

文章编号: 1004-7271(2001)01-0073-04

·研究简报·

## 低 pH 对鲤血液电解质的影响

### Effects of low pH on blood electrolyte of *Cyprinus carpio*

卢玲, 卢健民, 蔺玉华, 夏重志, 战培荣

(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070)

LU Ling, LU Jian-min, LIN Yu-hua, XIA Zhong-zhi, ZHAN Pei-rong  
(Heilongjiang River Fisheries Research Institute, CAFS, Harbin 150070, China)

关键词: pH; 鲤; 血液; 电解质

Key words: pH; *Cyprinus carpio*; blood; electrolyte

中图分类号: S917 文献标识码: A

酸雨是全球性的环境问题。它对水环境的影响最主要的是引起 pH 值降低,使水域中栖息鱼群缩小或影响鱼类的生长。这方面的研究国内外已有一些报道<sup>[1-3]</sup>,但低 pH 对鲤血液电解质影响的研究却少见。鱼类是水生态系统的重要组成部分,在水体污染的水质评价及水质监测的毒理学等方面的研究中都占有重要地位。当鱼类生活在受污染浓度很低的水体中就能引起其血液成分发生变化,使电解质平衡遭到破坏,而影响生理功能和损伤机体。本文以鲤(*Cyprinus carpio*)为对象,进行这方面的研究,旨在为探索致毒机理和深入毒理学研究提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验鱼和试验用水

试验用鲤取自本所育种研究室松花江畔民富试验基地。鱼平均体长为 $(12.297 \pm 1.76)$ cm,体重为 $(55.575 \pm 12.445)$ g。实验前先在室内水槽经脱氯的自来水中驯养两周,使其适应环境。驯养期间无死亡,体质健壮。

试验用水为曝气的自来水,溶解氧 5~6.0、 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  为 20.33、 $\text{Ca}^{2+}$  19.54、 $\text{Mg}^{2+}$  4.59、 $\text{Fe}^{2+}$  0.17、 $\text{NH}_4^+$  0.006、 $\text{NO}_3^-$  0.072、 $\text{NO}_2^-$  0.006mg/L。

### 1.2 试验方法

试验采用静水法,用硫酸(分析纯、国产)配成 0.5mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  母液,然后配制 pH 浓度 6.0、5.5、5.0、4.5、4.0 等 5 个梯度的酸性试验水。配制时充分搅拌。试验过程中,经常用 pHZ-1 型酸度仪对各试验水族箱中的 pH 进行测定并适当的调节,每日上、下午更换新鲜试验液各 1 次。

无机铝离子由硫酸铝  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (分析纯、国产),先配成 0.5mg/mL  $\text{Al}^{3+}$  母液,以 0.1mg/L 浓度加入到不同浓度 pH 值中。实验水温控制在 $(24 \pm 1)$ ℃。

试验用水族箱体积为 72L,每箱放鱼 16 尾,设平行组。试验周期为 30d,每 7d 取鲤鱼血液测电解

收稿日期:2000-04-28

基金项目:黑龙江省自然科学基金资助项目(C9718)

第一作者:卢玲(1957-),女,江苏泰兴人,助理研究员,现主要从事渔业水域水质理化监测,鱼类生态、毒理学有关指标的检测和研究工作。Tel:0451 4699580

质。

### 1.3 测试方法

采用美国贝克曼全自动生化分析仪(CX5)。

K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> ISE法(离子选择电极法);Ca<sup>2+</sup> 偶氮砷 III法;P 磷钼酸法;Mg<sup>2+</sup> 铬合物指标剂法。

### 1.4 血液取样

用注射器在鱼尾静脉抽血,加1%肝素钠,离心后于-1.7~20℃冰箱保存。

### 1.5 数据处理

所有数据均由2次重复实验的平均值和标准差表示,两个平均值的差异用t检验。

## 2 结果

### 2.1 低 pH 水平对鲤血液电解质的影响

不同浓度 pH 对鲤血液 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 等离子浓度的影响结果见表 1。

