DOI:10.15933/j.cnki.1004-3268.2009.01.005

养殖水体生物修复研究进展

郝民杰[1], 周文宗[1], 张　平[2]
(1.河南省科学院 地理研究所, 河南 郑州 450052; 2.郑州市环境保护局, 河南 郑州 450007)

摘要: 分析概括了国内外养殖水体生物修复的发展现状、方法及其优缺点, 提出菌藻联合、菌藻与大型沉水植物联合、菌藻与底栖动物联合、多种水生植物联合、经济鱼类与经济类水生植物联合等联合修复模式是生物修复研究的新方向。

关键词: 淡水养殖水体; 生物修复; 联合修复
中图分类号: X172　S949　　文献标识码: A　　文章编号: 1004-3268(2009)01-0018-04

当前, 我国的水产养殖业发展迅速, 据统计, 2007 年全国水产品产量 4950.5 万 t, 居世界首位。但随着水产养殖业的迅速发展, 河流、湖泊及近海的污染日趋严重, 养殖生态遭到破坏, 爆发性病害频繁发生, 给水产养殖业造成了巨大的损失。水质恶化的主要原因是在水体中投入过量的高蛋白人工饵料、治病虫害的药物, 以及余饵、养殖对象的排泄物和其他一些营养物质沉积水底, 其负荷超过了水体的自净能力, 使水体处于超负荷营养状态, 发生富营养化。改善水质恶化的传统做法是换水, 但需要大量清洁水源, 且耗费动力; 按常规方法处理, 需要较高投资和运转费用, 增加养殖成本。

生物修复法是一种通过微生物、植物等多种生物对水体中污染物进行降解, 从而使水质得到净化处理的新方法。与传统水体净化方法相比, 生物修复法克服了净化不彻底、易产生二次污染、危害养殖功能、破坏生态平衡等缺点, 能使被破坏的生态系统得以尽快恢复[1~3]。

1　生物修复概述

水体的生物修复又称生物改良, 指利用细菌、真菌、水生藻类, 甚至高等植物以及细胞游离酶的自然代谢过程降解、去除水体中的污染物[4], 降解或减轻有机污染物的毒性, 改变重金属的活性或在底泥中的结合态, 通过改变污染物的理化特性而影响它们在环境中的迁移、转化和降解速率[5]。剩余饵料、排泄物中主要的碳水化合物、蛋白质、脂肪, 均能在微生物的作用下分解转化, 进而被藻类或高等植物吸收, 达到去除的目的。

目前, 关于生物修复的研究处于相当活跃的时期, 养殖水体的生物修复以其低投入的特点, 安全、高效的性能被逐步用于广大养殖水体[6]。广义上, 养殖水体生物修复包括微生物修复、植物修复、动物修复、细胞游离酶生物修复等四大类型。

1.1　微生物修复

微生物修复是目前生物修复的主要形式, 分为原位微生物修复和异位微生物修复 2 类。原位微生物修复不需换水, 通过投 N, P 等营养物质和供氧, 促进土著微生物的代谢活性, 也可以驯化、接种、培养高效微生物菌株, 高效降解污染物; 异位微生物修复要求把污染水换出, 集中进行生物降解。目前应用主要有以下 3 种:

(1)使用生物膜: 由人工填料或天然材料作为载体, 细菌附着絮凝其表面形成膜状物。

(2)投加微生物和微生物制剂: 如光合细菌(PSB)、大型绿藻、席藻、螺旋藻和小球藻等。微生物制剂如 PSB 制剂、芽孢杆菌制剂、高效复合微生物菌群(EM)、以高温放线菌为主的玉垒菌复合菌剂、由放线菌蜡状芽孢杆菌等众多有益细菌组成的复合菌海可发微生物制剂。

