

过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对高位池尾水的净化效果研究

卓宏标, 刘建勇*, 傅学丽, 罗东水, 何岸桃 (广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524088)

摘要 [目的]研究不同使用量和处理时间下过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水各项水质指标的处理效果。[方法]从湛江市东海岛对虾高位池采集养殖尾水,使用过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物处理后测定水样的 pH、悬浮物、氨氮、亚硝酸氮(NO_2^- -N)、磷酸盐和 COD 浓度。[结果]过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物处理会使水体 pH 有所下降,但仍保持在 7.0 以上,但不能有效降低悬浮物浓度。过氧化氢可以有效降低尾水中氨氮、 NO_2^- -N、磷酸盐和 COD 的浓度,当过氧化氢浓度为 4.00 mL/L 时处理效果最佳,氨氮、 NO_2^- -N、磷酸盐和 COD 去除率分别为 93.79%、57.88%、75.10% 和 76.70%。与过氧化氢相比,过氧化硫酸钠复合物对尾水中氨氮和 NO_2^- -N 的去除效果并不理想,但对磷酸盐和 COD 的去除效果较好,当过氧化硫酸钠复合物浓度为 0.12 g/L 时,尾水中磷酸盐和 COD 的去除率分别达到 87.96% 和 76.51%。[结论]过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物在对虾高位池养殖尾水的处理中发挥了良好的作用,可为水产养殖尾水的处理提供一些参考依据。

关键词 过氧化氢;过氧化硫酸钠复合物;高位池;尾水处理;净化效果

中图分类号 S959 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)11-0081-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.11.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on the Purification Effect of Hydrogen Peroxide and Sodium Peroxide Sulfate Complex on Tail Water from Higher-place Ponds

ZHUO Hong-biao, LIU Jian-yong, FU Xue-li et al (Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088)

Abstract [Objective] To investigate the treatment effect of different concentrations and processing time of hydrogen peroxide and sodium peroxide sulfate complex on water quality indices of aquaculture tail water. [Method] The aquaculture tail water was collected from higher-place shrimp ponds on the Donghai Island of Zhanjiang and treated with hydrogen peroxide and sodium peroxide sulfate complex, pH, the concentrations of suspended solids, ammonia nitrogen, NO_2^- -N, phosphate and COD in water samples were determined. [Result] After the treatment with hydrogen peroxide and sodium peroxide sulfate complex, pH of water body decreased and kept above 7.0, but the concentration of suspended solids was not effectively reduced. Hydrogen peroxide could effectively reduce the concentrations of ammonia nitrogen, NO_2^- -N, phosphate and COD in tail water. When the concentration of hydrogen peroxide was 4.00 mL/L, the treatment effect was the best, the removal rates of ammonia nitrogen, NO_2^- -N, phosphate and COD were 93.79%, 57.88%, 75.10% and 76.70%, respectively. Compared with hydrogen peroxide, sodium peroxide sulfate complex had an unsatisfactory removal effect on ammonia nitrogen and NO_2^- -N in the tail water, while it had better removal effects on phosphate and COD. When the concentration of sodium peroxide sulfate complex was 0.12 g/L, the removal rates of phosphate and COD in tail water reached 87.96% and 76.51% respectively. [Conclusion] Hydrogen peroxide and sodium peroxide sulfate complex played a good role in tail water treatment of higher-place shrimp ponds, which could provide some reference basis for the treatment of aquaculture tail water.

Key words Hydrogen peroxide; Sodium peroxide sulfate complex; Higher-place ponds; Tail water disposal; Purification effect

我国是水产养殖大国,养殖产量占世界总产量的 57% 以上^[1],但高度集约化的养殖方式引发的环境污染问题日益严峻。随着国家对水域生态环境保护工作日益重视,水产养殖尾水排放问题已受到各方的高度关注,各地纷纷加大水产养殖清理整治力度,对水产养殖业造成了较大的影响。然而,不同的养殖种类、养殖模式和养殖规模下养殖系统向周边水域环境排放废物的种类和数量也不同^[2]。为推进水产养殖业的绿色、可持续发展,急需一种因地制宜、科学合理的水产养殖尾水处理方法。

