

鱼类对溶解气体过饱和和水体的敏感性分析

董杰英^{1,2}, 杨宇², 韩昌海², 霍宝良¹

(1. 衡水市水务局规划设计处, 河北 衡水 053000; 2. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029)

摘要: 大坝泄洪可携带大量空气进入水中, 导致下游河道出现溶解气体过饱和, 给水生生物特别是鱼类的生存造成威胁。通过自行设计的室内试验装置, 研究了影响溶解气体过饱和度的因素及不同鱼类对气体溶解过饱和的敏感性。鱼类暴露在溶解气体过饱和环境中易出现突眼、充血和气泡等气泡病症状。鲢、鳊和鳊在溶解气体含量高的水体中容易患气泡病, 草鱼和鲫稍次, 基本可以忽略溶解气体过饱和对黄颡鱼和鲶的影响。

关键词: 溶解气体过饱和; 鱼类气泡病; 模型试验

中图分类号: S941.63, P334 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2012)03-0085-05

目前, 水利工程对河道水生态环境的影响越来越受到人们关注(吴强等, 2007; 施炜纲等, 2009)。高坝泄洪时水下泄水体能量较大, 同时掺带大量气体, 导致下游河道溶解气体过饱和。而过饱和的水体会导致河道内鱼类患气泡病, 甚至给水生生物特别是鱼类带来毁灭性的灾难(蒋亮等, 2008; 陈永灿等, 2009; 程香菊等, 2009)。因此, 研究过饱和和溶解气体的产生机理、影响因素及不同鱼类对过饱和和溶解气体的敏感性, 对于减缓溶解气体过饱和和对鱼类的危害, 保护河流水生态环境具有重要意义。

根据目前的研究成果, 大坝泄水能引起下游河道水体溶解气体过饱和, 饱和度与下泄流量、下游水深和紊动强度存在密切关系, 还与下游水深、水温和盐度等因素有关(蒋亮等, 2008; 陈雪巍等, 2009; 陈永灿等, 2009)。但溶解气体过饱和不一定能引起鱼类气泡病, 事实上不同鱼类对水体中溶解气体过饱和度的耐受能力不同, 此类研究多以试验为主, 如 Gunnarssli 等(2009)采用模型试验对幼年鳊鱼进行了气泡病的适应性研究, Johnson 等(2010)通过研究成年虹鳟在迁移中展示的复杂的深度选择行为得到其适应的总溶解气体饱和度。国内有关鱼类对气体过饱和和溶液耐受能力的研究不多, 本文采用模型试

验的方法探索我国几种常见鱼类对水体溶解气体过饱和的敏感性, 对于保护不同河流不同河段的水生生物及水生态环境具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 试验原理

根据亨利定律: 对于稀溶液或难溶气体, 在一定温度和总压不大的情况下, 溶质在液相中的溶解度与它在气相中的分压成正比。亨利系数的值决定于物系的特性及体系的温度(蒋维钧等, 2003)。根据梁杰(2006)的研究, 可以清楚地看出气体的溶解度随温度的升高而减小。并且, 同一温度下, 溶解氮的含量约为溶解氧的 1.57~1.81 倍, 溶解空气的含量约为溶解氧和溶解氮之和, 为溶解氧的 2.54~2.84 倍。因试验仪器所限, 本试验采用溶解氧的饱和度作为观测指标, 如需其他气体的溶解情况可根据其他气体在空气中的分压及其他试验成果进行换算。

1.2 试验设备

本研究采用的试验装置如图 1 所示。

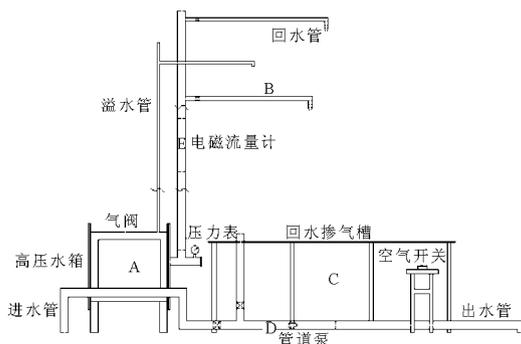


图 1 鱼类对过饱和和溶解气体耐受试验装置
Fig. 1 Tolerance test device of fishes to dissolved gas supersaturation

收稿日期: 2012-02-21

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目“水利工程对水生生物的影响和保护措施研究”(200801105); 国家自然科学基金青年科学基金项目“鱼类对水动力空间结构的感知域研究”(50909064)。