(3)固定化微生物技术: 由固定化酶技术发展而来, 以吸附法和包埋法的应用最为广泛。该技术用于养殖水体氨、氮处理的研究越来越受到人们的重视。

1.2　水生植物修复

植物修复技术是利用自然生长的植物或者遗传

收稿日期: 2008-10-15
作者简介: 郝民杰(1972-), 男, 河南林州人, 工程师, 本科, 主要从事环境生态治理研究工作。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

工程培育的植物来修复污染水体的环境技术，主要表现在3个方面：

(1)控制底泥营养盐释放：如狐尾藻、凤眼莲能有效抑制底泥中N，P的释放，该技术是水生植物修复的主要研究方向。

(2)吸收过剩的营养物质：如芦苇、菱角、凤眼莲、茭白、满江红等水生植物可以有效吸收富营养化湖泊中的N，P等过剩营养物质。

(3)克藻效应：水生植物通过资源竞争影响浮游藻类的生长，其与浮游藻类有相互克制的特性。

1.3 水生动物修复

水生动物修复是当水体发生污染时，浮游植物大量生长，应用生物操纵理论，通过改变养殖生物的种类、组成和密度来调整水体的生态。如增加以浮游植物为主要饵料的鱼类种群密度，从而促使浮游植物生物量的下降，达到改善水质，增加透明度的目的。

(1)利用鲢鱼、鳙鱼、鲤鱼和草鱼等滤食性食藻鱼，以浮游植物为食，有效控制水体中的污染物浓度。

(2)利用枝角类等大型植食性浮游动物降低藻类生物量，提高水体透明度，使养殖水体达到良好的生物修复。

1.4 细胞游离酶生物修复

细胞游离酶生物修复技术是建立在固定化合成酶技术基础上的，以微生物在酶的作用下降解污染物原理，在微生物细胞外借助合成酶的催化作用，将水体中污染物分解，目前该技术在国内仍处于起步研究阶段。

2 养殖水体生物修复研究现状

目前，有关养殖水体生物修复研究最多的是微生物，包括用菌类和藻类去除水体中过多的含N，P的有机饵料，并初见成效；对菌类的研究大多集中在对有益微生物，特别是PSB的研究、固定、应用化上。如乔振国等[7]发现，在对虾饲料中和养殖水体中添加PSB，对促进对虾的生长和改善养殖水质都有重要作用。刘中等[8]研究表明，使用PSB后可使池塘底泥中硫化物下降58.04 mg/L，有机物下降39.90 mg/L以上，水质中溶解氧上升，使养殖产量得到提高。PSB施入养殖水体后，自身的繁殖菌数逐渐增加，8～10 d达到高峰，则水体中的其他有害弧菌、发光菌数量减少了，净化了水质，优化了养殖环境[9]。王万兵等[10]的研究证明，PSB在青虾精养池塘中应用确实可行，且能够明显降解水中的有毒物质，使有机污染、硫化氢、亚硝酸氮、氨氮等有害物质转化为无毒的营养物质，可避免有害物质的积累，净化水质，间接增氧。吴伟等对复合微生物制剂控制养殖水体水质的因子进行了研究[11,12]。在有机物降解菌分离、筛选方面，李秋芬等[13]成功分离、筛选出近10株虾池有机物降解菌，初步试验表明，虾池底部有机物在短时间内可降解80%以上，显示出良好的应用前景。其他菌体方面，陈家长等[14]研究了噬菌蛭弧菌在实验室条件下对水产养殖中常见病菌的裂解能力，及对池塘生态环境的改善作用。

在植物修复和动物修复方面，岳维忠等[15]对7种大型藻类吸收营养盐的情况进行了对比分析，筛选出蛎菜和草叶马尾藻2种吸收效果好的藻种。王国祥等[16]研究得出，喜旱莲子草、凤眼莲等漂浮植物对总氮、氨氮的去除率分别达77.2%和90.1%。陈育如[17]利用凤眼莲和菌藻共生系统组成的自然氧化塘进行污染养殖水体的治理，取得了明显的效果。沈耀良等[18]对金鱼藻、苦草和伊乐藻3类沉水植物净化受污水体的效果进行了试验研究。在动物修复方面，丁成曙等[19]用缢蛏对养殖水体净化能力作了研究。在淡水养殖的动物修复方面，李应森等[20]利用外荡养殖三角帆蚌，对养鱼水体进行了改善水质的试验，证明鱼蚌混养系统可有效改良水质，较好地延缓水体的富营养化。

