

Cu²⁺ 对金鱼摄食行为的抑制^①

柴敏娟 吴鼎勋 黄玉霖

(厦门大学海洋学系 厦门 361005)

摘要 研究四种不同浓度 Cu²⁺ 对金鱼摄食行为、学习和记忆能力的影响,及摘除嗅囊后摄食行为的改变,探讨其中毒的机理.实验结果:1)不同浓度 Cu²⁺ 液对金鱼摄食行为呈抑制效应,抑制的程度随 Cu²⁺ 浓度的增加而加深,表现为首次撞击食球的时间(下简称首次撞击时间)随着中毒的加深而推迟,摄食的频率亦随之降低.反映了中毒鱼学习记忆的能力都随着 Cu²⁺ 浓度的增加而减弱;2)中毒鱼体重增长率随 Cu²⁺ 浓度的增加而减少,甚至呈现负增长现象;3)摘除嗅囊鱼的摄食频率仅为正常的 1/2,学习和记忆的能力也较差.

关键词 金鱼, Cu²⁺, 摄食行为, 抑制

中国图书分类号 X 503.225

自 60 年代以来,鱼类摄食行为的研究更加深入广泛,从实验方法的设计^[1,2]、各种刺激物的效应^[1,3],及不同生长期的需求^[4,5]等多方面进行了探讨,推动了经济鱼类的人工繁殖和培育,使摄食行为成为渔业养殖上一个必不可少的观察指标.随着近代水质污染日趋严重,国外少数学者开始重视在污染条件下,鱼类摄食行为变化的研究^[6],国内这类报道鲜见.本文以鱼类化学感受器是鉴别周围化学噪音本底的重要结构为依据,以摄食行为为指标,观察 15 d 实验中,不同浓度 Cu²⁺ 对金鱼摄食行为、学习记忆能力的影响,比较摘除嗅囊的鱼与正常鱼摄食行为的变化,探讨 Cu²⁺ 的抑制机理.

1 材料和方法

实验用 60 尾金鱼 (*Cara ssius auratus* L) 购自市场,体重 19.8~21.9 g,雌雄不拘,暂养于室内水槽,实验用水为去 Cl 自来水,水温 15±1.1℃.

1.1 Cu²⁺ 对摄食行为的抑制

每批用鱼 20 尾,分成 5 组,其中 1 组为对照组.各组每尾鱼平均体重 20.4±0.6 g.在观察正常摄食行为后,分别置于含 0.1, 0.4, 0.8, 1.2 mg/L CuSO₄ 配制的污染液中, pH 为 5.5~6.0.实验装置和方法均同前文^[7].

1.2 手术鱼与正常鱼摄食行为的比较

取鱼 5 尾.手术时用湿纱布包裹鱼体,在前后鼻孔间剪开暴露嗅囊,用脑勺将其整个摘除,止血后速放回水中暂养.半个月后,待鱼恢复正常摄食后开始实验.实验分正常和手术两组,每组 4 尾,实验的水温、饲料、投饵量均相同.实验方法同前.

① 本文 1996-06-04 收到; 福建省自然科学基金资助项目

2 实验结果

2.1 Cu^{2+} 对摄食行为的抑制

Cu^{2+} 对摄食行为的影响

可首先反映在鱼首次撞击时间的变化上. 首次撞球是鱼经寻找、探索、发现食物源后, 摄取的第一步. 该期间的长短与其学习记忆的能力有关. 当鱼每天经 30 min 的学习训练后记忆能力增加, 很易找到食物源, 使首次撞击时间逐渐缩短. 由图 1 可示, 正常鱼实验初期的首次撞击时间为 42 s, 经过学习记忆训练, 第 3 天缩短为 20 s 之后基本维持在 18 s (见图 1 N 线). 在实验初期, 各试验组鱼的撞击时间因个体差异而呈无规律, 但自第 6 天起, 三条试验组曲线逐渐排列有序, 0.1 mg/L 组位于最下方, 接近正常组, 0.8 mg/L

