

李倩,王雨辰,郭建林,等. 基于不同生物填料的跑道养殖尾水净化[J]. 江苏农业科学,2020,48(13):276-280.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.13.055

基于不同生物填料的跑道养殖尾水净化

李倩¹,王雨辰¹,郭建林¹,王刚²,胡廷尖¹,郑波波¹,汤美锋¹,汤宏展¹

(1. 浙江省淡水水产研究所/农业农村部淡水渔业健康养殖重点实验室,浙江湖州 313001;

2. 浙江省嘉善县水产技术推广站,浙江嘉善 314100)

摘要:为开发生物填料在跑道养殖水体净化方面的应用,采用不同类型的 6 种填料,在室内开展对跑道养殖水体净化效果的研究。结果表明,在自然挂膜条件下,6 种生物填料(火山石、珊瑚石、白色弹性毛刷、蓝色立体弹性填料、多孔组合球、聚乙烯小球)生物膜的成熟时间各不相同,珊瑚石挂膜所需时间最短,为 13 d。在稳定运行期,不同生物填料对跑道养殖尾水总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^-\text{-N}$)、化学需氧量(COD_{Mn})均有不同程度的去除效果,其中,蓝色立体弹性填料对 TN 和 COD_{Mn} 的平均清除率最高,分别为 19.58% 和 30.77%,显著高于其他填料($P<0.05$);珊瑚石填料对 TP 的平均清除率显著高于其他填料($P<0.05$);6 种填料生物膜成熟后,和初始水质指标相比,各填料对水体 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率均在 75% 以上,且浓度保持在较低水平。结果表明,蓝色立体弹性填料对跑道养殖尾水有较好的净化效果,是一种较为实用的生物填料。

关键词:跑道养殖;生物填料;尾水净化

中图分类号:X52 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)13-0276-05

跑道式养殖是一个相对封闭的循环养殖系统,在传统养殖池塘中通过现代土建技术进行改造,把池塘开放式散养模式改变为生态圈养模式,通过对养殖水体的净化及循环利用,减少污染物排放,以保持养殖区附近的生态环境。具体施工形式可分为池塘内跑道式、池塘分割式和池塘串联式,池塘内跑道式经济实用,已经得到较多应用^[1-3]。池塘内跑道养殖模式虽然具有养殖密度高、占地小、管理方便等优点,但集中式高密度养殖产生的粪便残饵等排泄物容易导致水质恶化,引起养殖动物应激反应,甚至出现死亡。因此,对养殖尾水的高效处理是确保跑道养殖顺利进行的重要前提。近年来,利用生物膜法处理养殖水体因其效率高、无二次污染的优点受到越来越多的关注,生物填料是生物膜处理工艺的核心部分,它直接影响着生物处理的效果、硝化性能、基建投资、运行周期和费用等^[4]。国内外学者对填料的类型、快速启动、关键因子、硝化作用和反硝化作用等进行了深入的研究^[5-12]。

本试验选取 6 种生物填料作为研究对象,通过室内模拟试验对 6 种填料的挂膜情况进行了研究,并应用其对跑道养殖尾水净化效果进行评估,以期对跑道养殖尾水的净化提供基础数据,同时也为填料合理选择提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在浙江省淡水水产研究所综合试验基地进行,选取 6 种生物填料分别为火山石、珊瑚石、白色弹性毛刷、蓝色立体弹性填料、多孔组合球、聚乙烯小球,填料形貌,由图 1 可知,将跑道养殖池塘尾水运进室内塑料水族箱内(容量 400 L,实装尾水 250 L),依次放置填料,火山石和珊瑚石等沉性填料平铺放置,填充量以铺满水族箱底面积为准,即 $2.52\text{ m}^2/\text{m}^3$ 水体;弹性填料垂直悬挂于水体中,底部系附坠石使其充分展开,聚乙烯小球和多孔组合球等悬浮型填料漂浮在水面,填充密度为水体的 40%,每种填料 3 个平行。

