

海水工厂化养殖废水处理技术进展*

ADVANCES IN RESEARCH OF WASTE WATER TREATMENT TECHNOLOGY OF MARINE AQUACULTURE PLANT

单宝田¹ 王修林¹ 赵中华² 胡海燕¹(¹ 青岛海洋大学 266003)(² 山东省海洋技术开发中心 青岛 266071)

随着海水养殖技术水平的提高和市场需求的扩大,近10年来我国海水工厂化养殖得到了迅速发展,由此导致海洋生态环境问题逐渐引起人们的广泛关注。由于养殖海水体系中的初级生产者种类和数量远远不能满足高密度养殖生物的生长需要,养殖过程中需投放饵料和化学品,作为养殖生物生长的营养和消毒剂等。这样,若不对养殖废水加以处理直接排海,养殖废水中所含的剩余饵料、化学品残留物、以及富含氮、磷、有机质和毒性物质的养殖生物排泄物会加剧养殖邻近海域海水富营养化程度和水质污染^[1,2],并引发有害赤潮等海洋生态环境问题^[18]。实际上,近年来,海水养殖废水排海总量已超过陆源污水排放,这可能是导致有害赤潮频发、规模不断扩大的重要原因之一。

由于海水盐度效应,以及养殖废水中污染物结构与常见陆源污水的差异,增加了养殖废水的处理难度。因此当前单纯针对海水工厂化养殖废水外排处理的专有技术较少。目前,主要采用常规的物理、化学和生化工艺处理养殖废水^[3,4],目的在于降低养殖废水中化学耗氧量(COD)、悬浮物(SS)和氨氮(NH₄-N)等物质的浓度,然后部分循环利用。但是,由于养殖废水污染物组成复杂和盐度效应,现有污水处理技术难以达到有效处理养殖废水的目的^[21-24],因此,为了最大限度地减少大量工厂化养殖废水对海洋环境所产生的危害,近年来国内外学者针对海水工厂化养殖废水的特点,对常规的物理、化学和生化处理技术分别进行了应用研究,取得了许多实用性成果。

1 物理处理技术

常规物理处理技术主要包括过滤、中和、吸附、沉淀、曝气等处理方法,是废水处理工艺的重要组成部分

分。对于工厂化养殖废水的外排和循环利用处理,机械过滤和泡沫分离技术处理效果较好。

1.1 过滤技术

由于养殖废水中的剩余残饵和养殖生物排泄物等大部分以悬浮态大颗粒形式存在,因此采用物理过滤技术去除是最为快捷、经济的方法。常用的过滤设备有机械过滤器、压力过滤器、沙滤器等^[5]。在实际处理工程中,机械过滤器(微滤机)是应用较多、过滤效果较好的方式。沸石过滤器兼有过滤与吸附功能,不仅可以去除悬浮物,同时又可以通过吸附作用有效去除重金属、氨氮等溶解态污染物^[6],对于某些特殊废水处理,以及循环水深度处理等有较好效果。

1.2 泡沫分离技术

自20世纪70年代,泡沫分离技术已在工业废水处理中得到广泛应用^[7]。其原理是向被处理水体中通入空气,使水中的表面活性物质被微小气泡吸着,并随气泡一起上浮到水面形成泡沫,然后分离水面泡沫,从而达到去除废水中溶解态和悬浮态污染物的目的。由于泡沫分离技术不仅可以将蛋白质等有机物在未被矿化成氨化物和其它有毒物质前就被去除,避免了有毒物质在水体中积累^[8],而且可向养殖水体提供所必需的溶解氧,对维护养殖水体生态环境有良好作用。

* 国家863计划资助项目2001AA623040号。

第一作者:单宝田,出生于1963年,高级工程师,主要从事环境科学与工程技术研究。电话:0532-2032908

收稿日期:2002-07-26;修回日期:2002-08-08

2 生化处理技术

生化处理技术主要是利用微生物的吸收、代谢等作用,达到降解水体中有机物和营养盐的目的,是目前处理溶解态污染物最经济有效的方式。养殖过程中投放的饵料和养殖生物排泄物主要是由碳、氮、磷等元素组成的碳水化合物、蛋白质、脂肪等,生化降解性较好。因此,可采用生化处理技术有效处理工厂化养殖废水,其中生物菌种的效能及其固定生长方式是决定处理效果的两个重要方面。

