

水产养殖尾水的机械与植物净化系统的设计与应用

薛彬^{1,2}, 蒋日进^{1,3}, 郑刚⁴ (1. 浙江省海洋水产研究所, 农业部重点渔场渔业资源科学观测实验站, 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江舟山 316021; 2. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074; 3. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 4. 浙江大学舟山海洋研究中心, 浙江舟山 316021)

摘要 为了解决水产养殖尾水环境负效应大的问题, 根据养殖尾水特征, 设计了机械结合植物净化系统。结果表明, 该净化系统能够有效改善水体严重富营养化, 降低水体中悬浮物、生物需氧量、化学需氧量、亚硝酸盐氮等的含量, 经处理净化后尾水可以实现循环利用, 具有显著的生态环境效益。

关键词 水产养殖; 尾水; 净化方案

中图分类号 S949 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)01-0067-02

Purifying System's Design and Application of Waste Water from Culture System of Aquatic Products with Machine and Plants

XUE Bin^{1,2}, JIANG Ri-jin^{1,3}, ZHENG Gang⁴ (1. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Key Fishery Grounds, Ministry of Agriculture, Zhejiang Province Key Laboratory for Technology Research on Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Zhoushan, Zhejiang 316021; 2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074; 3. College of Marine Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 4. Ocean Research Center of Zhoushan, Zhejiang University, Zhoushan, Zhejiang 316021)

Abstract In order to solve the problem of negative environmental effect, the purification system of machine and plants was designed according to the characteristics of culture waste water. The results showed that the new system could effectively improve the eutrophication of water system, reduce the contents of suspended substance, biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), nitrite nitrogen and so on in water system. And the waste water could be recycled after purification and it had significant ecological benefits.

Key words Culture system; Waste water; Purifying schemes

近年来,随着高密度人工养殖的快速发展和养殖环境污染的日益加剧,使得水产养殖水体的污染程度远远超过水体自身的净化能力^[1-8]。人工水产养殖过程中的残剩饲料和鱼类排泄物形成的污染物造成水体自身污染乃至水质严重恶化,表现为水体严重富营养化,水体中悬浮物增多,生物需氧量、化学需氧量、亚硝酸盐氮等含量增加,溶解氧下降^[9-15]。

传统的水产养殖废水处理方式是先将养殖废水排放后,注入新鲜的水体。这种水产养殖废水处理方式容易引起水体污染,轻者对水生经济动物的生长、发育、繁殖产生不良影响;严重时则会破坏水体的微环境生态体系。因此,水产养殖废水的处理和循环利用逐渐受到关注^[16]。此外,目前的固液分离技术主要是针对养殖废水中悬浮固体去除的废水处理技术。悬浮固体废物的去除是一个固液分离的过程,主要包括以下2种分离方式:重力分离方式和机械过滤方式。重力分离方式是利用重力从液相中分离固体颗粒物;由于固体颗粒和液相的密度不同(固体颗粒的密度大),在相对静止的液柱内,固体颗粒物在重力作用下发生沉积,从而实现固液分离^[17]。

机械过滤方式使用方便、灵活,是去除悬浮固体颗粒物最为快捷、经济的方法,它是水产养殖系统中用来进行固液分离的主要手段,其利用液相中颗粒物粒径大小不同的特

点,用一定孔径的过滤网截留颗粒物,达到去除悬浮固体颗粒物的目的。机械过滤方式虽然使用方便、灵活,但目前的机械过滤装置在过滤悬浮固体颗粒物的过程中,悬浮固体颗粒物将大量聚集在过滤层表面上,容易将过滤层堵塞,从而造成过滤层失效,使过滤效率降低、过滤效果下降^[18]。为了克服现有技术中的不足,提供一种对水产养殖废水进行循环处理、利用的人工养殖尾水的机械与植物净化系统。在此基础上,为了克服现有技术中机械过滤装置存在的不足,提供一种人工养殖尾水的机械与植物净化系统,机械过滤设备操作方便,设备利用率高,过滤效果好,可以有效清理养殖废水中的悬浮固体颗粒物,并可有效解决悬浮固体颗粒物过滤的过程中过滤效率降低、过滤效果下降的问题。笔者设计了一种机械和植物净化系统,对水产养殖尾水进行了净化。