试验水温(25 ± 1)℃,初始水质指标如下:pH 值为 7.83,总氮(TN)4.21 mg/L,总磷(TP)1.32 mg/L,亚硝酸盐氮($\text{NO}_2^-\text{-N}$)0.204 mg/L,氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)1.71 mg/L,溶解氧(DO)7.55 mg/L,高锰酸盐指数(COD_{Mn})25.30 mg/L。连续曝气,整

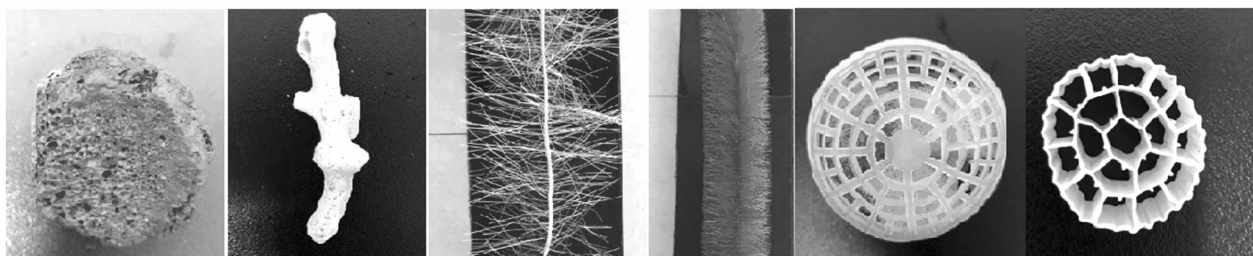
收稿日期:2019-08-16

基金项目:浙江省重点研发计划(编号:2018C02033、2019C02047)。

作者简介:李倩(1984—),女,陕西华县人,硕士,工程师,主要从事鱼类繁殖及水处理的研究。E-mail:2008feelkaka@sina.com。

通信作者:郭建林,高级工程师,主要从事设施化养殖技术的研究。

E-mail:wavegil@aliyun.com。



从左到右依次为火山石、珊瑚石、白色弹性毛刷、蓝色立体弹性填料、多孔组合球、聚乙烯小球

图1 6种生物填料实物

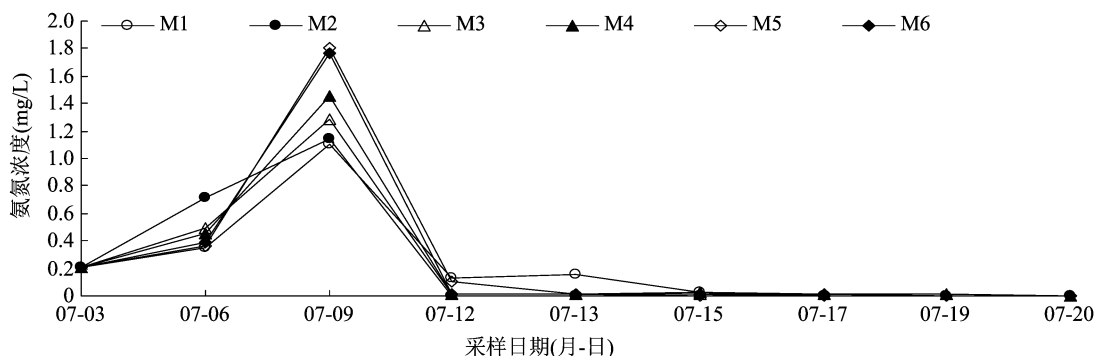
个试验期间系统溶解氧维持在 7 mg/L 以上。

1.2 样品采集

在生物膜培养期间,每 2~3 d 取样 1 次,检测水体 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 指标,生物膜成熟后,每 7 d 取样 1 次,分别检测 $\text{TN}^{[13]}$ 、 $\text{TP}^{[14]}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}^{[15]}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}^{[16]}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}^{[17]}$ 等指标,所用试剂均购自国药集团化学试剂有限公司。

