

·综述·

pH、盐度、碱度对淡水养殖种类影响的研究进展*

Advance in research on the effects of pH, salinity and alkalinity on freshwater cultured species

章征忠 张兆琪 董双林 周岐存

(教育部水产养殖开放实验室, 青岛海洋大学, 青岛 266003)

Zhang Zhengzhong Zhang Zhaoqi Dong Shuanglin Zhou Qicun

(Open Lab on Aquaculture Research of Ministry of Education, Qingdao Ocean University, Qingdao 266003)

关键词 pH, 盐度, 碱度, 毒性, 淡水养殖, 种类

Key words pH, salinity, alkalinity, toxicity, freshwater culture, species

我国约有 $2 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 盐碱荒地, 其中不宜种植且靠近水源的低洼盐碱地就有 $3 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。近年来, 科技工作者总结出挖土抬田、以渔改碱(即利用盐碱池塘进行水产养殖开发)的方法来进行治理, 取得显著成效^①。而 pH、盐度和碱度是盐碱池塘水质调控较常用的 3 个水质指标, 研究其对盐碱池塘养殖种类影响的意义重大。国内外许多学者就其中某个或某些因素进行了研究。

1 主要研究种类

目前对盐碱池塘养殖种类的研究主要有鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、尼罗非鲫(*Oreochromis niloticus*)、淡水白鲳(*Colossoma brachypomum*)、罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)、淡水沼虾(*Macrobrachium acanthurus*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、雅罗鱼(*Leuciscus waleckii*)、湟鱼(*Gymnocypris przewalskii*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)等十几种, 对其影响因素的研究主要有 pH、盐度和碱度^[1-16]。

2 pH、盐度、碱度及其相互作用对淡水养殖种类的毒性影响

2.1 pH

青、草、鲢、鳙对氢离子浓度的适应范围为 4.6~10.2

mg/L; 鲤的适应范围则为 4.4~10.4 mg/L, 耐酸碱性最强。在耐碱性方面, 青鱼、草鱼比鲢、鳙强; 在耐酸性方面, 青鱼、草鱼、鳙比鲢强。其共性是对 pH 为 0.2 的微小变化都能辨别。氢离子浓度对鱼类的呼吸生理有一定影响, 对鱼类耗氧率的影响主要表现为: 当氢离子浓度超过鱼类适宜范围(偏高或偏低)时, 鱼类对溶氧浓度有更高的要求^[4]。

2.2 盐度

国内外不少学者采用稀释海水^[9-11]、自来水添加 NaCl^[1]、盐碱水添加 NaCl^[2]或盐碱水蒸发^[3]等方法对淡水鱼、虾的耐盐性作了研究(表 1)。几种常见淡水养殖种类在 pH = 8.0~8.2 范围内对盐度的耐受性(24h LC₅₀值)顺序为: 尼罗非鲫>罗氏沼虾>鲫>淡水白鲳>鲤>草鱼>鲢^①; 而鲢、鳙、草鱼、团头鲂的耐盐能力顺序为: 鳙>草鱼>团头鲂>鲢(pH = 7.00~9.90); 草鱼和鲢胚胎的耐盐能力相近(耐盐上限约为 1.4)^[2]。其它一些鱼类如食蚊鱼经过逐渐适应可以忍受 39.0~58.8 的盐度; 虹鳟经过逐步适应也可忍受 39.0~58.5 的盐度; 鲟则只能忍受从淡水(盐度 0.14)到 25% 的海水(盐度 9.5)的盐度(成活率为 94%)^[9-11]。盐度对淡水鱼虾的生理影响主要表现在对其生长(能量收支)、发育、耗氧、血浆中电解质、鳃部氯细胞和琥珀酸脱氢酶的线粒体等方面。河口地区盐度对罗氏沼虾生长和成活率的影响主要为: 在盐度 15.66 以下, 罗氏沼虾成活率不受影响, 其适宜生长盐度为 0~6.83; 其日增长率、日增重率与盐度指数呈负相关, 盐度 S 与日增长率 η_1 (%) 的回归式为: $\eta_1 = 1.130 - 4.152 \times 10^{-4} \times S^{2.431}$, 与日增重率 η_2 (%) 的回归式为: $\eta_2 = 3.075 - 2.313 \times 10^{-4} S^{2.915}$ ^[7]。盐度(S)对鲢、鳙鱼苗的日平均生长速度(V , mm/d)及对草、鲢鱼胚胎的影响主要为: 盐度与鲢、鳙鱼苗的日平均生长速度呈负相关关系(鲢: $V = 0.43 - 0.03S$; 鳙: $V = 0.65 - 0.05S$); 盐度(S)与草、鲢鱼卵

