

研究通讯

一个环境问题——水中溶解气体过饱和现象

张 庆 明

(长江水资源保护局)

江河湖泊等天然水体空气过饱和现象,虽说早在 1905 年就认识到它对水生生物的危害,然而直到最近二十多年,作为一个环境问题才引起人们的注意和重视。

一、溶解气体过饱和与鱼类气泡病

在一定温度和压力下,气体(N_2 、 O_2 、 Ar)在水中溶解数量超过该气体在水中溶解度的现象,称为气体过饱和现象。

19 世纪初,在养殖塘和孵化场,人们发现一种奇怪的病鱼,这种鱼外观健康,但鱼体失去平衡,时而在水面狂游,时而停止不动,眼球突出,鳍部和侧线都有气泡,头部,眼周围结缔组织和皮下肌肉组织气肿,鳃和血管都有气泡(气栓),气栓阻塞血液循环,致鱼死亡。因当时查不出病因,只好以这种病特殊

症状为名,称“气泡病”或“气栓病”。因它与潜水员减压病极为类似,所以有人称为“减压病”。后来许多研究者证实,这种病起因于水中溶解气体过饱和。

二、溶解气体过饱和与大坝泄洪

1. 大坝泄洪

大坝是人类加给水环境的一座巨大建筑物,它对环境自然面貌、生态环境和水流基本水文特征都会产生极有力的影响,水中气体过饱和是其影响之一。

在我国某大坝坝上和坝下主干河道上布设 12 断面,反复多次采集表层水样分析溶氮和溶氧含量,结果列在表 1 和表 2 中。

从表 1 可知,大坝未建成的前一年,Ⅰ断面和Ⅱ断面全年溶氧饱和度甚为接近,均未

表 1 大坝上下总气体饱和度(%)

取样地点	距坝里程 (km)	截流前一年 (DO)*	截 流 后		
			一年 (DO)	二年 (DO+DN)	三年 (DO+DN)*
断面	坝上 4	93	93	86.7	79.2
Ⅱ 断面	坝下 4	92	121	121.7	121.9

* DO——溶氧饱和度 DO+DN——溶氧和溶氮饱和度

表 2 河水气体过饱和度(%)

取样断面	距坝里程 (km)	低流量	高流量	取样断面	距坝里程 (km)	低流量	高流量
		$<10^4 m^3/s$	$>2 \times 10^4 m^3/s$			$<10^4 m^3/s$	$>2 \times 10^4 m^3/s$
Ⅱ	4	115.8		Ⅶ	250	96.7	113.9
Ⅲ	42	110.8	128.9	Ⅷ	304	94.6	107.8
Ⅳ	100	107.4	125.2	Ⅸ	329	100.3	109.8
Ⅴ	158	103.4	120.8	Ⅹ	386	99.2	105.6
Ⅵ	210	101.0		Ⅺ	417	99.7	104.5

饱和。大坝建成第三年,坝下总溶解气体饱和值比坝上高出 30—40%。坝上的水只有经泄水闸和水轮机两条通道下泄,从水轮机排出的尾水,总气体饱和度为 89%,这足以证明,大坝泄洪造成了水中气体过饱和。

水从泄水闸泻出时呈高速射流状,射流水体夹带空气,深入坝下河床,在静水压力作用下,夹带的空气溶解。此外,高速水流冲击河水,激起无数细小雾滴,无疑使河水吸进更多的空气。

河水一旦过饱和,要令其恢复到正常,非常困难、非常缓慢,因为河水只有通过有限表面与大气进行气体交换。某大坝测量结果表明,河水每迁移 100 公里,饱和度下降 6—8%。在高流量年份,过饱和范围达 400 多公里,有害范围达 250 多公里;在低流量年份分别为 210 多公里和 40 多公里(表 2)。

过饱和度在一定范围内与泄洪量呈线性关系。Ebel 等在哥伦比亚河某大坝进行了四天连续监测,总气体压力 y (毫米汞柱)与泄洪量 Q (米³/秒)的关系式: $y = 1.20Q + 798$, 相关系数 $r = 0.98$ 。总气体饱和度随泄洪量上升,并趋近某一水平值,每种类型泄洪建筑物都有它固有的水平值。

2. 热污染

许多大型厂矿将大量热废水或冷却水排入水体,使受纳水体产生气体过饱和。据 1980 年统计,我国火电厂排水量为 260 亿立方米,这样大量冷却水排入有可能造成局部受纳水体过饱和。Marcello 等报道生活在受纳电厂冷却水水体的油鲱患气泡病,北卡罗来纳州三个火电厂排放冷却水使受纳水体总气体饱和度达 130%;皮尔格日姆核电厂使受纳水体总气体饱和度高于 120%。据估计 2000 年我国火电厂排水量将达 530—630 亿立方米,对水环境的影响应引起有关方面的注意。

