

研究简报

鳗鲡仔鱼 (*Anguilla japonica* Temn. et Schl.) 对铜离子的回避反应*

朱 江

(中国科学院动物研究所)

摘要 本文力图用回避实验的方法分析铜离子对闽江鳗鲡及其他水产资源的影响。实验在流水中进行,温度为 $16\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, pH 为 7.43 ± 0.2 ,溶解氧为62—68.9%;鱼体长为46—69.5mm,重量为174.2—226.6mg;每一浓度测试20次。当浓度为0.0001ppm时,回避度为12.81%;浓度为0.016ppm时,有明显的回避反应,回避度为58.28%;浓度升至0.064ppm时,回避度84.74%,为完全回避。

关键词: 回避反应;鳗鲡仔鱼;铜离子。

近年来福州地区工业生产发展很快,尤其是随着经济技术开发区的建立,对闽江水资源的影响逐渐引起了人们的重视。

分析近几年闽江福州段水质资料**可知,以渔业水质标准衡量,水体中其他各测试项目基本符合标准,唯有石油和铜离子浓度较高。

各种资料表明铜离子对鱼类及其他水生生物的毒性很大,在低 pH、低矿化度和低碱度的情况下,其毒性将显著增加^[1]。

鳗鲡是一种溯河生长,降海产卵的洄游性鱼类,广泛分布于我国沿海和有关河流^[2]。在闽江流域,每年11月前后,亲鳗随流出海产卵,仔鱼1—4月进入闽江生长,是一种重要的经济鱼类。

一般认为行为反应阈值大都比生理反应阈值低,而且具有设备操作简便、重复性好、容易取得数据等优点,所以我们选择了鳗鲡仔鱼对铜离子的回避反应作为评价闽江水体质量的参考。

一、材料和方法

1. 实验用鱼

均为1988年初在闽江口采得的鳗鲡仔鱼,在福州暂养一段时间后运到北京,用经过充分曝气的北京地区自来水驯养30d,驯养期间喂水丝蚓(水丝蚓需经2—3d清水净养)。

鱼体长度为46—69.5mm,重量为174.2—226.6mg,健康状况良好。

2. 实验装置

参考有关资料^[4],设计了一种双向、稳流、恒容并可调节流速的回避实验槽,装置示意如图1。

整套仪器由贮液池、回避槽和底座组成。

回避槽为直径8.8cm,长130cm的管道,两端装有漏斗形进水口,以保持进水平稳。实验段长110cm,将其从中央开始向两侧各分为5等份。从距中央各5cm的顶部向两侧各开一长30cm,宽4.5cm的缺口,用于取放实验用鱼。在槽底部中央插入一根20cm长

* 该项工作为“福州马尾经济开发区水产资源现状调查和环境质量评价”工作的一部分。本研究得到了王玉瑶研究员、赵忠宪副研究员的指导,在此一并致以衷心的感谢。

** 福州市环保局,福州环境质量报告书(1983、1984、1985年)

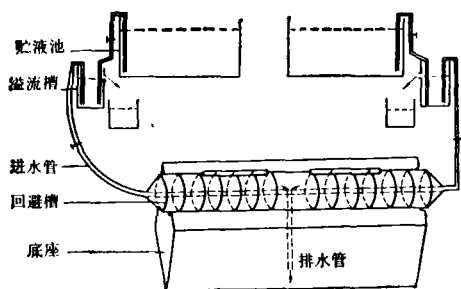


图 1 回避槽装置示意图

的排水管,其槽内长度为 5cm。

实验过程中,测试溶液和清水(需经 20h 以上的曝气处理)自贮液池由回避槽两端以 2L/min 等速流入,汇合于中央排水管处,约 5min 即可在槽中央形成一明显界面。

3. 测试溶液配制

稀释水采用北京当地自来水加以 20h 以上的曝气处理,因实验用水量较大且鱼的驯养时间较长,故自来水不另外调整 pH 值。pH 为 7.43 ± 0.2 , 温度为 $16 \pm 2^\circ\text{C}$, 溶解氧饱和度为 62—68.4%。测试母液用分析纯 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 配制,按规定浓度进行稀释。

4. 操作步骤

(1) 接通清水池进水管,将回避槽注满;
(2) 放入测试用鱼,适应 0.5—1h;
(3) 将测试溶液进水管接通,清水和测试溶液从回避槽两侧均以 2L/min 的流速流入;

(4) 10min 后,开始记录鱼在清水区和实验区内游动的时间和往复次数;

