

添加营养物质提高商品水质净化菌剂净化能力的研究

陈爱玲^{1,2}, 李秋芬^{2*}, 张立通^{1,2}, 孙耀², 赵从明³, 王彦怀³

(1. 中国海洋大学海洋生命学院, 山东 青岛 266003;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

3. 天津立达海水资源开发有限公司, 天津 300280)

摘要:利用室内试验,研究了添加营养物质提高商品水质净化菌剂 SYMCORE BZT™的净化能力的方法。研究分两部分,第1部分设1个对照组和2个试验组,研究了添加营养物质对水质净化菌剂的净化能力的影响;第2部分设1个对照组和15个试验组,研究了营养物质添加量配比与净化效果的关系。通过计算葡萄糖和磷酸盐的添加量对COD、NH₄⁺-N和NO₂⁻-N去除率的影响,建立了相关模型。实验结果表明,添加葡萄糖和磷酸二氢钾能显著提高水质净化菌剂对养殖废水的净化能力。添加葡萄糖使COD、NH₄⁺-N和NO₂⁻-N的去除率分别提高了21.92%、34.43%和57.41%;添加磷酸盐使COD、NH₄⁺-N和NO₂⁻-N的去除率分别提高了30.02%、53.45%和15.08%。当C:N:P=62.5:4.85:1时,水质净化菌剂对养殖废水中COD的净化效果最佳;当C:N:P=37.5:4.51:1时,对氨氮的去除效果最好;当C:N:P=25:2.97:1时,对亚硝酸氮的净化能力最高。葡萄糖与磷酸盐的添加量与3种污染物去除率的关系可以用二项式曲线拟合。实验结果与拟合结果相符。为养殖废水的生物修复和微生物制剂的推广应用提供了理论和技术依据。

关键词:微生物制剂;营养物;养殖废水净化

中图分类号:X 832;S 917

文献标识码:A

随着海水养殖业的迅速发展,我国的海水养殖业逐渐走上高密度、规模化、集约化的发展道路。工厂化鱼虾类养殖是集约化、高密度、高产量、高效率的一种养殖模式,因其对环境污染小、产品优质、养殖条件受自然条件限制小,正成为海水养殖业发展的重要方向之一。但是,与此同时,水质因生物量的增加而被污染,养殖废水的任意排放已成为导致海洋环境污染的重要原因之一^[1]。主要污染因素是养殖生物的排泄物、残饵以及有机碎屑,这些物质不断被氧化分解,导致氨氮、亚硝酸氮的积累,可造成养殖生物中毒^[2]。

近年来,复合微生物制剂在水产养殖的水质控制上应用较为广泛,并取得了一定的成效^[3-4]。但由于复合微生物制剂的菌种组分和生理生化特

性不同,所净化水体的水质状况、污染程度不同,使得微生物菌剂在不同水域中净化效果也存在很大差异。有学者发现在水体修复过程中,水体中可生物利用有机物含量较低或缺乏氮、磷元素时,修复效果较差,添加某种营养物质可以加强生物修复^[5]。因此生物强化技术便应运而生。水体生物强化技术主要是指通过向水体中投加外来高效降解菌种^[6-7],生物表面活性剂^[8-9],碳源^[10]、氮源和磷源^[11]等来强化水体生物修复效果的工程措施^[11]。很多学者证实外加碳源和磷源能提高微生物的净化效率^[11,14-15],常用的外加碳源有甲醇、乙醇、乙酸、乙酸钠和葡萄糖等。张海杰等^[12]研究证实葡萄糖作为外加碳源时微生物的硝化率最高。李洪鹏等^[13]报道证实添加葡萄糖

收稿日期:2009-12-10 修回日期:2010-01-14

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划探索项目(2006AA10Z414,2006AA10Z414);海洋公益行业可以专项经费项目(200805069)

通讯作者:李秋芬, Tel: 0532-85836341-8009, E-mail: liqf@ysfri.ac.cn

能提高原生态复合菌的净化能力。有学者研究表明缺乏磷酸盐能延迟生物滤池的启动时间^[14]。本人在实验中发现,水质净化菌剂的净化效果不理想,同时存在磷缺乏的现象。虽已证实外加碳源和磷源能提高微生物的净化效率,但有关添加碳源和磷源的比例,目前很少有人研究。本研究意在探讨通过改善碳源和磷源等营养盐的比例,来提高商品水质净化菌剂对养殖废水的净化效果。为提高水质净化菌剂净化工厂化养殖废水的效果提供了新的思路,从而为微生物制剂在养殖业中的推广应用和养殖业的可持续发展做出贡献。

