

环境因子对红斑颧体虫生长的影响

梁 鹏¹, 黄 霞^{1*}, 钱 易¹, 丁国际² (1.清华大学环境科学与工程系,环境模拟与污染控制国家重点联合实验室,北京 100084; 2.中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全研究所,北京 100050)

摘要: 讨论了环境中氨氮的浓度、pH 值、盐度、温度对红斑颧体虫生长的影响.结果表明,在 pH 值为 7 时,氨氮对红斑颧体虫的急性毒性半致死浓度为 264mg/L;红斑颧体虫对氨氮长期接触时的最大可接受浓度在 20~50mg/L;氨氮对红斑颧体虫的毒性随 pH 值的增加而增加;盐度在 1000mg/L 以下,对红斑颧体虫的死亡没有影响;温度在 15~30℃,红斑颧体虫的表现增长速率满足 Arrhenius 拟合,其表现增长率随温度增加而增大,但 35℃时红斑颧体虫的生长减缓.

关键词: 红斑颧体虫;生长;环境因子;氨氮;盐度;温度;Arrhenius 拟合

中图分类号: X703.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2004)05-0610-04

Influence of environmental factors on the growth of *Aeolosoma hemprichi*. LIANG Peng¹, HUANG Xia¹, QIAN Yi¹, DING Guo-ji² (1.State Key Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2.Institute of Environmental and Health Related Product Safety, Chinese Center of Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China). *China Environmental Science*, 2004,24(5):610~613

Abstract: The influence of ammonia nitrogen, pH, salinity and temperature in environment on the growth of *Aeolosoma hemprichi* was discussed. The acute LC50 (lethal concentration 50%) of ammonia nitrogen for *Aeolosoma hemprichi* was 264mg/L when pH value was 7. The maximum tolerable concentration of ammonia nitrogen at long-term contact with the ammonia nitrogen was 20~50mg/L for *Aeolosoma hemprichi*. Ammonia nitrogen was more toxic to *Aeolosoma hemprichi* with the pH value rising. The death of *Aeolosoma hemprichi* was not affected by the salinity of concentration lower than 1000mg/L. At the temperature of 15~30℃, the observed growth rate of *Aeolosoma hemprichi* increased with elevated temperature following the Arrhenius model, but decreased when the temperate was 35℃.

Key words: *Aeolosoma hemprichi*; growth; environmental factors; ammonia nitrogen; salinity; temperature; Arrhenius model

在城市污水处理中所采用的活性污泥法,会产生大量的剩余污泥.世界各国有关剩余污泥处理的立法和相关规定越来越严格,导致处理污泥所需费用日趋增高.因此,污泥减量技术受到重视.利用微型动物的捕食减量污泥,虽然减量程度有限、减量稳定性有待加强,但由于能耗少、不产生二次污染,作为一种生态型的污泥减量技术近年受到越来越多的关注^[1-6].

作者试验发现,寡毛纲环节动物中的红斑颧体虫容易出现在普通活性污泥系统中,系统的污泥表观产率系数和红斑颧体虫密度呈负相关趋势,表明红斑颧体虫可以产生污泥减量效果^[7].但红斑颧体虫在污水处理系统中的生长呈现一定

波动性,直接影响到红斑颧体虫对污泥减量的程度.影响红斑颧体虫生长及其对污泥减量效果的因素,一是作为食物的污泥性质,二是环境因子.有关污泥性质对红斑颧体虫生长的影响已有报道^[8],本研究主要讨论重要的环境因子,如氨氮、pH 值、盐度、温度对红斑颧体虫生长的影响.

1 实验方法

1.1 培养方法

利用直径为 60mm 的培养皿划线培养红斑

收稿日期:2004-01-13

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金项目

* 责任作者,教授, xhuang@tsinghua.edu.cn

鲃体虫. 试验中所用的食物为同一种经过灭菌和超声波粉碎以后的活性污泥.

1.2 评价方法

每一培养皿中投加 3 条同一母体分裂得到的红斑鲃体虫, 在各种环境条件下培养, 每隔一定时间对红斑鲃体虫计数, 得到红斑鲃体虫密度增长的数据, 根据式(1)进行指数拟合, 得到表观增长率(R), 比较不同条件下 R 的变化, 考察红斑鲃体虫生长是否受到影响^[9].

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = R$$

(1)

式中: N 为红斑鲃体虫密度, ind/L; t 为时间, d; R 为指数拟合得到的表观增长率, d^{-1} .

