

藻菌固定化技术在水产养殖中的应用

章霞, 傅荣兵*, 柳敏海, 徐志进 (舟山市水产研究所, 浙江舟山 316000)

摘要 藻菌固定化技术具有强可控性、强重复性、长作用时间、高利用率等优点, 被广泛应用生产生活。随着该技术的不断发展, 藻菌固定化也被逐渐应用于水产养殖水质处理中。介绍了藻菌固定化技术的主要特性及其在工业污水、水产养殖中的应用研究以及发展前景。

关键词 藻菌固定化; 水产养殖; 水质处理

中图分类号 S949 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)20-139-02

Application of Algae Bacteria Immobilized Technology in Aquaculture

ZHANG Xia, FU Rong-bing*, LIU Min-hai et al (Zhoushan Fishery Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan, Zhejiang 316000)

Abstract Algae-bacteria immobilization (ABI) has many advantages, such as strong controllability, repeatability, long disinfecting time, high utilization rate, etc. It has been widely applied in the fields of life and production. With the development of technology, ABI also play a important role in improving water quality of aquaculture. The main characteristics, application on industrial wastewater, aquaculture of ABI were summarized, as well as the development prospect.

Key words Algae-bacteria immobilization; Aquaculture; Water quality administration

近年来,随着养殖水环境恶化、环境保护意识的加深以及水质处理技术的发展,水产养殖水质调控以及养殖废水处理问题越来越引起人们的关注。根据2010年国家环境保护部、国家统计局和农业部联合发布的《第一次全国污染源普查公报》可知,全国COD排放总量为3 028.96万t,总磷42.32万t,总氮472.89万t;水产养殖业所排放的COD为55.83万t,总磷1.56万t,总氮8.21万t,分别占全国排放量的1.84%、3.69%和1.74%。水产养殖业大换水量、高排放量导致部分水体中氮、磷等营养物质浓度的超标,加剧了水体有机污染和富营养化,对水域生态系统产生影响,危害水生生物以及人类自身安全。因此,亟需采用一种先进技术对养殖水质进行有效调控,藻菌固定化生物修复技术由此应运而生。

1 藻菌固定化技术

20世纪末,污水处理行业兴起了一项新技术——藻菌固定化(Algae-bacteria immobilization, ABI)。该技术通过采用吸附法、包埋法、交联法、共价结合法等方法固定有益菌和藻类,由藻-菌有效形成共生系统,提高水体细菌和藻类的浓度,从而达到有效处理废水中N、P等物质的效果,而且此技术还具有强可控性、强重复性、长作用时间、利用率高等优点,被广泛应用人们生产生活中,尤其是造纸业、化工业以及生活污水处理等方面^[1-3],在水产养殖中的应用也具有良好效果,具有良好的应用前景^[4-5]。

藻菌固定化的技术一般应用吸附法或者包埋法,通过选择聚乙烯醇(PVA)、海藻酸钠(SA)、活性淤泥、活性炭、沸石、麦饭石、石英砂和硅藻土等常见物质作为载体,吸附或者

包埋单胞藻-蛋白核小球藻、小球藻、铜绿微囊藻等混合有益菌-光合细菌、芽孢杆菌、EM菌等作为一个整体,在水质处理中发挥作用。藻菌固定化有利于提高微生物细胞浓度和纯度,保持高效菌种,反应迅速,且微生物流失少,产物分离容易,反应过程控制比较容易,并也有利于除氮和去除高浓度有机物或某些难降解物质,并且藻菌固定化在菌体和藻类之间能够互相提供生长因子,有助于延长整体打分存活作用时间,有助于水质的处理效果^[6]。

2 藻菌固定化技术在工业污水处理中的应用

20世纪60年代,固定化技术开始迅速发展。20世纪70年代后期,随着环境污染的日益严重,国内外开始应用固定化技术来处理工业废水,目前藻菌固定化已较为成功地运用于污水处理中,且效果显著。

王爱丽等^[7]证实混合固定化藻菌体系比单一固定化藻对污水中的N、P有更好的去除效果。污水经细菌和铜绿微囊藻二者联合处理后,污水的水质理化指标中N、P都降低到较低水平,尤其对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果更好。

