

低 pH 对鱼类胚胎发育、鱼苗生长及 鳃组织损伤影响的研究*

张甫英 李辛夫

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要

本文研究了低 pH 水平对鱼类的胚胎、鱼苗和鱼种的影响以及鱼鳃的组织学观察。在硬水环境, $\text{pH} \leq 4.5$ 时, 对泥鳅胚胎发育有严重影响。胚胎在低 pH 水平下, 发育进程明显地迟缓。 $\text{pH} \leq 5.5$ 时, 泥鳅幼苗的生长受到抑制; 在软水环境, $\text{pH} \leq 4.5$ 时, 影响草鱼苗和幼鱼的存活率。低 pH 水平加上铝则对鱼类呈现出协同毒性。低 pH 使鱼鳃直接遭受严重的损害: 出现大量的粘液、渗血、鳃上皮肿胀和脱落, 组织增生和融合。

关键词 pH, 硬水, 软水, 影响, 上皮

酸雨是人们普遍关注的一个环境问题, 北欧和北美由于酸雨的影响, 导致了許多湖泊, 河流严重酸化和大量鱼类资源的丧失^[2,9,11]。水体中鱼类种群的消失是酸雨影响最明显的讯号, 国外文献报道, 当水体 pH 为 5.0 左右时, 大多数种类鱼严重受害并趋于灭绝。 $\text{pH} 6.0$ 以下就能检测到淡水酸化的生物学效应^[6]。由于鱼类早期生活阶段对环境变化最为敏感, 而鱼类灭绝往往是在发育早期阶段大量死亡, 使补充群体无法再生产所致^[20]。为此作者系统地测试了低 pH 水平对鱼卵的发育、孵化、鱼苗及鱼种的死亡率和仔鱼生长的影响, 以供酸雨危害的预测和预报提供科学依据。

在天然酸化水体中, 无机铝浓度常常可达到使鱼急性死亡的水平 ($>0.2\text{mg/L}$), 而此时 pH 值本身尚未低到导致鱼死亡的程度, 又因较高的水硬度对低 pH 和铝的毒性有缓解作用^[8], 所以又选择了在软水环境下测试低 pH 和铝的毒性。

鉴于 pH 对鱼体影响的直接靶器官为鱼的鳃组织, 因此对不同低 pH 水平下的鳃组织进行组织病理学方面的观察和分析。

材 料 和 方 法

试验以泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 和草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 为材料。胚胎试验采用的是受精卵发育至囊胚期的鱼胚, 用镜检挑选正常发育的鱼胚投

* “七,五”国家科技攻关项目 75-55-01-06。

1991年3月23日收到。

入试验。草鱼苗是由水生所试验养殖场提供,在孵化缸内发育至 5 日龄,全长为 $6.578 \pm 0.188\text{mm}$,转入实验室后第二天投入试验。草鱼种全长为 $2.08 \pm 0.15\text{cm}$,体重为 $1.02 \pm 0.29\text{g}$,由水生所鱼池捕获,转入室内驯养 4 天再投入试验,驯养期间死亡率低于 2%,体质健壮。泥鳅受精卵由室内人工繁殖获得。

本试验分别使用了二种不同性质的试验水。一种为经活性炭过滤脱氯静置 24h 以上的自来水,总硬度为 124.11mg/L (CaCO_3),总碱度为 2.29meq/L ,电导率为 $418\mu\text{S/cm}$ 。酸化前各种主要离子含量列于表 1。

表 1 脱氯自来水酸化前的主要离子含量 (mg/L)

Tab. 1 Content of major ions of dechlorinated water before acidification (mg/l)

离子 Ions	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
含量 Content	39.76	6.08	44.50	0	139.80	37.74	42.11

另一种为重组淡水,这是为了测试硬度对低 pH 毒性的影响,以及不同 pH 水平下无机铝对鱼类的毒性。重组淡水的成份列于表 2^[1]。

表 2 重组淡水的成份

Tab. 2 Content of reconstituted freshwater

所需的盐类 Needed salt (mg/L)				硬 度 Hardness (mg/L CaCO_3)	碱 度 Alkalinity (meq/L)
NaHCO_3	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	MgSO_4	KCl	40—48	0.60—0.70
48	30	30	2.0		

