

海水工厂化养殖废水循环利用的初步探讨

林更铭¹, 李炳乾², 项 鹏¹, 杨清良¹

(1. 国家海洋局 第三海洋研究所, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 生命科学学院, 福建 厦门 361005)

摘要:以海水工厂化养殖排出的废水养殖双齿围沙蚕 (*Perinereis aibuhitensis*)、菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)、长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 和细基江蓠 (*Gracilaria tenuistipitata*)。结果表明:双齿围沙蚕耐污染能力最强;细基江蓠和双齿围沙蚕具有较强的净化水质能力。养殖废水经 7 d 处理后, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 、COD 和底质有机物分别下降至处理前的 11.20%、23.69%、27.50%、14.6%、3.2% 和 0.32%, 且沙蚕和江蓠平均日生长率分别为 2.30 mg/g·d 和 80 mg/g·d。该方法不但能净化水质, 还能实现养殖废水的循环利用。

关键词: 养殖废水; 细基江蓠 (*Gracilaria tenuistipitata*); 双齿围沙蚕 (*Perinereis aibuhitensis*); 循环利用
中图分类号: Q968.22 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2009)05-0047-04

随着海水养殖快速发展, 养殖水体和邻近水域有机物负载逐年加重。一方面养殖污染物的排放引起邻近水域的富营养化, 造成水质恶化和生态系统失衡乃至完全崩溃; 另一方面导致养殖水体自身的水质恶化、病害泛滥^[1-3]。因此, 养殖废水的循环利用, 不但能减轻自身和近海环境的污染, 还能实现节能减排和废水的资源化利用, 具有明显的经济效益和生态效益, 对发展海洋循环经济和促进海水养殖的可持续发展具有重大现实意义。

在海水养殖废水的处理方面, 国内外学者研究许多方法, 但这些方法有其自身的缺陷。通过沉积、过滤、泡沫分离等方法可以去除固态的悬浮颗粒物, 但不能去除溶解性污染物; 有些物理或化学处理技术如臭氧、紫外线照射、二氧化氯和聚丙烯酰胺多聚体水凝胶等方法, 处理成本较高; 固定化微生物处理方法因硝化作用和反硝化作用难以在空间和时间上统一, 目前还较少应用于工厂化养殖废水的处理上; 生物接触氧化、生物转盘、生物硫化床等生化处理工艺, 因养殖废水的盐度效应使得系统的单位处理能力不高, 另外, 海水中的硝化细菌群十分贫乏且人工分离纯化和培养的费用昂贵^[4-9]。近年来, 包括人工湿地在内的自然处理系统在养殖污染的控制过程中兴起^[10, 11]。国内湛江建立了“养殖池排污水循环处理系统”, 即通过轮虫滤食去除小型浮游生物和细菌等, 再通过微生物来分解水中的氮和磷等, 然后培养卵囊藻并作为对虾幼体的生物饵料。Tones 等^[12]研究了一种包括沉积 - 贝类过滤 - 藻类吸附的综合处理方法。江蓠和贝类在养殖废水的处理和池塘混养中被认为较理想的种类^[13-15]。江蓠属红藻门杉藻目江蓠科江蓠属的大型海藻, 能大量吸收水中营养盐,

从而改善水质并抑制赤潮发生。Jones 等^[16]利用可食江蓠 (*Gracilaria edulis*) 对虾池排放水做净化处理, 证明江蓠能大大改善水质。但贝类对污染物耐受能力有限且消化不彻底, 有产生生物沉降 (biodeposition) 现象, 如在广岛湾的牡蛎养殖区, 420 000 个牡蛎经 9 个月养殖后可产生 16 t 的粪便。而沙蚕属环节动物门多毛纲沙蚕科, 是多毛类中耐污染能力较强的底栖生物, 能摄食底泥中的沉积物、有机碎屑、微生物等有机污染物。目前在环境研究领域常用于海洋污染底质原位修复, 如利用小头虫 (*Captella* sp) 消除养殖池底有机污染物, 多齿围沙蚕 (*Perinereis nuntia*) 摄食牙鲆粪便和对虾养成池中的残饵、粪便等有机污染物^[17, 18]。王玲等^[19]以人工合成的牙鲆饵料投喂双齿围沙蚕, 研究其常规代谢和标准代谢的昼夜变化规律。本研究以海水工厂化养殖排出的废水养殖江蓠和沙蚕, 以期对养殖废水的循环利用和立体生态养殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 水质和底质的测定方法