在国外，日本有利用快速繁殖的多毛菌类来消除养殖池底有机污染的研究。对有益微生物在水产养殖中的应用研究，国外已成功地分离到可抑制病原菌、可促进养殖生物生长的菌株，有些已实现了商品化，在美国、日本和欧洲等地的发达国家及印度尼西亚、泰国等的水产养殖上得到越来越广泛的应用。

3 养殖水体生物修复的不足与展望

3.1 养殖水体生物修复的不足

养殖水体的生物修复近年来取得了很大的发展，但大多是对微生物修复的研究，对水生植物和水生动物的修复作用研究不多，且不同类型的修复多孤立地研究，不同生物的联合作用研究较少。另外，受生物特性的限制，生物修复还存在着许多局限性，一是生物修复的主要群体——微生物不能降解水体中所有污染物，污染物的不溶性、难生物降解性都影响着生物修复的效果；二是当水体中的污染物浓度过低，不足以满足微生物降解要求时，微生物生物修复就无法发挥其正常效能；三是应用植物修复，植物

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的生物量小,无法满足大面积污染的水体修复要求。

另外,在水体内投加微生物菌剂对养殖水体进行修复,只是加强了水体内部物能的转化,不能从根本上改变水质恶化趋势,在后期污染物总量逐步加大的情况下,仅靠微生物还不能完全有效地去除污染物。此外,目前在养殖水体生物修复的研究中,对于水环境整体的生态结构、功能研究还不够深入,特别是应用生态学原理来研究生物修复还有待加强。

再者,对于污染比较严重或复合污染的养殖水体,单一生物修复技术往往难以达到理想效果,将不同生物修复技术有效结合,形成联合生物修复技术可更有效地达到降解、去除污染物的目的。我国地大面广,养殖水域环境相差较大,受气候、地理、地形、人为等因素影响,采用单一生物修复技术受很大限制,几种生物修复技术同时使用,也可在不同阶段分别使用,以提高处理效率。例如在国外,比较成熟的方法是专性微生物与特异性植物相结合的生物修复技术。

3.2 养殖水体生物修复展望

养殖水体是一个小型生态系统,结构与功能比较完善,从生态学观点出发,运用生态学原理分析、解决养殖生态系统的水质污染问题,用生态补偿和环境补偿技术来修复完善水体内生态系统的结构和功能,使水体保持良好健康的养殖状态。强化养殖生态系统中植物的作用,耦合、优化植物种植系统和鱼、虾养殖系统,改善水质指标,降低养殖系统的病害发生率。动、植物耦合的养殖生态系统模式的研究在淡水养殖系统中刚刚起步,在这方面具有一定的研究和发展前景。

在微生物修复研究上,根据微生物的需要,合理调整水体环境因子,使修复中微生物的代谢处于最佳状态,以期达到更好的降解效果;运用分子生物学技术手段和基因工程理论,重新组建微生物的遗传性状,筛选具有降解多种污染物且降解效率更高的优良菌株及酶系,是提高生物修复效果的研究热点。

多种生物联合修复系统与单一生物种修复系统相比较,在能量和资源利用方面具有更大的性能比、更好的稳定性和更高的效率。实现养殖与控污相结合、养殖与种植互惠、养殖物种多元化,建立一个生物种群较多,食物链结构健全,能流、物流循环较快的整体养殖生态结构,使养殖生态结构整体化,使水产养殖由单一型向生态型发展。