范唯等^[8]运用固定化栅裂藻(Scenedesmus)以及芽孢杆菌等对焦化废水进行净化,在最佳条件下7d后固定化栅裂藻可以将焦化废水的氨氮浓度由300 mg/L降低到24 mg/L、苯酚浓度由3.01 mg/L降至0.48 mg/L、色度由402.67度降至354度。结果表明,经过这种工艺处理后色度、氨氮、苯酚的去除率分别为92.62%、86.33%和88.55%。该处理系统焦化废水处理达到国家一级标准。这表明藻菌固定化技术在高难度废水处理应用中已经有了重大突破。

为了改善藻细胞和活性淤泥的共培养技术,邓旭等^[9]利用固定化藻细胞流化床,最佳操作条件为DO浓度5 mg/L,光照强度2 000 lx,固定化藻球填充率20%,通过连续化处理系统最终出水COD降到15 mg/L左右,氨氮浓度降至0.5 mg/L以下,总磷含量在0.5 mg/L左右。在2个月的连续运行期间,出水水质始终保持稳定,表明该连续化污水

基金项目 浙江省农业新品种选育重大科技专项(2012C12907-8);浙江省公益技术研究农业项目(2015C32111);浙江省重大科技专项重点农业项目(2013C02029);海洋经济创新发展区域示范中央资金项目;舟山市公益类科技项目(2013C31047)。

作者简介 章霞(1989-),女,浙江金华人,初级工程师,硕士,从事水生动物病害研究。*通讯作者,高级工程师,从事水产动物增养殖研究。

收稿日期 2015-05-18

处理系统具有良好的操作稳定性,与同一试验的活性污泥部分相比具有更好的除磷能力。

王秀等^[10]也利用固定化藻菌小球流化床光生物反应处理高浓度有机废水,结果表明在室温条件下 COD 的去除率最高可达到 79.2%,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除也有较好的效果,最高去除率分别可达到 80.1% 和 82.4%。综合考虑各种因素(如处理效果、能耗以及操作条件和控制因素等),当光照强度为 4 000 lx、固定化藻菌小球浓度为 30 g/L 时,此试验达到较好的污染物去除效率。

在目前的研究中,主要的研究内容是影响藻菌混合固定的污水处理效果的影响因子(如藻菌的初始数量、期间变化、代谢功能关系、光照强度以及光照时间、溶解氧密度等)。王爱丽等^[7]指出芽孢杆菌等和铜绿微囊藻的菌藻比例为 2:1 较为合适,供氧条件相较于光强的对藻类生长的影响更为重要,良好的供氧条件有利于藻类的吸收,缺氧则会导致磷的释放。王秀等^[10]研究表明固定化藻菌小球密度为 30 g/L 时,具有较好的污染物去除率;当光照强度从 0 增强到 2 000 lx, COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 去除率分别增加 13.8%、12.0%、13.6%。当光照强度从 2 000 lx 增加到 4 000 lx 时, COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 去除率均有所增长,但趋势减缓;当光照时间为 12 h,各指标的去除率是反应时间为 6 h 的 1 倍多,由此可见在一定范围内加强光照强度,延长光照时间,可以提高反应系统对水质处理的作用效果,这与邓旭等^[9]的研究结果相符合。这些结果为进一步研究藻菌固定化的应用技术、应用范围以及工业化生产提供了必要的试验数据。

综上所述,不同研究目的、不同处理工艺以及不同搭配之间的藻菌固定化对于污水处理的效果以及实施条件都有所差异,所以进一步深化对藻菌固定化的研究以及多领域对藻菌固定化的使用具有重要理论和实践意义。

3 藻菌固定化技术在水产养殖中的应用

近年来,随着社会的进步和技术的发展,藻菌固定化逐渐应用于水产养殖中。藻菌固定化不仅有利于优势菌种的固定,而且能维持水体中较高浓度的有益菌和藻类,提高降解有机物、氨氮、总磷等的效率^[11],为水产养殖提供安全的养殖环境,减轻养殖废水污染压力,保证水产养殖的可持续发展。