高位池精养模式是主要的对虾养殖方式之一,超负荷的高密度养殖导致水质恶化的现象时有发生^[3-4]。换水过程中

会排放出富含氮、磷的有机污染物以及降解产生氨氮、亚硝酸氮、磷酸盐等无机污染物,这是造成近岸海域富营养化的重要原因。因此,养殖尾水处理的核心是解决氮、磷污染问题。化学氧化法作为一种化学处理技术,通过氧化剂将水体中污染物转化为微毒、无害物质,是尾水消毒的主要方法之一。李惠莲等^[5]研究发现 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在凡纳滨对虾养殖尾水中的除磷效果显著;在循环水养殖中,臭氧作为一种强氧化剂,被广泛应用于尾水的原位处理^[6]。过氧化硫酸钠复合物是由硫酸钠、过氧化氢和氯化钠制备而成的固体加合物,性质稳定,溶于水后能迅速释放出原子态的氧,是一种安全、无毒的强氧化剂^[7]。作为一种环境友好型的强氧化剂,过氧化氢在工业废水治理、土壤和地下水修复等方面扮演着重要的角色^[8-9],在水产养殖中多被应用于药物防治^[10] 和水体增氧^[11],迄今为止尚未见到将其应用于尾水处理的研究报道。笔者以 pH、悬浮物、氨氮、亚硝酸氮、磷酸盐和 COD 为测定指标,探究过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物 2 种氧化剂在凡纳滨对虾高位池养殖尾水处理中的应用效果,以为高位池尾水处理提供一些理论和参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料 试验用水取自湛江市东海岛凡纳滨对虾高位池

基金项目 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项 2020 年度项目(2020YFD0900205);中央财政 2019 年渔业成品油价格补助湛江市级统筹部分资金补助项目(湛财工[2019]152 号);广东省科技创新战略专项资金竞争性分配项目(2018A04007);湛江市科技发展专项资金竞争性分配项目(2018A01013);2019 年度广东省科技专项资金竞争性分配项目(2019A04008)。

作者简介 卓宏标(1994—),男,广东汕尾人,博士研究生,研究方向:水产经济动物种子工程与增养殖。*通信作者,教授,博士,从事水产动物遗传和育种研究。

收稿日期 2021-06-13

的养殖尾水,试验时间为2020年9月28日至10月3日,试验用水水温 $24\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,pH约7.52,其他水质指标如下:悬浮物 370.0 mg/L 、氨氮 2.8 mg/L 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 1.3 mg/L 、磷酸盐 0.6 mg/L 、COD 31.0 mg/L 。试验在直径 30 cm 、高 37 cm 的塑料圆桶内进行。用于处理尾水的2种氧化剂过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物均购自沧州绿邦生物科技有限公司。

1.2 试验设计 在预试验的基础上,取 10 L 同一批对虾高位池尾水置于塑料圆桶中,过氧化氢处理组设置5个浓度梯度,即分别向桶内加入 2.5 、 5.0 、 10.0 、 20.0 和 40.0 mL 的过氧化氢,使其浓度分别为 0.25 、 0.50 、 1.00 、 2.00 和 4.00 mL/L ;过氧化硫酸钠复合物处理组设置5个添加量梯度,即分别向桶内加入 0.3 、 0.5 、 0.7 、 0.9 和 1.2 g ,使其浓度分别为 0.03 、 0.05 、 0.07 、 0.09 和 0.12 g/L 。以上每个试验组均设置3个重复,搅拌均匀后分别在 0 、 1 、 3 、 5 和 9 h 取样,检测其pH以及悬浮物、氨氮、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、磷酸盐和COD浓度等指标。

1.3 水质检测与数据处理 水温和pH等常规水质参数使

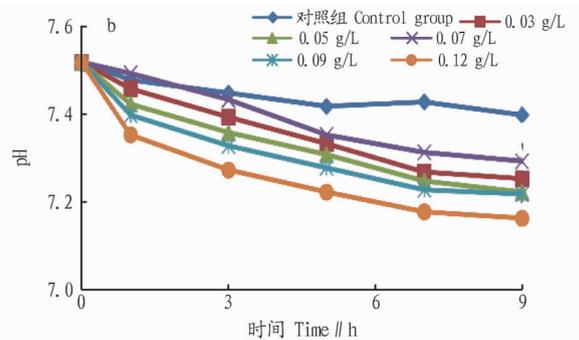
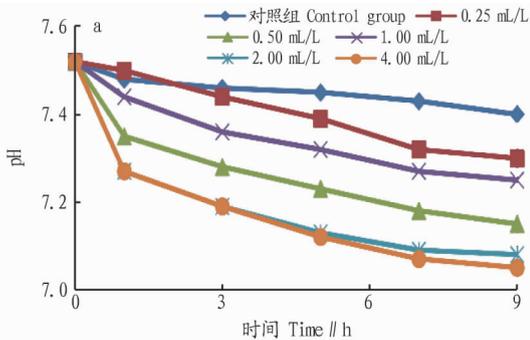


图1 过氧化氢(a)和过氧化硫酸钠复合物(b)处理养殖尾水pH的变化

Fig.1 Changes of pH in aquaculture tail water treated by H_2O_2 (a) and $4\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{NaCl}$ (b)

2.2 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水中悬浮物浓度的影响 添加不同量的过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物处理养殖尾水,结果如图2所示。在试验过程中,各试验组的悬浮物浓度在 1 h 内下降幅度最大,整体上呈现出先急