1 材料与方法

1.1 实验材料

采用的商品水质净化菌剂为美国 Bio-Form L. L. C生产的 SYMCORE BZT,其主要成分是芽孢杆菌、酵母、微球菌、酶和营养剂等。处理对象选用天津立达海水资源开发有限公司的牙鲆育苗

废水。添加的营养物质为葡萄糖、磷酸二氢钾,均为分析纯。

1.2 添加磷酸盐和葡萄糖对水质净化菌剂净化效果的影响

实验在室内进行,采用的容器是容积为 40 L 的泡沫箱,编号分别为 1~16,实验期间,用气泵充氧,使溶解氧在 6.0 mg/L 以上。

实验 1 设 3 个组,组 1 为对照组,不添加任何营养盐;组 2 添加葡萄糖,浓度为 1 000 mg/L;组 3 添加磷酸二氢钾,浓度为 20 mg/L。3 个组都按 3 mg/L 的浓度加入商品水质净化菌剂。

1.3 营养盐搭配比例对水质净化菌剂净化效果的影响

实验 2 按照 2 个因素 4 个水平,安排 1 个对照组和 15 个试验组,葡萄糖选用 0、300、1 000 和 1 600 mg/L 4 个水平;磷酸二氢钾选用 0、10、20 和 40 mg/L 4 个水平;各试验组营养盐添加量见表 1。16 个组都按 3 mg/L 的浓度加入商品水质净化菌剂,其他实验管理同 1.2。

表 1 实验 2 各实验组营养盐添加量

Tab. 1 The amount of added nutrients in each trial group

组号 group	营养盐 (mg/L) nutrient		C: N: P
	C ₆ H ₁₂ O ₆	KH ₂ PO ₄	
对照组 control	0	0	0: 0.9: 0
试验组 1 trial 1	0	10	0: 12.16: 1
试验组 2 trial 2	0	20	0: 6.08: 1
试验组 3 trial 3	0	40	0: 3.04: 1
试验组 4 trial 4	300	0	1.67: 0.9: 0
试验组 5 trial 5	300	10	25: 7.87: 1
试验组 6 trial 6	300	20	12.5: 4.25: 1
试验组 7 trial 7	300	40	8.33: 2.67: 1
试验组 8 trial 8	1 000	0	5.56: 0.9: 0
试验组 9 trial 9	1 000	10	75: 8.28: 1
试验组 10 trial 10	1 000	20	37.5: 4.51: 1
试验组 11 trial 11	1 000	40	25: 2.97: 1
试验组 12 trial 12	1 600	0	8.89: 0.9: 0
试验组 13 trial 13	1 600	10	125: 7.28: 1
试验组 14 trial 14	1 600	20	62.5: 4.85: 1
试验组 15 trial 15	1 600	40	41.67: 2.99: 1

1.4 水质因子的测定

2009 年 6 月 20 日起,每 4 天采样一次,做水质监测,水质指标测定包括化学需氧量(COD_{Mn})、氨氮(NH₄⁺-N)和亚硝酸氮(NO₂⁻-

N)。COD 采用碱性高锰酸钾法;NH₄⁺-N 采用溴酸钠氧化法;NO₂⁻-N 采用 α-萘乙二胺分光光度法,均参照海洋监测规范^[16]进行。水样用 0.45 μm 的硝酸纤维膜抽滤后测定。

2 结果

2.1 添加葡萄糖对水质净化菌剂净化养殖废水的影响

添加葡萄糖对水质净化菌剂净化养殖废水的效果有显著提高(图 1)。试验组 2 氨氮、亚硝酸氮、COD 的浓度较对照组都有不同程度的降低。添加葡萄糖分别使氨氮、亚硝酸氮和 COD 的去除率提高了 57.41%、34.43% 和 21.92%。同时观察到,对照组和试验组 2 的磷酸盐的浓度都低于 10 $\mu\text{g/L}$ 。