通讯作者: 杨宇, 1976 年生, 博士, 工程师, 主要从事河流动力学与生态水力学研究。E-mail: yyang@nhri.cn

作者简介: 董杰英, 1985 年生, 女, 助理工程师, 主要从事生态水文与生态修复研究。E-mail: jydong@163.com

水中装置通过管道泵的动力进行循环,由管道泵将水泵入高压水箱 A,再通过回水管 B 落下,进入回水掺气槽 C 形成自循环系统。高压水箱 A 内尺寸为 660 mm × 960 mm × 760 mm,回水掺气槽 C 内尺寸为 30 000 mm × 10 000 mm × 1 000 mm。高压水箱中高溶解气体饱和度的实现依靠上部管道中的水头压力,水头越高,高压水箱中的压力越大,产生越高的溶解气体饱和度。试验过程中通过位于不同高度的落水横管 B 来模拟大坝从不同的高度泄水,

同时创造高压水箱内的高压高溶解气体饱和度环境;通过调节不同的流量来模拟不同的大坝泄流流量,通过改变回水掺气槽的水深来模拟大坝下游水深变化。通过不同的泄水高度(H)、泄水流量(Q)和下游水深(h)来设计不同的试验工况。

利用该试验装置,测得不同下游水深工况下,高压水箱内水体的溶解氧饱和度与下泄流量或泄水高度之间的关系,见图 2 和图 3。

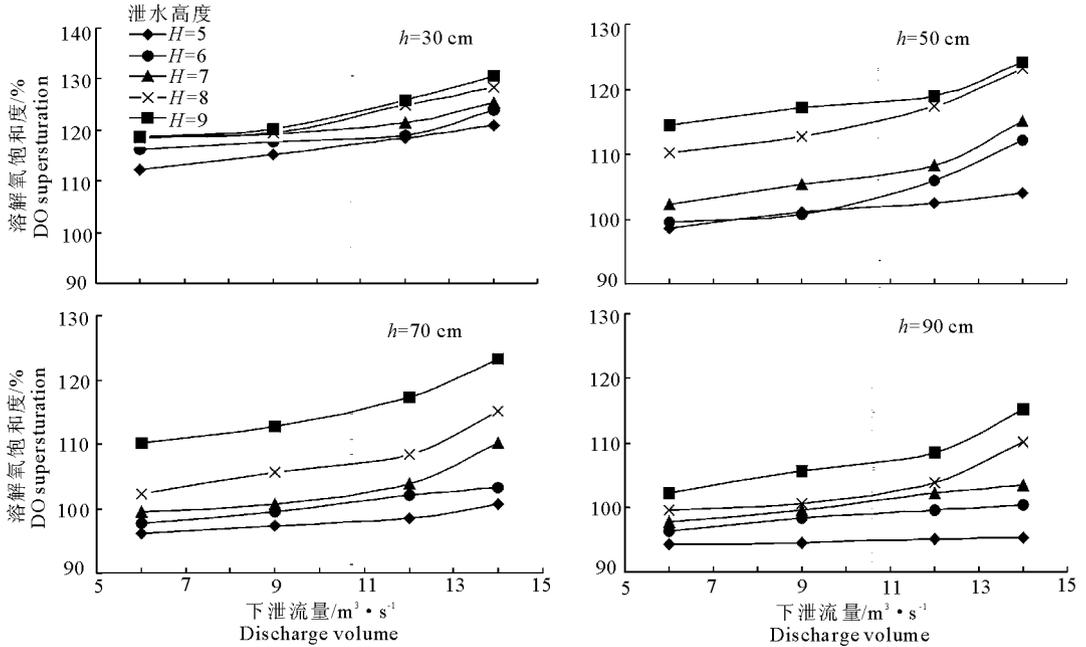


图 2 溶解氧饱和度随下泄流量的变化

Fig. 2 Dissolved gas supersturation changes with the discharge volume

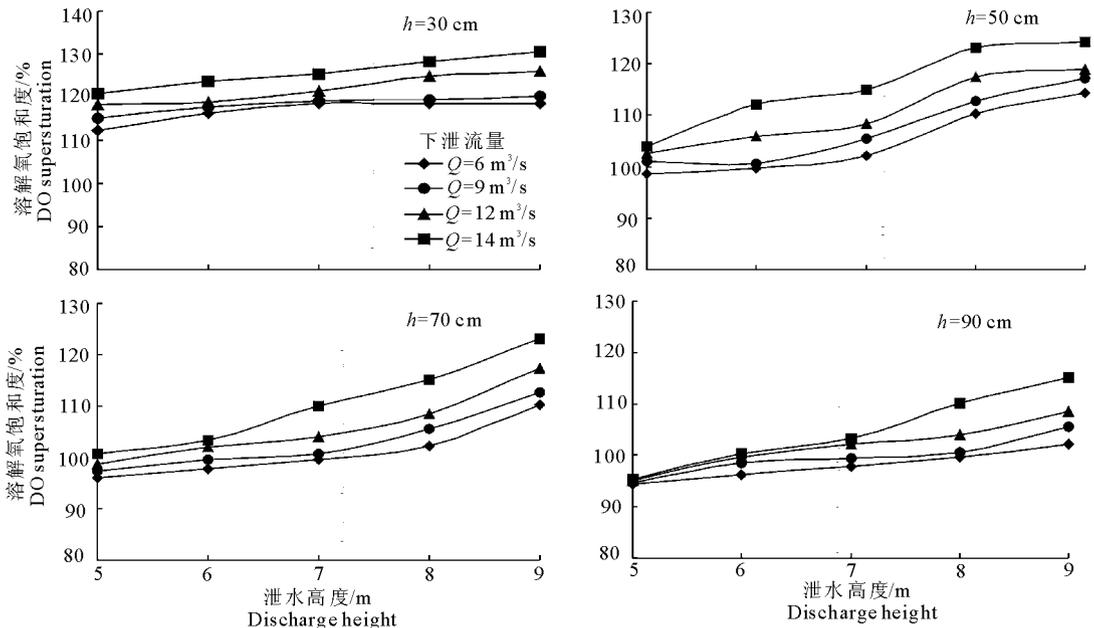


图 3 溶解氧饱和度随泄水高度的变化

Fig. 3 Dissolved gas supersturation changes with the discharge height

