

基于碳纳米管复合抑菌膜的养殖废水治理技术探索

王静静 姜运山 吴华健

池州职业技术学院

DOI: 10.12238/ems.v6i2.7016

[摘要] 碳纳米管复合抑菌膜的出现为养殖废水治理提供了新的方向, 彻底打破了传统的养殖废水治理模式。基于此, 本文着重探讨了碳纳米管复合抑菌膜的关键部件、作用机制、制备方法, 并分析了碳纳米管复合抑菌膜在养殖废水治理中的有效应用, 以准确评估基于碳纳米管复合抑菌膜的养殖废水治理技术的应用价值, 从而更好地进行废水治理, 促进养殖业的可持续发展。

[关键词] 碳纳米管复合抑菌膜; 养殖废水; 治理技术

Exploration of aquaculture wastewater treatment technology based on carbon nanotube composite antibacterial film

Wang Jingjing, Jiang Yunshan, Wu Huajian
chizhou vocational technical college

[Abstract] The emergence of carbon nanotube composite antibacterial film provides a new direction for the treatment of aquaculture wastewater, completely breaking the traditional mode of aquaculture wastewater treatment. Based on this, this article focuses on exploring the key components, mechanisms of action, and preparation methods of carbon nanotube composite antibacterial films, and analyzes the effective application of carbon nanotube composite antibacterial films in the treatment of aquaculture wastewater, in order to accurately evaluate the application value of aquaculture wastewater treatment technology based on carbon nanotube composite antibacterial films, so as to better carry out wastewater treatment and promote the sustainable development of the aquaculture industry.

[Key words] Carbon nanotube composite antibacterial film; Farming wastewater; Governance technology

引言:

在养殖废水治理过程中,碳纳米管复合抑菌膜具有过滤、抗菌、保护生态系统的作用,将会大大提高废水处理的效率、安全性和可靠性,并产生最佳的废水治理效果。通过了解碳纳米管复合抑菌膜的制备方法,在合适时机下,广泛推广基于碳纳米管复合抑菌膜的养殖废水治理技术,应对各种挑战,减少环境污染,扩大养殖规模,取得最大化的养殖效益,具有重要意义。

1、碳纳米管复合抑菌膜的关键部件和作用机制

1.1 结构和组成

碳纳米管复合抑菌膜由几个关键部件组成,每个部件都具有独特的结构和功能。膜的核心是碳纳米管,是由排列成六角形晶格的碳原子组成的一种圆柱形纳米结构。纳米管表现出卓越的机械强度、高表面积和独特的电性能,使其成为

膜制造的理想构建模块。碳纳米管通常被掺入聚合物基质中,形成具有增强性能的复合材料。膜制造中常用的聚合物包括聚偏二氟乙烯(PVDF)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)和聚酰胺(PA)。聚合物基质的选择会影响膜的特性,例如孔隙率、亲水性和机械强度。除了碳纳米管和聚合物之外,复合膜中还经常加入抗菌剂以赋予杀菌性能。这些抗菌剂可包括金属纳米粒子(例如银、铜)、季铵化合物或具有固有抗菌活性的有机分子。碳纳米管、聚合物基质和抗菌剂的组合产生了具有有效抗菌性能的协同材料。

1.2 抑制细菌生长的作用机制

碳纳米管复合膜的抑菌活性源于破坏细菌生长和活力的多种机制。这些机制包括:(1)物理相互作用:碳纳米管具有高纵横比和纳米级尺寸,使其能够在接触时物理刺穿细菌细胞膜。这种机械破坏会损害细菌细胞的完整性,导致细胞

内容物泄漏并最终导致细胞死亡。此外,碳纳米管粗糙的表面形态促进细菌粘附,促进抑菌剂与细菌细胞之间的直接接触。(2)氧化应激:碳纳米管具有固有的氧化还原特性,使其在与光或氧气等环境刺激相互作用时产生活性氧(ROS)。这些ROS,包括羟基自由基和单线态氧,对细菌细胞产生氧化应激,对蛋白质、脂质和DNA造成损害。氧化损伤会损害重要的细胞过程并最终导致细菌死亡。(3)细胞过程的破坏:除了物理和氧化机制之外,碳纳米管还可以干扰细菌细胞内的重要细胞过程^[1]。例如,碳纳米管可能会破坏细菌细胞信号传导途径、抑制酶活性或干扰营养吸收机制。通过针对多个细胞过程,碳纳米管复合膜对多种细菌物种发挥有效的杀菌作用。

