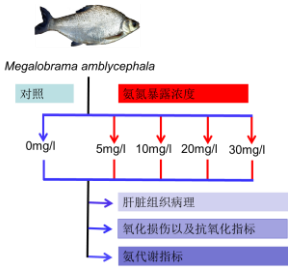


郭红会¹、林旺¹、吴雪阳¹、汪凌凯¹、张丹丹¹、李莉^{1,2,3,*}、李大鹏^{1,2,3}、汤蓉^{1,2,3}、杨丽萍¹、邱裕明¹
¹华中农业大学水产学院, 湖北武汉 430070; ²湖北省池塘养殖工程实验室, 湖北武汉 430070; ³国家水产养殖实验教育示范中心(华中农业大学), 湖北武汉 430070

摘要: 探讨环境浓度氨氮 (0, 5, 10, 20, 30 mg/L 总氨氮) 胁迫下, 团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 生存和防御策略。

实验结果显示: 随着氨氮水平的增加, 肝脏丙二醛 (MDA) 和蛋白羰基化 (PC) 水平以及组织病变均增加, 表明慢性氨暴露引起鱼肝脏氧化应激和损伤; 同时, 随着暴露氨氮浓度的增加, 肝脏总超氧化物歧化酶 (T-SOD)、过氧化物酶 (CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GPx)、谷胱甘肽还原酶 (GR) 和葡萄糖-6-磷酸脱氢酶 (G6PD) 以及铜/锌超氧化物歧化酶 (CuZn-SOD) 活力以及相关基因表达水平显著升高 ($P < 0.05$), 谷胱甘肽 (GSH) 和还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸 (NADPH) 水平显著下降 ($P < 0.05$)。这些结果表明, 团头鲂通过增强肝脏抗氧化反应, 减轻氨氮诱导的氧化损伤, 且低浓度氨氮仅提高SOD-CAT-GR-G6PDH防御, 高浓度氨提高SOD-CAT-GPx-GSH-GR-G6PDH抗氧化反应。此外, 随着氨氮浓度的升高, 肝脏氨氮、尿素、谷氨酰胺、精氨酸酶、谷氨酰胺合成酶以及血清尿素均显著升高 ($P < 0.05$), 而血清氨氮水平维持稳定 ($P > 0.05$)。综上所述, 长期氨氮暴露下, 团头鲂可以通过增强肝脏抗氧化反应以及尿素和谷氨酰胺合成抵御环境氨毒性。

实验设计

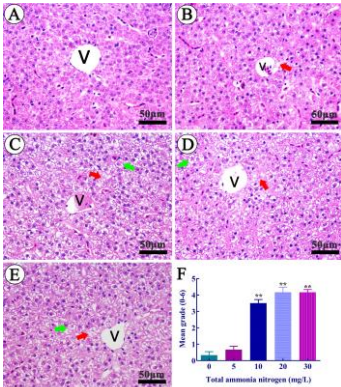


结果与分析

1. 氨氮胁迫对团头鲂死亡和行为影响

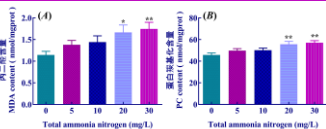
实验过程中, 只在20和30 mg/L 氨氮暴露组各出现一尾死鱼。行为反应方面: 低浓度氨暴露导致鱼出现轻度不安, 1天后恢复正常游泳活动。高氨氮浓度组(20和30 mg/L)中, 鱼表现出不安、疯狂游动、喜聚集在鱼缸底部, 1周后恢复正常游泳。

2. 氨氮对团头鲂肝脏组织影响



氨氮暴露导致肝脏组织细胞出现空泡化 (红色箭头) 和细胞水肿 (绿色箭头)。半定量结果显示: 高浓度氨氮 (大于10 mg/L) 胁迫导致肝脏出现显著病理变化 ($P < 0.05$)。结果说明氨氮暴露造成一定程度的组织损伤。