高压箱内水体中溶解氧饱和度随下泄流量的增大而增大,随泄水高度的增大而增大。落水高度越高,水的重力势能越大,越能将空气带入比较深的水中而被泵入高压水箱。通过以上试验装置可以模拟出鱼类所处的不同溶解气体饱和度环境。

1.3 试验方法及材料

试验选择不同栖息水深的鱼类,包括:草鱼、鲢、鳙、鲫、鳊和黄颡鱼等。分别对各试验鱼类进行每种不少于30尾的统计分析试验,以得到一定的统计规律,分析各鱼类对于溶解气体过饱和的敏感程度及各鱼类患气泡病的最低溶解氧饱和度。

采用上述试验装置,将相近体长、体重、相似状态的同种鱼分别放入高压水箱及回水掺气槽中进行暂养,以对比静水常压水体与溶解气体过饱和和水体对鱼类的影响。并将暴露在溶解气体过饱和水体中一定时间的鱼进行解剖镜检,以研究过饱和溶解气体对鱼类的影响程度及鱼类气泡病的主要症状。

在试验过程中仔细观察鱼的行为变化及死亡时间,解剖镜检观察鱼的头部、眼部、体表、鳍、肠壁以及鳃丝,详细记录鳃丝中气泡的长度及数量,并以此作为判别鱼类气泡病的主要依据之一。

2 结果与分析

暂养在高压水箱中的鱼,一段时间以后大部分表现出异常,呈现出不同的气泡病症状。如鱼类在水中活动缓慢,呼吸困难,偶尔流动剧烈,喜在水的上层,鱼体腹部朝上而且膨大,鱼体各部分出现不适性症状如嘴红肿、眼球突出,并出现鳃部气泡、鱼鳍充血及附着大量气泡等。见图4和图5。

鳊在溶解氧饱和度为110%的环境中暴露24 h后眼球内有气泡,暴露48 h后嘴部出现红肿;草鱼对过饱和和气体较不敏感,在溶解氧饱和度为120%的环境中暴露48 h,头部略有充血,未出现嘴红肿等症状;鲫对于过饱和和气体的敏感性也较差,在溶解氧饱和度为120%的环境中暴露48 h,鲫未表现出任何外在症状,解剖出鳃丝镜检,气泡个数较少,体积也较小;鲢敏感性较强,除出现前述外在症状外,鳃丝内气泡的大小及密度随溶解气体饱和度的提高而逐渐增大(见图4);在溶解氧饱和度为120%,放养时间为48 h时,部分鱼类还出现了较为严重的气泡病症状,鳊出现了头部充水的现象,鳃丝内出现了较长的气泡,最长气泡长度约为5 mm(见图5)。

