢，从而提高降解效率。一些生物刺激剂，如酶、激素等，也能够促进微生物的生长，提高其降解活性。通过这些措施，不仅能够提高降解微生物的生长速率，还能有效地加速病原微生物的分解。另一个提升降解效率的技术手段是生物膜和固定化技术。生物膜技术通过将降解微生物附着在载体表面，形成一个稳定的微生物群落，使其能够在废水中长期存活并持续降解污染物。相比传统的自由浮游菌，生物膜中的微生物具有较强的稳定性和耐逆性，能够适应废水中复杂的环境条件。固定化技术通过将微生物固定在载体上，可以避免微生物的流失，增强其降解能力并延长其使用寿命。固定化微生物不仅能够提高降解效率，还能降低操作成本。因此，结合生物膜与固定化技术，有助于提高降解微生物的稳定性和降解效率，从而在养殖废水处理过程中发挥更大的作用。

3.3 生物降解技术与其他污水处理技术的协同应用

流程图 1 展示了生物降解技术如何与其他污水处理技术（如化学消毒、物理吸附、膜过滤等）协同应用，以提高养殖废水中病原微生物的降解效率。通过结合不同技术的优势，可以实现更高效、环保的废水处理。

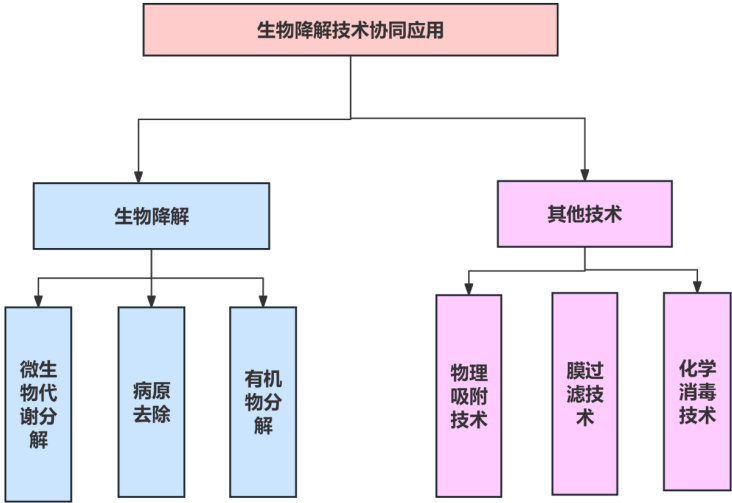


图 1 生物降解技术与其他污水处理技术协同应用思维流程图

4 结语

论文对养殖废水中病原微生物的生物降解技术进行了详细综述，探讨了养殖废水中病原微生物的成分特征、环境行为及降解机制，分析了传统处理方法的局限性以及病原微生物抗性问题的，并提出了生物降解技术优化的多种策略。通过筛选和优化高效降解微生物、调控环境条件以及实现生物

降解与其他污水处理技术的协同应用，可以显著提高病原微生物的去除效率，降低废水处理的成本和环境负担。未来，随着技术的进一步研究和应用，生物降解技术将为养殖废水的治理提供更加可行和有效的解决方案。由于养殖废水中病原微生物种类繁多且处理环境复杂，因此在实际应用中需要综合考虑多因素的影响，选择最合适的处理技术，并不断完

善优化策略，以实现养殖废水中病原微生物的彻底去除和水环境的可持续保护。

参考文献：

[1] 匡彬,周丽琳,蔡传林,等.电活性菌藻膜耦合虹吸曝气技术处理海水养殖废水[J].农业工程学报,2023,39(21):205-212.

[2] 刘思强,信欣,杨雯钰,等.不同热解温度BC对BAF处理水产养殖废水的影响机制[J].中国环境科学,2023,43(3):1131-1141.

[3] 窦培谦,孙春宝,张达鑫,等.臭氧氧化二级出水回用于选矿浮选的适用性[J].环境工程学报,2022,16(6):1845-1852.

[4] 彭秋瑜,刘如玲,李萌,等.序批式反应器改良工艺对海水养殖废水中氮和磺胺嘧啶去除及微生物群落分析[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2023,53(12):146-154.

[5] 张晶,黄红英,曹云,等.极端嗜热菌联合高温预处理促进猪粪堆肥腐熟效果研究[J/OL].生态与农村环境学报,1-20[2025-02-18].

[6] 陈怡然,熊竹青,周脚根,等.畜禽养殖业数据应用展望和问题分析[J].中国科学院院刊,2024,39(11):1982-1993.

[7] 聂正鑫,蒋芷榆,刘燕青,等.休耕田对水产养殖废水抗生素去除及

风险评估[J].农业环境科学学报,2023,42(2):451-460.

[8] 张红伟,崔丙健,刘春成.再生水农业灌溉中生物污染物研究进展[J].河南农业科学,2024,53(3):1-16.

[9] 国显勇,吴英海,陈锋,等.玉米芯释碳影响因素及其在低碳氮比污废水处理中的应用进展[J].大连海洋大学学报,2023,38(1):168-175.

[10] 赵洋,孙慧明,林浩澎,等.一株安全高效的好氧反硝化菌 *Pseudomonas stutzeri* DZ11 的生物安全性及脱氮性能研究[J].生物技术通报,2022,38(10):226-234.

[11] 余勇江,连英丽,陈胜锋,等.水产养殖系统中的脱氮微生物及技术研究进展[J/OL].微生物学通报,1-14[2025-02-18].

[12] 刘元望,李兆君,冯瑶,等.微生物降解抗生素的研究进展[J].农业环境科学学报,2016,35(2):212-224.

作者简介: 梁思阳(1999-),男,中国广东中山人,硕士,从事水力空化处理珠江河水研究。