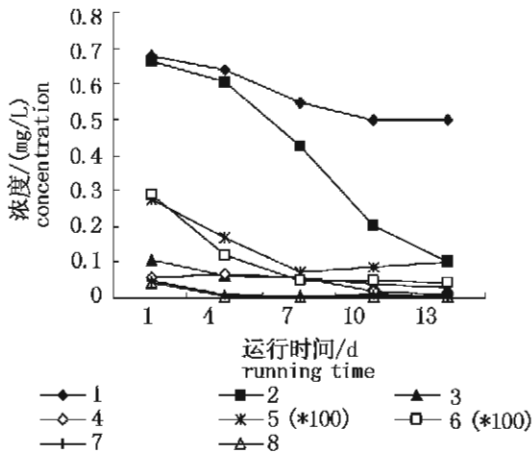


图 1 添加葡萄糖对水质净化菌剂去除效果的影响 1,2:对照组和组 2 的氨氮浓度; 3,4:对照组和组 2 的亚硝酸氮浓度; 5,6:对照组和组 2 的 COD 浓度; 7,8:对照组和组 2 的磷酸盐浓度。

Fig.1 The effect of adding glucose on the purifying ability of microorganism products

1,2 show the ammonia nitrogen concentration of the control and group 2, respectively; 3, 4 show the nitrite nitrogen concentration of the control and group 2, respectively; 5, 6 show the COD concentration of the control and group 2, respectively; 7, 8 show the phosphate concentration of the control and group 2, respectively.

2.2 添加磷酸盐对水质净化菌剂去除效果的影响

添加磷酸盐明显提高了水质净化菌剂对养殖废水的去除效果(图 2)。组 3 的氨氮、亚硝酸氮和 COD 的浓度较对照组都有不同程度的下降。添加磷酸盐分别使水质净化菌剂对氨氮、亚硝酸氮和 COD 的去除率升高了 15.08%、53.45% 和 30.02%。对照组的磷酸盐浓度低于 10 $\mu\text{g/L}$,组 3 的磷酸盐浓度下降了 60.09%,说明对照组的磷

酸盐含量太低,不能满足需要。

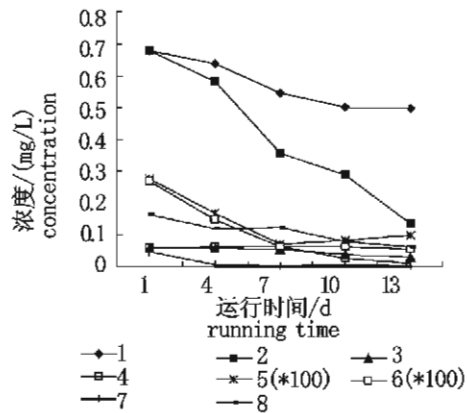


图 2 添加磷酸盐对水质净化菌剂去除效果的影响 1,2:对照组和组 3 的氨氮浓度; 3,4:对照组和组 3 的亚硝酸氮浓度; 5,6:对照组和组 3 的 COD 浓度; 7,8:对照组和组 3 的磷酸盐浓度。

Fig.2 The effect of adding phosphate on the purifying ability of microorganism products

1,2 show the ammonia nitrogen concentration of the control and group 3, respectively; 3, 4 show the nitrite nitrogen concentration of the control and group 3, respectively; 5, 6 show the COD concentration of the control and group 3, respectively; 7, 8 show the phosphate concentration of the control and group 3, respectively.

2.3 不同营养盐添加比例对水质调节剂净化养殖废水的影响

对去除 COD 的影响 实验 2 的对照组和 15 个试验组的 COD 浓度变化趋势一样,第 1 天到第 7 天 COD 浓度急剧下降,从第 7 天以后缓慢下降。对照组的 COD 去除率仅为 62.84%,试验组的 COD 去除率范围在 75.14% ~ 97.07% (图 3)。加入营养物质显著提高了微生物菌剂对 COD 的去除率,随着葡糖添加量的增加,COD 的去除率呈上升趋势,葡萄糖添加量为 1 000 mg/L 时,去除率最高,葡萄糖添加量大于 1 000 mg/L 时,随葡萄糖添加量的增多反而下降。磷酸盐的添加量对 COD 去除率的影响不显著($P > 0.05$)。C: N: P = 62.5: 4.85: 1 时,对 COD 的去除效果最佳,去除率为 97.07%。

对去除氨氮的影响 实验 2 中 15 个试验组的氨氮浓度的变化趋势是相同的。第 1 天到第 7 天氨氮浓度缓慢下降,从第 7 天到第 13 天氨氮浓度急剧下降,到第 19 天变化不明显,而对照组的氨氮浓度变化趋势是先缓慢下降,去除率平稳

后,又逐渐上升(图 4)。对照组的氨氮去除率仅为 26.26%,试验组的去除率范围在 78.89%~96.88%。加入葡萄糖和磷酸盐均显著提高了水质净化菌剂对氨氮的去除能力。当磷酸二氢钾添加量相同时,葡萄糖添加量为 1 000 mg/L 时,对氨氮的去除率最大。当葡萄糖添加量相同时,磷酸二氢钾添加量为 20 mg/L 时,对氨氮的去除率最大。C:N:P=37.5:4.51:1 时,对氨氮的去除效果最好,去除率为 96.88%。