试验采用静水法,用硫酸(分析纯)配制成各种预先设计的 pH 水平的酸性试验水, pH 范围在 3.5—6.5,间隔为 0.5 个单位,配制时充分搅拌,曝气,使水质均匀且使 CO_2 的含量降到最低限度。在试验过程中,经常对各试验容器中的 pH 值进行测定和适当的调节。每天彻底更换新鲜试验液二次。

无机铝离子由硫酸铝 [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$] 提供,先配成 0.5mg/ml 的母液(以 Al 计),然后按设计的浓度加入到不同 pH 值的重组淡水中。pH 4.5, 5.0 和 5.5 三个水平的 Al 浓度按等比系列设置,最低浓度为 0.1mg/L ,试验进行 96h,每天记录各试验组内的死亡情况。

泥鳅早期生活阶段(卵—仔鱼)在不同 pH 水平下的生长试验,采用静水法,并使用脱氯自来水为试验水。受精卵待发育到囊胚晚期—原肠早期投入试验,试验一直进行到第 13 天。试验结束时在解剖镜下量取仔鱼的全长,并作统计学的处理,比较不同 pH 水平下仔鱼全长的差异性。试验期间,经历了受精卵的发育和孵化,卵黄囊仔鱼和摄食期仔鱼的发育。对摄食期仔鱼先喂以鸡蛋黄末,每天二次,其后改喂丰年虫,亦是每天二次,均是足量喂给。每天清除试液内剩余残渣及粪便排泄物,以保持良好的水质,溶氧不低于 6mg/L 。

试验水温: 鱼卵和鱼苗试验控制在 $21 \pm 1^\circ\text{C}$; 鱼种试验在 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 。试验容器: 鱼

卵和鱼苗试验采用 250ml 的玻璃结晶皿, 鱼种试验采用 $21 \times 19 \times 29\text{cm}$ 的方形玻璃缸。鱼卵、鱼苗和鱼种试验, 每个试验容器内投放试验动物的数量分别为 50 颗鱼卵、25 尾鱼苗和 10 尾鱼种。各设置二个平行组。

总硬度和 Ca^{2+} 以 EDTA 滴定法测定, 碱度以酚酞甲基橙法滴定。 Mg^{2+} , $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ 以差减法计算。 CO_3^{2-} 和 HCO_3^{-} 从碱度计算而得。 SO_4^{2-} 以铬酸钡容量法测定, Cl^{-} 以铬酸钾容量法测定。电导率用 Cole-Parmer 电导仪实测。pH 值用 PHB-29C 酸度计直接测定。

供组织学观察的鳃组织, 用 Bouin 氏固定液固定, 石蜡包埋, 苏木精-伊红染色。

结 果

(一) 泥鳅试验(硬水)

1. 低 pH 对泥鳅胚胎的影响

试验测定了低 pH 水平下, 泥鳅胚胎的 48h, 96h 和 10d 的死亡率(表 3)。

表 3 低 pH 水平下, 泥鳅胚胎的 48h, 96h 和 10d 的死亡率

Tab. 3 Mortality of the embryos of *Misgurnus anguillicaudatus* in the 48h, 96h and 10 days exposure period at low pH levels

pH	4.5	5.0	5.5	6.0	对照 Control
48h 死亡率(%) 48h mortality (%)	13	3	3	3	2
96h 死亡率(%) 96h mortality (%)	35	5	5	4	4
10d 死亡率(%) 10 days mortality (%)	62	8.5	6.8	5.3	5

表 4 在不同的低 pH 水平下生长 13 天, 泥鳅仔鱼的体长比较 (mm)

Tab. 4 Comparison of body length of fry of *Misgurnus anguillicaudatus* during 13 days at low pH levels (mm)

pH	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	对照 Control
X	4.0705	4.2348	3.9000	3.8703	3.2615	4.1541
S.D	0.2954	0.4595	0.3118	0.3765	0.8314	0.4101