(5) 每测 2 次后,排净槽内溶液,调换测试溶液和清水入口方向,重复上述步骤;

(6) 每个浓度测定 20 次。

由于实验用鱼对光照及其他环境条件变化非常敏感,所以需要尽可能减少各种干扰。

5. 计算公式

回避度^[3] = $2 \times (\text{清水区停留时间率总}$
和 - 50%) $\times 100$

清水区停留时间率(清水百分率)

$$= \frac{\text{鳗鲡仔鱼在清水区中的停留时间}}{\text{实测时间}} \times 100\%$$

二、结 果

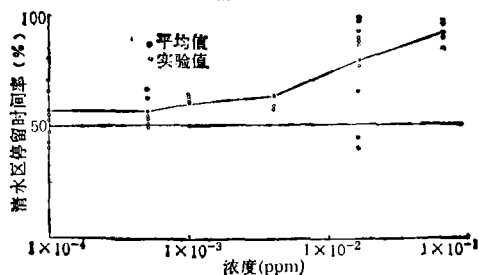
实验仔鱼刚放入回避槽时(此时槽内尚无测试溶液),大多数鱼先是停滞于一端不动,然后不停地从一端到另一端来回剧烈游动,需适应较长一段时间(0.5—1h)才逐渐安静下来。

按前述步骤测试,结果见表 1、图 2、图 3。

表 1 鳗鲡仔鱼在不同浓度下的回避反应

测试浓度 (ppm)	清水百分率(%)	回避度
0 (对照组)	55.4 ± 5.5	
0.0001	56.4 ± 14.2	12.8 ± 28.4
0.0005	55.8 ± 6.7	11.7 ± 13.3
0.001	59.3 ± 5.1	18.8 ± 11.5
0.004	62.5 ± 18.0	28.2 ± 29.6
0.016	79.1 ± 20.0	58.4 ± 41.9
0.064	92.4 ± 6.0	84.7 ± 12.1
0.256	71.7 ± 5.0	43.3 ± 9.9

表 1 结果明显地表现出随铜离子浓度升高,鳗鲡仔鱼对测试溶液的回避反应逐渐显著。

图 2 鳗鲡在不同浓度 CuSO_4 的清水时间率

将测试浓度组和对照组的数据进行 t 检验,检查各水平浓度的回避显著性。自由度 $\nu = 40$, $t_{0.05} = 2.021$, $t_{0.001} = 3.551$ 。

表 2 鳗鲡仔鱼回避反应 t 检验

测试浓度 (ppm)	t 值	清水百分率(%)	回避显著性
0.0001	1.638	56.4±14.2	$t < t_{0.05}, P > 0.05$, 不显著
0.0005	1.355	55.8±6.7	$t < t_{0.05}, P > 0.05$, 不显著
0.001	3.445	59.3±5.1	$t_{0.05} < t < t_{0.001}, 0.001 < P < 0.05$, 显著
0.004	6.230	62.5±18.0	$t > t_{0.001}, P < 0.001$, 极显著
0.016	33.966	79.1±20.0	$t > t_{0.001}, P < 0.001$, 极显著
0.064	71.809	92.4±6.0	$t > t_{0.001}, P < 0.001$, 极显著

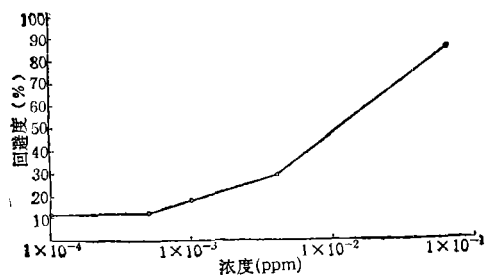
图 3 鳗鲡在不同浓度 CuSO_4 的回避度

表 3 各浓度水平清水百分率的可信限

测试浓度 (ppm)	95% 可信限(%)	99% 可信限(%)
0.0001	47.9—64.9	45.2—67.6
0.0005	46.1—65.6	43.0—68.6
0.001	50.8—67.8	48.1—70.5
0.004	53.0—71.6	50.0—75.0
0.016	71.2—87.1	68.7—89.6
0.064	87.2—97.6	85.5—99.2

由测试结果可以看出鳗鲡在 10^{-3} ppm 水平上即有回避反应,随溶液浓度的增加,回避效应明显增加,当浓度达到 6.4×10^{-2} ppm,接近完全回避。