1 尾水净化方案

设计的人工养殖尾水的机械与植物净化系统如图1所示,包括沉淀池、曝气池、机械过滤设备、藻类净化池及臭氧消毒池。其中,沉淀池与曝气池相连通;机械过滤设备包括抽水管、水泵及第一排水管。抽水管的一端与曝气池相连,另一端与水泵的进水口相连接;第一排水管的第一排水端口与水泵的出水口相连,第一排水管的出水端口与藻类净化池相连;藻类净化池与臭氧消毒池相连。

1.1 尾水循环利用方案 人工养殖尾水的机械与植物净化系统要对水产养殖废水进行循环处理与利用。机械过滤设备由机架、同轴设置在机架上的导流管道及清理管道组成,同轴设置在导流管道内的第一轴杆,设置在机架上并与第一轴杆相平行的第一导轨,可沿第一导轨滑动的滑座,用于移动滑座的第一推移执行装置,可滑动设置在导流管道内的第

基金项目 浙江省科技厅院所专项(2014F30024);浙江省自然科学基金项目(LY13D060006);国家自然科学基金项目(41176110, 41406153)。

作者简介 薛彬(1983—),男,辽宁海城人,工程师,博士,从事海洋环境研究。

收稿日期 2016-11-14

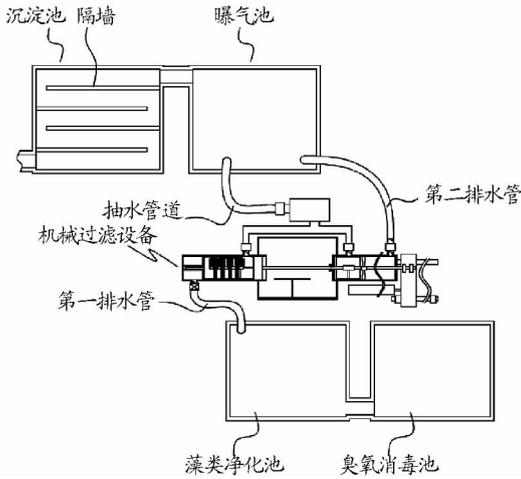


图1 循环净化系统示意

Fig.1 The cycling purification system

一通断滑套,可滑动设置在清理管道内的活塞体,第二通断滑套及颗粒物过滤装置;导流管道的两端封闭,导流管道上设有导流管道进口及导流管道出口;清理管道的一端开口,另一端封闭,且清理管道开口端靠近导流管道,清理管道上设有清理管道进口及清理管道出口;导流管道进口及清理管道进口分别通过进水管与水泵的出水口相连接;第一排水管的进水端口与清理管道出口密封连接。

第一轴杆的两端贯穿导流管道,第一轴杆的一端通过轴承或轴承座可转动的与滑座相连接,另一端与活塞体相连接,第一轴杆上、位于导流管道内设有驱动叶轮,第一通断滑套通过第一连接杆与第一轴杆连接,第一通断滑套外侧面设有第一前密封圈及第一后密封圈;清理管道内壁上设有限位凸块,活塞体与清理管道的开口端位于限位凸块的同一侧,清理管道进口、第二通断滑套及清理管道的封闭端均位于限位凸块的同一侧,第二通断滑套与清理管道的封闭端之间设有可使第二通断滑套抵靠在限位凸块上的压缩弹簧,靠近活塞体的第二通断滑套端面上设有轴向延伸的顶杆,第二通断滑套外侧面设有第二前密封圈及第二后密封圈;颗粒物过滤装置包括若干可滑动设置在第二通断滑套内的隔套,设置在各隔套内的过滤网层及与活塞体相连接的第二连接轴杆,第二连接轴杆与第一轴杆同轴,且第二连接轴杆与第一轴杆位于活塞体两侧,第二连接轴杆穿过各过滤网层,且各隔套通过连接件与第二连接轴杆相连接;第一导轨上设有第一限位挡块及第二限位挡块,第一限位挡块与第二限位挡块位于滑座两侧;当滑座沿第一导轨移动,并抵靠在第一限位挡块上时,导流管道进口位于第一前密封圈与第一后密封圈之间,活塞体位于清理管道内,且顶杆端部抵靠在活塞体端面上,第二通断滑套位于清理管道进口与清理管道出口之间,且各隔套位于第二通断滑套内;当滑座沿第一导轨移动,并抵靠在第二限位挡块上时,第一通断滑套位于导流管道进口与导流管道出口之间,活塞体及颗粒物过滤装置位于清理管道外侧,第二通断滑套抵靠在限位凸块上,且清理管道进口位于第二前密封圈与第二后密封圈之间。