水质和底质各监测项目采集、保存和分析方法, 按 GB12763-1991《海洋调查规范》和 GB17378.4-1998 和 GB17378.5-1998《海洋监测规范》中规定的有关方法进行, 具体监测项目与分析方法见表 1。

收稿日期: 2008-07-22; 修回日期: 2008-11-10

基金项目: 厦门市科技开发资助项目 (K08704(1))

作者简介: 林更铭 (1965-), 男, 福建泉州人, 副研究员, 主要从事海水养殖和海洋水生态研究, 电话: 0592-2195261, E-mail: lgm000888@163.com

表 1 监测项目及项目分析方法

Tab. 1 Monitoring items and analyse methods

	监测项目	分析方法	采用标准
海水水质	化学耗氧量(COD)	碱性高锰酸钾法	GB17378.4
	硝酸盐氮(NO ₃ ⁻ -N)	铈-镉还原法	
	亚硝酸盐氮(NO ₂ ⁻ -N)	盐酸萘乙二胺分光光度法	
	氨氮(NH ₄ ⁺ -N)	次溴酸盐氧化法	
	活性磷酸盐(PO ₄ ³⁻ -P)	磷钼蓝分光光度法	
底质	有机碳	重铬酸钾氧化-还原法	GB17378.5

1.2 试验材料

菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)、长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 和细基江蓠 (*Gracilaria tenuistipitata*) 采自泉州市泉港区金厝海水养殖场, 双齿围沙蚕 (*Perinereis aibuhitensis*) 取自晋江金井对虾幼体孵化场(沙蚕的产地为山东)。

1.3 实验方法

试验地点在漳州市龙海盛发对虾育苗场, 试验容器为 50 cm × 40 cm × 50 cm 的水族箱, 并配有充气设备。光照强度为 3 000 ~ 5 000 lx, 海水盐度为 20, 水温为 20 ~ 23 ℃。以对虾育苗过程中形成的沉积物拌泥沙铺底 10 cm, 并进育苗排出的废水 40 cm。

试验分两阶段: 第一阶段比较几种生物的耐污性, 分别放养双齿围沙蚕、菲律宾蛤仔和长牡蛎, 菲律宾蛤仔和长牡蛎的放养密度为 500 粒/m², 沙蚕为 1 000 条/m² (规格 2.20 g/条)。第二阶段放养细基江蓠和双齿围沙蚕, 分析它们对育苗废水的净化率, 细基江蓠的放养密度为 500 g/m², 双齿围沙蚕的放养密度为 1 000 条/m²。每天 17:00 取水样测定营养盐和化学耗氧量等化学参数, 并排干水以检查存活情况, 取底泥测定有机物含量, 然后把排出的水再倒回原水族箱, 其中双齿围沙蚕干露 1 h。

2 结果

2.1 几种生物的耐污性比较

工厂化育苗排出的废水含有大量悬浮颗粒, 养殖海水过度混浊不但会影响菲律宾蛤仔和长牡蛎的滤食, 甚至堵塞其出、入水管以致发生死亡。而多毛类是底栖生物中对污染耐受能力最强的类群。图 1 显示在 COD 质量浓度和底质有机物含量分别为 5.6 mg/L 和 4.2 % 的环境下培养 7 d, 双齿围沙蚕的存活率仍然高达 98 %, 而菲律宾蛤仔和长牡蛎的存活率分别为 76 % 和 46 %。可见, 双齿围沙蚕的耐污性最强。