表 1 低 pH 水平对鲤血液电解质的影响  
Tab.1 Effects of low pH levels on the blood electrolyte of *C. carpio*

pH 浓度 <sup>a</sup>	暴露时间(d)	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
对照	7	1.33±0.80	134.03±4.03	1.94±0.21	0.92±0.99	116.23±2.95	5.085±2.01
	14	1.34±0.69	132.98±4.72	1.91±0.09	1.20±0.10	114.03±5.12	5.06±2.34
	21	1.69±0.33	138.72±4.26	2.01±0.21	1.14±0.11	117.15±5.36	6.25±3.93
	30	1.62±0.42	132.98±2.72	1.96±0.04	0.90±0.02	113.80±0.59	7.57±3.28
6.0	7	1.81±1.19	129.48±2.75	2.02±0.08	0.97±0.05 <sup>*</sup>	109.38±2.79	6.92±2.89
	14	1.82±0.80	133.15±4.33	2.12±0.36	1.23±0.13	112.23±1.04	7.07±0.53
	21	2.14±0.71	135.98±3.38	2.09±0.08	1.09±0.05	110.35±5.89	6.20±4.72
	30	2.30±0.30 <sup>*a</sup>	133.1±1.56 <sup>*a</sup>	1.31±0.57	0.07±0.14 <sup>*a</sup>	110.87±1.58	8.42±2.84
5.5	7	2.02±0.87	128.73±1.49	2.21±0.35	0.96±0.21	110.48±5.32	5.95±3.71
	14	2.61±0.75	132.15±3.39	2.04±0.21	1.64±0.06 <sup>*a</sup>	113.8±2.08	3.16±0.45
	21	2.7±0.64 <sup>*</sup>	132.65±4.91	2.03±0.13	1.14±0.07	116.43±1.11	8.60±2.62
	30	3.29±0.82 <sup>*a</sup>	130.13±4.91	1.11±0.13 <sup>*a</sup>	0.97±0.09	111.95±3.18	7.21±0.06
5.0	7	2.59±0.48 <sup>*</sup>	128.27±2.35 <sup>*</sup>	2.04±0.05	1.12±0.07	107.05±9.04	3.84±1.49
	14	2.54±1.37 <sup>*</sup>	130.53±2.94	2.06±0.14	1.00±0.05 <sup>*</sup>	108.33±3.62	7.38±2.84
	21	3.32±0.53 <sup>*a</sup>	125.4±13.5	1.91±0.14	0.99±0.05 <sup>*</sup>	110.05±4.53	8.84±3.31
	30	3.60±1.46 <sup>*a</sup>	127.25±7.38	2.00±0.45	0.99±0.21	110.55±0.44	7.10±3.59
4.5	7	3.14±2.03	128.18±2.66	1.94±0.06	1.15±0.02 <sup>*a</sup>	109.95±2.81 <sup>*</sup>	3.40±1.20
	14	3.45±1.80	126.30±4.33	2.18±0.15	1.07±0.275	79.73±1.402 <sup>*a</sup>	8.37±4.17
	21	3.78±0.53 <sup>*ab</sup>	128.4±4.06	2.08±0.36	1.39±0.17	103.37±10.7	8.22±3.10
	30	0.95 <sup>c</sup>	128 <sup>c</sup>	1.44 <sup>c</sup>	1.16 <sup>c</sup>	102.3 <sup>c</sup>	7.39 <sup>c</sup>

注: \*0.01 < P ≤ 0.05 显著, \*\* P < 0.01 极显著。(n=4) a: 4.0 组血样不够。b: n=3, c: n=1。

### 2.2 低 pH 水平加铝对鲤血液电解质的影响

低 pH 水平加铝对鲤血液电解质的影响结果见表 2。

表 2 低 pH 水平加铝对鲤血液电解质的影响  
Tab.2 Effects of low pH levels with aluminium on the blood electrolyte *C. carpio*

pH 浓度 <sup>a</sup>	暴露时间(d)	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
对照	7	1.33±0.80	134.03±4.03	1.94±0.21	0.92±0.99	116.23±2.95	5.085±2.01
	14	1.34±0.69	132.98±4.72	1.91±0.09	1.20±0.10	114.03±5.12	5.06±2.34
	21	1.69±0.33	138.72±4.26	2.01±0.21	1.14±0.11	117.15±5.36	6.25±3.93
	30	1.62±0.42	132.98±2.72	1.96±0.04	0.90±0.02	113.80±0.59	7.57±3.28