郑耀通等^[12]研究表明利用固定化光合细菌技术净化养鱼池水质,在去除养殖水环境中总氮、总磷、氨氮以及降低 COD、增加溶解氧等方面具有显著效果。辛福言等^[13]进行沸石粉固定化对虾池水环境进行修复处理,结果表明固定化菌体明显改善水质,降解有机物。郑忠明等^[14]使用固定化有益微生物在养殖池塘进行了围隔比较试验,结果表明固定化微生物能更加有效地降解养殖池塘底泥有机质。韩士群^[15]利用固定化微生物对养殖水体的 3 种形态氮进行处理,结果表明固定化微生物可以显著降低水体的总氮、氨态氮和硝态氮的浓度,但除了氨态氮去除率在 80% 以上外,总氮和硝态氮的去除率都介于 60% ~ 70%。由此可见,微生物的固定化对水产养殖水环境的处理具有良好的效果,为后期藻菌固定化的应用提供了借鉴依据。

在关于藻菌固定化对养殖废水的处理效果的研究中,邹万生等^[16-17]比较了固定化 EM 藻菌(CEMI)、固定化活性污泥藻菌(CAMI)、固定化 EM-活性污泥协联藻菌(CEAMI)对珍珠蚌养殖废水中氮磷的去除效果以及光照强度、温度对三者脱氮去磷的影响。在试验条件下,CEMI、CAMI 和 CEAMI 的去 N 峰值(最高值)为 80.45% ~ 91.60%,去 P 峰值(最高值)分别为 76.28% ~ 84.67%,结果表明固定化 EM-活性污泥协联藻菌(CEAMI)对水质的处理效果最好,研究还表明光照强度和温度是影响藻菌固定化去 N、P 效果的重要环境因子,这都与藻菌固定化的处理工艺以及成分组成、去除目的相关。

武心华等^[18]在刺参养殖池塘有机物降解菌固定化及其对水质净化作用研究中指出沸石粉相较于活性炭、麦饭石、石英砂等其他 3 种介质对细菌的吸附能力较强,在此条件下,与游离菌体相比固定化低温菌对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的降解率分别达到了 56.2%、51.0% 和 78.3%,降解率则分别提高了 11.20%、10.40% 和 5.29%;固定化常温菌组合对 COD 的降解率达到 65.3%,降解率提高了 22.4%。

综上所述,藻菌固定化在水产养殖中应用研究的主要内容也集中在藻菌固定化的水质处理效果的影响因子方面,但是与其在污水处理中的应用相比藻菌固定化在改善水产养殖水质方面要更加考虑到水生动物的生物安全方面,如溶解氧、藻菌的生物种类、生物量、水质中的 N/P 比例、C/N 比例以及水体的 pH 等。

微生物对污染物的去除受到 DO、pH、C/N 等诸多因素的影响,而 C/N 对微生物硝化反硝化脱氮作用及溶磷效果的影响较大^[19-22],细菌和藻类的自身构成与代谢类型的差异密切关系到其对环境中碳、氮元素的需求量^[23]。研究表明,当水环境中 C/N > 10 时,有利于微生物的生长;添加葡萄糖、糖蜜、蔗糖等糖原有助于细菌的长期生长以及提高水处理效果^[24-28]。目前,添加碳源来提高养殖水体的 C/N 是近年来养殖生产应用中的环境调控方法,通过促进与优化异养细菌的生长来调节水质^[29-31]。同样,藻菌固定化中需要提供不断的碳源来保证细菌的持续生长需要,但又不至于影响藻类以及水生动物的平衡生长,并且也要考虑实际生产中的生产成本、生产工艺、实施途径等因素来决定 C/N 的维持范围和提供途径,因此结合 C/N 对藻菌固定化水处理技术的研究需要不断探索与研究。

4 小结

藻菌固定化在水产养殖中的应用研究目前还处于初级阶段,尽管在水质处理中的影响因素(光照、溶解氧、有机物浓度等)进行了初步探讨,但是结果相差较远,而在藻菌固定化的工艺、培养技术、应用技术等研究方面都不够完善,仍需要通过不断研究和探讨,以获得较为详尽和精确的数据来支持理论以及实践的发展。