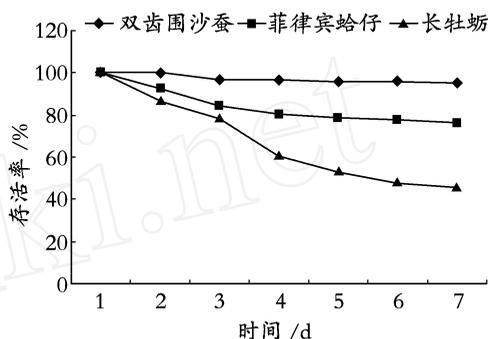


图 1 双齿围沙蚕、菲律宾蛤仔和长牡蛎存活率的比较

Fig. 1 Comparison of survival rates of *Perinereis aibuhitensis*, *Ruditapes philippinarum* and *Crassostrea gigas*

2.2 细基江蓠对无机营养盐的吸收率

育苗池排放的废水中, 主要的营养盐是无机氮和无机磷, 它们的无机氮一般以硝酸盐(NO₃⁻-N)、亚硝酸盐(NO₂⁻-N)、氨氮(离子态铵 NH₄⁺-N 和非离子态氮 NH₃-N)和磷酸盐(PO₄³⁻-P)等形式存在。而细基江蓠等大型藻类能吸收水体中硝酸盐、亚硝酸盐、铵氮等无机物, 从而减少水体氮、磷等营养物质的负荷。因此, 放养大型藻类是防治水体富营养化的一条成本低且易于推广应用的有效措施。图 2 示养殖废水经细基江蓠净化吸收 7 d 后, 水体中各种无机盐含量均大幅下降, NH₄⁺-N、NH₃-N、NO₂⁻-N 和 PO₄³⁻-P 分别下降至处理前的 11.20 %、23.69 %、27.50 % 和 14.6 %, 且细基江蓠生长良好, 平均日生长率高达 80 mg/g。

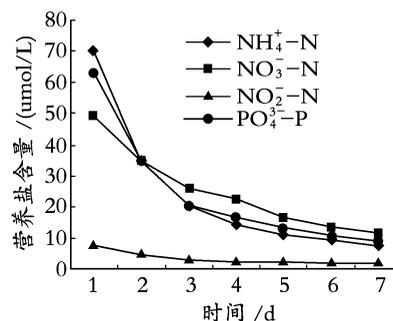


图 2 细基江蓠对无机营养盐的吸收率

Fig. 2 Uptake rate of inorganic nutrients by *Gracilaria tenuistipitata*

2.3 双齿围沙蚕对有机污染物的吸收率

化学耗氧量(COD)和底质有机物含量是衡量有机质污染的重要指标。随着养殖时间的增长,池水中的残余饲料、排泄物等有机物越来越多。图3显示对虾工厂化养殖排出的废水和沉积物经双齿围沙蚕7 d的净化后,水体中COD质量浓度从5.30 mg/L下降到0.82 mg/L,底泥中有机物质量分数也从3.2%下降0.32%,且双齿围沙蚕平均日生长率高达2.30 mg/g。

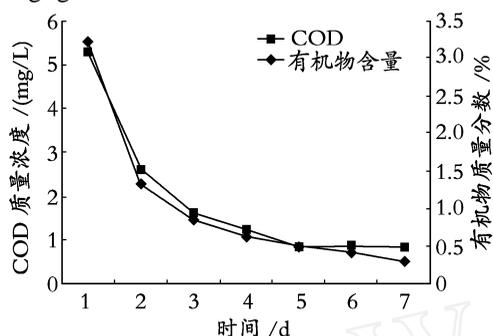


图3 双齿围沙蚕对有机污染物的吸收率

Fig. 3 Consume rate of COD and organic matter in sediment by *Perinereis aibuhitensis*