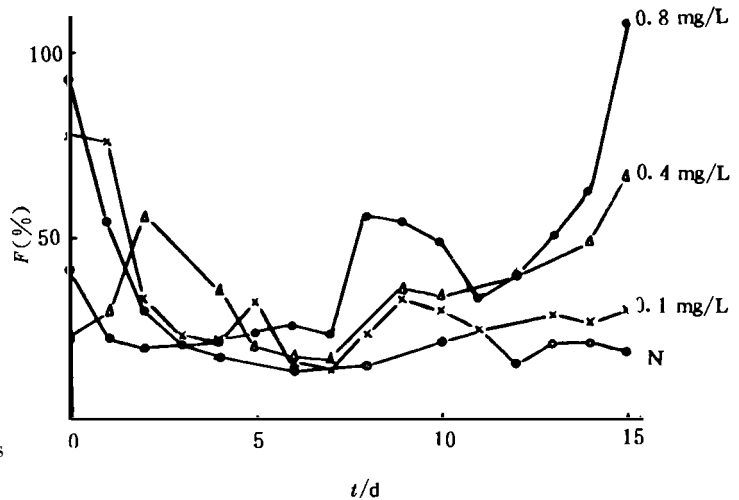


图 1 不同浓度 Cu^{2+} 液中鱼首次撞球时间的变化

其中: 纵坐标为首次撞球时间; 横坐标为中毒时间

Fig. 1 Changes of the first striking time in different concentration of Cu^{2+}

组在最上方, 这三组在第 15 天的首次撞击时间分别依次为 25 s、60 s、110 s (图 1), 可见撞击时间是随 Cu^{2+} 浓度的增加推迟, 浓度越大, 时间越推迟, 反映中毒鱼的学习记忆能力较低. 尤其引人注目的是 1.2 mg/L 组鱼的摄食行为, 它们甚至从接毒的第 3 天起就再未触球, 即便游到食球周围, 也仅绕之一周而远避. 提示 Cu^{2+} 有明显的抑制作用. 若与 Zn^{2+} 对该种鱼摄食行为的影响相比^[7], Cu^{2+} 效果更为显著. 此现象与它们抑制呼吸运动和 EOG 反应的观察结果相吻合^[8-9].

Cu^{2+} 对鱼摄食行为的影响也反映在摄食频率上. 以正常鱼的平均摄食频率为 100%, 观察比较中毒鱼摄食频率的变化 (图 2 a). 在 15 d 中, 正常鱼的频率基本在 100% 上下波动, 试验组鱼则随 Cu^{2+} 浓度的增加, 频率明显下降, 进一步说明 Cu^{2+} 对鱼摄食行为有强烈的抑制作用. 将第 15 天鱼的摄食频率和 Cu^{2+} 浓度的有关数据, 经相关和回归分析, 拟合成一元线性回归方程:

$$y = 0.245 \log x + 1.22 \quad (r = 0.96, n = 5)$$

式中 y 为频率下降%, x 为 Cu^{2+} 浓度, 两者呈对数函数关系. 图 2 b 直线为该方程图, 黑点为实验数据. 从图可示, Cu^{2+} 的有效 IC_{50} 值 (摄食频率下降 50% 的浓度) 为 0.105 mg/L, 引起摄食频率变化的阈值为 $8 \mu\text{g/L}$, 均低于 Zn^{2+} (53.7 mg/L 和 $933.3 \mu\text{g/L}$)^[9], 提供 Cu^{2+} 毒性 > Zn^{2+} 的又一佐证.