收稿日期: 1998-12-21

* 本文为国家“七五”攻关专题 96-008-04-01 和国家杰出青年科学基金(39725023)资助

① 王世雄. 低洼盐碱地池塘养鱼高产高效技术研究. 山东省淡水水产研究所. 1995, 9

粒径(d , mm)也呈负相关(草鱼 $d = 6.36 - 0.37S$; 鲢: $d = 5.39 - 0.23S$), 且当盐度 $S > 3$ 时, 产生滞育或畸形^[2]。盐度对草鱼的耗氧及血浆电解质也有影响, 当盐度从淡水增至 10.9 时, 其耗氧率则从 0.16 mg/(g·h) 降至 0.11 mg/(g·h); 周围环境盐度 > 6.6 时, 其血浆电解质(Na^+ 、 Cl^- 等)浓度稍有升高; 在盐度 10.9 的环境中, 其血浆电解质浓度失去控制^[17]。盐度对尼罗非鲫幼鱼渗透压调节及耗氧率都有一定的影响, 盐度变化可导致尼罗非鲫幼鱼鳃小瓣上的泌氯细胞作相应的功能和组织改变, 如出现氯细胞增大和具高度活性琥珀酸脱氢酶的线粒体数量增多等结构变化^[8]; 盐度为 17 时其耗氧率达最高值^[18]。养殖种类经过盐度驯化对盐度的适应性会有所提高, 即生物适应环境的能力可受到环境的影响而有所强化^[2], 如草鱼经过驯化, 从盐度 3~5 及 7、9 驯化适应后, 其 24 h LC_{50} 值可从 14.2、14.0 升至 16^[14], 盐度对鲤能量收支的影响为: 盐度(淡水, 3, 5, 7, 9)对最大摄食率、特定生长率(GR)和转化效率均有显著影响; 盐度对排出废物能所占比例(E/C)影响不显著, 但对代谢能所占比例(R/C)和生长能所占比例(G/C)有显著影响, 且盐度为 5 时(27℃)幼鲤能量分配最佳^[6]。河南省水产研究所的研究认为“在盐、碱度高于 3 mmol/L 水体中, 多数鱼类能正常生长, 饲料利用率高”^②。

2.3 pH 与盐度的共同作用

正常盐度范围低 pH、正常盐度范围高 pH 及高盐度高 pH 环境下对养殖对象都有一定毒性影响, 且可能有协同作用。如: pH 与鲢鳙鱼种对盐度的 LC_{50} 呈负相关。24、48、96 h 时二者的相关关系分别为: 鲢: $S_{24} = 39.75 - 3.78 \text{ pH}$, $S_{48} = 31.18 - 2.89 \text{ pH}$, $S_{96} = 23.18 - 2.06 \text{ pH}$; 鳙: $S_{24} = 49.25 - 4.78 \text{ pH}$, $S_{48} = 44.24 - 4.35 \text{ pH}$, $S_{96} = 38.58 - 3.69 \text{ pH}$ 。且盐度 S 与 pH 之间毒性作用相互影响, 当 pH 与 S 各达一定值时, 两者对鱼的毒性互有加强作用。当 pH 较高(9.5~10.0), S 为 4.5~8 时鲢就会出现狂游、惊跳、浮头、鳃及体表迅速分泌大量粘液等症状^[2]。pH 及盐度对斑节对虾成活、生长和渗透压的影响表现为: 盐度为 32 时, 96 h LC_{50} 的 pH 为 3.7; 盐度为 30 时为 5.9。随着盐度和 pH 的增加, 斑节对虾的生长受到抑制, 盐度和 pH 的交互效应显著($P < 0.05$)^[19]。