2.1 生化处理菌种

与淡水体系相比,海水中的消化菌群十分贫乏^[9],因此筛选高效并能在海水环境中快速繁衍、生长的生物菌群是有效处理工厂化养殖废水的关键。目前,国内外主要研究了光合细菌、玉垒菌和硝化细菌等在养殖废水处理中的应用。光合细菌可在厌氧光照或好氧黑暗条件下以二氧化碳和小分子有机物为供氧体兼碳源进行不放氧光合作用,由此可降低水体中的氨氮、硫化氢等有毒物质。光合细菌是目前应用最广泛的可有效改善养殖水体、去除水中污染物的生物菌体^[10-12]。玉垒菌是一类主要由高温放线菌组成的养殖废水生化处理菌株,目前已研制成系列产品,可有效去除养殖水体中的有机物和亚硝氮^[13]。硝化细菌包括硝酸菌和亚硝酸菌两类自养细菌,在自然海水环境中分别起着转化氨氮为亚硝氮和转化亚硝氮为硝氮的作用,实际上氨氮和亚硝氮对工厂化养殖生物有着较大的毒性作用,但是目前人们尚未发现可实际应用于养殖废水处理的硝化细菌,特别是硝酸菌。鉴于我国工厂化海水养殖的迅速发展及其日益严重的环境危害,国内学者在养殖废水生化处理菌种筛选上进行了许多有益的探索,例如已从海水养虾池底泥中分离、筛选出10株虾池有机物降解菌,初步试验表明,该类生化处理菌可快速、有效地降解80%以上的虾池底泥有机物^[14],显示出良好的应用前景。

2.2 微生物固定化技术

养殖废水生化处理工艺主要有接触氧化和固定化微生物技术两种。其中接触氧化工艺将传统的微生物挂膜工艺应用于养殖废水处理中,是目前养殖水循环利用处理中应用较多的工艺^[19,20]。但是,由于微生物挂膜工艺往往难以为生化处理菌种提供一个适宜的繁殖、生长环境,从而影响了废水生化处理效率,因此近年来开始研究固定化微生物技术。固定化微生物技术是通过一定的包埋方式将生化处理菌种固定在一个适宜其繁殖、生长的微环境中的技术,从而达到有效降解养殖废水中某些特定污染物的目的^[12]。目

前一般是经过富集、培养、筛选得到的高密度生化处理混合菌,包埋在海藻酸钠、PVA等凝胶材料中^[15],结果使天然海水环境中相对贫乏的菌种在包埋体系中形成优势菌种,并且使包埋体系中的生化处理菌不易随意流失,从而达到有效处理养殖废水的目的。由于固定化微生物密度高、活性强、反应速度快,与常规的微生物挂膜生化处理技术相比,对氨氮和某些难生物降解有机物具有显著去除作用^[15],因此该技术有望成为海水工厂化养殖废水处理的重要生化处理技术。

3 氧化技术

海水工厂化养殖废水不仅存在养殖生物排泄物等悬浮物,以及氨氮、可生物降解有机物等物质,而且也存在病原菌和难生物降解有机物。因此,利用臭氧、过氧化氢、二氧化氯、漂白液等化学氧化剂的氧化作用,杀灭水体中病原菌,氧化分解难生物降解溶解态有机物是养殖废水深度处理的主要手段。由于臭氧氧化能力强,在海水中的氧化还原电位为2.07 V,远高于氯(1.36 V),而且处理后的水体中溶解氧含量高,特别适合工厂化养殖废水中污染物的特点和处理后的水质要求。进一步讲,臭氧不仅能快速分解水体中的有机质和还原性无机质,杀灭水体中的病毒、病菌和微藻,而且具有无二次污染等优点。因此,臭氧氧化技术已在西欧、美国和日本被广泛应用于海水养殖系统的循环水处理^[16]。此外,臭氧不仅能快速降低海水COD,而且还可大大降低水体中氨氮和亚硝酸盐浓度^[7]。需要注意的是,当水体中残留臭氧浓度高于0.06 mg/L时,可对鱼虾等养殖生物产生一定的毒性作用^[4,17]。然而,由于臭氧在海水中的半衰期仅为20~25 min,因此在应用臭氧氧化技术处理养殖水作为循环水使用时,只要保持足够的停留时间,并同时配备鼓风曝气和活性炭吸附工艺,可确保水体中剩余臭氧对养殖生物不产生不良作用。