剧下降后趋于平缓的变化趋势。试验结束时,各试验组的悬浮物浓度均在 100 mg/L 以上,即未达到SC/T 9103—2007《海水池塘养殖水排放要求》规定指标中的二级排放标准。

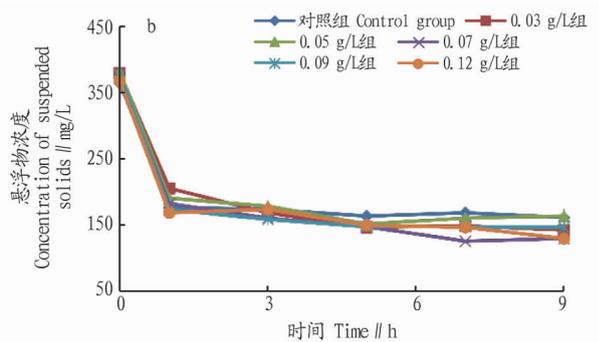
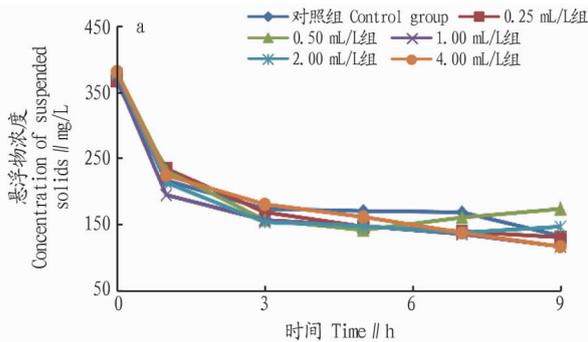


图2 过氧化氢(a)和过氧化硫酸钠复合物(b)处理养殖尾水悬浮物浓度的变化

Fig.2 Concentration changes of suspended solids in aquaculture tail water treated by H_2O_2 (a) and $4\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{NaCl}$ (b)

2.3 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水中氨氮浓度的影响 用不同量的过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物处理养殖尾水,处理效果如图3所示。过氧化氢处理 9 h 后, 4.00 mL/L 过氧化氢处理组氨氮浓度最低,氨氮去除率最高,为 93.79% 。过氧化硫酸钠复合物处理 9 h 后,各处理组

氨氮浓度均在 2.00 mg/L 以上,处理效果明显比过氧化氢差,均未达到SC/T 9103—2007《海水池塘养殖水排放要求》规定指标中的二级排放标准。

2.4 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水中 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度的影响 用过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物处理养

用便携式分析仪检测,其他水质指标的检测方法主要参考《养殖水环境化学实验》^[12]。其中,悬浮物浓度采用重量法测定,氨氮浓度采用靛酚蓝法测定,亚硝酸氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)浓度采用萘乙二胺光度法测定,磷酸盐浓度采用磷钼蓝法测定,COD浓度采用碱性高锰酸钾法测定。试验仪器为UV-5200紫外可见分光光度计。使用Excel 2010软件进行数据处理与绘图。氨氮、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、磷酸盐、COD去除率计算公式均为 $w = (c_0 - c_1) / c_0 \times 100\%$ 。其中, w 表示去除率; c_0 和 c_1 分别为初始和取样时各指标的质量浓度(mg/L)。

2 结果与分析

2.1 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水pH的影响 向养殖尾水中添加不同量的过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物,水体pH的变化如图1所示。试验初期,对照组和各处理组的水体pH下降较为明显,但随着试验时间的延长,水体pH在 $7\sim 9\text{ h}$ 内趋于稳定,均保持在 7.0 以上,符合SC/T 9103—2007《海水池塘养殖水排放要求》。

殖尾水,其亚硝酸氮(NO_2^- -N)浓度的变化如图4所示。从图4可以看出,不同质量浓度的过氧化氢处理养殖尾水在1 h内 NO_2^- -N浓度下降最快,试验结束时4.00 mL/L过氧化氢处

理组 NO_2^- -N浓度最低, NO_2^- -N去除率最高(57.88%)。用过氧化硫酸钠复合物处理养殖尾水,试验结束时各处理组 NO_2^- -N浓度均在1.10 mg/L以上,去除效果不理想。