由表 3 可见, 当 $\text{pH} \leq 4.5$ 时, 对泥鳅胚胎的存活产生显著的影响。试验统计了在低 pH 水平下泥鳅的 48h 的孵化率(图 1), 很明显, 孵化率随着 pH 水平的降低而降低, 而且低 pH 水平导致了泥鳅苗孵化出膜过程的迟缓。对照组除了死亡的胚胎外, 48h 内全部孵化出膜, 然而 pH 4.5 的试验组内仅有 5% 的个体完成孵化进程, pH 5.5 的试验组内也只有 75% 的孵化率。

2. 在低 pH 水平下泥鳅早期生活阶段(卵—仔鱼)的生长试验

在低 pH 水平下,对泥鳅的仔鱼生长发育有显著的影响(表 4)。

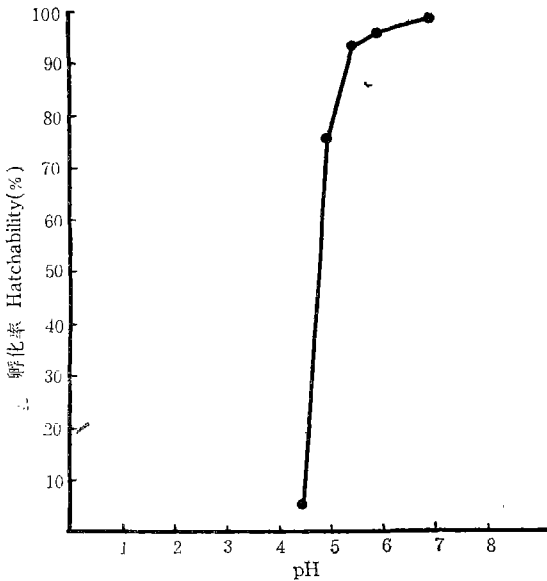


图 1 泥鳅胚胎在低 pH 水平下 48h 的孵化率

Fig. 1 48h hatchability of embryos of *Misgurnus anguillicaudatus* at low pH levels

经 F 检验证明: $F < F_{0.01}$, 差异非常显著, 因此泥鳅仔鱼的体长随着 pH 值的下降而有逐渐减小的趋势。其中 pH6.0 和 pH6.5 两组与对照组没有显著性差异, 而 pH4.5, 5.0 和 5.5 三个组与对照组的差异非常显著, 即当 $\text{pH} \leq 5.5$ 时, 明显地影响泥鳅仔鱼的生长发育。

(二) 草鱼试验(软水)

1. 低 pH 对草鱼的影响

试验测试了草鱼苗 96h 和草鱼种的 10d 死亡率(表 5)。

由表 5 可见, 当 $\text{pH} \leq 4.5$ 时, 对草鱼苗和草鱼种的存活会有显著的影响。

2. 不同的低 pH 水平加上不同浓度的铝, 对草鱼苗的影响

不同的低 pH 水平 (pH4.5, 5.0 和 5.5) 加上不同浓度的铝 (0.1, 0.2, 0.4, 0.8mg/L) 对草鱼呈现出不同的毒性影响(图 2)。

表 5 在软水环境下, 不同低 pH 水平对草鱼苗和草鱼种的毒性

Tab. 5 Toxicity of low pH levels on fry and fingerlings in soft water

pH	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	对照 Control
鱼苗 96h 死亡率(%) 96h mortality of fry (%)	100	100	7.5	0	0	0
鱼种 10d 死亡率(%) 10 days mortality of fingerlings (%)	100	52.9	30	0	0	0