联合修复的观点,正被广大科研人员和养殖厂家接受,根据国内外研究的现状,在总结广大科研工作者的经验基础上,得出以下几种联合修复模式:(1)菌藻联合:构成一个微生物链,形成一个较稳定的生态系统。(2)菌藻与大型沉水植物联合:菌藻将有机物等营养物质分解成小分子物质,通过大型植株吸收,将水体中的 N,P 转移到植物体内,有效地改善养殖水体水质。(3)菌藻与底栖动物类联合:建立菌藻—底栖动物模型,藻类和某些沉水植物利用光能为底栖无脊椎动物制造氧气,并为底栖动物提供食物,同时降解水中的 N,P 营养物质,底栖动物清理水底有机质,为共生菌提供生活场所,减少余饵造成的污染,其排泄物为菌类分解转化。(4)多种水生植物联合修复:针对水体中不同污染物,选择不同的水生植物,建立立体治理模式,分层培育水生植物,使不同层次的污染物都能作为水生植物的物料与能量充分利用起来。(5)经济鱼类与经济类水生植物联合:由闭合循环水产养殖系统与经济作物水栽培系统构建的综合生产系统,充分发挥渔、菜 2 种生产方式的能量与生态互补性,集成而形成的“养殖—种植—水质净化”新型生产模式。

参考文献:

[1] 罗义,毛大庆. 生物修复概述及国内外研究进展[J]. 辽宁大学学报,2003,30(4):298—302.

[2] 周启星,宋玉芳,孙铁珩. 生物修复研究与应用进展[J]. 自然科学进展,2004,14(7):721—728.

[3] 徐亚同,史家梁,张明. 生物修复技术的作用机理和应用[J]. 上海化工,2001(18—20):4—7,4—7,4—6.

[4] 安鑫龙,徐春霞,袁春营,等. 污染养殖水域环境的生物修复技术Ⅲ—污染淡水养殖水域环境的生物修复技术[J]. 水利渔业,2005,25(6):77—78.

[5] 李居中,迟宗福,肖国华,等. 微生物在水产养殖环境生物修复中的作用机制[J]. 渔业研究,2007(6):10—13.

[6] 李谷,吴振斌,侯燕松. 养殖水体氨氮污染生物修复技术研究[J]. 大连水产学院学报,2004,19(4):281—285.

[7] 乔振国,唐瑞英,黄宁宇,等. 三株 PSB 应用于对虾饲料及其养殖效果[J]. 海洋科学,1994(2):4—7.

[8] 刘中,于伟君,刘义新,等. 光合细菌在淡水养殖中的应用研究[J]. 水产科学,1995,10(1):16—18.

[9] 倪纯治,叶德赞,周宗澄,等. 光合细菌对养殖水体的生态调控作用[J]. 台湾海峡,1997,16(3):265—269.

[10] 王万兵,陈健. 光合细菌在青虾精养中的应用[J]. 海淡水养殖,2002(9):34.

[11] 吴伟. 应用复合微生物制剂控制养殖水体水质因子初探[J]. 湛江海洋大学学报,1997,17(3):16—20.

(下转第 24 页)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

小麦雄性不育的遗传机制，通常认为有基因、细胞质、染色体、光温等方面的原因。该不育系的不育性的机制则显得较为复杂。因为该不育系与普通品种杂交的高比率可恢复性，说明是核基因型控制的雄性不育类型，且为隐性不育，不是质不育类型；植株的主茎可结实，分蘖不育，这是一个基因型的 2 种表现，肯定与环境或发育有关，但播期不影响育性改变的特性目前找不到与环境有关的证据，因此，对该不育系的不育机制尚需深入研究。

3.2 染色体变异与 MSTE 的不育性

值得注意的现象是，MSTE 不育系的染色体结构和数目变异现象出现较高频率，这些变异出现的花粉母细胞在一些植株中约 20%，另一些植株高达 80%，这种异常减数分裂应该是不育性产生的遗传原因。那些减数分裂正常的花粉母细胞产生可育花粉，使植株结实，异常分裂的母细胞产生不育花粉，这种现象与不育系的部分不实性相对应。但为什么减数分裂异常出现在部分花粉母细胞中，而不是全部母细胞，还有待研究，推测可能与异源联会机制控制有关，因为观察到该不育系中有外源染色体，如减数分裂中一个 V 形的特别染色体（图版箭头）。这些结果说明该不育系可能与远缘物种染色体或片段渗入有关，与染色体结构和数目变异有关。