2.4 pH 与碱度的共同作用

关于碱度对鱼类的致毒作用, Mitchum D L^[20]曾研究过碳酸盐等化学物质对虹鳟的毒性作用; Galat D L 等人^[16]对生活在不同盐碱湖泊的褐色鲢等的鳃、肝脏和肾脏进行了研究, 其组织病理学变化主要为: 鳃上皮分离或裂解、氯细胞增生或肥大; 肾小球隆起及肾小球或造血组织中出现无色透明小滴。而国内一些学者分别就高 pH、高碱度的碳酸盐型(自来水作稀释水)和氯化物型盐碱水对常见淡水养殖种类作了研究。如雷衍之等^[1]研究得出鲢 24 h pH 的 LC_{50} 值与碱度

(A)的相关关系为: $\text{pH}_{24} = (10.00 \pm 0.038) - (0.0149 \pm 0.0007)A$, 并认为碱度致毒是综合作用, 除主要因子 CO_3^{2-} 外, 不同 pH 区间还有 OH^- 、 CO_3^{2-} 和盐度等因子起协同作用; 此外还得到不同 pH 下鲢对碱度的 24、48 h TLM 值(表 1); 研究了在高 pH、高碱度($\text{pH} = 9.42$, $\text{Alk} = 41.6 \text{ mmol/L}$)情形下鱼类的动态和症状, 主要表现为: 鲢、鳙、草鱼急游冲撞, 迅速翻白上浮, 体表分泌大量粘液, 鳃部出血, 很快死亡; 而尼罗非鲫在 $\text{pH} = 9.62$, $\text{Alk} = 48.2 \text{ mmol/L}$ 的水中先急游一阵, 然后平静卧底, 可保持平衡。由此可见, 尼罗非鲫的耐高 pH 和高碱度的能力较鲢、鳙和草鱼强。

2.5 盐度与碱度的共同作用

盐碱水的影响是高 pH、高盐度、高碱度的综合作用。史为良^[3]采用浓缩达里湖(碳酸盐型半咸水湖)湖水($\text{pH} = 9.4$ 左右, $\text{Alk} = 44.5 \text{ mmol/L}$, $S = 5.5$)的方法进行毒性试验, 得出麦穗鱼、雅罗鱼、鲫的 12、24、48 和 96 h 及鳊鱼的 48、96 h 的半致死碱度(表 1), 几种鱼类耐碱能力大致为: 鳊鱼 $>$ 雅罗鱼、麦穗鱼 $>$ 鲫。高盐碱高 pH 盐碱水对鱼类的慢性毒性影响有共同特征, 即烂鳍、瞎眼、肌肉溃瘍和坏疽, 产生“碱病”(即原纤维腐蚀和坏死)^[13]。