三、气体过饱和对水生生物的影响

当鱼生活在气体过饱和水中时,高浓度

气体经鳃扩散进入血液,直至体内外气体达到平衡,此时血液气体亦呈过饱和态。或当鱼从深水游至浅水,由于静水压力解除,鱼体内气体亦过饱和。鱼对内环境气体过饱和极其敏感,受刺激后兴奋不已,不停地游动,运动使呼吸频率加快、循环加速,体温上升或血压下降,血液过饱和度加重。与此同时,一部分溶解气体游离出来形成气泡,这样才能降低血液过饱和度,才能维持体内外气体平衡。

气泡形成的必要条件之一是水或血液中总气体压力必须高于环境大气压。所谓总气体压力是指水或血液中各单项气体分压之和扣除静水压力补偿之后的剩余压力。水深每增加 1 米,水溶解气体能力增加 10%,鱼也相应获得 10% 静水压力补偿,只有当总气体压力大于 1.10 大气压或者说总气体压力扣除 1 米静水压力的剩余压力仍大于周围大气压,气体才呈过饱和态,才有可能形成气泡。气泡形成必要条件之二是水或血液中必须存在气核。实验证实,缺乏气核,即使总气体压力再高也不能形成气泡。

气体过饱和对鱼类等水生生物的危害:

1. 急性致死

血管中的气泡阻碍血液流动,鱼因此缺氧窒息死亡,故气泡又名气栓。组织和器官中的气泡使其肿大,挤压变形,损伤出血,甚至坏死。在某大坝河道中张网捕捞鱼苗,对捕集鱼苗按下述标准检验,结果列在表 3。鱼苗气泡病判断标准:肠管有气泡、鳔膨大呈球状和运动状态失常。

从表中可知,气泡病发病率与气体过饱和度和密切相关,在正常河水中,发病率几乎为零,随着饱和度升高,发病率上升。除小型黄颡鱼之外,未发现成鱼患气泡病。

在某大坝坝上和坝下岸边水域设置 70×60×50 厘米网箱,投放幼鲢鱼,进行 48 小时活水笼养试验。有关试验条件及结果列在表 4。

对照点 35 尾鱼在试验结束时,肠道充塞

表 3 鱼苗气泡病发病率(%)

捕集点	距坝里程 (km)	饱和度(%)	总鱼数(尾)	病鱼数(尾)	发病率(%)
1	坝上 12	79.2	2800	1	0.04
2	坝下 27	103.1	48,421	444	0.91
3	坝下 28	127.8	14,824	1,684	11.37

表 4 活水笼养试验条件及结果

试验组别	试验点距坝里程 (km)	水温(°C)	流速 (m/s)	饱和度(%)	试验鱼数(尾)	发病率(%)	死亡数(尾)
对照点	坝上 12	22—23	0.3	79.2	35	0	1
试验点	坝下 28	24—24.6	未测出	123.9	31	100	31

度为零,鱼体消瘦,眼球普遍下陷,体侧鳞片大面积剥落,鳍撕裂、残缺不全和基部充血。一尾死亡。对死亡鱼和存活鱼抽样检查,均未发现气泡病症状。试验点 31 尾鱼,10 多小时暴露就开始发病,不到 30 小时全部死亡。对 31 尾鱼逐一检查,发现: 鱼体丰满无伤痕,头部和皮下气肿,眼球突出、充血,内有气泡,鳍有气泡,气泡发生率顺序是:腹鳍和胸鳍>尾鳍>臀鳍和背鳍。尾鳍基部鳍条间密集气泡、呈放射状排列,肠道气泡连绵不断,约 5.0—10.0 毫米大小,心脏和静脉血窦有时完全为气泡占据、不见血液,鳃动脉气泡使鳃丝受挤压而变形。

据 Raymond 报道,斯内克河在 1966—1975 年十年间降河迁移的鲑鳟幼鱼因气体过饱和死亡 40—95%,这是因为梯级大坝把幼鱼阻隔在两大坝之间,延长了幼鱼暴露过饱和和水中的时间。斯内克河 Lower monum-ental 和 Little Goose 两大坝未完工前的 1966—1968 年,从 Salmon 河下迁至 Ice Harbor 坝的幼鲑成活率为 80—90%,完工后成活率下降为 33%,严重时只有 10%。Cruikilton 等报道 Osage 河在 1978—1979 年两年间 4—6 月因过饱和气体死鱼 50 万尾,幼鱼还未计数。