三、讨 论

结合铜离子对鳗鲡仔鱼的急性毒性实验*,可知其 96h LC_{50} 为 0.3 ppm,按美国水质标准中铜的应用因子以 0.1 计,鳗鲡仔鱼对铜离子的最大忍受限度 (MATC) 为 0.03 ppm,这和回避实验的结果是吻合的。

鳗鲡仔鱼对铜离子十分敏感,其回避浓度大大低于最大忍受限度 (MATC),这种

浓度有时等于或低于自然界水体中的铜离子浓度^[5]。

测试过程中有一个很特殊的现象,当铜离子浓度超过 0.064 ppm 后,鳗鲡仔鱼的回避度和清水区停留时间率随测试浓度的升高反而呈下降趋势,这和 Holland 等(1960)的实验结果是一致的。

一般认为测试溶液浓度过高,会对鱼的嗅觉器官和平衡器官有伤害作用,并使其麻醉^[6],对鱼的辨别方向和运动能力都有很大影响。实验中,可以观察到鱼在测试溶液排入口处僵直不动,甚至对外界刺激也没有反应。

在回避实验中,一般所测得的回避浓度要比致死水平浓度小得多,但仅有回避现象并不能完全证明水体已经受到污染,这涉及到各种实验生物对被测物质的敏感性,以及污染物本身的理化性质;反之,若测试浓度高于致死水平,也并不是所有实验生物都会产生回避反应,所以在判断水体的状况时,需要将回避实验同其他毒性实验以及各种检测手段结合起来判断。

铜盐污染物排入水中,主要以金属铜、 Cu^{2+} 、 Cu^{2+} 和 OH^{-} 结合成的络合物以及 CuCO_3 的形式对水生生物产生毒性^[7],而伴随其排入水体的 H_2SO_4 则使这种毒性加剧,所以比起陆生生物来说,铜盐对水生生物的毒性要大得多。铜盐污染不仅是由矿山排水和各种商业废弃物所致,也是因为 CuSO_4 被

* 和本项工作均属于同一总课题。

广泛用来作为湖泊和水库的杀藻剂,从而使整个水系受到污染。

铜盐对水中细菌、藻类、鱼类等水生生物,甚至对底泥的消化作用均有很强的破坏性。将鳗鲡放养于铜离子浓度为 0.03—0.06 ppm 的水中,除对鱼本身产生毒性作用外,还会诱发弧菌病^[8] (*Vibrio anguillarum*) 导致死亡。

基于各种原因,自然界水体中鱼类忍受铜离子的浓度往往要比实验中所测浓度高^[9],这是由于各种鱼类在水体中都占据一定的领域或者由于水中铜离子的浓度普遍比较高,鱼无法逃脱^[9]。另外,水体里也有很多成分可缓解铜离子的毒性,诸如各种金属盐:镁盐、钙盐、镉盐和钡盐。水体的硬度增加、碱度增加、pH 升高都可将铜离子的毒性降低^[1]。这一切都需以铜离子的浓度不超过水体的忍受限度为前提。

Butcher (1946) 的实验表明,在距炼钢厂排污口 10 英里的水域内(其 CuSO_4 浓度高达 1—2ppm),各种水生动物均被杀死,甚至连污水菌和耐污藻类都已消失或种类非常稀少。

闽江水体铜离子本底值较高,有时超过

了我国暂定的最高允许浓度 0.01ppm,且部分超过鳗鲡的最大忍受限度(MATC) 0.03ppm,已对鳗鲡和其他各种水产资源构成威胁,所以从长远的角度出发,应对现有的污染源加强控制,在以后的建设中也需将铜污染物的排出量控制在最低点。

参 考 文 献

- [1] Miller, T. G. and Mackay, W. C., *Water Research*, 14(2), 129 (1980).
- [2] 张有为、肖真义、张世义,鳗鲡在我国溯河洄游和分布,动物学集刊,1,117—121页,科学出版社,1981年。
- [3] Scherer, E., *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 13(4), 492 (1975).
- [4] Sprague, J. B., *Journal Water Pollution Control Federation*, 36(8), 990 (1964).
- [5] Fuller, H. R. and Averett, C. R., *Water Resource Bulletin*, 11(5), 946 (1975).
- [6] Hara, T. J., Brown, S. B. and Evans, R. E., *Aquatic Toxicology*, p. 279, John Wilkey & Sons INC., New York, 1983.
- [7] Shaw, T. L. and Brown, V. M., *Water Research*, 8(6), 377 (1974).
- [8] Marianne, C. R., *Journal of Fish Biology*, 10(1), 17 (1977).
- [9] Sprague, J. B., *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 21(1), 17 (1964).