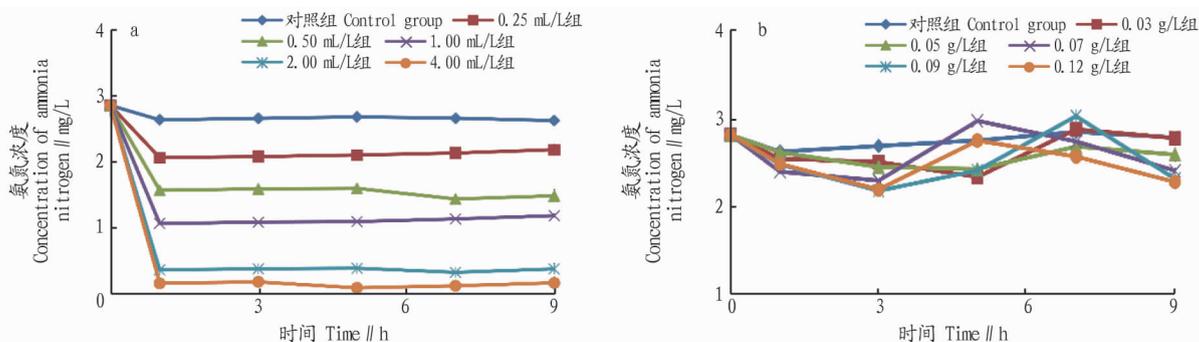


图3 过氧化氢(a)和过氧化硫酸钠复合物(b)处理养殖尾水氨氮浓度的变化

Fig. 3 Changes of ammonia nitrogen concentration in aquaculture tail water treated by H_2O_2 (a) and $4\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{NaCl}$ (b)

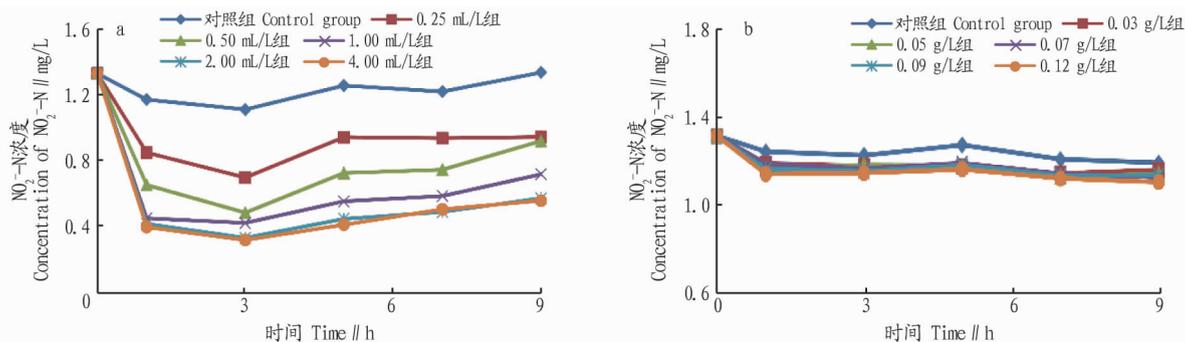


图4 过氧化氢(a)和过氧化硫酸钠复合物(b)处理养殖尾水 NO_2^- -N浓度的变化

Fig. 4 Changes of NO_2^- -N concentration in aquaculture tail water treated by H_2O_2 (a) and $4\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{NaCl}$ (b)

2.5 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水中磷酸盐浓度的影响 用过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物处理养殖尾水,结果如图5所示。由图5可知,各过氧化氢处理组在1 h内磷酸盐浓度的变化幅度最大,此后总体保持稳定,试验结

束时4.00 mL/L过氧化氢处理组磷酸盐浓度最低,磷酸盐去除率最高,达75.10%。各过氧化硫酸钠复合物处理组磷酸盐浓度的变化趋势也与过氧化氢处理组相似,试验结束时0.12 g/L过氧化硫酸钠复合物处理组磷酸盐去除率最高,为87.96%。

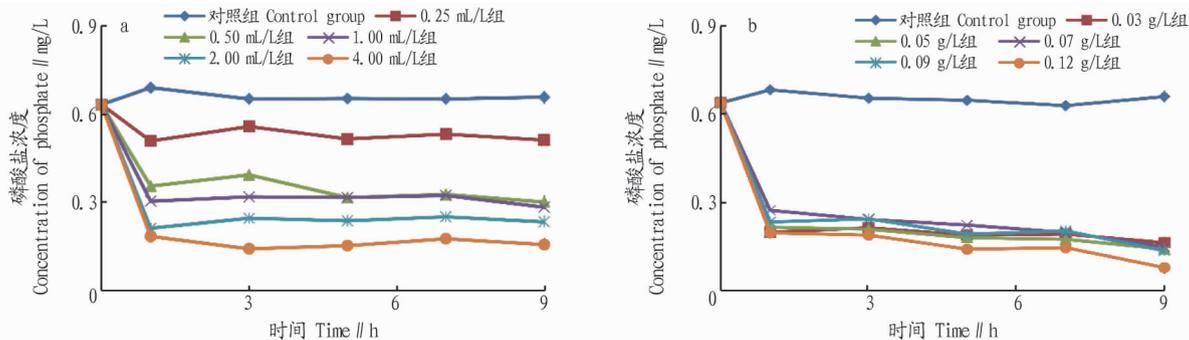


图5 过氧化氢(a)和过氧化硫酸钠复合物(b)处理养殖尾水磷酸盐浓度的变化

Fig. 5 Changes of phosphate concentration in aquaculture tail water treated by H_2O_2 (a) and $4\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{NaCl}$ (b)