3 讨论

Kasper 等^[20]在新西兰的一个贻贝养殖场进行调查,发现其底栖生物的多毛类占绝对优势。国内在贝虾混养的池内也发现,栖息密度以多毛类占优势,高达115个/m²,占虾池底栖动物总栖息密度的78.2%^[21]。本试验结果也表明双齿围沙蚕的耐污性比其它两种贝类强。就多毛类而言,小头虫(*Capitella capitata*)、才女虫(*Polydora* sp)、溪沙蚕(*Namalycaeus abiuma*)耐污性更强。如溪沙蚕能在厦门市污水处理厂的好氧生物滤池中大量繁殖(由于海水会渗透到污水管道,导致进厂污水含有一定比例的海水)^[22]。然而,在筛选处理污水的生物时,除考虑该生物的耐污性外,还必须考虑其适盐范围、繁殖季节和苗种来源等实际问题。小头虫、才女虫和溪沙蚕人工育苗技术至今未见报道。另外,这些种类经济价值均不如双齿围沙蚕。而双齿围沙蚕的适盐范围较广(10.0~40.5),人工育苗和养成技术已经成熟,能满足生产的大量需求,且具有较高的经济价值,是较为理想的处理海水养殖废水的品种。

本试验考虑到沙蚕的存活率,在自然海区的最高放养密度为1000条/m²。当然,如以净化养殖废水为主要目的,放养沙蚕和大型经济藻类的密度越高净化速度越快。但池塘套养时必须考虑主体养殖品种的数量及养殖季节,如江蓠会与浮游植物竞争

营养盐,套养密度过高会导致营养盐含量过低的“瘦水”环境。有关工厂化养殖排出废水的污染物含量与养殖沙蚕和大型经济藻类的数量关系及池塘复合养殖系统的物质循环和能量流动有待进一步探索。

生物处理方法是目前水产养殖污染控制的一个重要趋势,由于该方法费用低、能耗少,而且不会对环境造成二次污染,适用于各种易变的水域条件,是一项有发展前途的“绿色”海水养殖的污染控制技术。以细菌为主体的传统废水处理方法虽取得一些成果,但不能实现废物的资源化利用;用轮虫和小型藻类处理养殖废水,日常管理和技术要求较高且经济收益较低;贝类在养殖废水的处理和池塘混养中,被认为较理想的种类,但对污染物耐受能力有限,还受生产季节的限制。另外,病原菌和残留的药物可能在贝类有机体内富集。而沙蚕净化污染物的能力相当于陆地的蚯蚓,同时沙蚕又可用作休闲渔业的钓饵和经济鱼虾的优质饵料。因此,利用沙蚕和大型藻类进行养殖废水处理,既简单易行,又不会对环境造成二次污染,还能实现养殖废水的循环利用。可在工厂化养殖较集中的地区进行排出废水集中沉淀,建立以沙蚕和大型经济藻类为主的人工湿地处理系统,在池塘套养沙蚕和大型经济藻类,建立不同生态位的立体生物修复模式。

参考文献:

- [1] 姜红,李月红,黄权. 养殖水体的有机物负荷及其减轻对策[J]. 中国水产, 2000, 2: 32-33.
- [2] 林小涛. 海水养殖自身污染的危害与对策[J]. 海洋与渔业, 2001, 9: 21-23.
- [3] 舒廷飞,罗琳,温琰茂. 海水养殖对近岸生态环境的影响[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(2): 74-79.
- [4] 刘鹰,王玲玲. 集约化水产养殖污水处理技术及应用[J]. 淡水渔业, 1999, 29(10): 22-24.
- [5] 罗国芝,谭洪新,施正峰,等. 泡沫分离技术在水产养殖废水处理中的应用[J]. 水产科技情报, 1999, 26(5): 202-206.
- [6] 陈淑吟,孙国铭,吉红九. 臭氧水处理在水产养殖中的应用[J]. 水产养殖, 2001, 2: 28-30.
- [7] 卜雪峰,曲克明,马绍赛,等. 海水养殖废水的处理技术及应用前景[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(4): 85-90.
- [8] 丁茂昌,蒲南书,陈建邦,等. 养殖池排污水循环处理技术的研究[J]. 渔业现代化, 2005, 4: 17-21.
- [9] 宋志文,王玮,赵丙辰,等. 海水养殖废水的生物处理技术研究进展[J]. 青岛理工大学学报, 2006, 27(1): 13-17.
- [10] 顾传辉. 人工湿地池处理系统概述[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学版), 2001, 22(2): 34-40.