由图 2 可见, pH 水平越低, 铝浓度越高, 则对草鱼的毒性影响就越大, 明显地反映出 pH 水平与铝浓度之间有可能存在协同毒性。

3. pH5.0 加不同浓度的铝对草鱼种的毒性

实验结果列于表 6。

用内插法求得 10d 的 LC_{50} 值为 2.7mg/L。

(三) 对草鱼鳃组织的影响

在解剖鱼体取鱼鳃样品时发现, pH4.5 和有些 pH5.0 试液内的草鱼, 在鳃盖周边被

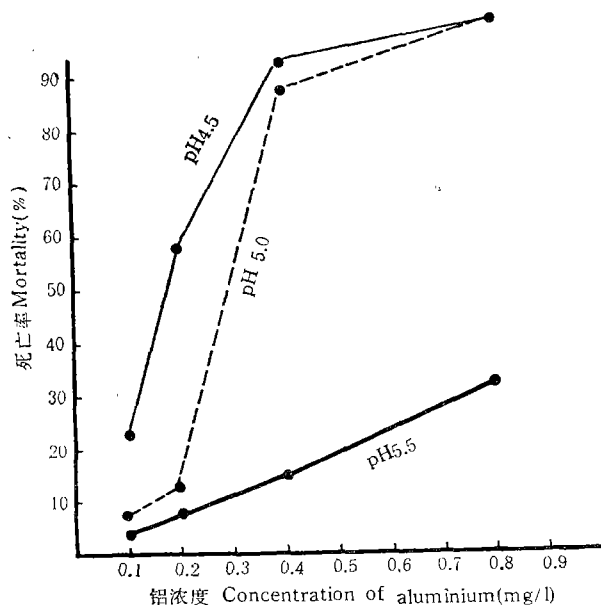


图2 软水环境下,铝和不同的低 pH 水平对草鱼苗的毒性

Fig. 2 Toxicity of low pH water with aluminium on fry of grass carp (soft water)

表6 pH5.0 时铝对草鱼种的毒性

Tab. 6 Toxicity of aluminium on fingerlings of grass carp at pH5.0

铝 浓 度 (mg/L) Aluminium concentration (mg/L)	4.0	3.2	2.8	2.0	1.6	对照 Control
10d 死亡率(%) 10 days mortality (%)	100	68.4	52.4	20	20	0

一层粘液包裹着,鳃的颜色由鲜红色变成了浅白色。对不同低 pH 水平下的草鱼鳃组织进行切片,并逐一在显微镜下检查:对照组的鱼鳃,其鳃小片排列整齐呈梳状(图版 I:1); pH6.0 中的鳃切片上可见大量的粘液(图版 I:2),部分鳃小片发生弯曲(图版 I:3); pH5.5 中的草鱼鳃切片上可见渗血现象(图版 I:4); pH5.0 中的鳃上皮产生肿胀,部分上皮有脱裂现象(图版 I:5.6.7); pH4.5 的草鱼鳃组织由于严重增生,造成部分鳃小片之间的相互融合(图版 I:8)。上述症状随着 pH 水平的降低而明显加重。

讨 论

1. 鱼的受精卵在低 pH 水平下死亡,是由于表皮细胞被酸腐蚀,干扰了离子调节和呼吸的结果^[4]。胚胎在不同发育阶段对 pH 的敏感性是不同的,最敏感的阶段是眼色素期^[7],这一时期正是胚胎开始主动吸收离子时期。泥鳅卵在受精后吸水膨胀,卵膜变薄,卵周隙充满体液,由于高浓度的氢离子的不断渗入,使胚体内外离子交换失去平衡,导致胚胎的死亡。

pH 不但直接影响泥鳅卵的孵化率,而且能延缓孵化所需的时间,在本实验中,当水温为 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 时,经 48h,对照组 (pH7.0) 全部孵化出膜,而 pH4.5 组的只有 5% 孵化出膜, pH5.0 组的也只有孵化出 75% 的幼苗,这两个试验组直到第 4d 才完成孵化进程,要比对照组晚 2d 的时间。