(续上表)

pH 浓度 <sup>a</sup>	暴露时间(d)	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
6.0 + Al <sup>3+</sup>	7	3.09 ± 0.59 <sup>*</sup>	132.23 ± 4.38	2.05 ± 0.14	1.09 ± 0.11 <sup>*</sup>	111.55 ± 3.93	4.10 ± 0.60
	14	2.39 ± 0.36 <sup>a</sup>	130.70 ± 4.18	2.28 ± 0.22 <sup>*</sup>	1.05 ± 0.58	110.25 ± 4.56	10.64 ± 2.33 <sup>*</sup>
	21	1.42 ± 0.53	132.50 ± 2.92	1.55 ± 0.75	1.37 ± 0.23	113.30 ± 2.21	11.70 ± 0.08 <sup>*</sup>
	30	1.84 ± 0.46	130.60 ± 3.05	1.59 ± 0.36	1.06 ± 0.21	109.97 ± 1.70 <sup>**</sup>	8.38 ± 2.79
5.5 + Al <sup>3+</sup>	7	1.23 ± 0.64	130.45 ± 2.95	2.25 ± 0.36	0.94 ± 0.13	112.88 ± 2.48	5.75 ± 3.92
	14	3.23 ± 0.76 <sup>*</sup>	131.75 ± 4.60	1.90 ± 0.30	1.34 ± 0.17 <sup>**</sup>	112.25 ± 4.17	9.64 ± 2.92
	21	1.15 ± 0.27 <sup>*</sup>	136.23 ± 4.64	2.19 ± 0.11	1.42 ± 0.18 <sup>*</sup>	115.60 ± 4.55	5.93 ± 0.72
	30	2.18 ± 2.33	129.53 ± 11.13	1.18 ± 0.46 <sup>*</sup>	1.02 ± 0.14	110.80 ± 9.36	8.97 ± 2.23
5.0 + Al <sup>3+</sup>	7	2.05 ± 1.18	131.50 ± 2.31	2.18 ± 0.23	1.31 ± 0.13 <sup>**</sup>	112.15 ± 1.38 <sup>*</sup>	5.76 ± 3.96
	14	0.85 ± 0.16	130.08 ± 3.73	2.24 ± 0.22 <sup>*</sup>	1.01 ± 0.09 <sup>*</sup>	111.75 ± 3.61	7.99 ± 2.71
	21	3.56 ± 0.13 <sup>*</sup>	134.5 ± 3.32	2.04 ± 0.30	1.22 ± 0.10	113.90 ± 0.71	7.39 ± 0.57
	30	2.00 ± 0.43	128.70 ± 2.72	1.62 ± 0.13 <sup>**</sup>	1.32 ± 0.21 <sup>**</sup>	104.87 ± 1.63	5.71 ± 0.68
4.5 + Al <sup>3+</sup>	7	4.04 ± 1.44 <sup>*</sup>	113.25 ± 15.06 <sup>*</sup>	2.23 ± 0.27 <sup>*</sup>	1.10 ± 0.04 <sup>**</sup>	94.25 ± 17.04 <sup>*</sup>	3.50 ± 0.30
	14	1.89 ± 1.95	125.37 ± 4.34 <sup>*</sup>	2.07 ± 0.05 <sup>*</sup>	1.44 ± 0.13 <sup>**</sup>	104.93 ± 3.5 <sup>*</sup>	4.44 ± 0.38
	21	3.07 ± 1.32	125.37 ± 7.66 <sup>*</sup>	2.12 ± 0.24	1.26 ± 0.09	105.73 ± 7.16 <sup>*</sup>	11.87 ± 0.06 <sup>*</sup>
	30	2.29 ± 0.89	124.40 ± 3.90 <sup>*</sup>	1.67 ± 0.64	1.04 ± 0.18	102.40 ± 3.74 <sup>**</sup>	5.71 ± 0.68 <sup>*</sup>