2. 慢性中毒

鱼类等水生生物长时间停留在非致死性气体过饱和和水中(总气体饱和度 < 110%),

亦能患气泡病,但病变过程长,受害更为严重。鱼的感觉器官,如眼球突出、气肿、出血、因而失明,侧线鳞片被无数小气泡覆盖,使鱼对外界刺激反应能力降低或完全丧失、不能避开天敌和障碍物,易为捕食者捕食,同时亦难觅食。鱼体因气泡和气肿,浮力增大、漂浮水面,而表面恰恰是过饱和度最高的水层。受害更加严重。组织和器官因气肿损伤出血、甚至坏死,体表出血和坏死部位易感染细菌和霉菌,使鱼大量死亡。有人估计,非致死性气体过饱和使鱼发生慢性中毒,死亡率常常高于急性死亡率,经济损失更大。

3. 饵料生物同样受到威胁

溞类、虾、蟹、软体动物和水生昆虫都是鱼类饵料生物,这些水生生物对气体过饱和和耐受性高于鱼类,但仍受到威胁。如大型溞体液充满气泡、身体膨大,最后死亡。虾类步足基部密集气泡、身体膨大。有的停留底层不动直至死亡。牡蛎贝壳外套膜出现新月型硬蛋白水泡,这是气泡病症状,75% 牡蛎患病,10% 死亡。硬蛤气泡病症状是鳃色变淡,这是气泡阻碍血液循环所致。水螅之类腔肠动物亦患气泡病,甚至某些绿藻也能粘附气泡。

四、溶解气体分析

本文采用直接进样色谱法,以氦气作载气,5 Å 分子筛作分析柱,在分析柱前设置一个截留水份的吸附柱,延长分析柱使用寿命。

还可设置双柱双气路系统,利用换向阀将吸附柱截留的水份及时反冲出去,这样大大地提高了分析速度。利用各单项气体标准溶液,定标计算水样中各单项气体含量,然后按取样时水温和大气压力计算水样各单项气体饱和度,各单项气体饱和度之和即为水样总气体饱和度。由于氮氧是水中主要的溶解气体,因此有人将氮氧饱和度之和作为总气体饱和度。

主要参考文献

- [1] Mcleod, G. C., *The behavior of fish and other aquatic animals*. D. I. Mostofsky (Ed.). 319—339, 1978.

- [2] Weitkamp, D. E., and M. Katz, *Trans. of the Americal fisheries Society*, 109, 659—702, 1980.
- [3] Ebel, W. J., *J. Chem. Educ.*, 50(8), 559(1973).
- [4] 万志远 动物学杂志 (7)318(1960).
- [5] Lindroth, A., *Arch. Hydrobiol.*, 53, 589—597, 1957.
- [6] Ebel et al., *United States National marine Fisheries Service Marine Fisheries Review* 7: 1—14.
- [7] Crunkilton, R. L., J. M. Czarneski and L. Trial. *Trans. of the Americal Fisheries Society* 109, 725—733 (1980).
- [8] Marcello, R. A., and Fairbanks, R. B., *Marine Ecology Studies Related to the Operation of Pigrim Station Semiannual Rept.* No. 4 1—10, 1974.
- [9] Raymond, H. L., *Trans. of the Americal Fisheries Society*, 108(6), 505—529, 1979.

不同的干燥和灰化过程生物样品中微量元素 损失的放射化学研究

II 铁、钴、铯、硒和锶

汪勇先 秦俊法 吉倩梅 吴士明 汪学明 张元勋

(中国科学院上海原子核研究所)

由于生物材料的极端复杂性,造成了其中微量元素在干燥和灰化过程中复杂的损失行为。即使是同一种元素在不同的生物材料中的损失情况也不一样。这方面的研究在国际上已引起了高度的重视,但在国内还未见报道,其原因之一是没有适当的研究方法。本工作是把放射性示踪剂用静脉注射和培育的方法渗入到不同的生物材料中去,研究血清、肝、野葱和人发中微量元素在干燥和灰化过程中的损失。本方法的特点在第 I 部分中已经叙述了。本部分工作继续研究铁、钴、铯、硒和锶在不同生物材料中的损失行为。

一、放射性示踪剂的制备

放射性同位素由中国科学院原子能研究

所反应堆生产,放射性注射液的化学形式、比放射性、pH 值和核数据见表 1。

二、放射性测量

放射性测量使用连有 4096 道脉冲高度分析器的 Ge(Li)探测器(50cm³)。为避免几何因子引起的放射性计数误差,在所有测量中严格保持烧杯和探测器相对位置不变。样品尽可能粉碎和均匀地铺于烧杯底,厚度不超过 2mm。所有测量的统计误差均小于 1%。

三、放射性示踪剂的渗入

1. 取小鼠 5 只,分别尾静脉注射放射性同位素注射液 0.2ml,注射后 0, 1, 2, 3, 5 分钟分别杀死取血和肝。5 只小鼠血混合在一起,按常规方法制备血清。分别移取 0.2ml 血