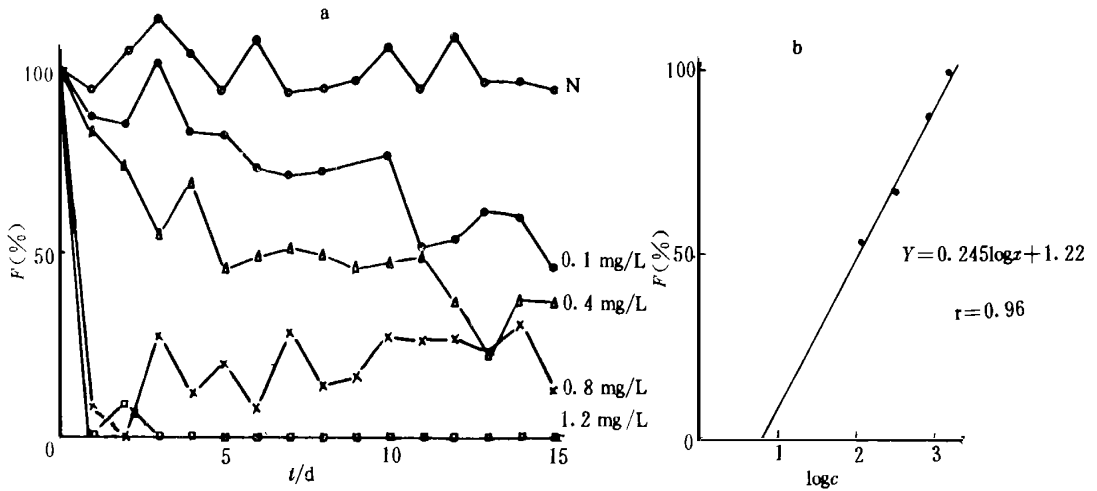


图 2 不同浓度 Cu²⁺ 对摄食频率的抑制

a. 频率变化; b. 一元直线回归方程. 其中 F 为摄食频率; C 为 Cu²⁺ 浓度

Fig. 2 The inhibitions of different concentration Cu²⁺ on feeding frequency

表 1 实验期鱼体重增长状况

Tab. 1 The increment of fish weight during experiment

序号	1	2	3	4	5
Cu ²⁺ 浓度	0	0.1	0.4	0.8	1.2
原平均体重 (g)	19.88	20.35	20.75	21.08	20.38
15 d 后平均体重 (g)	22.40	22.08	22.75	22.25	19.44
净增重 (g)	± 2.32	± 1.97	± 2.0	± 1.17	- 0.44
增加 (%)	+ 11.7	+ 9.5	+ 9.6	+ 5.6	- 2.06

2.2 手术鱼与正常鱼的比较

整个实验期中, 正常鱼首次撞击时间明显缩短, 从第 11 天起, 基本保持在供食球后 1~ 2 s (图 3 虚线 N 所示), 手术鱼的首次撞击时间虽最终也呈缩短趋势, 但其变化十分无规律 (图 3 虚线 D 所示), 其时间基本是正常鱼的 3~ 5 倍. 并且, 手术鱼的摄食频率仅约为正常鱼的 1/2 (图 3 实线 D), 反映手术鱼的摄食状况不如正常鱼, 说明摘除嗅囊鱼的摄食和学习记忆能力均低于正常. 提示本实验中, 金鱼的摄食行为主要由嗅感受器接受刺激而反射性地引起的.

3 讨论

鱼类的摄食行为是一个复杂过程, 它包括从环境获得存在食物的信息, 寻找、探索、发现、摄取食物等过程, 它涉及嗅、视、听、侧线和电感觉在内的距离感受器及味觉. 由于在多数鱼类中, 嗅觉具有最大的作用距离, 能灵敏地感受水中化学噪音的变化, 使它在鱼类行为中起着决策性的作用^[11]. 当摘除嗅囊后, 鱼丧失嗅觉功能, 学习记忆的训练受阻, 故首次撞击时间远比正常鱼长, 摄食频率也仅为正常鱼的 1/2. 证明嗅觉功能对鱼的摄食行为具有特殊的作用.

鱼类嗅觉器官外无防御装置, 内无解毒机制, 直接暴露于水中, 容易让外界因子通过, 也最易受到损伤. 当鱼浸浴在不同浓度的 Cu^{2+} 中, 由于 Cu^{2+} 可被嗅感受细胞膜上的配位束缚, 易作用于表面位点, 故对其细胞膜的转换机制具毒性效应^[12], 影响 EOG 振幅, 降低了鱼的嗅觉灵敏度, 致使产生上行信息传递的神经冲动的阈值增高, 使染毒鱼的摄食行为迟钝, 这可能是 Cu^{2+} 抑制摄食的一个原因. 其二是有效剂量的 Cu^{2+} 破坏嗅感受器, 笔者曾观察过置于 (0.01~0.1 mg/L) CuSO_4 液一个月的罗非鱼嗅囊的组织

切片, 发现嗅感受器遭受破坏, 破坏程度随 Cu^{2+} 浓度而异, 浓度越高破坏越严重, 组织结构的损伤导致摄食功能的低下. 其三, 摄食过程也与味觉有关, 味觉能决定鱼体是否吞食. 当鱼置于 CuSO_4 液中, 味觉细胞的胞质几乎逐出, 呈现一片空泡的现象^[13], 味感受器的破坏影响了鱼的食欲, 这是 Cu^{2+} 抑制摄食行为的一个原因. 有报导指出^[14], Cu^{2+} 在消化道内有凝固蛋白质和腐蚀作用, 可引起严重的肠胃炎. 笔者曾仔细观察水槽中的排泄物量的变化, 发现 Cu^{2+} 浓度越高, 槽内排泄物越多, 反映鱼体消化不良的状况. 从 15 d 后鱼体重亦随 Cu^{2+} 浓度增加而明显减少的事实, 证明了这一观点, 这是 Cu^{2+} 抑制摄食的第四个原因. 除外还可能与肝功能的障碍、酶的活性改变等有关. 由于 Cu^{2+} 能从多方而影响鱼体, 故起着抑制摄食行为的作用.