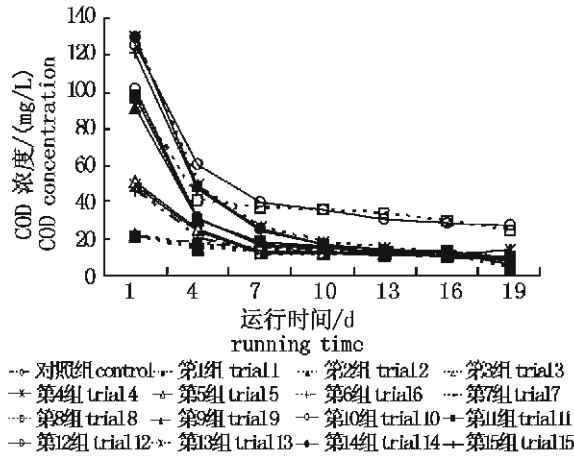


图 3 实验 2 中各组 COD 浓度的变化
Fig. 3 The changes of COD concentration in each group of experiment 2

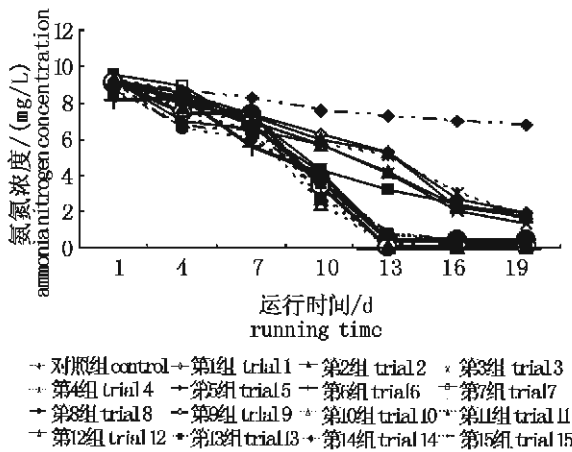


图 4 实验 2 中各组氨氮浓度的变化
Fig. 4 The changes of ammonia nitrogen concentration in each group of experiment 2

对去除亚硝酸氮的影响 如图 5 所示,实验 2 中对照组和 15 个试验组的亚硝酸氮浓度变化趋势是相同的。从第 1 天到第 7 天亚硝酸氮浓度基本无变化,从第 7 天到第 13 天急剧上升,第 13 天到第 16 天浓度无变化,然后又急剧下降。

对照组的亚硝酸氮去除率仅为 49.44%,试验组的去除率在 72.21%~93.41% 之间。加入营养物质显著提高了水质净化菌剂对亚硝酸氮的去除效果。当磷酸二氢钾添加量相同时,葡萄糖添加量为 1 000 mg/L 时,对亚硝酸氮的去除率最大。当葡萄糖添加量相同时,磷酸盐添加量不显著影响亚硝酸氮的去除效果。当 C:N:P=25:2.97:1 时,对亚硝酸盐的净化效果最优,去除率达 93.41%。

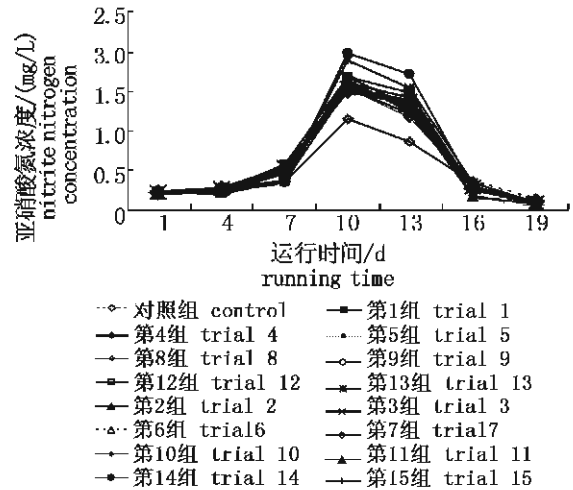


图 5 实验 2 中各组亚硝酸氮浓度的变化
Fig. 5 The changes of nitrite nitrogen concentration in each group of experiment 2