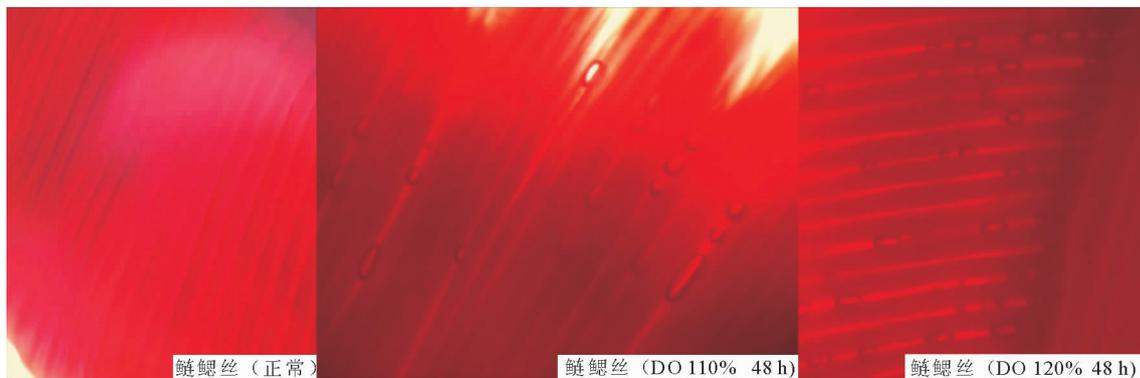


图4 鲢鳃丝的气泡病比较

Fig. 4 The gas bubble disease in gill filament of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix*

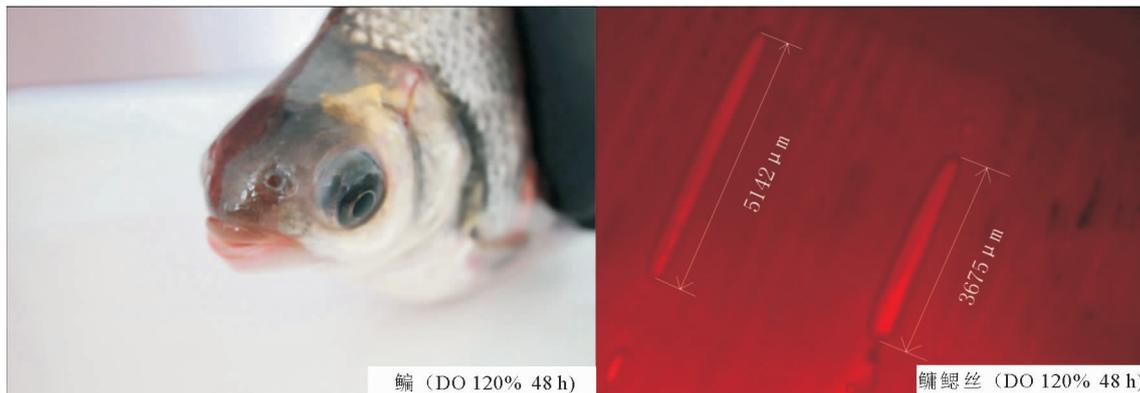


图5 较严重的气泡病

Fig. 5 Serious gas bubble disease

根据试验结果,不同鱼类暴露在相同溶解气体过饱和和环境时,鱼类产生的生理反应不同;相同的鱼类暴露在不同的溶解气体过饱和和环境时,鱼类产生的气泡病症状不同;暴露的时间不同,患病的程度也不同。当鱼类暴露在较高的气体溶解度较高水体中时容易出现突眼、鳍充血、肛门充血、嘴红肿等症状,镜检肠道及鳃丝可发现柱状气泡。

通过对试验鱼的外在表现观察,如突眼、鳍充血、肛门充血、嘴红肿等症状,以及鱼鳃充血、肠部气泡和鳃丝内气泡大小及数量的镜检,加上高压箱内放养结束后暂养 24 h 内的死亡率等指标,可以作如下判断:鲢、鳙和鳊在溶解气体过饱和的情况下容易患气泡病,草鱼、鲫稍次,黄颡鱼和鲶最不易患气泡病。从生活环境看,鲢、鳙及鳊喜居于水的中上层,对于高压下的高溶解气体环境产生强烈不适应,因而表现出对气体过饱和水体较为敏感;草鱼和鲫喜居于水的中下层,对压力及高溶解气体环境的耐受性较好,不易患气泡病;黄颡鱼和鲶都属于鲶形目,体滑无鳞,好静,喜居于水的中下层,经解剖,鱼鳃较细小,溶解气体不易大量通过鳃进入身体,因此,其对高溶解气体环境不敏感,不易患气泡病。