- [11] Ying-Feng Lin, Shun-Ren Jing, Der-Yuan Lee, *et al.* Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system [J]. **Aquaculture**, 2002, 209: 169-184.
- [12] Tones A B, Dennison W C, Preston N P. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: A laboratory scale study [J]. **Aquaculture**, 2001, 193: 155-178.
- [13] 沈国英, 黄凌风, 林伟雄, 等. 利用虾池排出水养殖菲律宾蛤仔的研究 [J]. 台湾海峡, 1992, 11(2): 180-184.
- [14] Jones A B, Dennison W C, Preston N P. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study [J]. **Aquaculture**, 2001, 193: 155-178.
- [15] 唐坤贤, 焦念志, 游秀萍, 等. 菊花心江蓠在网箱养殖区的生物修复作用 [J]. 中国水产科学, 2005, 12(2): 156-161.
- [16] 季如宝, 毛兴华, 朱明远. 贝类养殖对海湾生态系统的影响 [J]. 黄渤海海洋, 1998, 16(1): 21-27.
- [17] Harui H, Kotaro K. Nitrogen budget of polychaete *Perinereis nuntia vallata* fed on the feces of Japanese flounder [J]. **Fisheries science**, 2002, 68(6): 304-308.
- [18] 刘爱英, 王世信. 日本刺沙蚕的生态特性及在对虾养殖中的应用 [J]. 海洋科学, 1998, 3: 7-8.
- [19] 王玲, 陈爱华, 杨大佐, 等. 双齿围沙蚕昼夜代谢规律的初步研究 [J]. 水产学报, 2005, 29(1), 48-54.
- [20] Kasper. Effects mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand [J]. **Marine Biology**, 1985. 127-136.
- [21] 吴桂汉, 陈品健, 江瑞胜, 等. 贝虾混养池底栖动物调查及有机污染评估 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(1): 94-98.
- [22] 谢小青. 溪沙蚕对污水生物滤池运行的影响及防治措施 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(14): 100-102.

Preliminary studies on cyclic utilization of waste water from marine aquaculture plant

LI N Geng-ming¹, LI Bing-qian², XIANG Peng¹, YANG Qing-liang¹

(1. Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China; 2. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Received: Jul. , 22, 2008

Key words: aquaculture wastewater; *Perinereis aibuhitensis*; *Gracilaria tenuistipitata*; cyclic utilization

Abstract: Cultivations of *Perinereis aibuhitensis* and *Gracilaria tenuistipitata* with marine aquaculture wastewater were conducted under laboratory condition. The result showed that *Gracilaria tenuistipitata* could absorb dissolved inorganic nutrients and *Perinereis aibuhitensis* could consume organic matter in sediment. After treatment for 7 days, the concentrations of NO_3^- -N, NO_2^- -N, NH_4^+ -N, PO_4^- -P, COD and organic matters in sediment decreased, respectively. At the same time, *Perinereis aibuhitensis* and *Gracilaria tenuistipitata* grew well with average growth rates of 2.30 mg/g and 80 mg/g, respectively. The results provide a possibility for *Perinereis aibuhitensis* and *Gracilaria tenuistipitata* to be applied in the purification and cyclic utilization of wastewater from marine aquaculture plants.

(本文编辑:康亦兼)