然而,目前研究已表明藻菌固定化技术能够达到改善养殖水质、净化养殖废水、维持水域生态平衡的目的,这不仅有助于减少养殖风险、降低养殖成本,而且有助于养殖业节能

够完善,在实际操作中存在问题亟待解决。过往学者对于耕地流转的研究主要集中在流转主体、流转年限、流转土地的用途、流转合同签订、流转土地的界限等问题。而研究的不足之处在于:农民变市民之后的受教育、医疗、养老、就业培训、最低生活保障等问题的处理不完善^[14];农民发生土地流转时的核心利益问题亟等解决。因此,未来耕地流转的研究还需着手于以下这些方面:耕地流转中存在的问题;耕地流转不起来的原因;促进和加强耕地流转的有效措施。由此可见,耕地流转市场的核心是耕地流转市场的机制设计问题,由于我国耕地制度与完全竞争市场机制的基础相距甚远,土地供给方在市场力量方面的弱势、中国农地的产权界定不够清晰、基层政府以及集体组织对市场机制的权威的剥夺,导致耕地流转市场的监管势必成为核心问题,应在市场得到监督的前提下再进行耕地流转市场的价格机制设计。有了良好的耕地流转市场机制,农民在耕地流转中的意愿就可以得到真实的表达^[15],农村耕地流转也就可以有序运行,达到优化资源配置、优化经济结构、推进国民经济增长以及社会结构有效转换的目的^[15]。

参考文献

[1] 王晋玲. 城镇化进程中的土地流转研究——以振兴鑫源有机农产品专

(上接第140页)

减排,促进高效、洁净、循环的养殖系统的生成和养殖业的可持续发展。藻菌固定化作为新型的养殖水环境处理和养殖废水处理技术,在今后的水产养殖中将具有重要的推广和使用价值。

参考文献

- [1] TAM N F Y, WONG Y S. Effect of immobilized microalgal bead concentrations on wastewater nutrient removal[J]. *Environmental Pollution*, 2000, 107:145-151.
- [2] TRAVIESO L. Experiments on immobilization of microalgae for nutrient removal in wastewater treatment[J]. *Bioresource Technol*, 1996, 55(3):181-186.
- [3] 张向阳. 固定化小球藻去除污水中氮、磷的试验研究[J]. *中国给水排水*, 2008, 24(1):95-101.
- [4] 邹万生, 张景来, 刘良国, 等. 固定化藻菌去除淡水养殖废水氨氮效果研究及模型拟建[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(23):12650-12652.
- [5] 潘辉, 熊振湖, 孙伟. 共固定化藻菌对市政污水中氮磷的研究[J]. *环境科学与技术*, 2006, 29(1):14-16.
- [6] 倪学文. 海洋微藻应用研究现状与展望[J]. *海洋渔业*, 2005, 27(3):251-255.
- [7] 王爱丽, 宋志慧, 王福明, 等. 藻菌混合固定化及其对污水的净化[J]. *环境污染与防治*, 2005, 27(9):654-657.
- [8] 范维. 固定化藻菌系统处理焦化废水的模拟研究[D]. 武汉:武汉科技大学, 2008.
- [9] 邓旭, 魏斌, 胡章立. 利用固定化藻菌耦合系统同步去除污水中的COD和氮磷[J]. *环境科学*, 2011, 32(8):2312-2316.
- [10] 王秀, 张小平. 利用固定化藻菌小球流化床光生物反应处理高浓度有机废水研究[J]. *净水技术*, 2009, 28(1):54-57, 62.
- [11] 陈铭, 周晓云. 固定化细胞技术在有机废水处理中的应用与前景[J]. *水处理技术*, 1997, 23(2):98-104.
- [12] 郑耀通, 胡开辉. 固定化光合细菌净化养鱼水质试验[J]. *中国水产科学*, 1999, 6(4):55-58.
- [13] 辛福言, 李秋芬, 邹玉霞, 等. 虾池环境生物修复作用菌的模拟应用[J]. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(1):75-77.
- [14] 郑志明, 陆开宏, 蔡惠风, 等. 固定化微生物修复养殖池塘污染底泥的围隔试验[J]. *水产学报*, 2009, 33(3):462-469.
- [15] 韩士群. 固定化微生物对养殖水体浮游生物的影响及生物除氮研究