低 pH 推迟鱼卵孵化这与孵化酶活性降低和胚胎活动能力的减弱有关, Peterson 等 (1980) 研究了低 pH 延迟大西洋鲑卵的孵化,发现在孵化之前任何时候把卵转入低 pH 的水中,会延迟孵化, pH4.0 时则根本不能孵化,这与作者在泥鳅卵的孵化过程中观察到的现象相一致。孵化酶是各种蛋白水解酶的总合,具有很强的 pH 依赖性,卵被置于低 pH 的水中,卵周液 pH 在几小时内就与外部 pH 达到平衡^[12],低 pH 抑制了孵化酶的活性,这是孵化推迟或受阻的主要原因。另有报道,鱼类胚胎在低 pH 的水中其活动性大为减弱,不能有效破膜而出^[8]。作者在试验中观察到,在低 pH 的水中,活动性很差的胚胎直到孵化后仍然不能伸直,呈弯曲状,与对照组相比较,个体也显得较小。这表明了在低 pH 的水中,胚胎的整个发育过程都被推迟了。因为低 pH 抑制了胚胎发育过程中离子主动吸收,使新陈代谢变慢^[12]。

Runn 等 (1982) 的实验表明,低 pH 水平中卵黄转化为结构物质的比例较小,即许多营养物质被用于克服低 pH 压力所需的能量,这也导致了胚胎发育的迟缓。

2. 根据环境生物学的观点,凡是对鱼类产生亚致死反应的污染物或其他不利因素,都可能影响其生长,因为鱼体生理功能的损伤或组织结构的损害与鱼的摄食能力,消化吸收能力及食物转化为鱼体结构成分的效率密切相关。Brown 等 (1984) 对虹鳟的 21d 酸性水的试验,发现 pH6.0—4.2 的酸性水会改变肾间组织和甲状腺的功能。在 $\text{pH} < 5.2$ 时血浆肾上腺皮质激素增高,在 $\text{pH} < 4.7$ 时肾间组织增生肥大,细胞核径增加,血浆甲状腺素和三碘甲状腺氨酸的比率增大^[13]。在 pH4.0—4.5,虹鳟 3d 的酸化试验导致心率,平均动脉血压及血球比容的升高,体内水份在细胞内外进行重新分配,血球的浓缩引起血液粘滞性增大^[18],这些病理变化无疑会反应到生长速率上来。

Lemly 等 (1985) 的研究结果直接证明酸性水干扰了黑头软口鲈嗅觉器官对食物刺激的化学感受,在 pH6.0 时鲈鱼摄食停止;在 pH6.5 时摄食反应也显著下降^[17]。Mudge 等 (1977) 进一步发现,美洲红点鲑在低 pH 的水中,核糖核酸和蛋白质合成变慢,因而导致生长变慢^[19],这就有力地揭示了低 pH 对鱼类的生长影响的生理机制。

本实验再一次证明,低 pH 对鱼类生长具有抑制作用,对泥鳅仔鱼的阈值为 pH5.5,即当水体的 $\text{pH} \leq 5.5$ 时,泥鳅仔鱼的生长显著地受到影响。

3. 在酸性水体中引起鱼类中毒的毒性因素除了过量的氢离子,还有重金属,其中特别是铝,在某些情况下,低 pH 的酸性水中引起铝浓度的升高是比过量的氢离子更为重要的毒性因素。实验证明,有机铝是无毒的,只有无机单体铝才有毒^[5],铝的毒性大小除与浓度及价态有关外,高度依赖于水中的 pH 值。氢离子与毒性铝对鱼的毒作用方式很接近,都能引起鱼体的体盐调节功能紊乱,酸碱平衡失调,气体交换受阻及抗病力下降,其中鱼类的体盐调节功能遭破坏是死亡的主要原因。因为水中钙钠离子浓度提高,可以部分抵消酸和铝的毒性^[15],所以铝的毒性还依赖于水的硬度 (Ca^{2+} 的含量)。

本实验的结果表明, pH 水平越低,铝浓度越高,对鱼类的毒性就越大,因此 pH 水平

与铝浓度之间有可能存在协同毒性。

4. 在酸性水的环境条件下, 氢离子的毒性靶器官是鱼鳃。当 pH 为 3.0—4.0 时, 氢离子使鳃组织严重受损, 引起鳃部粘液的大量分泌, 以至在鳃表面形成凝结, 从而降低了氧越过鳃表面的扩散速率, 妨碍了气体交换, 使鱼窒息而死。当 pH 4.0—5.0 时, 离子交换和酸碱平衡紊乱, 导致鱼的死亡^[16]。