1.2 尾水高效净化方案 人工养殖尾水的机械与植物净化系统操作方便,设备利用率高,过滤效果好,可以有效清理养殖废水中的悬浮固体颗粒物,并能有效解决悬浮固体颗粒物过滤的过程中过滤层易堵塞,造成过滤层失效,使得过滤效率降低、过滤效果下降的问题。

设计了自清理装置,该自清理装置包括设置在导流管道与清理管道之间的限位档杆,若干可转动设置在第二连接轴杆上的第一轴套,设置在各第一轴套上的刷杆及设置在各刷杆端部的自适应止动结构,各第一轴套等距分布,且相邻2个第一轴套之间分别设有一个过滤网层,刷杆沿第二连接轴杆的径向延伸,且刷杆外侧面设有若干刷毛;限位档杆与第一轴杆相平行,且限位档杆与第一轴杆的轴线之间的间距大于隔套的外周面半径,自适应止动结构包括通过转轴可转动设置在刷杆端部的止动档杆,且该转轴与第二连接轴杆相垂直。

该方案中的自清理装置不仅能够保证人工养殖尾水的机械与植物净化系统正常工作的前提下,有效清理聚集在各过滤层上的悬浮固体颗粒物,而且能充分利用人工养殖尾水的机械与植物净化系统中现有的动力源来实现对各过滤层上的悬浮固体颗粒物的清理,而不需要添加额外的动力设备,有效提高设备利用率,降低设备成本及能耗。

第一排水管的进水端口与清理管道出口之间设有流量计。该方案通过流量计来测量清理管道出口内的流量,在过滤悬浮固体颗粒物的过程中,当流量计测得的流量低于设定值时,说明过滤网层上聚集的悬浮固体颗粒物过多,导致水流不通;此时,可以通过第一推移执行装置带动第一轴杆,使活塞体及颗粒物过滤装置移至清理管道外侧进行清理,有利于提高水域中悬浮固体颗粒物的清理效率。

2 工作过程

人工养殖尾水的机械与植物净化系统的具体工作过程如下:首先,人工养殖池内的养殖废水进入沉淀池内,并流经隔墙分隔成的曲折的水流通道,在此过程中养殖废水内的颗粒物经过初步沉淀;其次,养殖废水流入曝气池内,通过曝气装置进行曝气;再次,通过机械过滤设备进一步过滤经过曝气的养殖废水内的颗粒物,并将过滤后的水体排放到藻类净化池内;第四,通过藻类净化池内的藻类对水体进行净化;最后,水体流入臭氧消毒池内,并通过臭氧进行消毒处理,然后使水体回流到人工养殖池内。

3 展望

该系统能够对水产养殖废水进行循环处理与利用。机械过滤设备具有操作方便,设备利用率高,过滤效果好,可以有效清理养殖废水中的悬浮固体颗粒物的特点,并能有效解决悬浮固体颗粒物过滤的过程中过滤层容易堵塞的问题。

参考文献

- [1] 万红,宋碧玉,杨毅,等. 水产养殖废水的生物处理技术及其应用[J]. 水产科技情报,2006,33(3):99-102.
- [2] 王安利,廖绍安. 发展循环经济(Circular Economy)促进水产健康养殖[J]. 现代渔业信息,2006,21(12):3-6.