2 结果与讨论

2.1 氨氮的影响

红斑鲃体虫倍增时间是 1.4d, 试验时间应该小于该时间, 本试验定为 4h.

依据毒性试验中浓度梯度满足浓度对数值为等差设计^[10], 急性毒性试验中测试水样中的氨氮浓度设定为 0, 50, 100, 200, 450, 1000mg/L, 用去离子水配制. 每组试验设平行样 5 个, 整个试验过程中红斑鲃体虫不投加食物, 接种红斑鲃体虫先在去离子水中保持 1d. 与不同氨氮浓度的水样接触 4h 以后, 测定红斑鲃体虫死亡率(图 1). 死亡率在 50% 时的氨氮浓度即为 LC_{50} . 得到红斑鲃体虫和氨氮接触 4h 的半致死浓度(4h- LC_{50}) 为 264mg/L.

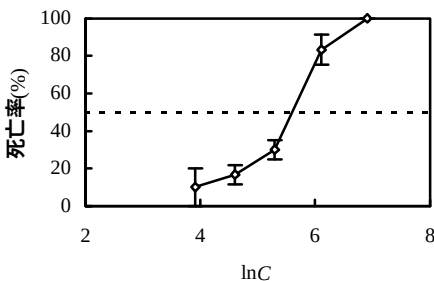


图 1 氨氮对红斑鲃体虫的急性毒性试验

Fig.1 The acute toxicity of ammonia to *A. hemprichi*

C 为氨氮浓度

将背景氨氮浓度设为 0, 20, 50, 100, 150mg/L 5 个系列, 每个系列做 5 个平行样, 考察前 5d 红斑鲃体虫的表观增长率, 结果见图 2. 随着氨氮浓度的增加, 红斑鲃体虫的表观增长率下降.

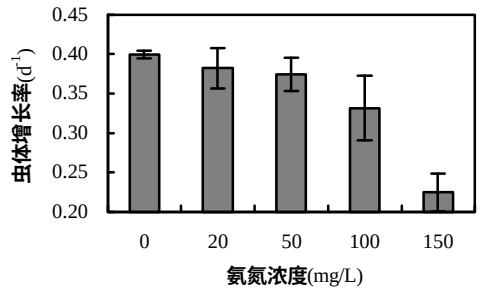


图 2 氨氮对红斑鲃体虫的长期毒性试验

Fig.2 The chronic toxicity of ammonia to *A. hemprichi*

以氨氮浓度为 0 时红斑鲃体虫的增长率为对照, 计算不同氨氮浓度下红斑鲃体虫增长率和对照组数据之间的均值检验^[11], 当氨氮浓度为 20, 50, 100, 150mg/L 时, t 检验结果分别为 1.49, 2.60, 3.68, 15.95. $t_{0.05}=1.8595$, 当 $t > t_{0.05}$ 时, 对应氨氮浓度下红斑鲃体虫增长率和对照组有显著性差异. 可见, 氨氮浓度在 50mg/L 时, 红斑鲃体虫的增长速率和氨氮浓度为 0 时有明显差别, 而氨氮浓度在 20mg/L 时, 红斑鲃体虫的增长速率和氨氮浓度为 0 时没有明显差别. 即红斑鲃体虫对氨氮的最大可接受浓度在 20~50mg/L. 而城市生活污水中氨氮浓度一般也在这个范围, 因此在城市污水生物处理中氨氮浓度不会成为红斑鲃体虫生长的限制因子.

2.2 氨氮与 pH 值协同影响

分别测定了氨氮浓度为 0 以及 NH_4Cl 浓度为 200mg/L 时, 不同 pH 值下红斑鲃体虫的死亡率. 用 NaOH 和 HCl 调节水样的 pH 值. 试验溶液体积为 5mL, 每个培养皿中添加 10 条红斑鲃体虫. 同时做 5 组平行试验, 考察接触 4h 后红斑鲃体虫的死亡率, 误差限用平行试验结果的标准偏差代替, 结果见图 3.

由图 3 可见, 氨氮浓度为 0 时, 在 pH 值为

6.7~8.2 之间,红斑颯体虫的死亡率变化不大.氨氮浓度为 200mg/L,pH 值从 7.7 上升为 8.2 时,红斑颯体虫的死亡率迅速增高,表明 pH 值升高导致氨氮对红斑颯体虫的毒性增加.城市生活污水的 pH 值一般在 7.0~7.5,在此 pH 值范围内氨氮对红斑颯体虫的毒性相对变化不大.