2.6 其它因子对 pH、盐度、碱度毒性的影响

国内外学者在研究能量学、生态生理学等方面, 就 pH、盐度、碱度和与其它因子进行正交试验, 研究了其对养殖种类生长、耗氧率、饲料利用率及致死率等方面的协同作用。如 Ca^{2+} 浓度(38.8, 61.1, 78.86 mg/L)和 pH(6.5, 7.5, 8.5)对日本沼虾(*M. nipponense*)的生长和能量收支有一定影响, pH 和 Ca^{2+} 对其生长有一定的交互作用, 其作用机制是影响其能量摄入量^[5]。温度与盐度对淡水沼虾呼吸需要量也有影响, 温度为 20℃ 时, 呼吸率常用对数值 Y 与其体重常用对数值 W 的回归关系为: $S = 0$ 时, $Y = 5.7611 - 0.8529W$; $S = 10$ 时, $Y = 5.1787 - 0.8019W$; $S = 20$ 时, $Y = 5.1132 - 0.7036W$ ^[12]。酸性和中性水中($\text{pH} = 4.0 \sim 4.2, 7.0$), 温度(18, 20, 24, 26, 30℃)对鲤幼鱼存活和耗氧率的影响为: 在 pH 为 4.1, 水温在 18~26℃ 范围内, 随着温度的升高, 幼鱼的死亡率增加; pH 4.0 时较 pH 7.0 时的耗氧率略低; 低 pH 造成的呼吸损害可能是鲤幼鱼致死的原因之一^[15]。温度(24, 28, 32℃)与盐度(0, 8, 12, 16)对尼罗非鲫幼鱼生长和饲料利用率的影响表明, 温度、盐度及其相互作用均显著($P < 0.05$); 饲料转化率和蛋白质效率比率在 32℃, 盐度为 8 时最高, 在 28℃, 盐度为 16 时最低; 无论何种盐度, 随着温度的升高, 生物的生长均增加^[16]。

3 盐碱池塘水质指标及生产上应注意的问题

臧维玲等^[2]研究得出, 耐盐能力最差的鲢鱼种的安全盐度为 1.51($\text{pH} = 8.98$), 并参照日本和美国的渔业水质标准, 建议我国淡水渔业用水的盐度指标 NaCl 含量可定为盐度 ≤ 1.5 。湛江水产专科学校^[21]研究认为, 碱度和 pH 密切相关, 碱度过低会限制水域鱼产力, 养鱼池碱度最好在 1~3

②河南省水产研究所沿黄背河盐碱洼地生态渔业开发技术研究. 1995, 6

mmol/L。雷衍之等^[1]根据碳酸盐型盐碱水对鲢的毒性研究认为 10 mmol/L 可作为一般养鱼用水碱度的危险指标,此值现已常作为生产上判别鱼类“碱病”的依据之一。对盐碱池水化学指标周期变动常年监测的结果表明,盐碱池水 pH 可达 9.0 以上,总碱度可达 5~6 mmol/L 以上,盐度可达 3~4 以上。所以盐碱池塘养殖中仍应严加注意水质淡化和控制

pH 的上升,如:可在开塘后、养鱼前尽量以淡水浸泡、冲洗池塘,并在塘坡与塘埂植被,以熟化、固定土质,防止盐分上提^[2]。在养殖过程中,应经常排老水换注新水;同时,向池塘施酸性有机肥作基肥以降低 pH。另外,在鱼种放养之前,宜加强驯化,以提高其耐盐碱能力,增强其适应性。

表 1 常见淡水养殖种类不同时间下的 pH、盐度、碱度的半耐受极限值(TLm)