表 5 植物激素与螯合剂复合处理下红苋菜对¹³³Cs、⁸⁸Sr、Cd 的富集系数Table 5 The ¹³³Cs, ⁸⁸Sr, Cd bioaccumulation factors of amaranth plants under combined treatments of phytohormones and chelating agents

施用方式 Application manner	处理 Treatment	⁸⁸ Sr 富集系数		¹³³ Cs 富集系数		Cd 富集系数	
		⁸⁸ Sr bioaccumulation factors		¹³³ Cs bioaccumulation factors		Cd bioaccumulation factors	
		根部 Root	地上部 Above-ground	根部 Root	地上部 Above-ground	根部 Root	地上部 Above-ground
叶面喷施 Foliage application	CK	1.32 Gg	4.09 Gg	1.92 Gg	8.19 Ff	0.21 Gg	0.68 Gg
	PIAA	1.46 Ee	4.89 Ff	2.39 Ee	10.09 Cc	0.31 Ff	1.05 Ee
	PGA	1.67 Cc	5.54 Dd	3.12 Bb	12.46 Ee	0.40 Bb	1.31 Bb
	PSA	2.17 Aa	6.24 Bb	3.56 Dd	12.96 Dd	0.37 Dd	1.26 Dd
根系浇灌 Root irrigation	JIAA	1.47 Dd	5.07 Ee	2.59 Ff	10.62 Aa	0.31 Ee	1.10 Ff
	JGA	1.86 Bb	5.69 Cc	3.31 Aa	12.59 Ff	0.41 Aa	1.34 Aa
	JSA	2.29 Dd	6.32 Aa	3.81 Cc	13.21 Bb	0.40 Cc	1.30 Cc

注:同列不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异显著;同列不同大写字母表示各处理在 0.01 水平差异极显著

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences at 0.05 level; different capital letters indicate extremely significant differences at 0.01 level

(2) 激素与螯合剂复合处理对 Cd 的吸收能力从大到小依次为 500 mg/L GA₃ + 1.5 mg/kg EDTA、100 mg/L SA + 1.5 mg/kg EDTA、100 mg/L IAA + 1.5 mg/kg EDTA、CK。复合处理对红苋菜各部分¹³³Cs、⁸⁸Sr 含量从大到小依次为 100 mg/L SA + 1.5 mg/kg EDTA、500 mg/L GA₃ + 1.5 mg/kg EDTA、100 mg/L IAA + 1.5 mg/kg EDTA、CK。Shahandeh 等^[6]研究表明,添加外源柠檬酸和草酸处理向日葵和印度芥菜,其嫩枝积累量增加了 150 倍。Huang 等^[7]利用柠檬酸处理中国白菜和印度芥菜,结果表明,其地上部分对土壤中铀的吸收量显著增加,为对照铀吸收量的 1 000 倍。Chang 等^[8]在铀污染的土壤中施用柠檬酸研究植物的积累效应,结果表明,油菜根部积累铀量高达 3 500 mg/kg,印度芥菜叶部积累的铀量达 2 000 mg/kg,显著高于对照。

(3) 该研究得出,IAA、GA₃、SA 与 EDTA 的复合处理显著增加了红苋菜各部分的生物量,加快了植株的生长发育,增加了¹³³Cs、⁸⁸Sr、Cd 在植株体内的积累量,加大了植株各部分对¹³³Cs、⁸⁸Sr、Cd 的转运和富集。这可能是由于添加螯合剂能够活化土壤中的重金属,提高重金属的生物有效性,促进植物吸收,同时植物激素能缓解重金属-螯合剂的植物毒