2.4 葡萄糖和磷酸盐添加量与污染物去除率的相互关系

葡萄糖添加量与污染物去除率的关系 以葡萄糖添加量为自变量,对不同磷酸盐添加量的试验组的 COD、氨氮和亚硝酸氮的去除率数据进行拟合,结果表明葡萄糖添加量与 COD、氨氮和亚硝酸氮的去除率之间均符合二次多项式关系,即 $V = aX^2 + bX + c$;且所有拟合曲线的 R^2 值均在 0.784~0.999。具体关系的拟合方程及拟合曲线见图 6,4 种不同磷酸盐添加量的试验组中 COD、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除率均随葡萄糖的增多先升高后降低,且随着磷酸盐量的增加,变化幅度越小。葡萄糖添加量与各污染物的去除率的关系呈抛物线形的变化趋势。

磷酸盐添加量与污染物去除率的关系 以磷酸盐的添加量为自变量,对不同葡萄糖添加量的试验组的 COD、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除率数据进行拟合,结果显示,磷酸盐添加量与 COD、

$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除率之间的关系均符合二次多项式关系,即 $V = aX^2 + bX + c$;且 R^2 均在 0.843 ~ 0.999。拟合方程及拟合曲线见图 7,从图 7 中可以看出,磷酸盐添加量与各污染物的去除率的关系呈抛物线形的变化趋势。4 种不同葡

萄糖添加量的试验组中 COD、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除率均随磷酸盐的增多先升高后降低。葡萄糖添加量多于 300 mg/L 时,COD、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的去除率变化不大。

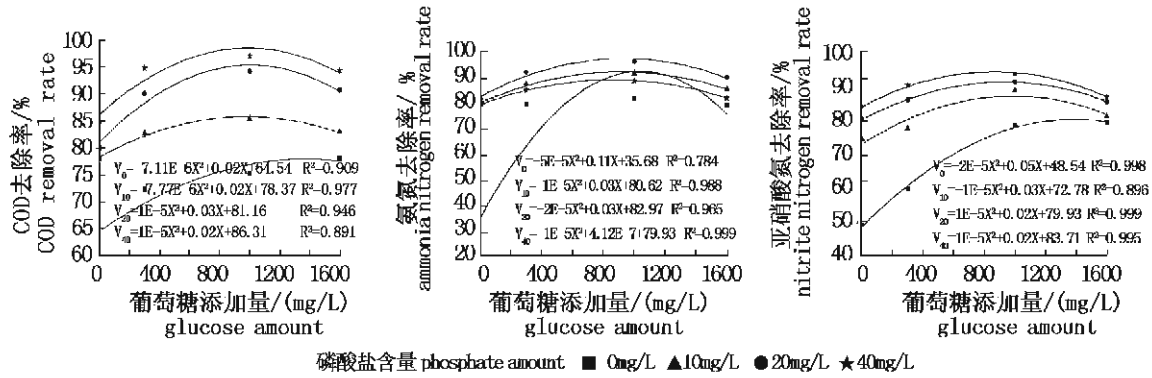


图 6 COD、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 去除率随葡萄糖添加量变化的拟合曲线及其方程式

Fig. 6 The fit curves and equations of the relationship between glucose concentration and the removal rates of COD, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ and $\text{NO}_2^- \text{-N}$

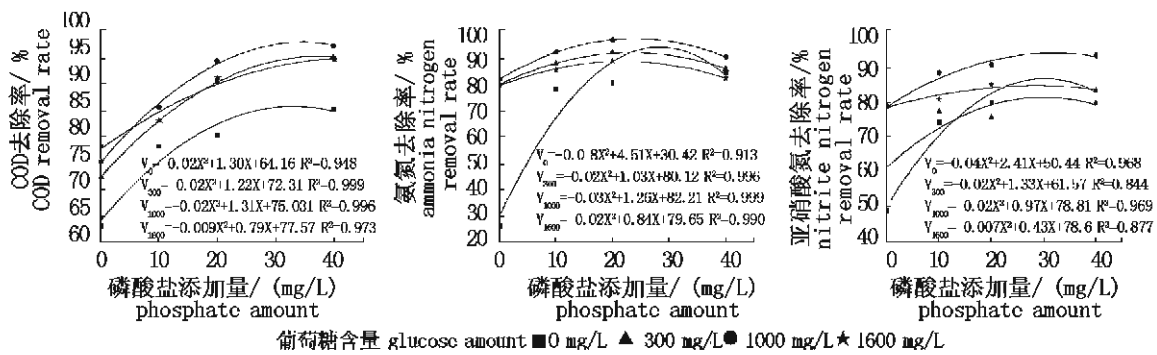


图 7 COD、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 去除率随磷酸盐添加量变化的拟合曲线及其方程