1.3 数据处理

生物膜成熟后每 7 d 取水样测定水质指标,计算各填料对污染物的清除率,计算公式如下:清除率 = $\frac{C_i - C_{i+1}}{C_i} \times 100\%$; 其中, C_i 为生物膜成熟后第 i 次取样测定的污染物浓度值 (mg/L), C_{i+1} 为第 $i+1$ 次取样测定的污染物浓度值 (mg/L), 取 3 次测定的清除率均值作为平均清除率。数据和图表采用 Excel 处理, SPSS 16.0 进行显著性分析, $P < 0.05$ 时认为差异显著。



M1~M6 分别代表火山石、珊瑚石、白色弹性毛刷、蓝色立体弹性填料、多孔组合球、聚乙烯小球。下图同

图2 6种生物填料构建的生物滤池中亚硝酸盐含量的变化

2.2 6种生物填料对 TN 的净化作用

6 种填料对 TN 的清除效果,由图 3-A 可知,当生物膜成熟后,4 次采样结果显示,各填料对应的生物滤池水体中 TN 浓度随着采样次数的增加逐渐降低,蓝色立体弹性填料对应的生物滤池 TN 含量最低,为 4.4 mg/L。从平均清除率分析,蓝色立体

2 结果与分析

2.1 6种生物填料的挂膜成熟时间

生物膜培养成熟的标志是水体中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度降至最低,硝化系统完全建立^[18]。在生物膜培养期间,6 种填料构建的生物滤池水体中,亚硝酸盐的浓度先上升后降低,最后保持较低水平。由图 2 可知,由不同填料构建的生物滤池中, M2 (珊瑚石填料) 的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度在 7 月 15 日降至最低,其成熟时间为 13 d; M6 (聚乙烯小球) $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度在 7 月 17 日降至最低,成熟时间为 15 d, M1 (火山石) 和 M5 (多孔组合球) $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度在 7 月 19 日最低,成熟时间 17 d, 2 种弹性毛刷填料 (M3 和 M4) 的生物膜成熟时间相同,均为 19 d。在相同的培养条件下, 6 种填料的成熟时间依次为珊瑚石 < 聚乙烯小球 < 火山石、多孔组合球 < 2 种毛刷填料。

弹性填料对 TN 的平均清除率最高,为 19.58%,其次为珊瑚石,这 2 种填料对 TN 的平均清除率显著高于其他 4 种填料 ($P < 0.05$)。火山石、白色弹性毛刷、聚乙烯小球、多孔组合球等 4 种填料对 TN 的平均清除率无显著差异 ($P > 0.05$)。