鱼类和外环境间离子交换, 主要是通过鱼鳃来实现, 与个体较大的鱼相比较, 小鱼具有相对大的鳃表面。Hughes (1966) 对一种鲈鱼 (*Mecropterus sp*) 的测定, 体重为 2.7g 的鱼相对鳃面积为 755mm²/g 体重, 而体重为 115.7g 的鱼仅为 311mm²/g 体重^[10]。显然, 由于个体较小的鱼与水接触的交换面积相对较大, 有害物质相对渗入较多, 致使耐受性较差, 因此敏感性随着鱼龄的增加而减弱, 这是原因之一。

当取鱼鳃样品时, 发现 pH 4.5—5.0 的试验组内的草鱼, 其鳃的表面由于大量的粘液分泌而形成一层凝结物, 鳃的颜色由鲜红色变成浅白色; 在 pH3.5 内的草鱼, 2h 就全部死亡; pH4.0 的草鱼经 4h 全死亡; pH4.5 和 5.0 的草鱼随着试验时间的延长, 也有死亡的个体出现; 而 pH5.5 和 6.0 的草鱼, 直到试验结束时都没有发现死亡现象。

对草鱼的鳃组织进行镜检, 发现低 pH 水平下的鱼的鳃组织受到损害的症状: 鳃小片发生弯曲; 鳃上皮肿胀和渗血; 大量粘液出现; 鳃上皮细胞肥大和增生造成鳃小片之间的相互融合。这些症状明显地随着 pH 水平的降低而加重, pH 值每下降 0.5 个单位, 就会在鳃组织的损害症状上明显地反应出来。尽管毒性试验过程中, pH6.0 对草鱼卵, 鱼苗和鱼种没有显著的影响, 但对鱼鳃组织的影响依然存在。因此可以把鳃组织的损伤作为鱼体受低 pH 影响的一个重要指标。

参 考 文 献

- [1] American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (16 ed.). American Public Health Association, Washington, p. 700.
- [2] Beamish, R., 1976. Acidification of lakes in Canada by acid precipitation and the resulting effects on fishes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 6: 501—514.
- [3] Brow, S. B., Eales, J. G., Evans, R. E. and Toshiaki J. Hara, 1984. Interrenal, thyroidal, and carbohydrate responses of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to environmental acidification. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41 (1): 36—45.
- [4] Daye, P., 1981. The impact of acid precipitation on the physiology and toxicology of fish. *International Atlantic Salmon Foundation Special Publication*, 10:29—34.
- [5] Driscoll, C. T., Baker, J. P., Bisogni JR. J. J. and Schofield, C. L., 1980. Effect of aluminium speciation on fish in dilute acidified water. *Nature, Lond.*, 284: 161—164.
- [6] Evans, L. S., Hendrey, G. R., Stensland, G. J., Johnson, D. W., and Francis, A. J., 1981. Acidic precipitation: considerations for an air quality standard. *Water, Air, and Soil Pollution*, 16(4): 469—509.
- [7] European Inland Fisheries Advisory Commission, 1969. Water quality criteria for European freshwater fish—extreme PH values and inland fisheries. *Water Res.* 3: 593—611.
- [8] Graham, M. S. and Wood, C. M., 1981. Toxicity of environmental acid to the rainbow trout: interaction of water hardness, acid type and exercise. *Can. J. Zool.*, 59: 1518—1526.
- [9] Haines, T. A., 1981. Acid precipitation and its consequences for aquatic ecosystems: a review. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 110: 669—707.
- [10] Hughes, G. M., 1966. The dimension of fish gills in relation to their function. *Jour. Exp. Biol.*, 45: 177—195.
- [11] Jensen, K. and Snekvik, E., 1972. Low PH levels wipe out salmo and trout populations in southernmost Nor-