3 小结

本文通过自行设计的试验装置对不同溶解气体饱和度环境进行了模拟,并对鱼类进行过饱和和水体暂养试验,分析了几种常见鱼类对于过饱和和溶解气体的敏感性。

(1) 鱼类暴露在较高的溶解气体环境中时容易出现突眼、鳍充血、肛门充血、嘴红肿等症状,镜检肠道及鳃丝可发现有柱状气泡。

(2) 鲢、鳙和鳊在溶解气体含量高的水体中容易患气泡病,草鱼和鲫稍次,黄颡鱼和鲶最不易患气泡病。

(3) 鲢、鳙和鳊能承受的极限溶解氧饱和度约为 120%,鳊的耐受性要略好于鲢和鳙;草鱼和鲫暴露在溶解氧饱和度 130% 的环境中 48 h,约各有一

半呈现严重气泡病症状并死亡,故草鱼和鲫能承受的极限溶解氧饱和度约为 130% 或更高,基本可以忽略水利工程泄水造成的下游溶解气体过饱和对黄颡鱼和鲶的影响。

参考文献

- 陈雪巍,程香菊,詹威. 2009. 大坝下游水体溶解气体浓度超饱和模型研究进展[J]. 科技导报, 27(17):101 - 105.
- 陈永灿,付健,刘昭伟,等. 2009. 三峡大坝下游溶解氧变化特性及影响因素分析[J]. 水科学进展, (4):526 - 530.
- 程香菊,陈永灿,陈雪巍. 2009. 三峡工程坝身泄流下游水体溶解氧浓度数值模拟[J]. 水动力学研究与进展 A 辑, 24(6):761 - 767.
- 蒋亮,李嘉,李然,等. 2008. 紫坪铺坝下游过饱和和溶解气体原型观测研究[J]. 水科学进展, (3):367 - 371.
- 蒋亮,李然,李嘉,等. 2008. 高坝下游水体中溶解气体过饱和和问题研究[J]. 四川大学学报:工程科学版, (5):69 - 73.
- 蒋维钧,雷良恒,刘茂林,等. 2003. 化工原理[M]. 北京:清华大学出版社.
- 梁杰. 2006. 减压释放获取水中溶解氧供给呼吸的实验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学.
- 施炜纲,张敏莹,刘凯,等. 2009. 水工工程对长江下游渔业的胁迫与补偿[J]. 湖泊科学, 21(1):10 - 20.
- 吴强,段辛斌,徐树英,等. 2007. 长江三峡库区蓄水后鱼类资源现状[J]. 淡水渔业, 37(2):70 - 75.
- Gunnarsli K S, Toften H, Mortensen A. 2009. Effects of nitrogen gas supersaturation on growth and survival in larval cod (*Gadus morhua* L.) [J]. Aquaculture, 288(3/4):344 - 348.
- Johnson E L, Clabough T S, Caudill C C, et al. 2010. Migration depths of adult steelhead *Oncorhynchus mykiss* in relation to dissolved gas supersaturation in a regulated river system[J]. Journal of Fish Biology, 76(6):1520 - 1528.

(责任编辑 杨春艳)

Analysis on Sensitivity of Fishes to Dissolved Gas Supersaturated Water

DONG Jie-ying^{1,2}, YANG Yu², HAN Chang-hai², HUO Bao-liang¹

(1. Planning and Design Department, Bureau of Water Resources, Hengshui 053000, P. R. China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, P. R. China)

Abstract: Dam discharge can carry a lot of air into the water, resulting gas supersaturation in downstream river, and this poses a threat to aquatic organisms, especially to fishes. This study aims at analyzing the sensitivity of fishes to dissolved gas supersaturated water. Through self – designed model experiments, the factors that affect dissolved gas supersaturation and sensitivity of different fishes to dissolved gas supersaturated water were studied. The results showed that fishes exposed to dissolved gas supersaturated water prone to suffer gas bubble disease of proptosis and hyperemia or other symptoms. Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) and bream (*Parabramis pekinensis*) were more likely to suffer from bubble disease than grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) and crucian carp (*Carassius auratus*) when exposed to high dissolved gas supersaturation water. While the impact of dissolved gas supersaturation caused by dam discharge to yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) and catfish (*Silurus asotus*) can be ignored.

Key words: dissolved gas supersaturation; fish gas bubble disease; model experiments