2、碳纳米管复合抑菌膜的制备方法

2.1 制造工艺

碳纳米管复合抑菌膜的制备,需要用到不同的制造工艺。这些工艺包括:(1)溶液流延:溶液流延由于其简单性和多功能性而被广泛采用的制造碳纳米管复合膜的方法。在此过程中,通过将碳纳米管、聚合物和抑菌剂溶解在合适的溶剂中来制备含有碳纳米管、聚合物和抑菌剂的溶液。然后将溶液浇铸到基材上并进行干燥或溶剂蒸发以形成薄膜。可以应用诸如退火或交联之类的后续处理来增强膜稳定性和机械性能。(2)逐层组装:逐层组装涉及将碳纳米管、聚合物和抑菌剂的交替层顺序沉积到基板上。这种方法可以精确控制膜的厚度和成分,从而实现定制的膜特性。相邻层之间的静电相互作用或化学键合有利于形成稳定的复合膜。逐层组装具有优异的可扩展性和可调性,使其适合大规模生产碳纳米管复合膜。(3)静电纺丝:静电纺丝是一种用于生产具有高表面积和孔隙率的纳米纤维膜的通用技术。在此过程中,使用高压电场将含有分散碳纳米管和抑菌剂的聚合物溶液静电纺成纳米纤维。所得纤维垫可收集到转鼓或平坦基底上以形成膜。静电纺膜具有独特的结构特征,例如互连的孔隙和高长径比纤维,从而提高了其过滤效率和抑菌性能。(4)模板辅助合成:模板辅助合成涉及使用牺牲模板在膜基质内创建多孔结构。将碳纳米管、聚合物和抑菌剂沉积到模板表面上,随后固化或交联以形成复合膜。模板的去除留下了具有明确的孔结构和增大的表面积的多孔膜。模板辅助合成可以精确控制孔径和分布,从而优化特定应用的膜性能。

2.2 影响因素

碳纳米管复合抑菌膜的性能,主要受到以下因素的影响:

(1)碳纳米管浓度:膜基质中碳纳米管的浓度显著影响其机械、电学和抑菌性能。由于增强了物理相互作用和对细菌细胞施加的氧化应激,较高浓度的碳纳米管导致机械强度、导电性和杀菌功效增加。然而,过高的浓度可能导致碳纳米管聚集并损害膜的完整性。(2)聚合物的选择和组成:聚合物

基质的选择可以决定膜的性能,例如孔隙率、亲水性和机械强度。不同的聚合物在与碳纳米管的相容性、易于加工以及环境条件下的稳定性方面具有独特的优势。选择合适的聚合物组成和共混比更容易提高膜的性能和耐久性^[2]。(3)抑菌剂的掺入:抑菌剂的选择和浓度影响碳纳米管复合膜抑制细菌生长的功效。银和铜等金属纳米粒子通过膜破坏和ROS生成等机制表现出广谱抑菌活性。有机抑菌剂,例如季铵化合物,会破坏细菌细胞膜并干扰细胞过程。膜基质内抑菌剂负载和分布的优化能够最大化抑菌功效、同时最小化细胞毒性和环境影响。(4)加工条件:溶剂类型、浇铸温度和干燥条件等加工参数会显著影响膜的形态、孔隙率和机械性能。加工条件的优化可确保碳纳米管和抑菌剂在膜基质内均匀分散以及防止可能损害膜性能的缺陷或结构不规则性。此外,退火、交联或表面改性等后处理技术可以进一步增强膜的稳定性和功能性。

2.3 优化策略

碳纳米管复合抑菌膜的性能优化,通常会用到以下策略:

(1)表面功能化:表面功能化涉及改变碳纳米管和聚合物基质的表面化学性质,以增强抑菌活性、防污性和生物相容性。可以通过化学处理或等离子体改性将羟基、羧基或氨基等官能团引入膜表面。这些官能团促进与细菌细胞的相互作用,促进ROS的产生,并减少生物膜的形成,从而提高膜的性能和寿命。(2)纳米复合材料协同作用:可以利用碳纳米管、聚合物和抑菌剂之间的协同效应来增强膜性能,超越每个组件的单独贡献。例如,碳纳米管和金属纳米粒子的组合可以通过物理和氧化机制的结合来协同增强抑菌活性。同样,加入亲水聚合物或纳米材料可以提高膜的润湿性和抗污染性,从而延长使用寿命并减少维护要求。(3)多功能膜设计:多功能膜设计涉及将光催化、吸附或选择性离子传输等附加功能集成到碳纳米管复合膜中,以应对特定的废水处理挑战。例如,加入二氧化钛或氧化锌等光催化纳米颗粒可以在太阳照射下实现自清洁和消毒,从而增强膜在室外或远程环境中的性能。同样,选择性离子交换膜可以促进去除废水中的特定污染物,例如重金属或有机污染物,补充碳纳米管复合膜的抑菌能力。(4)放大和商业化:碳纳米管复合膜制造工艺的放大需要从实验室规模研究过渡到工业规模生产。必须优化制造方案、设备设计和质量控制措施,以确保在较大生产规模下保持一致的膜性能和成本效益。学术界、工业界和监管机构之间应该达成长期的合作关系,共同应对与规模化和商业化相关的挑战,包括监管合规性、市场接受度和技术转让。

3、碳纳米管复合抑菌膜在养殖废水治理中的有效应用

3.1 过滤过程

过滤过程是废水处理的基本组成部分,涉及去除水流中

的悬浮固体、有机物和病原体。碳纳米管复合抑菌膜在养殖废水处理过滤方面具有多项优势: (1) 过滤机制: 碳纳米管复合膜通过物理筛分和吸附机制的结合来去除废水中的污染物。碳纳米管的纳米级孔隙和高表面积能够截留悬浮固体、藻类、细菌和其他颗粒物, 有效地将它们与水流分离^[3]。此外, 带电污染物和膜表面官能团之间的静电相互作用是一种重要的吸附机制, 能够产生巨大的吸引力和静电力, 直接增强膜的污染物截留能力, 整体提高膜的净化效果。(2) 过滤效率: 碳纳米管复合膜的过滤效率取决于多种因素, 包括膜孔径、表面化学和亲水性。较小的孔径可增强颗粒物和细菌的去除能力, 而亲水基团的表面功能化可减少污垢并提高渗透性。金属纳米粒子等抑菌剂的加入通过减少细菌粘附和膜表面生物膜的形成进一步提高过滤效率。(3) 抗结垢性: 结垢, 即膜表面有机和无机沉积物的积累, 是废水处理过程中的常见挑战。碳纳米管复合抑菌膜由于其疏水性、低表面能和表面粗糙度而表现出固有的抗污染性。此外, 抑菌剂的存在可以防止微生物定植和生物膜形成, 减少污垢并延长膜的使用寿命。可以采用定期清洁和维护方案来减轻污垢并恢复膜性能。