Table 1 TLm of pH, salinity and alkalinity of freshwater cultured species

影响因素 factors	养殖种类 species	TLm 值 TLm values				主要实验条件 main conditions	参考文献 reference
		24 h	48 h	72 h	96 h		
盐度 salinity	鲢/鳊 <i>H. molitrix</i> / <i>A. nobilis</i>	13.56/16.59	10.79/14.60		8.60/13.05	pH=7.00	2
		11.14/13.20	9.22/11.84		7.32/10.50	pH=7.58	2
		9.55/10.80	8.06/9.94		6.50/9.06	pH=8.00	2
		7.90/8.30	7.10/7.80		6.30/7.22	pH=8.46	2
		6.82/6.91	6.23/6.30		5.62/6.02	pH=8.70	2
		5.60/5.65	5.40/5.45		5.02/5.06	pH=8.98	2
		4.10/4.32	3.83/4.00		3.71/3.93	pH=9.45	2
		2.50/3.00	2.33/2.40		2.24/2.32	pH=9.90	2
	鲢	14					①
	<i>H. molitrix</i>	51.5					
	尼罗非鲫 <i>O. niloticus</i>	34.0					①
	罗氏沼虾 <i>M. rosenbergi</i>	18.6					①
	鲫 <i>C. auratus</i>	17.0					①
	淡水白鲳 <i>C. brachypomum</i>	15.6					①
鲤 <i>C. carpio</i>	14.7					①	
碱度 /(mmol·L ⁻¹) Alk	草鱼 <i>C. idellus</i>	109	109	105	105	pH=8.30	1
	鲢 <i>H. molitrix</i>	95.0	91.7	90.0	76.7	pH=8.74	1
		59.5	59.5	52.3	52.3	pH=9.23	1
		44.3	42.5	40.0	38.9	pH=9.40	1
		29.9	26.5	24.1	21.1	pH=9.57	1
		50.5				pH=9.2	①
	50.5				pH=9.2	①	
	草鱼 <i>C. idella</i>	82.2	77.6			pH=8.65	1
		65.7	53.0		34.0	pH=9.14	1
	鳊 <i>A. nobilis</i>	78.8	74.5		72.2	pH=9.30, S=5.5	
	麦穗鱼 <i>P. parva</i>	78.8	73.9		69.2	pH=9.30, S=5.5	3
	雅罗鱼 <i>L. waleckii</i>	73.9	73.9		72.2	pH=9.30, S=5.5	3
	鲫 <i>C. auratus</i>	73.5				pH=9.2	①
			99.9		99.9	pH=9.30, S=5.5	3
	鳊鱼 <i>G. przewalskii</i>	67.5				pH=9.2	①
	尼罗非鲫 <i>O. niloticus</i>	56.5				pH=9.2	①
	鲤 <i>C. carpio</i>	40.0				pH=9.2	①
	淡水白鲳 <i>C. brachypomum</i>	9.64	9.62	9.54	9.38	Alk=15.8	1
	pH	鲢 <i>H. molitrix</i>	10.14	10.10	9.84		Alk=8.3

4 盐碱致毒作用研究的现状和发展趋势

目前盐碱毒性试验主要采用不换水式或部分换水式^①(如每隔 24 h 换一部分试液^[12,18];试验用水及稀释用水有自来水^[1,2]、海水^[9-11]、盐碱水^③等。直接用盐碱水(蒸发或稀释)作毒性研究^[3],能比较近似地模拟盐碱池塘中生态条件,反映现实情形,对生产和应用有较强的可操作性。但是

由于用蒸发盐碱水提高盐碱度的方法对于大规模的毒性实验显得烦琐且不实际,所以近年一些学者采取用盐碱水作稀释用水,用化学试剂按一定配比添加或直接加入 NaCl、NaHCO₃ 和 Na₂CO₃ 等方法进行模拟^①。70 年代前后试验数据(LC₅₀或 TLm)处理大多采用直线内插法^{①[1-3]},很不精确。90 年代以来,随着计算机(器)等技术、手段的发展和应用,多采用概率单位法、图解法、移动平均角法等较精确的方法,这

样对一些毒性阈值极低的毒物能如实反映。有关盐碱对养殖种类毒性的生理、生化等指标的研究主要集中表现在对生长、胚胎发育、存活率、耗氧率、血浆中电解质浓度、体表、鳃、鳍、眼、肌肉、肾脏、肝脏组织等方面^[1-3, 12, 14, 22, 23]。此类指标中有关碳酸盐水的研究较多, 关于氯化物型盐碱水的研究相对较少, 且有关毒理方面的分析不够深入, 仅停留在光谱水平及组织器官水平, 若能用扫描、透射电镜及其它技术手段对鳃、肌肉、内脏及血液中的成分等进行细胞和分子水平的深入研究, 将其生态和生理特性结合起来, 则可望能阐明 pH、盐度、碱度对养殖对象的毒性及其毒理。