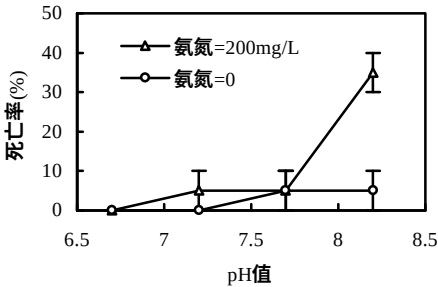


图3 不同 pH 值条件下氨氮对红斑颯体虫的急性毒性试验

Fig.3 The affection of ammonia to *A. hemprichi*'s growth in different pH

pH 值升高引起氨氮对红斑颯体虫的毒性增加,可能因为 pH 值的变化使得 NH_4^+ 和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的比例发生变化[式(2)],pH 值升高时, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 含量相对增高,一般认为, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 对生物的毒性要高于 NH_4^+ .氨氮可以穿透细胞膜进入细胞内,导致细胞内酸碱度改变,影响细胞正常的代谢功能(酶失活),最终导致生物体死亡.通过细胞膜的氨的形态主要是 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.



2.3 盐度的影响

配制 0, 50, 100, 200, 450, 1000mg/L 6 个 NaCl 浓度系列.每个浓度系列投加红斑颯体虫 10 条,观测 4h 以后红斑颯体虫的存活情况,结果见图 4.图 4 中也列出了氨氮急性毒性试验结果.

从图 4 可见,NaCl 浓度在 1000mg/L 以下对红斑颯体虫的生长没有较大的影响.这表明氨氮对红斑颯体虫的毒性并不是由于水中无机离子浓度过高导致红斑颯体虫体内外渗透压差过大而死亡.虽然 NaCl 浓度为 1000mg/L 时红斑颯体虫的死亡率仅为 10%,但显微镜观察表明红斑颯

体虫的活动性明显降低,说明 1000mg/L 的 NaCl 已对红斑颯体虫生长产生了一定的影响.当 NaCl 浓度提高到 9000mg/L,红斑颯体虫在 3min 内全部死亡.由此推断,NaCl 对红斑颯体虫的急性半致死浓度在 1000~9000mg/L 之间.

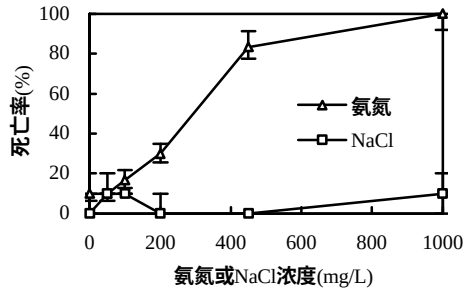


图4 NaCl 和氨氮对红斑颯体虫急性毒性试验
Fig.4 The affection of ammonia and the NaCl to *A. hemprichi*'s growth

2.4 温度的影响

食物(污泥)浓度为 600mg/L,设计 15, 20, 25, 30, 35℃ 5 个温度系列,每个温度系列做 5 组平行试验,结果见图 5.在 15~30℃ 范围内,红斑颯体虫的表观增长率随着温度的增加而增加,但在 35℃ 时红斑颯体虫的表观增长率却下降.在 35℃ 时,红斑颯体虫的数量在 4d 内仅缓慢增加,而后维持不变.

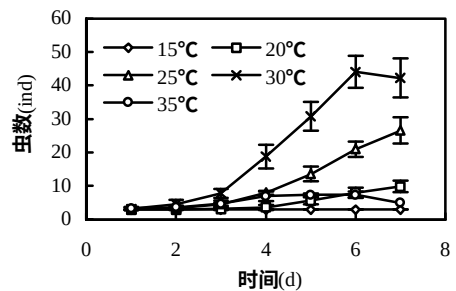


图5 温度对红斑颯体虫生长影响

Fig.5 The affection of temperature to *A. hemprichi*'s growth

将图 5 中前 6d 的数据进行指数拟合,得到红斑颯体虫在 15,20,25,30,35℃ 下的表观增长率分别为 0.1410,0.2293,0.3952,0.5653,0.1897d⁻¹.