3.2 抑菌功效

在养殖废水处理中, 控制细菌污染旨在预防疾病爆发和维持水质。碳纳米管复合抑菌膜在抑制细菌生长和增殖方面具有多项优势: (1) 抑菌作用机制: 碳纳米管复合膜通过多种机制发挥有效的抑菌活性, 包括物理破坏、氧化应激和干扰细胞过程。碳纳米管的高长径比和纳米级尺寸使其能够在接触时物理刺穿细菌细胞膜, 导致细胞裂解和死亡。碳纳米管在光或氧气等环境刺激下会产生活性氧 (ROS), 从而对细菌细胞造成氧化损伤。掺入膜基质中的抑菌剂 (例如金属纳米粒子或有机化合物) 则会破坏细菌细胞膜并干扰重要的细胞过程, 进一步增强抑菌功效。(2) 广谱活性: 碳纳米管复合抑菌膜对养殖废水中常见的多种细菌病原体表现出广谱活性。这包括革兰氏阳性菌, 如芽孢杆菌和葡萄球菌属, 革兰氏阴性菌, 如大肠杆菌和假单胞菌属, 以及致病菌株, 如弧菌和气单胞菌属。碳纳米管复合膜表现出的多方面抑菌作用机制使其能够有效对抗浮游细菌和细菌生物膜, 确保废水处理过程中的全面微生物控制^[4]。(3) 抵抗抗生素耐药性: 碳纳米管复合抑菌膜的显著优势之一是能够减缓抗生素耐药性细菌的发展。与针对特定细胞成分或代谢途径的传统抗生素不同, 碳纳米管和抑菌剂所发挥的物理和氧化作用机制不易受到细菌耐药机制的影响。通过针对多种细胞结构和过程, 碳纳米管复合膜提供了针对抗生素耐药细菌的坚固屏障, 从而降低了治疗失败和环境污染的风险。

3.3 长期性能和可持续性

确保废水处理系统的长期性能和可持续性可以一定程度

上延长养殖设施的使用寿命, 使养殖取得更大的成功。碳纳米管复合抑菌膜在耐用性、稳定性和环境影响方面具有多种优势: (1) 耐久性和稳定性: 碳纳米管复合抑菌膜在恶劣的环境条件下表现出优异的耐久性和稳定性, 适合养殖废水处理设施的长期运行。碳纳米管固有的机械强度和化学稳定性, 与聚合物基体的坚固性相结合, 确保随着时间的推移能够抵抗物理和化学降解。此外, 膜的抑菌特性在其整个使用寿命期间得以保留, 提供持续的保护, 防止细菌污染。(2) 可持续性和环境影响: 在养殖废水处理中使用碳纳米管复合抑菌膜可带来多种环境效益, 包括减少能源消耗、最大限度地减少化学品使用和减少环境污染。与氯化或臭氧等传统处理方法相比, 膜过滤所需的能源更少, 并且不会产生有害的消毒副产物。此外, 碳纳米管复合膜的可回收性和可重复使用性通过减少废物产生和资源消耗有助于整体可持续性^[5]。(3) 监管合规和健康安全: 碳纳米管复合抑菌膜经过严格的测试和评估, 确保符合监管标准和健康安全指南。进行毒性评估、生物相容性研究和环境影响评估, 以评估这些膜在废水处理应用中的安全性和适用性。此外, 在膜制造中使用食品级或生物相容性材料可最大限度地降低浸出或污染的风险, 确保养殖和环境排放的处理水的完整性。

结束语

总而言之, 碳纳米管复合抑菌膜是一种安全可靠、经济高效、绿色环保的解决方案, 在养殖废水处理中发挥了不可或缺的重要作用。所以, 之后开展的研发工作, 应进一步优化膜的性能, 深入挖掘膜的潜力, 并广泛用于养殖行业或其他行业, 有效地应对各种污染问题, 为环境保护做出应有的贡献。

[参考文献]

- [1] 李柳. 多巴胺碳纳米管复合纳滤膜的制备及处理模拟染料废水[D]. 江西理工大学, 2021.
 - [2] 李诗蓉. 碳纳米管复合纳滤膜的制备及对染料废水的处理研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
 - [3] 欧阳果子, 李新冬, 张鑫等. 碳纳米管改性复合纳滤膜的制备及性能研究[J]. 化工新型材料, 2021, 49 (08): 93-100.
 - [4] 万帮伟, 杨洋. 硅橡胶/多壁碳纳米管复合材料应变感知性能研究[J]. 中国塑料, 2024, 38 (02): 1-6.
 - [5] 陈丹丹. 载银碳纳米管复合物的制备及其应用研究[D]. 苏州大学, 2020.
- 基金项目: 安徽省高校自然科学研究重点项目碳纳米管复合聚丙烯腈静电纺丝抑菌膜对养殖污水油水分离性能研究 (KJ2023A2023AH053229), 池州职业技术学院自然科学研究重点项目碳纳米管复合聚丙烯腈静电纺丝膜油水分离性能研究 (ZR2022Z4)