Fig. 7 The fit curves and equations of the relationship between phosphate concentration and the removal rates of COD, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ and $\text{NO}_2^- \text{-N}$

3 讨论

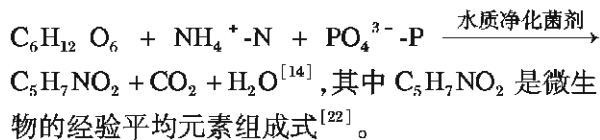
3.1 添加营养物质促进水质净化菌剂净化废水能力的机理

从实验 1 的结果可以看出,添加葡萄糖和磷酸盐能明显提高水质净化菌剂对 COD、氨氮和亚硝酸氮的去除率。有学者发现营养物质可以加强生物修复^[5]。这主要是因为加入的葡萄糖和磷酸盐作为碳源和磷源改善了废水中的微环境,从而有利于净化作用菌群的生长和代谢。同时,水质净化菌剂中的有益菌在养殖水中占优势,与病原菌竞争生态位,从而抑制了病原菌的繁殖,使养

殖生物不易发病。

细菌所需要的营养物质与它们细胞的化学构成大致相同,大致有 5 类:碳源、氮源、磷源、无机盐和生长因子。一般而言,在养殖废水中,氮是大量存在的,经常限制细菌生长的是碳源^[17]和磷源。有关研究表明,加入碳类物质可以增加养殖系统中细菌生物量^[18]。葡萄糖是一种重要的简单碳水化合物,它在主要的生化途径中有重要作用;另外,糖源也被人们认为是一种重要的中间储存物质,而葡萄糖是多糖最基本的组成单位,因此研究葡萄糖在废水净化中的作用就显得更加重要了。加入磷也是很容易理解的,因为细菌经常以

储存多聚磷酸盐的形式大量吸收环境中的磷,会使细菌丰富的水体中出现磷的短缺^[19]。相关研究指出,水中溶解性正磷酸盐浓度低于 10 $\mu\text{g/L}$ 时,水中异养菌的生长会受到磷源的限制^[20-21]。本文实验 1 也已经证实修复系统中磷含量很低。因此,添加营养物的促进生物净化的机制可以用下式表示:



3.2 水质净化菌剂净化废水时理想的 C:N:P

基于细胞的化学构成,有人推荐采用 C:N:P 摩尔比为 100:10:1 进行生物修复实践,即去除 5 mg 氮理论上需要 40 mg 碳和 1 mg 磷^[23]。在本实验中,去除 5 mg 氮需要 42 mg 碳和 1.1 mg 磷,基本与之相符,这与细菌的生化组成 $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ 也是基本吻合的。

当 C:N:P = 62.5:4.85:1 时,水质净化菌剂对 COD 的去除效果最佳,但此时对氨氮和亚硝酸氮的净化效果并不理想,当 C:N:P = 37.5:4.51:1 时,氨氮的净化效果最佳,当 C:N:P = 25:2.97:1 时,亚硝酸氮的去除效率最高。回归曲线显示,葡萄糖与磷酸盐的添加量分别与 3 种污染物的去除率的关系呈抛物线形趋势。这是因为异养菌在与硝化菌的竞争中占据优势,特别在高碳氮比的情况下,异养菌所具有的优势更加明显^[24]。李洪鹏等^[13]等指出在一定葡萄糖添加量的范围内,COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的去除率均随添加量的增加而升高,当葡萄糖添加量高于某一临界值时,去除率随葡萄糖的增加反而下降。加入的葡萄糖作为微生物的碳源,可以刺激微生物的大量繁殖,从而使去除率升高;但是,如果加入过量的葡萄糖,导致渗透压过高,不利于细菌生长,另外,葡萄糖在降解过程中产酸^[25],所以在养殖废水净化中葡萄糖的添加量要适中。水质指标去除率随磷酸二氢钾的加入量增加变化不大,故可采用最小量,既可以减少费用,又可以避免引起二次污染。有研究表明,微生物的生长必须有磷,但对磷的需求量很小,在水中投放 20 ~ 30 $\mu\text{g/L}$ 的磷即可满足微生物的需求^[15]。所以,在用水质净化菌剂净化养殖废水时,要合理地添加营养物质。通过建立一个营养盐添加量与污染物去除率的动力学模型,可根据所处理废水的水质状况,对现有养