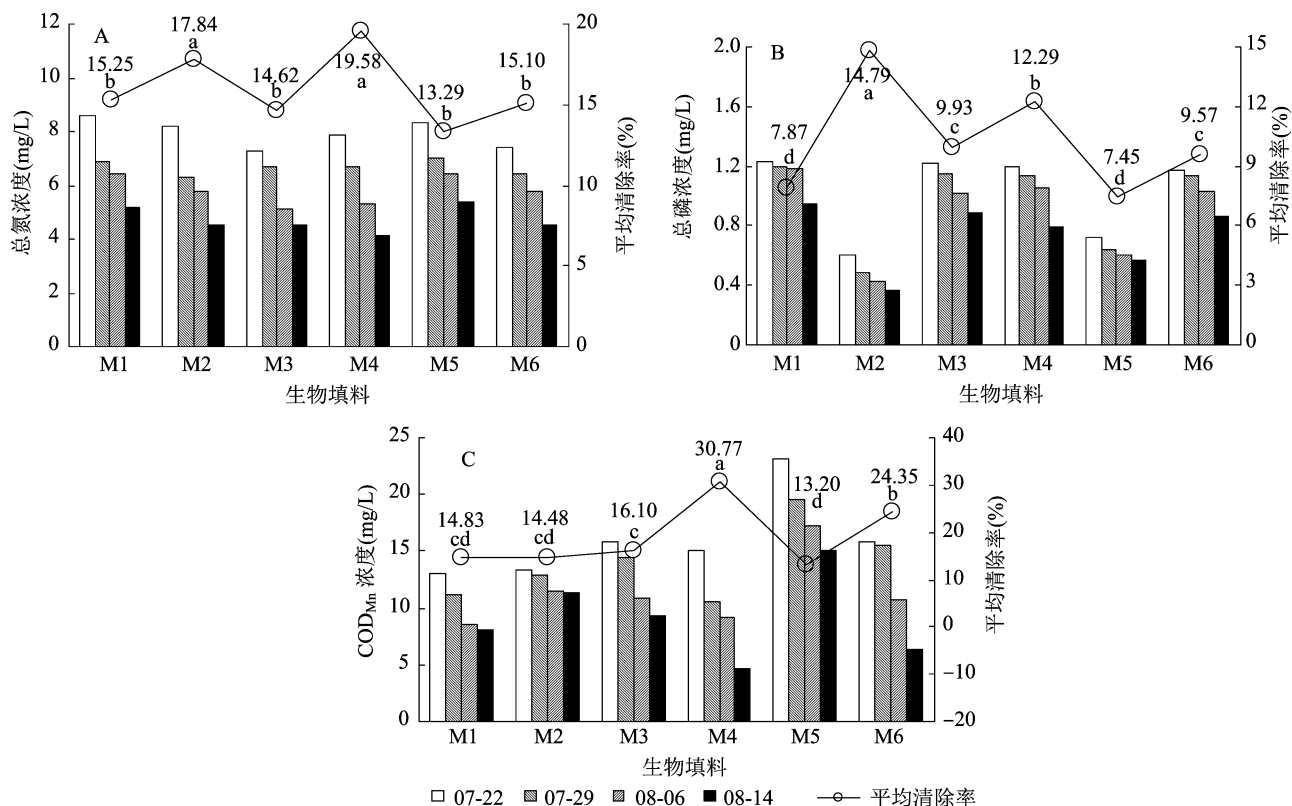
2.3 6 种生物填料对 TP 的净化作用

各填料对水体中 TP 均有一定程度的清除效果,且平均清除率差异较大(图 3-B)。珊瑚石填料对跑道养殖尾水 TP 平均清除率最高,为 14.79%,显著高于其他填料($P < 0.05$)。蓝色立体弹性填料次之,平均清除率为 12.29%,这 2 种填料对 TP 的平均清除率显著高于其他 4 种填料($P < 0.05$)。从生物滤池水体 TP 浓度分析,珊瑚石填料对应水体 TP 浓度为 0.39 mg/L,明显低于其他填料

对应的生物滤池。

2.4 6 种生物填料对 COD_{Mn} 的净化作用

由图 3-C 可知,各填料对 COD_{Mn} 的清除率变化趋势相同,均随着采样次数的增加而有所下降。从平均清除率分析,蓝色立体弹性填料对 COD_{Mn} 的清除效果最高,平均清除率为 30.77%,显著高于其他填料($P < 0.05$),其次为聚乙烯小球,为 24.35%,其他 4 种生物填料对 COD_{Mn} 的平均清除率多无显著差异($P > 0.05$)。



□ 07-22 ■ 07-29 ■ 08-06 ■ 08-14 —○— 平均清除率

平均清除率数字下不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

图3 6种填料对总氮、总磷和高锰酸盐指数的去除效果

2.5 6 种生物填料对 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_3^- - \text{N}$ 的净化作用