按照 Arrhenius 公式:

$$R = R_1 \exp\left(\frac{T_A}{T_1} - \frac{T_A}{T}\right) \tag{3}$$

式中: T 为温度,K; R_1 为在 T_1 温度下的表观增长率; T_A 为 Arrhenius 温度.

用 15,20,25,30℃时的数据,得到 T_A 为 8235K. 线性相关系数=0.9952,说明温度在 15~30℃时,满足 Arrhenius 拟合,在 35℃数据迅速降低是由于温度增高导致红斑颍体虫体内酶系统失活,影响红斑颍体虫的生长.

普通生活污水处理中温度大多在 20~30℃, T_A 表征温度对微型动物生长的影响,其值越高,说明微型动物对温度的改变越敏感.换用其他食物(只灭菌而未粉碎的污泥、EG 培养液)所得到的 T_A 在 7500~8000K 左右.

Ratsak 对同属于寡毛环节动物的仙女虫(Nais)的试验得到的 Arrhenius 温度是 9379K^[12],说明仙女虫对温度的敏感性要大于红斑颍体虫,Katsuhiko Kuniyasu 等^[13]在研究温度对寡毛环节动物生长的影响时也证实了这一点.

3 结 论

3.1 氨氮对红斑颍体虫的生长会产生影响.氨氮对红斑颍体虫的急性毒性半致死浓度为 264mg/L;红斑颍体虫对氨氮的最大可接受浓度在 20~50mg/L;随着 pH 值的增加,氨氮毒性增强,其主要原因是氨在水中形态的改变.

3.2 pH 值在 6.7~8.2 之间红斑颍体虫的生长不受 pH 值变化的影响.

3.3 NaCl 对红斑颍体虫的急性半致死浓度在 1000~9000mg/L 之间,盐度在 1000mg/L 以下不会对红斑颍体虫的生长产生明显的影响.

3.4 在 15~30℃之间红斑颍体虫的生长满足 Arrhenius 拟合,Arrhenius 温度为 8235K,35℃以上红斑颍体虫的生长减缓.

参考文献：

[1] Low E U, Chase H A, Milner M G, *et al.* Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge

process [J]. *Wat. Res.*, 2000,34(12):3204-3212.

[2] Mayhew M, Stephenson T. Low biomass yield activated sludge: a review [J]. *Environmental Technology*, 1997,18(9):883-892.

[3] 魏源送,樊耀波.污泥减量技术的研究及其应用 [J]. *中国给水排水*, 2001,17(7):23-26.

[4] 梁 鹏,黄 霞,钱 易,等.污泥减量化技术的研究进展 [J]. *环境污染治理技术与设备*, 2003,4(1):44-52.

[5] 周可新,许木启,曹 宏,等.利用微型动物减量剩余污泥量的研究 [J]. *环境污染治理技术与设备*, 2003,4(1):1-5.

[6] 经济部工业局译.废水处理功能生物诊断技术 [M]. 台北:经济部工业局, 1995.

[7] 梁 鹏,黄 霞,钱 易.利用红斑颍体虫减少剩余污泥产量的研究 [J]. *中国给水排水*, 2004,20(1):13-17.

[8] 梁 鹏,黄 霞,钱 易.食物污泥对红斑颍体虫生长的影响 [J]. *中国环境科学*, 2004,24(2):159-162.

[9] Wei Y S, Van Houten R T, Borger A R, *et al.* Comparison performances of membrane bioreactor (MBR) and conventional activated sludge (CAS) processes on sludge reduction induced by Oligochaete [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 2003,37(14):3171-3180.

[10] 张 铤,刘毓谷.毒理学 [M]. 北京:北京医科大学中国协和医科大学联合出版社, 1997.204-217.

[11] 张毓琪,陈叙龙.环境生物毒理学 [M]. 天津:天津大学出版社, 1993.87-99.

[12] Ratsak C H, Maarsen K A, Kooijman S A L M. Effects of protozoa on carbon mineralization in activated sludge [J]. *Wat. Res.*, 1996,30(1):1-12.

[13] Kuniyasu K, Hayashi N, Inamori Y, *et al.* Effect of environmental factors on growth characteristics of oligochaeta [J]. *日本水处理生物学会志*, 1997,33(4):207-214.

作者简介：梁 鹏(1976-),男,重庆人,清华大学环境科学与工程系在读博士研究生,主要研究方向为污泥减量技术以及污水处理中的微型动物.发表论文 7 篇.