殖废水处理系统的参数随时调整,及时改善营养盐限制因子,确保取得更为稳定高效的处理效果,并能对新建系统的设计进行指导,使反应器的设计、运行更加科学合理。

3.3 水质净化菌剂去除废水中溶解态有机物、氨氮和亚硝酸氮的过程特征

从实验 1 和实验 2 中可以看出,水质净化菌剂净化养殖废水的过程分为 3 个连续的阶段:首先是溶解态有机物浓度快速下降,随后是氨氮浓度降低,亚硝酸氮浓度升高,后期亚硝酸氮浓度才迅速下降。笔者认为可以做如下解释,在第 1 阶段,细菌的生长繁殖以溶解态有机物作为碳源和氮源,导致 COD 浓度急剧下降。在第 2 阶段,随着有机物的分解,氨氮浓度上升,亚硝化细菌进行亚硝化作用的底物浓度上升,所以反应向着生成亚硝酸氮的方向进行,这时硝化细菌还未繁殖起来,导致亚硝酸氮的暂时升高。随后硝化细菌大量繁殖,将亚硝酸盐转化为硝酸盐,从而使亚硝酸氮降低。

参考文献:

- [1] 石芳永,宋奔奔. 竹子填料海水曝气生物滤器除氮性能和硝化细菌群落变化研究[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(1): 92-96.
- [2] 王志敏,张文香. 在循环养殖系统中添加微生态制剂去除氨氮和亚硝酸氮的试验[J]. 水产科学, 2006, 25(4): 171-174.
- [3] 茆健强,周国勤,陈兵,等. 复合微生物制剂改善池塘水环境效果试验[J]. 水产养殖, 2006, 27(1): 25-27.
- [4] 李成林,胡炜,宋爱环,等. 微生态制剂在刺参养殖中的应用和展望[J]. 齐鲁渔业, 2008, 25(8): 11.
- [5] 沈德中. 污染环境的生物修复[M]. 北京:化学工业出版社, 2002: 49-53.
- [6] 陈志宏,陈因良,陈建,等. 氨、乳酸对杂交瘤细胞生长代谢的影响[J]. 生物工程学报, 1992, 8(4): 348-352.
- [7] Ozurk S S, Riley M R, Palsson B O. Effects of ammonia and lactate on hybridoma growth metabolism and antibody production[J]. Biotechnol Bioeng, 1992, 39(4): 418-431.
- [8] 孙祥明,张元兴. 重组 CHO 细胞培养过程中氨对细胞代谢的影响[J]. 生物工程学报, 2001, 17(3): 304-309.
- [9] Hideo K, Yong S P, Shinji L, et al. Growth charac-

- teristics in fedbatch culture of hybridoma cells with control of glucose and glutamine concentrations[J]. *Biotechnol Bioeng*,1994, 44: 95 - 103.
- [10] Liu H J. Determination of amino acids by precolumn derivatization with 6-aminoquinoly 1-N-hydroxy-succinimidyl carbamat and high performance liquid chromatography with ultraviolet detection [J]. *Journal of Chromatography A*, 1994, 670: 59 - 66.
- [11] Cohen S A, Michaud D P. Synthesis of a fluorescent detribalizing reagent, 6- aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate, and its application for the analysis of hydrolysate aminoacids via high performance liquid chromatography [J]. *Analytical Biochemistry*,1993,211(2): 279 - 287.
- [12] 张海杰,陈建孟,罗阳春,等. 有机碳源和溶解氧对亚硝酸盐生物硝化的影响研究[J]. *环境污染与治理*,2005,27(9):641 - 643.
- [13] 李洪鹏,李秋芬,张艳,等. 浅海养殖环境复合生态净化菌群的筛选及其净化能力研究[J]. *渔业科学进展*,2009,30(2):46 - 53.
- [14] 刘飞,李小龙,赵强忠,等. PVC 纤维棉上生物膜的形成及其硝化性能研究[J]. *生态环境*,2007,16(2):394 - 398.
- [15] 桑军强,张锡辉,周浩辉. 外加磷源对陶粒滤池生物膜特征的影响研究[J]. *环境科学学报*,2003,23(4):417 - 421.
- [16] 国家海洋局. 海洋监测规范[M]. 北京:海洋出版社,1991.
- [17] 李秋芬,张艳,王印庚. 复合有益菌制剂对工厂化大菱鲆育苗水净化效果研究[J]. *水产学报*,2006,30(6):852 - 856.
- [18] Shishehchian F, Yusoff F M, Hariff F. The effects of commercial bacterial products on macrobenthos community in shrimp culture ponds [J]. *Aquaculture International*,2001,9:429 - 436.
- [19] Aynimelech Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems [J]. *Aquaculture*, 1999,176:227 - 235.
- [20] Miettien I T, Vartiainen F, Martikainen P J. Phosphorus and bacterial growth in drinking water [J]. *Appl Environ Microbiol*,1997,63(8):3242 - 3245.
- [21] Sathasivan A, Ohgaki S, Yamamoto K, *et al.* Role of inorganic phosphorus in controlling regrowth in water distribution system [J]. *Water Sci Technol*, 1997,35(8):37 - 44.
- [22] Barak Y, van Rijn J. Biological phosphate removal in a prototype recirculating aquaculture treatment system [J]. *Aquacult Eng*, 2000, 22:121 - 136.
- [23] 刘飞,张凤琴,赵强忠,等. 添加枯草芽孢杆菌和营养物净化养殖污水的研究[J]. *农业环境科学学报*,2007,26(4):1282 - 1286.
- [24] 闫海,林毅雄. 海水微生物菌群去除铵氮和亚硝酸氮研究[J]. *环境污染治理技术与设备*,2003,4(11):44 - 47.
- [25] 王丽丽,赵林. 不同碳源及其碳氮比对反硝化过程的影响[J]. *环境保护科学*, 2004,24(1):45 - 47.