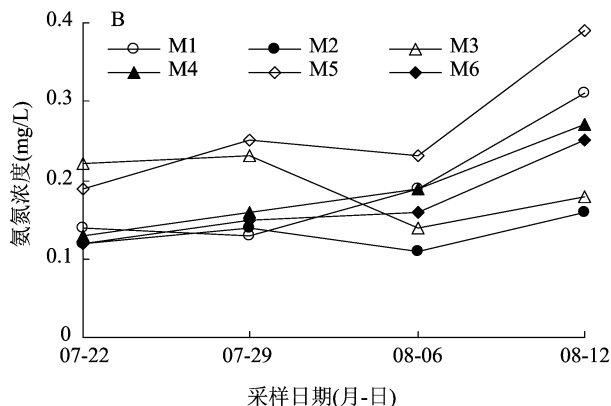
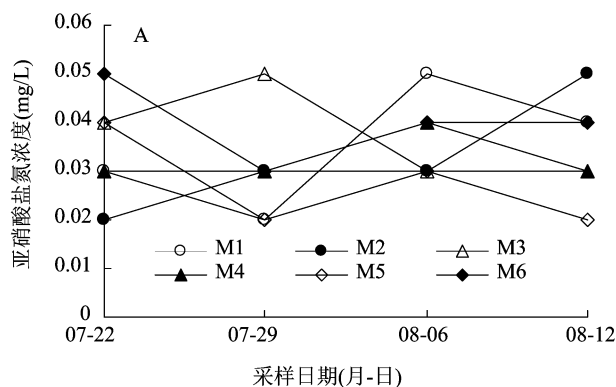
挂膜成功后,各生物滤池水体中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量较低,浓度维持在 0.06 mg/L 以下,和初始水质指标相比(0.204 mg/L),各填料对水体 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 去除率均在 75% 以上,且在 4 次采样期间, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量波动较小,表明挂膜成功的各填料对跑道养殖尾水 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 均有较好的去除效果(图 4-A)。各生物滤池水体中 $\text{NH}_3^- - \text{N}$ 含量在采样后期虽有上升趋势(图 4-B),但浓度均 < 0.4 mg/L。和初始水质指标相比(浓度 1.71 mg/L),各填料对水体中 $\text{NH}_3^- - \text{N}$ 均有较好的清除效果,平均清除率在 76% 以上。

其中,珊瑚石对水体 $\text{NH}_3^- - \text{N}$ 清除效果最好,但和各填料之间差异不显著($P > 0.05$)。

3 讨论与结论

3.1 6 种生物填料挂膜时间

研究表明,在相同的进水条件下,6 种生物填料的挂膜时间在 20 d 以内,毛刷类型填料挂膜所需时间较长,而多孔型的珊瑚石、火山石等填料所需时间相对较短,这可能和填料材质有关。有研究表明,在自然挂膜状态下,生物滤池的挂膜时间在 20~60 d 不等,而基质的粗糙度是生物膜形成的最主要影响因素^[19-22]。珊瑚石、火山石填料表面粗

图4 6种填料对 NO_2^- -N 和 NH_3 -N 的净化作用

糙,内部有孔隙,比表面积较大,附着于表面的硝化细菌也较多,有利于细菌的繁殖,挂膜时间也较短。

课题组之前的研究也采用本试验中的白色弹性毛刷和聚乙烯小球填料对循环水养殖系统的水质进行净化研究,结果显示,在自然挂膜条件下,2种生物填料的挂膜时间均大于本试验结果^[11],这可能和初始水质污染物浓度有关。生物膜的成熟时间和初始氨氮浓度有关,初始氨氮浓度越高,越有利于硝化细菌在生物膜上聚集,生物膜上的细菌数量和优势菌就越多^[23]。本试验用水为跑道养殖尾水,养殖密度大、水体中污染物浓度较高,在气温较高的养殖季节,氨氮浓度高达 1.70 mg/L,生物滤池的初始氨氮浓度越高,氨氮的去除率越高,达到氨氮浓度稳定的所需时间越短,挂膜时间较短,这和朱建新等的研究结果^[24]一致。

3.2 6种生物填料对跑道养殖尾水净化能力分析

在本试验中,6种填料对氨氮和亚硝态氮的去除效果良好。当生物膜挂膜成功后,水体中氨氮和亚硝态氮含量虽有波动,但均维持在安全浓度以下。和传统的池塘养殖模式相比,跑道养殖模式养殖密度大,污染物含量高,在试验初始阶段,COD值高达 25.3 mg/L,水体中的有机物和颗粒物等为细菌繁殖提供了丰富的碳源,有利于异养细菌繁殖。生物膜中的异养细菌和硝化细菌存在着生长竞争关系,在试验刚开始时,异养细菌成为优势菌,水体中氨氮和亚硝氮浓度升高,促进硝化细菌生长,当二者达到动态平衡时,水体中氨氮和亚硝氮保持稳定,这时生物膜挂膜成功。生物膜挂膜成功后,由于静态试验没有额外碳源和氮源补充,随着试验时间的延长,水体中可被细菌利用的营养物减少,硝化细菌数量下降,系统消氮能力下降,导致填料对