2.6 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水中COD浓度的影响 向养殖尾水中投放过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物后,水体COD浓度的变化如图6所示。在过氧化氢处理尾水的过程中,水体中的COD浓度整体上呈现先下降后趋于平缓的变化趋势。试验结束时,4.00 mL/L过氧化氢处理组COD浓度最低,COD去除率最高,为76.70%。过氧化硫酸钠复合物处理养殖尾水9 h后,0.03 g/L处理组的

COD去除率最低(56.19%),0.12 g/L处理组的COD去除率最高,为76.51%。

3 讨论与结论

3.1 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水pH和悬浮物浓度的影响 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物是酸性物质,在水中电离后呈弱酸性^[13],当用于尾水处理时会导致水体pH出现一定程度的下降。该试验结果表明,过氧化氢

处理尾水并没有造成水体 pH 的剧烈下降,在小幅度下降后稳定在 7.0 以上,即符合 SC/T 9103—2007《海水池塘养殖水排放要求》规定指标中的二级排放标准。作为国家海水养殖尾水排放的另一项重要指标,悬浮物是悬浮于水中不能通过 0.45 μm 滤膜且易沉降的细小有机或无机颗粒物。养殖尾水中的悬浮物来自养殖生产过程中的残饵粪便和藻类等,当

超标排放时会明显影响周边水域的水色和透明度,从而降低浮游植物的光合作用,影响水生生物的呼吸和代谢,破坏生态环境^[14]。过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物虽然具有漂白性^[15],但在该试验中对悬浮物的处理效果并不佳。因此,今后应考虑结合机械过滤或化学絮凝剂等方法去除水体中悬浮物^[16-17]。

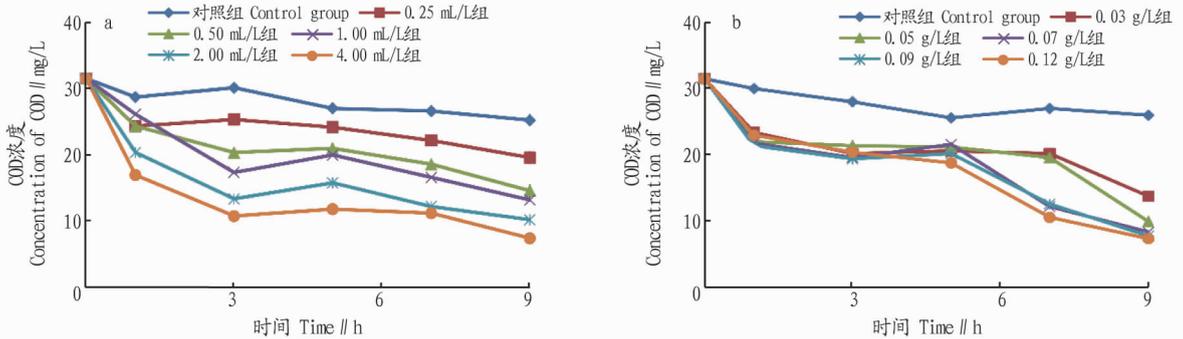


图6 过氧化氢(a)和过氧化硫酸钠复合物(b)处理养殖尾水 COD 浓度的变化

Fig. 6 Changes of COD concentration in aquaculture tail water treated by H₂O₂ (a) and 4Na₂SO₄ · 2H₂O₂ · NaCl (b)

3.2 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水中氨氮和 NO₂⁻-N 浓度的影响

氮元素在水体中的存在形式主要有硝酸氮(NO₃⁻-N)、亚硝酸氮(NO₂⁻-N)、氨氮和氮气(N₂)^[18]。养殖尾水中的氨氮和 NO₂⁻-N 主要来源于饲料投入、蛋白质分解和养殖动物的排泄。当水体中的氮浓度过高时,会导致水体富营养化,产生水华(赤潮),破坏水体中原有的生态平衡^[14]。养殖尾水中的氨氮以游离态(NH₄⁺)和分子态(NH₃)的形式存在^[18],过氧化氢在水中会生成羟基自由基,促使氨氮氧化成氮,但主要的氧化对象是 NH₃。养殖尾水中的 NO₂⁻-N 同样也可以经氧化去除。凌先俊^[19]采用过氧化氢与紫外光联用的方法来增强氧化性,大大提高了 NO₂⁻-N 的去除效率。尽管按照公司产品使用推荐量,但该试验中过氧化硫酸钠复合物对氨氮和 NO₂⁻-N 的去除效果与过氧化氢存在较大差异,这可能与过氧化硫酸钠复合物的制备工艺有关,后续试验可考虑采用碘滴定法检测其活性氧含量^[20]。在城市废水处理方面,其他文献已报道使用电化学的手段,将阴极产生的过氧化氢在阳极电离产生的铁离子作用下转化成活泼的羟基自由基,更有效地去除废水中的氨氮^[21]。笔者认为这种电化学氧化技术成本较高,操作复杂,应用于高浓度含氮化合物废水处理能取得不错的效益。但是,养殖尾水主要属于营养性污染^[22],水中氨氮和 NO₂⁻-N 等浓度较低,不适宜在养殖生产中大范围推广应用,应提倡以生物处理为主、以化学处理为辅。