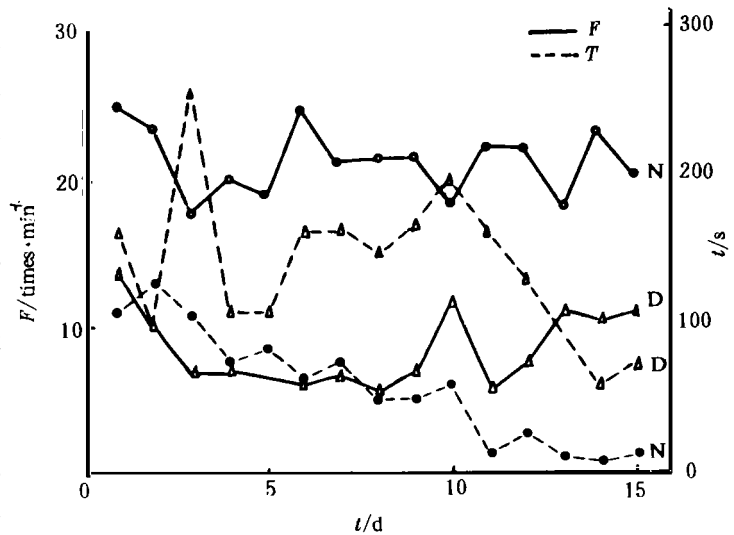


图 3 手术鱼和正常鱼摄食频率和首次撞球时间的比较

Fig 3 The comparisons of feeding frequency and the time of first striking between operated and normal fish

参 考 文 献

- 1 Carr W E S. Chemical stimulation of feeding behavior. In *Chemoreception in Fishes*. Ed Hara T J. Amsterdam, Oxford New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982: 259~273
- 2 Hilaka I. Taste receptor stimulation and feeding behavior in the puffer. In *Chemoreception in Fishes*. Ed Hara T J. Amsterdam, Oxford New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982: 243~257
- 3 Goh Y, Tamura T. Effect of amino acids on the feeding behavior in Red Sea bream. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1980, 66c: 225~229
- 4 Morita K et al. Effect of carboxy methylcellulose supplemented to dextrin-containing diets on the growth and feed efficiency of Red Sea bream. *Bull. Jap. Soc. Fish.*, 1982, 48(11): 1617~1620
- 5 Sakamoto S, Yone Y. Effect of dietary calcium phosphorus ratio upon growth, feeding efficiency, and blood serum Ca and pH level in Red Sea bream. *Bull. Jap. Soc. Fish.*, 1973, 39(4): 343~349

- 6 Kam chen R, Hare T J. Behavioral reactions of whitefish (*Coregous clupeaformis*) to food extraction to sublethal toxicity bioassay. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat Sci.*, 1980, 975: 162- 191
- 7 柴敏娟等. Zn^{2+} 对金鱼摄食行为影响的研究. 厦门大学学报(自然科学版), 1995, 34(3): 426- 429
- 8 柴敏娟等. Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 对罗非鱼鳃盖运动的影响. 台湾海峡, 1994, 13(1): 22- 25
- 9 柴敏娟等. 重金属 (Cu^{2+} 、 Zn^{2+}) 对罗非鱼嗅电图反应的影响. 厦门大学学报(自然科学版), 1966, 35(1): 94 ~ 99
- 10 周永欣等. 铜对大鳞泥鳅幼鱼的毒性. 水生生物学报, 1993, 17: 204- 245
- 11 Hara T. J. Olfaction in fish. Ed. Kerut G A, Phillis JW. In *Progress in Neurobiology*, Oxford: Pergamon Press, 1975: 271- 335
- 12 Winberg S, Bjerselius R, Baatrup E, Doving B. The effect of Cu(II) on the electro-olfactogram (EOG) of the atlantic salmon (*Salmo salar L.*) in artificial freshwater of varying inorganic carbon concentrations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1992, 24: 167- 178
- 13 姜礼燧. 几种重金属对鱼类感受器味蕾的渗透影响. 环境科学, 1989, 10(3): 29- 32
- 14 朱倍蕾. 动物毒理学. 上海: 上海科技出版社, 1989: 246- 248

Inhibition of Cu^{2+} on Goldfish Feeding Behavior

Chai M injuan Wu Dingxun Huang Yulin
(Dept of Ocean. Xiamen Univ., Xiamen 361005)

Abstract The effects of Cu^{2+} on the feeding behavior, ability of learning and memory of goldfish are studied, and the changes of feeding behavior and ability of learning and memory are investigated after the olfactory organ of fish was excised. The results are as follows: 1) the feeding behavior of fish is inhibited by different concentration of Cu^{2+} , the degree of inhibition increases with the increase in Cu^{2+} concentration while the ability of learning and memory decrease; 2) during the whole experiment period, the weight of normal fish increased while the weight of poisoned fish did not. In some case the weight of poisoned fish increased negatively; 3) the feeding frequency of operative fish are lower than that of normal fish. The probable poisoning mechanisms are also discussed.

Key words Goldfish, Cu^{2+} , The feeding behavior, Inhibition