性,促进植物根系伸长,增加植物生物量,协同螯合剂促进植物对重金属的吸收、转运和积累,从而显著提高植物提取效率,但有关协同强化植物修复的机理仍有待进一步研究。

参考文献

- [1] 顾崑飞. 镉对黑麦草生理生化特性及矿质元素吸收的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2008; 53-55.
- [2] PANG J, CHAN G S Y, ZHANG J, et al. Physiological aspects of Vetiver grass for rehabilitation in abandoned metalliferous mine wastes[J]. Chemosphere, 2003, 52(9): 1559-1570.
- [3] ISRAR M, SAHI S V. Promising role of plant hormones in translocation of lead in *Sesbania drummondii* shoots[J]. Environ Pollut, 2008, 153(1): 29-36.
- [4] LÓPEZ M L, PERALTA-VIDEA J R, BENITEZ T, et al. Enhancement of lead uptake by alfalfa (*Medicago sativa*) using EDTA and a plant growth promoter[J]. Chemosphere, 2005, 61(4): 595-598.
- [5] 周建民, 党志, 陶雪琴, 等. NTA 对玉米体内 Cu、Zn 的积累及亚细胞分布的影响[J]. 环境科学, 2005, 26(6): 126-130.
- [6] SHAHANDEH H, HOSSNER I R. Enhancement of uranium phytoaccumulation from contaminated soils[J]. Soil science, 2002, 167(4): 269-280.
- [7] HUANG J W, CHEN J J, BERTI W R, et al. Phytoremediation of lead-contaminated soils: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction[J]. Environmental science & technology, 1997, 31(3): 800-805.
- [8] CHANG P C, KIM K W, YOSHIDA S, et al. Uranium accumulation of crop plant enhanced by citric acid[J]. Environmental geochemistry and health, 2015, 27(516): 529-538.

(上接第 68 页)

- [3] 罗勇胜, 张道波, 李卓佳. 有益菌与大型藻类净化集约化养殖废水的展望[J]. 海洋湖沼通报, 2006(2): 111-116.
- [4] CHUNG I K, KANG Y H, YARISH C, et al. Application of seaweed cultivation to the bioremediation of nutrient-rich effluent[J]. Algae, 2002, 17(3): 187-194.
- [5] 汤坤贤, 焦念志, 游秀萍, 等. 菊花心江蕨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.
- [6] 曲克明, 卜雪峰, 马绍赛. 贝藻处理工厂化养殖废水的研究[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(4): 36-43.
- [7] HAGLUND K, PEDERSÉN M. Outdoor pond cultivation of the subtropical marine red alga *Gracilaria tenuistipitata* in brackish water in Sweden. Growth, nutrient uptake, co-cultivation with rainbow trout and epiphyte control[J]. Journal of applied phycology, 1993, 5(3): 271-284.
- [8] TROELL M, HALLING C, NILSSON A, et al. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cage for reduced environmental impact and increased economic output[J]. Aquaculture, 1997, 156(1): 45-61.
- [9] TROELL M, RÖNNBÄCK P, HALLING C, et al. Ecological engineering in aquaculture: Use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture[J]. Journal of applied phycology, 1999, 11(1): 89-97.
- [10] NELSON S G, GLENN E P, MOORE D, et al. Use of an edible red sea-

weed to improve effluent from shrimp farms[J]. Journal of phycology, 2001, 37(S3): 38.

- [11] 谭洪新, 朱学宝, 罗国芝, 等. 闭合循环养殖系统中构建藻皮净化装置的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(3): 276-278.
- [12] WANG J K. Conceptual design of a microalgae-based recirculating oyster and shrimp system[J]. Aquaculture engineering, 2003, 28(1/2): 37-46.
- [13] CHUNTAPA B, POWTONGSOOK S, MENASVETA P. Water quality control using *Spirulina platensis* in shrimp culture tanks[J]. Aquaculture, 2003, 220(1): 355-366.
- [14] NEORI A, KROM M D, ELLNER S P, et al. Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units[J]. Aquaculture, 1996, 141(3/4): 183-199.
- [15] 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(1/2): 155-178.
- [16] 彭建华, 陈文祥, 陈会明, 等. 综合生物塘处理养殖废水初探[J]. 水利渔业, 2004, 24(4): 60-62.
- [17] 钱金全, 蓝泽桥, 胡超, 等. 工厂化双循环水养鲟模式的研究[J]. 渔业现代化, 2006(6): 3-6.
- [18] 何玉明, 王维善, 周凤建, 等. 生态型循环水处理系统在工厂化养鱼中的应用研究[J]. 渔业现代化, 2006(5): 9-11.