3.3 过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物对养殖尾水中磷酸盐和 COD 浓度的影响

养殖尾水中的总磷包括有机磷和无机磷,主要来源于饲料中的添加剂、饲料分解物及养殖生物的排泄产物^[14]。农业部发布的 SC/T 9103—2007《海水池塘养殖水排放要求》规定活性磷酸盐属于无机磷,同时也是该试验中养殖尾水检测的对象。目前已报道的除磷剂有硫酸镁、氯化铝、硅藻土、Mg(OH)₂ 和 Ca(OH)₂ 等^[5]。Hashimoto 等^[23]报道利用过氧化氢处理含磷酸废水的方法,取得了不

错的除磷效果。尽管过氧化氢已被应用于废水处理,但国内尚未见到关于过氧化氢去除养殖尾水中磷酸盐的研究报道。该试验结果表明,过氧化氢可以有效去除养殖尾水中的磷酸盐,且去除率随着过氧化氢浓度的增加而增大。过氧化硫酸钠复合物各处理组的处理效果趋于一致,表明低浓度的过氧化硫酸钠复合物取得了不错的处理效果。COD 是监测环境水质的重要指标之一,其大小反映水体受到的有机污染情况^[24],而过氧化氢经催化剂催化产生的羟基自由基能与大多数有机污染非选择性地反应,通过破坏有机物分子结构达到氧化去除有机物的目的^[25]。该试验中的尾水经过过氧化氢和过氧化硫酸钠复合物处理后 COD 均达到 SC/T 9103—2007《海水池塘养殖水排放要求》规定的二级排放标准。黄伟英等^[9]研究表明,通过过氧化氢与其他氧化剂的组合处理可以获得更好的氧化效果。美国 FMC 公司研究了过氧化氢与硫代硫酸钠去除有机污染物的最佳配比,开发出过氧化氢与硫代硫酸钠组合氧化系统,并申请了专利^[26]。尽管大量试验已证实多种氧化剂组合能更好地去除有机污染物,但这种组合作用的机理尚不清楚。

参考文献

- [1] 张震,郝强,周小秋,等. 近年我国淡水鱼营养与饲料科学研究进展[J]. 动物营养学报, 2020, 32(10): 4743-4764.
- [2] 刘国锋,徐跑,吴霆,等. 中国水产养殖环境氮磷污染现状及未来发展思路[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 225-233.
- [3] MARTÍNEZ-CÓRDOVA L R, EMERENCIANO M, MIRANDA-BAEZA A, et al. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: An updated review[J]. Reviews in aquaculture, 2015, 7(2): 131-148.
- [4] HE Z Y, PAN L Q, ZHANG M Y, et al. Metagenomic comparison of structure and function of microbial community between water, effluent and shrimp intestine of higher place *Litopenaeus vannamei* ponds[J]. Journal of applied microbiology, 2020, 129(2): 243-255.
- [5] 李惠莲,白艺玲,林岗. 氢氧化镁、氢氧化钙对凡纳滨对虾养殖尾水中磷去除的研究[J]. 福建农业科技, 2020(1): 40-45.
- [6] 管崇武,张宇雷,宋红桥,等. 臭氧对循环水养殖水体水质的净化效果及机理研究[J]. 渔业现代化, 2018, 45(6): 14-18.