总之,海水工厂化养殖废水中污染物的多样性,决定了其处理工艺的复杂性。因此,在设计海水工厂化养殖废水处理工艺时,应本着高效、经济的原则,针对处理后的水质要求,有机组合物理、化学和生化处理技术。对目前我国常规的海水工厂化养殖厂,根据处理要求,可采用过滤→泡沫分离→微生物固定化技术→臭氧氧化工艺路线,如果处理后的废水作为养殖循环水利用时,在臭氧氧化技术中应配备曝气或活性炭吸附工艺,以避免水体中残留臭氧对养殖生物产生毒性作用。

参考文献

- 1 韩家波 木云雷 王丽梅. 海水养殖与近海水域的污染研究进展, 水产科学, 1999, **18**(4): 40 ~ 43
- 2 温志良 温琰茂. 海水养殖对环境的影响, 南海研究与开发, 2000, **1**: 37 ~ 40
- 3 温厚军. 水处理技术在水产养殖中的应用, 水产科技情报, 2001, **28**(2): 68 ~ 70
- 4 陈淑吟 孙国铭 吉红九. 臭氧水处理及其在水产养殖中的应用, 水产养殖, 2001, **2**: 28 ~ 31
- 5 徐亚同 史家樑 张明. 污染控制微生物工程. 北京: 化学工业出版社, 2001. 178
- 6 周华 孙建歧. 水产养殖业的水处理技术综述, 渔业现代化, 2000, **4**: 27 ~ 29
- 7 黄铭荣等. 水污染控制工程. 北京: 高等教育出版社, 1995. 56 ~ 59
- 8 罗国芝 谭洪新 施正峰等. 泡沫分离技术在水产养殖中应用, 水产科技情报, 1999, **26**(5): 202 ~ 206
- 9 孙国铭等. 海水循环式养殖系统 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 转化及其水质管理, 水产养殖, 1999, **10**(4): 12 ~ 14
- 10 刘利平. 光合细菌在水产养殖中的应用, 内陆水产, 2000, **11**: 21 ~ 22
- 11 左键 李晓君 史家樑. 光合细菌及净水装置在特种水产养殖中的应用, 水产科技情报, 1996, **23**(5): 216 ~ 219
- 12 游锦华 陈怡飏. 光合细菌在对虾育苗中的应用, 水生生物学报, 1995, **19**(1): 94 ~ 96
- 13 宫文兴等. “玉垒菌”(S_{10}) 和光合细菌 (PSB) 对温室养鳖池水质改良作用的研究, 中国水产科学, 2000, **7**(2): 116 ~ 118
- 14 李秋芬 袁有宪. 海水养殖环境生物修复技术研究展望, 中国水产科学, 2000, **7**(2): 90 ~ 92
- 15 李辉华. 固定化微生物技术及其在闭合循环养殖系统水处理中的应用, 水产科技情报, 2001, **28**(2): 51 ~ 54
- 16 朱学宝 谭洪新 罗国芝. 封闭循环工厂化水产养殖水质净化系统的技术构成, 内陆水产, 2000, **1**: 24 ~ 25
- 17 姜国良. 用臭氧处理海水对鱼虾的急性毒性效应研究, 海洋科学, 2001, **25**(3): 11 ~ 12
- 18 Tovar Antonio, Moreno Carlos. Environmental impacts of intensive aquaculture in marine waters, *Water Research*, 2000, **34**(1): 334 ~ 342.
- 19 Sauthier N., Grasmick A., Blancheton J.P.. Biological denitrification to marine closed aquaculture system, *Water Research*, 1998, **32**(6): 1932 ~ 1938
- 20 Shanableh A., Hijazi A.. Treatment of simulated aquaculture water using biofilters subjected to aeration/non aeration cycles, *Water science and Technology*, 1998, **38**(8-9): 223 ~ 231
- 21 Mac Millan R.J., Cawthorn R.J., Whyte S.K. *et al.*. Design and maintenance of a closed artificial seawater system for longterm holding of bivalve shellfish, *Aquaculture Engineering*, 1994, **13**(4): 241 ~ 250
- 22 Chin K.K., Ong S.L., Foa S.C.. Water treatment and recycling system for intensive fish farming, *Water Science & Technology*, 1993, **27**(1): 141 ~ 148
- 23 Jewell William J., Cummings Robert J.. Expanded bed treatment of complete recycle aquaculture systems, *Water Science & Technology*, 1990, **22**(1 ~ 2): 443 ~ 450
- 24 Van Rijn Jaap, Riera Guillermo. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit: nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification, *Aquaculture Engineering*, 1990, **9**(4): 217 ~ 234

(本文编辑: 张培新)