注: \* 0.01 < P ≤ 0.05 显著, \*\* P < 0.01 极显著。(n=4) a: 4.0 组血样不够。

### 3 分析和讨论

鲤在低 pH(6.0~4.5)酸性水中环境中,其血液 K<sup>+</sup> 的含量明显高于正常水平,并随着 pH 值的增加而逐步升高。同时随着暴露时间的增长而逐步升高。而 Na<sup>+</sup> 的含量明显低于正常值,并随着 pH 值的增加而逐步下降;而 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 无明显变化规律,只是在个别组中有显著或极显著作用(见表 1 和表 2)。由此可见,血液中钾、钠离子的平衡受到了很大程度的破坏,这与 Hickett 等<sup>[4]</sup>报道的,在低 pH(小于 3)的酸性环境中鱼血液中 Na<sup>+</sup> 严重低于正常水平,电解质遭破坏相一致。造成血液电解质平衡的失调可能是由于肝、肾功能受到影响。据 Brown 等<sup>[5]</sup>报道, pH 6.0~4.2 的酸性水会改变虹鳟鱼肾间组织的功能;Leino 和 McCormik<sup>[6]</sup>报道, pH 小于 5.2 时血浆肾上腺皮质激素增高, pH 小于 4.7 时肾部组织增生肥大。因为血液中钠浓度降低或钾浓度增加可以直接作用于肾上腺皮质,促进醛固酮的合成,使血中醛固酮浓度增加,引起醛固酮分泌的增加是由于直接刺激了肾上腺皮质球状带的结果。

肾脏保持酸碱平衡是通过“H<sup>+</sup> - Na<sup>+</sup> 交换”机制实现的,但肾小管上皮细胞除分泌 H<sup>+</sup> 外,也能向管腔内分泌钾离子(K<sup>+</sup>),并与管腔内部分的 Na<sup>+</sup> 进行交换,然后 Na<sup>+</sup> 被肾小管上皮细胞重吸收,对 K<sup>+</sup> 的排泄增加。当 H<sup>+</sup> 分泌增加,抑制 K<sup>+</sup> 的分泌。因为 H<sup>+</sup> 的分泌与肾小管上皮细胞中碳酸酐酶有关。因此,当碳酸酐酶被特异的抑制剂抑制时,肾小管的泌氢作用大大减弱,在泌 H<sup>+</sup> 作用减弱后, H<sup>+</sup> - Na<sup>+</sup> 交换减少,此时 H<sup>+</sup> - Na<sup>+</sup> 交换受抑制,肾脏排出大量碱性尿,而产生代谢性酸中毒。使鱼体内离子代谢及渗透压受到干扰,从而引起体内钾、钠平衡的失调。

低 pH 加铝对鱼类血液电解质的影响是明显的。铝在水环境中其形态随 pH 值的变化而有所不同。这些不同形态铝在酸化或严重酸化的水体中即使浓度很低,也能抑制鱼类生长或产生不同程度的毒害作用。如铝在鱼体细胞内,能以竞争性地取代钙结合位点,使受钙调节的酶无法实现其功能,或是占据其它位点改变鱼体有关分子的结构,从而表现出毒性。鱼类是变温动物,由于受到上述刺激影响,加以由于鱼类本身的调节机能较差,所以血液的机能、化学组成和理化特性等也随之发生变化。

值得提出的是,本文仅是初步研究,对于低 pH 水平对鱼类机体的内环境和血液机能等变化需要综合评价,特别是低 pH 引起鱼类可遗传的毒理效应,是值得今后进一步研究的问题。

**参考文献:**

- [1] 万学俊,汪庆国. 水体酸化对鲤鱼胚胎及仔鱼毒性影响的研究[J]. 大气环境, 1987, (1): 40-42.
- [2] 金洪钧. 酸性水和投入铝、钙对鲢鱼早期发育和鳃超微结构的影响[J]. 应用生态学报, 1992, 3(1): 69-75.
- [3] 张甫英,李辛夫. 低 pH 对鱼类胚胎发育、鱼苗生长及鳃组织损伤影响的研究[J]. 水生生物学报, 1992, 16(2): 175-182.
- [4] Hiketin C F, Booth J H, Jansz G F. Effects of acid water on the electrolyte balance in blood of the trout[J]. J Exp Zool, 1983, 228: 21.
- [5] Brow S B, Easel, J G, Evans R E, et al. Interrenal, thyroidal and carbohydrate responses of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to environmental acidification[J]. Can J Fish Aquar Sci, 1984, 41(1): 36-45.
- [6] Leino R L, McCormick J H. Morphological and morphometric changes in chloride cells of the gill of tinnetables percarids after chronic exposure to acid water[J]. Cell Tissue Res, 1984, 236: 121-128.