- way. *Ambio*, 1: 223—225.
- [12] Johanson, N., Runn, P. and Sontell, M., 1981. Perivetelline PH of salmonid eggs in relation to ambient PH. *Wat. Res. Bull.*, 17(6): 994—999.
- [13] Leino, R. L. and J. H. McCormik, 1984. Morphological and morphometrical changes in chloride cells of the gills of *Pimephales promelas* after chronic exposure to acid water. *Cell Tissue Res.*, 236: 121—128.
- [14] Leino, R. L., McCormik, J. H., and Jensen, K. M., 1987. Changes in gill histology of fathead minnows and yellow perch transferred to soft water or acidified soft water with particular reference to chloride cells. *Cell Tissue*, 250: 389—399.
- [15] Leivestad, H., 1980. Acidification-effects on freshwater fish. P. 84—92 In: Ecological impact of acid precipitation. Proc. Int. Conf., Sandefjord, Norway 1980. Eds.: D. Drablos and A. Tollan. SNSF preject, Oslo-As.
- [16] Leivestad, H., G. Hendrey, I. P. Muniz and Snekvik, E., 1976. Effects of acid precipitation on freshwater organisms, In: F. H. Braehike ed. "Impact of acid precipitation on forest and freshwater ecosystem in Norway" 87—111, Norwegian Ministry of Environment, Oslo.
- [17] Lemly, A. D. and Smith, R. J. F., 1985. Effects of acute exposure to acidified water on the behavioral response of fathead minnows, *Pimephales promelas*, to chemical feeding stimuli. *Aquat. toxicol.*, 6(1): 25—36.
- [18] Milligan, C. L. and Wood, C. M., 1982. Disturbances in haematology, fluid volume distribution and circulatory function associated with low environmental PH in the rainbow trout, *Salmo gairdner*. *J. Exp. Biol.*, 99: 397—415.
- [19] Mudge, J. E., Dively, J. L., Neff, W. H., and Anthony, A., 1977. Interrenal histochemistry of acid-exposed brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). *General and Comparative Endocrinology*, 31: 208—215.
- [20] Per Runn, 1982. Effects of low PH on the development of the early stages of fish. Acta Universitatis Upsaliensis, Abstracts of uppsala dissertations from the faculty of science 647.

STUDIES ON THE EFFECTS OF LOW pH ON EMBRYONIC DEVELOPMENT, GROWTH OF THE FRY AND THE DAMAGE OF GILLS OF FISHES

Zhang Fuying and Li Xinfu

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan 430072)

Abstract

This paper deals with the effects of low PH on the survival rate of the embryo, fry and fingerling and the pathologic changes of the fish gill.

Under the condition of the hard water, embryonic development of *Misgurnus anguillicaudatus* was postponed at low PH levels and growth of the fry was also restrained at $\text{PH} \leq 5.5$.