参 考 文 献

- 1 雷衍之, 董双林, 沈成钢. 碳酸盐碱度对鱼类毒性作用的研究. 水产学报, 1985, 9(2): 171~183
- 2 臧维玲, 王 武, 叶 林, 等. 盐度对淡水鱼类的毒性效应. 海洋与湖沼, 1989, 20(5): 445~452
- 3 史为良. 我国某些鱼类对达里湖碳酸盐型半咸水的适应能力. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 359~369
- 4 张礼善. 青草鲢对氢离子浓度的适应性. 水生生物集刊. 1960 (2): 134~144
- 5 董双林, 堵南山, 赖 伟. pH 和 Ca^{2+} 浓度对日本沼虾生长和能量收支的影响. 水产学报, 1994, 18(2): 118~123
- 6 邱德依, 秦克静. 盐度对鲤能量收支的影响. 水产学报, 1995, 19 (1): 35~42
- 7 郑述河. 河口地区盐度对罗氏沼虾生长的影响. 齐鲁渔业, 1993, 44(1): 24~29
- 8 叶婉初, 陈大刚, 马 琳. 尼罗罗非鱼幼鱼渗透压调节的初步研究. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(2): 88~98
- 9 Chervinski J. Salinity tolerance of the mosquito fish, *Gambusia affinis* (Baird and Girard). J Fish Biol, 1983, 22: 9~11
- 10 Chervinski J. Salinity tolerance of the guppy, *Poecilia reticulata* Peters. J Fish Biol, 1984, 24: 449~425
- 11 Chervinski J. Salinity tolerance of young catfish, *Clarias lazera* (Burchell). J Fish Biol, 1984, 25: 147~149
- 12 Gasca-Leyva J F E, Martinez-Palacios C A, Ross L G. The respiratory requirements of *Macrobrachium acanthurus* (Weiman) at different temperatures and salinities. Aquaculture, 1991, 93: 191~197
- 13 Kilamba R V. Food consumption, growth and survival of grass carp *Ctenopharyngodon idella* Val at four salinities. J Fish Biol, 1980, 17: 613~618
- 14 Kilamba R V, Zlink A. The effects of acclimation on the salinity tolerance of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Cuv. and Val.). J Fish Biol, 1980, 16: 171~175
- 15 Korwin-Kossakowski M, Jezierska B. The effect of temperature on survival of carp fry, *Cyprinus carpio* L, in acidic water. J Fish Biol, 1985, 26: 43~47
- 16 Likongwe J S, Stecko T D, Stauffer J R, et al. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). Aquaculture, 1996, 146: 37~46
- 17 Lee C L, Fielder D R. The effect of salinity and temperature on the larval development of the freshwater prawn, *Macrobrachium australiense* Holthuis, 1950 from south eastern Queensland, Australia. Aquaculture, 1981, 26: 167~172
- 18 De Silva C D, Premawansa S, Keembiyehetty C N. Oxygen consumption in *Oreochromis niloticus* (L.) in relation to development, salinity, temperature and time of day. J Fish Biol, 1986, 29: 267~277
- 19 Allan G L, Maguire G B. Effects of pH and salinity on survival, growth and osmoregulation in *Penaeus monodon* Fabricius. Aquaculture, 1992, 107: 33~47
- 20 Maceina M J, Nordlie FG, et al. The influence of salinity on oxygen consumption and plasma electrolytes in grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. J Fish Biol, 1980, 16: 613~619
- 21 湛江水产专科学校主编. 淡水养殖水化学. 北京: 农业出版社, 1980. 41~42
- 22 张甫英, 李辛夫. 低 pH 值对鱼类胚胎发育、鱼苗生长及鳃组织损伤影响的研究. 水生生物学报, 1992, 16(2): 175~182
- 23 Galat D L, Post G, Keefe T J, et al. Histological changes in the gill, kidney and liver of Lahontan cutthroat trout, *Salmo clarki henshawi*, living in lakes of different salinity-alkalinity. J Fish Biol, 1985, 27: 533~552