- 业合作社为例[D]. 太原:山西大学, 2013.
- [2] 陈美球, 肖鹤亮, 龙颖, 等. 农户耕地流转意愿及驱动力研究进展及展望[J]. *中国农业资源与区划*, 2008(2):68-72.
- [3] 李祖伍. 我国农地内部流转中政府角色研究[D]. 南京:河海大学, 2007.
- [4] 甘立志. 欠发达地区农村土地流转政策研究[D]. 重庆:重庆大学, 2008.
- [5] 王学才. 农村土地承包经营权流转问题研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2007.
- [6] 孔妮, 沈文玮. 关于我国土地流转理论的文献综述[J]. *北方经济*, 2008(16):38-47.
- [7] 邢姝媛. 农地流转的影响因素研究——基于成都平原6县(区、市)的调查[D]. 雅安:四川农业大学, 2005.
- [8] 唐文金. 农户土地流转意愿与行为研究[D]. 成都:西南财经大学, 2008.
- [9] 于志勇. 对加快农村土地流转管理对策的分析[J]. *科技创新与应用*, 2012(3):38-47.
- [10] 尹正锡. 湖南津市农地流转机制创新研究[D]. 长沙:湖南大学, 2010.
- [11] 张卫杰. 土地流转的意义、存在问题与对策[J]. *时代金融*(下旬), 2011(12):68-72.
- [12] 朱怡. 借鉴英国经验完善我国土地流转机制的研究[D]. 苏州:苏州科技学院, 2007.
- [13] 刘力. 我国农村土地承包经营权流转问题探析[D]. 郑州:郑州大学, 2010.
- [14] 杨婷娜. 农户土地承包经营权流转行为研究——基于绍兴县的农户调查[D]. 杭州:浙江大学, 2006.
- [15] 王兆林. 户籍制度改革中农户土地退出行为研究——重庆的实证[D]. 重庆:西南大学, 2013.

- [16] 邹万生, 刘良国, 张景来, 等. 固定化藻菌对去除珍珠蚌养殖废水氨氮的效果分析[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(4):720-725.
- [17] 邹万生, 刘良国, 张景来. 固定化藻菌对珍珠蚌养殖废水中TN和TP去除效果的影响[J]. *环境污染与防治*, 2011, 33(3):30-33.
- [18] 武心华. 在刺参养殖池塘有机物降解菌固定化及其对水质净化作用研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2011.
- [19] KIM D J, MIYAHARA T, NOIKE T. Effect of C/N ratio on the bioregeneration of biological activated carbon[J]. *Wat Sci Tech*, 1997, 36(12):239-249.
- [20] HORAN N J. Nutrient removal from wastewaters[M]. Pennsylvania: Technomic Publishing Company, 1994:26.
- [21] 王晓莲. A₂O工艺运行优化及其过程控制的基础研究[D]. 北京:北京工业大学, 2007:54-58.
- [22] 刘晓芳, 黄晓东, 孔健. 不同的碳源、氮源及碳氮比对微生物溶磷的影响[J]. *山东大学学报*, 2005, 40(2):15-18.
- [23] GOLDMAN J C, CARBON D A, DENNETT M R. Regulation of gross growth efficiency and ammonium regeneration in bacteria by substrate C:N ratio[J]. *Limnol Oceanogr*, 1987, 32(6):1239-1252.
- [24] 贾文林, 吴娟, 武爱国, 等. 碳氮比对人工湿地污水处理效果的影响[J]. *环境工程学报*, 2010, 4(4):767-770.
- [25] 傅利剑, 郭丹钊, 史春龙, 等. 碳源及碳氮比对异养反硝化微生物异养反硝化作用的影响[J]. *农村生态环境*, 2005, 21(2):42-45.
- [26] 钱伟, 陆开宏, 郑志明, 等. 碳源及C/N对复合菌群净化循环养殖废水的影响[J]. *水产学报*, 2012, 36(12):1880-1890.
- [27] 王朝朝, 李军, 高金华, 等. 脱氮除磷膜生物反应器处理低C/N值生活污水中试[J]. *中国给水排水*, 2010, 26(19):18-21.
- [28] 高磊, 包卫洋, 张天文, 等. 水体碳氮比对芽孢杆菌、乳酸菌与弧菌生长、拮抗作用及菌体碳氮比的影响[J]. *中国海洋大学学报*, 2013, 43(1):34-40.
- [29] HARIB, KURUP B M, VARGHESE J T, et al. Effects of caeobohyrate addition on production in extensive shrimp culture systems[J]. *Aquaculture*, 2004, 241:179-194.
- [30] HARIB, KURUP B M, VARGHESE J T, et al. Effects of caeobohyrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems[J]. *Aquaculture*, 2006, 252:248-263.
- [31] ASADUZZAMAN M, WAHAB M A, VERDEGEM M C J, et al. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds[J]. *Aquaculture*, 2008, 280:117-123.