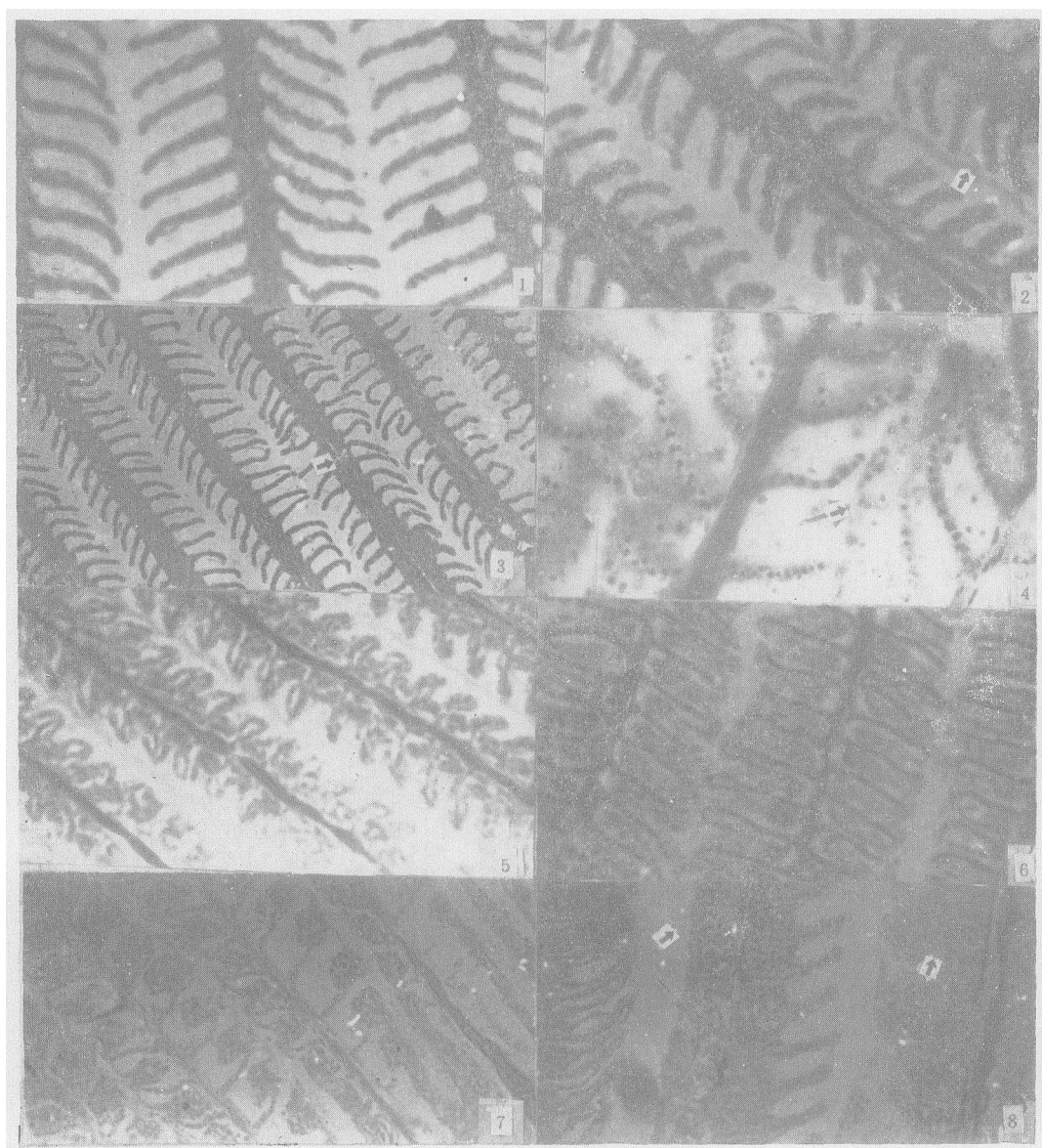
Under the condition of the soft water, the survival rate of fry and fingerling of *Ctenopharyngodon idellus* would be effected at $\text{PH} \leq 4.5$.

The toxicologic action on the fish had been strengthened due to the synergistic effects of low PH with aluminium.

Pathologic changes including the increase of mucus, swell and disengagement of the lamellar epithelium, hyperplasia and fusion of the tissue were observed.

A discussion on the toxicologic mechanism of low PH is proposed.

Key words Effect, Lamellar epithelium, pH, Hard water, Soft water



1. 对照鱼的鳃切片(×150); 2. pH6.0 的鱼鳃, 鳃切片上的粘液清晰可见(×300); 3. pH6.0 的鱼鳃切片可见鳃小片出现弯曲(×60); 4. pH5.5 的鱼鳃切片上出现渗血现象(×150); 5—7. pH5.0 的鱼鳃切片上出现鳃上皮肿胀(×150); 8. pH4.5 的鱼鳃切片上出现鳃小片的融合(×600)

1. Control fish section of gill (×150); 2. Fish exposed to pH6.0 section showing mucus on the lamellar epithelium (×300); 3. Fish exposed to pH 6.0 the curly lamellar are clearly visible (×60); 4. Fish exposed to pH 5.5 section showing infiltration blood at the lamellar epithelium (×150); 5—7. Fish exposed to pH5.0 section showing swell of the lamellar epithelium (×150); 8. Section through the lamellar of gill from fish exposed to pH4.5 the fused lamellar are clearly visible (×600)