TN、TP、COD 的去除率随着试验时间的延长而降低。

本试验选取3种不同类型的填料,沉淀式(M1、M2)、固定式(M3、M4)和悬浮式(M5、M6),在稳定运行期间,固定式填料(蓝色立体弹性填料M4)对TN、COD的去除率显著高于悬浮式填料($P < 0.05$),此结果和吉芳英等的研究结果^[25]相似。原因可能为,生物填料的安装方式对生物膜的运行性能有一定的影响,固定式填料系统在曝气过程中可以营造良好的溶解氧分区,容易形成具有一定厚度且稳定的生物膜,有利于宏观硝化、反硝化过程的发生,也有利于微观反硝化作用的发生,有利于提高系统的脱氮作用^[26],导致蓝色立体弹性填料对TN、COD的去除率高于其他组。珊瑚石对TP的清除率显著高于其他填料($P < 0.05$),这可能是由于珊瑚石主要由 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等离子构成,随着微生物的好氧呼吸和对有机物的降解作用,生物膜局部环境水体pH值下降,大量的 H^+ 使珊瑚石中的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 大量释放, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 与水体中磷酸根离子发生了络合形成沉淀物,从而提高了生物滤池的除磷能力^[27]。

3.3 同类型的2种弹性毛刷对跑道养殖尾水净化能力分析

本试验选用了同种类型的2种毛刷填料,即生产中常用的普通白色毛刷和市场新开发的新型蓝色立体弹性填料。在挂膜时间上,蓝色立体弹性填料和普通弹性毛刷挂膜时间相同,但从污染物净化能力分析,前者对水体TN、TP和COD平均清除率显著高于后者($P < 0.05$)。蓝色立体弹性填料采用全新原料所制,拉制的刷丝密度更高、延展性更好、不易被细菌分解、结构稳定性更强,可为细菌生长提供更大的比表面积,这种良好的物理特性决定了

其对污染物的去除效率高于普通白色毛刷。有关普通白色毛刷的净水能力、挂膜时间、生物膜微生物群落多样性等方面已有较多报道^[11,18,28-29],但对新型蓝色立体弹性填料的相关研究鲜有报道,实际应用也较少,有关其净化能力和生物膜微生物群落多样性的关系有待进一步研究。本试验中,在 2 种毛刷放置密度相同的条件下,蓝色立体弹性填料对跑道养殖尾水有更好的净化效果,但从应用成本考虑,蓝色立体弹性填料价格较高,应用成本也较高,下一步应在如何设置合理的放置密度和安装方式以减少应用成本方面进行深入研究。

在处理高浓度污染物的跑道养殖尾水时,从挂膜时间分析,珊瑚石填料挂膜所需时间最短,可为实际养殖生产节省时间成本。但从实际生产应用考虑,珊瑚石填料需要将其装袋安装使用,过程较为繁琐,耗费人力物力。从可操作性和对水体污染物净化能力两方面考虑,蓝色立体弹性填料是一种较为实用的填料,值得推广应用。

参考文献:

- [1] 廖思明,王志成,李祥兴,等. 跑道式对虾养殖生态系主要生态因子研究[J]. 水产科学,2006,25(4):166-170.
- [2] 胡廷尖,李倩,程海华,等. PIECs 技术参数优化探究及模式设计比较[J]. 水产养殖,2018(3):1-3.
- [3] 金武,罗荣彪,顾若波,等. 池塘工程化养殖系统研究综述[J]. 渔业现代化,2015,42(1):32-37.
- [4] 罗利民,王超,田伟君,等. 细绳状生物填料在中小河流治理中的应用[J]. 污染防治技术,2003,16(4):168-170.
- [5] 段松青,闫坤朋,宋志文,等. 基于不同填料的海水养殖系统的水质净化[J]. 环境工程学报,2018,12(8):2210-2219.
- [6] Grommem R D L, Verstraete W. Elevated salinity selects for a less diverse ammonia-oxidizing population in aquarium biofilters[J]. Fems Microbiology Ecology,2005,52(1):1-11.
- [7] 宋奔奔,刘鹰,石芳永,等. 四种填料滤器处理养鱼废水的硝化性能[J]. 农业工程学报,2010,26(11):231-236.
- [8] 傅雪军,马绍赛,曲克明,等. 循环水养殖系统生物挂膜的消氮效果及影响因素分析[J]. 渔业科学进展,2010,31(1):95-99.
- [9] Liu H, Che X, Zhang Y L. Performance of sequencing microbead biofilters in a recirculating aquaculture system[J]. Aquacultural Engineering,2013,52:80-86.
- [10] 张正,王印庚,曹磊,等. 海水循环水养殖系统生物膜快速挂膜试验[J]. 农业工程学报,2012,28(15):157-162.
- [11] 李倩,胡廷尖,刘士力,等. 循环水养殖系统中 3 种生物填料对水质的净化作用[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):243-245.
- [12] Jeongs H, Bae H K, Naidu G, et al. Bacterial community structure in a biofilter used as a pretreatment for seawater desalination[J]. Ecological Engineering,2013,60:370-381.
- [13] 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法: HJ 636—2012[S]. 北京:中国环境科学出版社,2012.
- [14] 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法:GB 11893—1989[S]. 北京:中国标准出版社,1989.
- [15] 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法: HJ 535—2009[S]. 北京:中国环境科学出版社,2010.
- [16] 水质 亚硝酸盐氮的测定 分光光度法:GB 7493—1987[S]. 北京:国家环境保护总局,1987.
- [17] 工业循环冷却水中化学需氧量(COD)的测定 高锰酸钾法:GB/T 15456—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [18] 王威. 海水循环水养殖系统中生物滤料的微生物挂膜与水处理效果研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.
- [19] 辛建美,李倩,周志明,等. 罗氏沼虾育苗系统中生物滤池对水质的净化作用[J]. 环境化学,2014,33(5):850-854.
- [20] 黄志涛. 封闭式循环水养殖系统生物滤池及滤料的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2007.
- [21] 何洁,刘长发,张红霞. 3 种载体上生物膜的硝化性能[J]. 中国水产科学,2003,10(1):65-68.
- [22] Welander U. Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate in a pilot scale suspended carrier biofilm process[J]. Water Research,1998,32(5):1564-1570.
- [23] 李秋芬,傅雪军,张艳,等. 循环水养殖系统生物滤池细菌群落的 PCR-DGGE 分析[J]. 水产学报,2011,35(4):579-586.
- [24] 朱建新,刘慧,徐勇,等. 循环水养殖系统生物滤器负荷挂膜技术[J]. 渔业科学进展,2014,35(4):118-124.
- [25] 吉芳英,熊黎,陈大志,等. 生物膜填料安装方式对环流式活性污泥-生物膜工艺运行性能的影响[J]. 水处理技术,2012,38(11):73-76.
- [26] 吕锡武. 同时硝化和反硝化的理论和实践[J]. 环境化学,2002,21(6):564-570.
- [27] 黄智贤,景有海,洪华生,等. 牡蛎壳填料浸没式生物滤池的除磷特性[J]. 环境污染与防治,2003,25(6):329-331.
- [28] 王威,曲克明,王海增,等. 水力负荷对 3 种滤料生物挂膜和溶解无机氮去除效果的初步研究[J]. 安全与环境学报,2012,12(1):66-71.
- [29] 王威,曲克明,朱建新,等. 3 种滤料生物滤器的挂膜与黑鲷幼鱼循环水养殖效果[J]. 中国水产科学,2012,19(5):833-840.