- [3] WELINDER K G. Superfamily of plant, fungal and bacterial peroxidases [J]. Current opinion in structural biology, 1992, 2(3): 388-393.
- [4] HIRAGA S, YAMAMOTO K, ITO H, et al. Diverse expression profiles of 21 rice peroxidase genes [J]. FEBS letters, 2000, 471(2/3): 245-250.
- [5] HIRAGA S, SASAKI K, ITO H, et al. A large family of class III plant peroxidases [J]. Plant cell physiology, 2001, 42(5): 462-468.
- [6] TOGNOLLI M, PENEL C, GREPPIN H, et al. Analysis and expression of the class III peroxidase large gene family in *Arabidopsis thaliana* [J]. Gene, 2002, 288(1/2): 129-138.
- [7] CHITTOOR J M, LEACH J E, WHITE F F. Differential induction of a peroxidase gene family during infection of rice by *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae* [J]. Molecular plant-microbe interactions, 1997, 10(7): 861-871.
- [8] SHIGETO J, TSUTSUMI Y. Diverse functions and reactions of class III peroxidases [J]. New phytologist, 2016, 209(4): 1395-1402.
- [9] LI Q, DOU W F, QI J J, et al. Genomewide analysis of the CIII peroxidase family in sweet orange (*Citrus sinensis*) and expression profiles induced by *Xanthomonas citri* subsp. *citri* and hormones [J/OL]. Journal of genetics, 2020, 99(1) [2021-04-18]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12041-019-1163-5>.
- [10] PASSARDI F, LONGET D, PENEL C, et al. The class III peroxidase multigenic family in rice and its evolution in land plants [J]. Phytochemistry, 2004, 65(13): 1879-1893.
- [11] 莫俊杰, 梁钾贤, 胡汉桥, 等. 芋头过氧化氢酶基因克隆 [J]. 广东农业科学, 2016, 43(9): 37-43.
- [12] 苏亚春, 王竹青, 李竹, 等. 甘蔗过氧化氢酶基因 *ScPOD02* 的克隆与功能鉴定 [J]. 作物学报, 2017, 43(4): 510-521.
- [13] 郭媛, 郭旺珍, 张天真. 两个陆地棉过氧化氢酶 cDNA 的克隆和鉴定 [J]. 作物学报, 2007, 33(6): 891-897.
- [14] 杨尚谕, 李立芹, 陈倩, 等. 烟草过氧化氢酶基因 *NiPOD1* 的克隆及表达模式分析 [J]. 华北农学报, 2018, 33(3): 106-112.
- [15] 刘付东标. 富贵竹室内加工技术研究 [J]. 园艺学报, 2002, 29(4): 389-391.
- [16] ZHANG S, XU Z Y, LE R, et al. First report of leaf blight wilt on *Dracaena sanderiana* by *Pantoea stewartii* subsp. *indologenes* in China [J]. Plant disease, 2020, 104(6): 1854.
- [17] BOYCE R, CHILANA P, ROSE T M. iCODEHOP: A new interactive program for designing Consensus-DEgenerate Hybrid Oligonucleotide Primers from multiply aligned protein sequences [J]. Nucleic acids research, 2009, 37: W222-W228.
- [18] ROSE T M, HENIKOFF J G, HENIKOFF S. CODEHOP (Consensus-DEgenerate hybrid oligonucleotide primer) PCR primer design [J]. Nucleic acids research, 2003, 31(13): 3763-3766.
- [19] LIU Y G, CHEN Y L. High-efficiency thermal asymmetric interlaced PCR for amplification of unknown flanking sequences [J]. BioTechniques, 2007, 43(5): 649-656.
- [20] MANOLI A, STURARO A, TREVISAN S, et al. Evaluation of candidate reference genes for qPCR in maize [J]. Journal of plant physiology, 2012, 169(8): 807-815.
- [21] LIVAK K J, SCHMITTGEN T D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta Ct}$ Method [J]. Methods, 2001, 25(4): 402-408.
- [22] 陈勇, 柳亦松, 曾建国. 植物基因组测序的研究进展 [J]. 生命科学研究, 2014, 18(1): 66-74.
- [23] 乔枫, 耿贵工, 曾阳, 等. 枸杞抗坏血酸过氧化氢酶基因的克隆与表达分析 [J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(4): 64-72.
- [24] 朱海生, 刘建汀, 王彬, 等. 丝瓜过氧化氢酶基因的克隆及其在果实褐变中的表达分析 [J]. 农业生物技术学报, 2018, 26(1): 43-52.

(上接第 84 页)