该雄性不育类型，植株茎秆粗壮，穗大，农艺性状较好，而且恢复源广，恢复度高，杂种后代有明显优势，是一个值得研究和利用的良好不育系材料。

参考文献：

[1] 金善宝. 中国小麦学[M]. 北京：农业出版社，1996：452－455.

[2] 孙其信. T 型杂种小麦优势表现的形态及遗传基础[J]. 北京农业大学学报，1985，11(4)：53－73.

[3] 邓景扬，高忠丽. 小麦显性雄性不育基因的发现与利用[J]. 作物学报，1980，6(2)：85－98.

[4] 叶绍文，容珊. VE 型小麦雄性不育系的研究[J]. 遗传学报，1980，7(1)：26－34.

[5] 黄寿松，李万隆，徐洁，等. 蓝标型小麦雄性不育、保持系的选育研究[J]. 作物学报，1991，17(2)：81－87.

[6] 宋国琦，胡银岗，何蓓如，等. YS 型小麦温敏雄性不育系 A3017 育性相关基因的 SSH 分析[J]. 西北植物学报，2006，26(7)：1301－1308.

[7] 周美兰，何觉民，唐启源. 光周期对光温敏核不育小麦 ES28 育性转换特性的影响[J]. 麦类作物，1997，17(2)：9－12.

[8] 吴晓华，张爱民，安玉麟，等. D2 型细胞质光敏雄性不育小麦的初步研究[J]. 华北农学报，1999，14(3)：15－18.

[9] 傅大雄，阮仁武. KM 型核质互作小麦光温敏雄性不育的发现与两系杂交小麦的拓建[C] //黄铁城，张爱民. 杂种小麦研究进展. 北京：农业出版社，1993：201－206.

[10] 姬俊华，茹振钢，张改生，等. 小麦温敏雄性不育系 BNY 的花粉育性及自交结实性研究[J]. 麦类作物学报，2004，24(2)：24－26.

[11] 宋亚珍，陈天佑，雷国材，等. 普通小麦 PTS 光温敏雄性不育的遗传分析[J]. 西北农林科技大学学报，2003，31(3)：47－50.

（上接第 20 页）

[12] 吴伟，余晓丽，李咏梅，等. 不同种属的微生物对养殖水体中有机物质的生物降解[J]. 湛江海洋大学学报，2001，9(3)：67－70.

[13] 李秋芬，袁有宪. 海水养殖环境生物修复技术研究展望[J]. 水产科学，2000，7(2)：90－92.

[14] 陈家长，简纪常，胡庚东，等. 利用有益微生物改善养殖生态环境的研究[J]. 湛江海洋大学学报，2002，22(4)：33－36.

[15] 岳维忠，黄小平，黄良民，等. 大型藻类净化养殖水体的初步研究[J]. 海洋环境科学，2004，23(1)：14－15.

[16] 王国祥，濮培民，张圣照，等. 冬季水生高等植物对富营养化湖海水提升泵净化作用[J]. 中国环境科学，1999，19(2)：106－109.

[17] 陈育如. 水体生态系统的生物修复研究[J]. 中国生态农业学报，2003，11(3)：166－168.

[18] 沈耀良，王美敬，李勇，等. 沉水植物修复受污水体净化效能的研究[J]. 苏州科技学院学报，2005，18(4)：1－4.

[19] 丁成曙，徐国成. 缢蛏对养殖水体净化能力的研究[J]. 水利渔业，2006，26(2)：73－74.

[20] 李应森，李家乐，刘仁杰，等. 外荡养殖三角帆蚌对水体主要水质因子的影响[J]. 上海水产大学学报，2006，5(2)：173－177.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net