(收稿日期: 1990 年 1 月 17 日)

水污染对淡水渔业影响的损失估算

葛 吉 琦

(南京农业大学农业经济学)

摘要 基于环境经济学基本原理,本文说明水污染给淡水渔业带来的损失主要是由其引起的资源损失、事故损失和防护支出组成。本文提出上述各项费用的计算方法并给出一个实例的计算结果。

关键词: 水污染;淡水渔业;损失估算。

通常,环境措施的效益是以措施实施前后环境污染损失的减少量来衡量的^[1],因此污染损失的计量是环境措施损益分析的基

础,也是制定环境政策、进行环境规划和环境工程建设的依据之一。

目前,水污染给淡水渔业影响所导致的

standard concentration.

Directed by the model, the plant species and afforestation pattern were designed, and the capacity of plants for SO_2 and the amount of SO_2 released in Yiyang were established.

Key Words: model, vegetation, control, air pollution.

The Avoidance of Eel Larvae (*Anguilla japonica* Tem. et Schl.) in the Solution Containing Copper Ions. Zhen Jiang (Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(4), 1990, pp.31—34

The avoidance of eel larvae (*Anguilla japonica*) in the solution containing copper sulfate (as Cu^{2+}) has been studied in a flowing water system under the laboratory conditions: water temperature 16.5°C, pH 7.43, water hardness (CaCO_3 and others contained) 220 mg/L and saturation of DO 62—68%. The larvae used for the experiment were collected from the Minjiang River, Fujian Province. Their lengths ranged 46—69.5 mm, and their weights 174—227 mg. The experiment illustrated that the eel larvae was highly sensitive to copper, because the avoidance action was observed at the level of 0.001 ppm of copper ions. However, below the level of 0.001 ppm, the avoidance was not so obvious, but the larvae all avoided the test solution as its concentrations increased to 0.064 ppm. The results indicated that the concentrations of avoidance against copper was much lower than that of MATC derived from acute toxicity test.

Key Words: avoidance, eel larvae, (*Anguilla japonica*), copper.

Estimation of Fishery Losses Caused by Water Pollution in a Country of Jiangsu Province. Ge Jigi (Department of Agricultural Economics, Nanjing Agricultural University): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(4), 1990, pp. 34—37

Based on the fundamental principles of environmental economics, the fishery losses caused by water pollution in the area can be calculated in three parts: loss of resources, loss of accidents and expense of protection from pollution impact. The calculative methods of the said every items of losses and a case study are also presented, according to the author.

Key Words: fishery losses, water pollution.

Improvement of Removing Rate of Nitrate in

Drinking Water with the CARIX Process. Gong Wenli (Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(4), 1990, pp.38—41

The paper describes treatment of drinking water using CARIX ion exchange process. The combined application of a weakacid ion exchanger in the free acid form and an anion exchanger in the bicarbonate form provides a combined removal of nitrate, sulfate and hardness from drinking water. Carbon dioxide is used for the simultaneous regeneration of both resins. In order to improve the regeneration efficiency of nitrate, the application of additives like CaCO_3 or MgO has been studied. The dosage of different quantities of MgO has been investigated with respect to an optimization. MgO should be added at the concentrations above 0.4%. Furthermore, the usual mixed bed was compared with a compound bed, consisting of several short single beds. Under the raw water conditions of the test, over 50 BV of water could be treated, whereas regeneration required about 5 BV of water.

Key Words: CARIX process, nitrate, drinking water.

Research on the Starting Conditions of an Anaerobic Digester. Xu Chunlan, Yan Dacheng, Wu Chibo (Department of Environmental Engineering, Huangshi University, Hubei Province): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(4), 1990, pp. 42—48

The primary intent of this research is to explore optimal starting conditions of an anaerobic digester. Anaerobic treatment of wastewater has many advantages, but it takes a long time for the digester to start running, so that the equipment cannot bring into full play. The authors investigated starting conditions of anaerobic treatment in a acitric acid factory, found that the conditions were optimized by using orthonal design. The experimental results were applied to the industrial equipment for treating wastewater and got a satisfactory benefit.

Key Words: starting conditions, anaerobic digester.

Automatic and Continuous Determination of Aromatic Compounds in the Ambient Air Using Capillary Column Gas Chromatograph. Wulan Sendan, Tong Qing, Liu Yansen (Inner Mongolia Monitoring Center for Environmental Protection, Huhehot): *Chin. J. Environ. Sci.*, 11(4), 1990, pp.49—53

An automatic and continuous analysing device of aro-