- [7] GAYAKWAD E M, PATEL K P, SHANKARLING G S. Sodium sulfate-hydrogen peroxide-sodium chloride adduct: Selective protocol for the oxidative bromination, iodination and temperature dependent oxidation of sulfides to sulfoxides and sulfones [J]. New journal of chemistry, 2019, 43(15): 6001-6009.
- [8] CHAKINALA A G, GOGATE P R, BURGESS A E, et al. Treatment of industrial wastewater effluents using hydrodynamic cavitation and the advanced Fenton process [J]. Ultrasonics sonochemistry, 2008, 15(1): 49-54.
- [9] 黄伟英, 刘菲, 鲁安怀, 等. 过氧化氢与过硫酸钠去除有机污染物的进展 [J]. 环境科学与技术, 2013, 36(9): 88-95.
- [10] 杜佳垠. 过氧化氢作为鱼卵水霉病防治药物的应用 [J]. 河北渔业, 2004(1): 33-35.
- [11] 朱兴一, 夏枚生, 胡彩虹, 等. 包膜硫酸钠/过氧化氢/氯化钠加合物对南美白对虾养殖水体的增氧效果 [J]. 水产科学, 2006, 25(11): 541-544.
- [12] 雷行. 养殖水环境化学实验 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [13] 雷双双. 麦草低温碱氧两段蒸煮及其全无氯漂白 [D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [14] 宋长太. 淡水养殖尾水达标排放相关知识解读 [J]. 渔业致富指南, 2018(20): 20-22.
- [15] TREDWIN C J, NAIK S, LEWIS N J, et al. Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: Review of adverse effects and safety issues [J]. British dental journal, 2006, 200(7): 371-376.
- [16] 宋红桥, 顾川川, 张宇雷. 水产养殖系统的尾水处理方法 [J]. 安徽农业通报, 2019, 25(22): 85-87.
- [17] AYECHER R. Treatment by coagulation-flocculation of dairy wastewater with the residual lime of National Algerian Industrial Gases Company (NIGC-Amnab) [J]. Energy procedia, 2012, 18: 147-156.
- [18] 王峰. 半滑舌鳎循环水养殖系统优化与养殖效果研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [19] 凌先俊. 氧化法去除饮用水中亚硝酸盐的实验研究 [D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2016.
- [20] 谢芳. 沸石填料电化学反应器深度处理氨氮废水的研究 [D]. 广州: 暨南大学, 2015.
- [21] GAYAKWAD E M, PATIL V V, SHANKARLING G S. Metal-free oxidation of aldehydes to acids using the $4\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{NaCl}$ adduct [J]. Environmental chemistry letters, 2017, 15(3): 459-465.
- [22] 黄翔鹤. 对虾高位池水环境养殖污染和浮游微藻生态调控机制研究 [D]. 上海: 东华大学, 2013.
- [23] HASHIMOTO, AKIHIRO. 用过氧化氢处理含磷酸的废水和方法 [J]. 水处理信息报导, 2002(3): 40-41.
- [24] 王光玉, 韩亚萌, 冯亚丽, 等. 海洋光合细菌筛选及其对养殖水体修复效果的测定 [J]. 渔业现代化, 2019, 46(3): 22-29.
- [25] 相欣奕. 氧化技术降解典型有机污染物研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2013.
- [26] BLOCK P A, BROWN R A, ROBINSON D. Novel activation technologies for sodium persulfate in situ chemical oxidation [C] // Proceedings of the fourth international conference on the remediation of chlorinated and recalcitrant compounds. Columbus, OH: Battelle Press, 2004.

(上接第 88 页)

- [29] SHI H P, ZHANG T Y, YI Y Q, et al. Long form PRLR (IPRLR) regulates genes involved in the triacylglycerol synthesis in goat mammary gland epithelial cells [J]. Small Rumin Res, 2016, 139: 7-14.
- [30] RADHAKRISHNAN A, RAJU R, TULADHAR N, et al. A pathway map of prolactin signaling [J]. J Cell Commun Signal, 2012, 6(3): 169-173.
- [31] GALLEGO M I, BINART N, ROBINSON G W, et al. Prolactin, growth hormone, and epidermal growth factor activate Stat5 in different compartments of mammary tissue and exert different and overlapping developmental effects [J]. Dev Biol, 2001, 229(1): 163-175.
- [32] DOBOLYI A, OLÁH S, KELLER D, et al. Secretion and function of pituitary prolactin in evolutionary perspective [J]. Front Neurosci, 2020, 14: 1-16.
- [33] PEREZ-MILLAN M I, LUQUE G M, RAMIREZ M C, et al. Selective disruption of dopamine D2 receptors in pituitary lactotroves increases body weight and adiposity in female mice [J]. Endocrinology, 2014, 155(3): 829-839.
- [34] KELLY P A, BINART N, FREEMARK M, et al. Prolactin receptor signal transduction pathways and actions determined in prolactin receptor knock-out mice [J]. Biochem Soc Trans, 2001, 29(Pt2): 48-52.
- [35] KIM H, TOYOFUKU Y, LYNN F C, et al. Serotonin regulates pancreatic beta cell mass during pregnancy [J]. Nat Med, 2010, 16(7): 804-808.
- [36] DAS R, VONDERHAAR B K. Transduction of prolactin's (PRL) growth signal through both long and short forms of the PRL receptor [J]. Mol Endocrinol, 1995, 9(12): 1750-1759.
- [37] 邢光东. 鹅催乳素受体基因克隆和多克隆抗体制备及组织表达分析 [D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [38] FONTANESI L, GALIMBERTI G, CALÒ D G, et al. Identification and association analysis of several hundred single nucleotide polymorphisms within candidate genes for back fat thickness in Italian Large White pigs using a selective genotyping approach [J]. J Anim Sci, 2012, 90(8): 2450-2464.