Studies on promoting effect of nutrient addition on aquacultural wastewater purification of commercial microorganism products

CHEN Ai-ling^{1,2}, LI Qiu-fen^{2*}, ZHANG Li-tong^{1,2}, SUN Yao², ZHAO Cong-ming³, WANG Yan-huai³

(1. Marine Life Science College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

3. Tianjin Lida Marine Resources Exploitation Co., Ltd, Tianjin 300280, China)

Abstract: The promoting effect of nutrient addition on aquacultural wastewater purification of microorganism products, SYMCORE BZTTM was investigated, and furthermore, the relationship between removal rates of chemical oxygen demand (COD), ammonia nitrogen (NH_4^+ -N) and nitrite nitrogen (NO_2^- -N) and the ratio of C:N:P was studied. The experiments were composed of two parts. Part I consisted of one control group and two trial groups, promoting effect of nutrient addition on removal rate of microorganism was proved. Part II was made up of one control group and 15 trial groups to analyze the relationship between the amount of added nutrients and the removal rates of pollutants. Moreover, the relationship between the ratio of carbon, nitrogen and phosphorus and the removal rates of COD, NH_4^+ -N and NO_2^- -N was calculated, and the mathematics models were set up. The results showed that the purification ability of microorganism products was significantly improved by adding suitable nutrients. The removal rates of COD, NH_4^+ -N and NO_2^- -N of the treatment group increased 21.92%, 34.43%, 57.41% by adding glucose and 30.02%, 53.45%, 15.08% by adding phosphate compared with the control, respectively. At the same time, the amount of phosphate was found insufficient in control group. The removal rates for COD, NH_4^+ -N and NO_2^- -N were the highest, 97.07%, 96.88% and 93.41%, when the ratio of C:N:P was 62.5:4.85:1, 37.5:4.51:1 and 25:2.97:1, respectively. The relationship of glucose and phosphate concentration with COD, NH_4^+ -N and NO_2^- -N removal rates could be described by quadratic equations, $V = aX^2 + bX + c$. The individual COD, NH_4^+ -N and NO_2^- -N removal rates of the microorganism products are positively correlated with the concentration of glucose and phosphate in range of 0–40 mg/L and 0–1 600 mg/L, respectively. The process of microbial remediation could be featured as three sequential stages: Firstly, dissolved organic matter (DOM) was degraded; secondly ammonia was oxidized; and at last, nitrite was oxidized. From day 1 to day 7, DOM was directly utilized as the carbon and nitrogen sources of the heterotrophic bacteria. The removal rates of COD at this stage were significantly higher than those of the control. From day 7 to day 13, bacteria mainly utilized ammonium as nitrogen sources and produced nitrite. So the concentration of NH_4^+ -N reduced sharply, while NO_2^- -N concentration increased suddenly. From day 13 to 19, NO_2^- -N concentration decreased rapidly, because the nitrite was oxidized to nitrate. This paper supplied theoretical and technical foundation for the biopurification of aquaculture wastewater and the extending application of microbial products.

Key words: microorganism products; nutrients; aquaculture wastewater purification

Corresponding author: LI Qiu-Fen. E-mail: liqf@ysfri.ac.cn