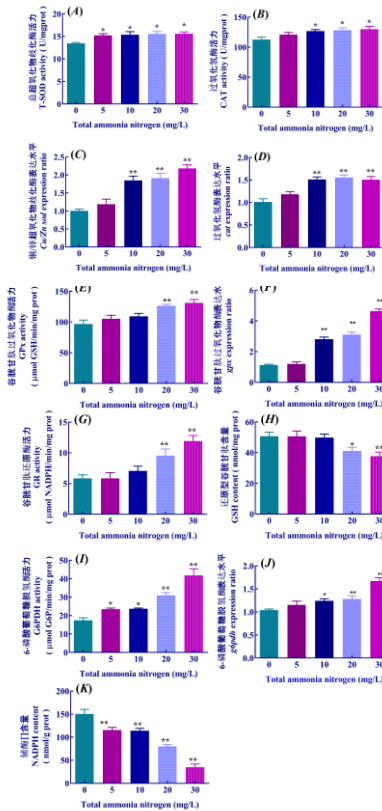
3. 氨氮对氧化应激指标影响



与对照组相比, **和*** 分别表示显著差异 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 。

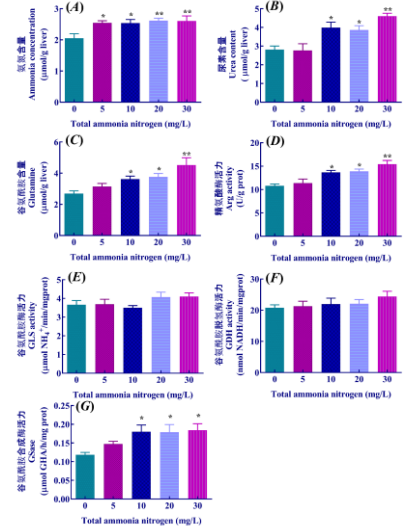
氨氮暴露导致肝脏丙二醛和蛋白羰基化水平呈现浓度依赖性升高, 表明氨氮造成肝脏氧化应激。

4. 氨氮对抗氧化指标影响



氨氮暴露导致抗氧化酶活力以及相关基因转录水平显著升高 ($P < 0.05$), 而抗氧化物谷胱甘肽 (GSH) 和辅酶 II (NADPH) 含量显著下降 ($P < 0.05$)。结果表明氨氮暴露下, 团头鲂可增强抗氧化系统抵御氨氮胁迫。

5. 氨氮对肝脏氨解毒途径影响



氨氮暴露下, 团头鲂血清中氨氮浓度保持稳定, 但是肝脏中氨氮浓度显著升高 ($P < 0.05$)。同时, 肝脏尿素和谷氨酰胺相关合成酶活力显著升高 ($P < 0.05$), 肝脏尿素和谷氨酰胺以及血清尿素水平显著升高 ($P < 0.05$), 表明团头鲂可以有效将氨转化为尿素和谷氨酰胺。

慢性氨暴露对团头鲂血清氨和尿素水平的影响

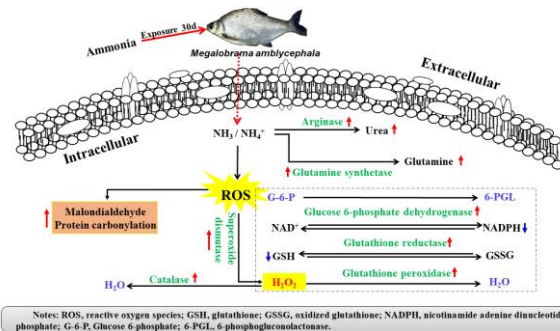
指标	总氨氮浓度 (mg/L)				
	0	5	10	20	30
氨氮 (nmol/mL)	508.01 ± 5.53	506.78 ± 7.16	502.98 ± 11.65	498.28 ± 8.40	501.12 ± 11.19
尿素 (μmol/mL)	3.70 ± 0.07	4.49 ± 0.12**	4.62 ± 0.11**	4.80 ± 0.11**	4.83 ± 0.11**

研究结论

1. 氨氮胁迫下, 团头鲂通过增强肝脏的抗氧化反应系统以减轻氨诱导的氧化损伤, 低浓度的氨只启动SOD-CAT-GR-G6PDH防御, 而高浓度的氨激活了SOD-CAT-GPx-GSH-GR-G6PDH的抗氧化反应。

2. 团头鲂可以将氨转化为谷氨酰胺和尿素以抵御氨氮胁迫。且谷氨酰胺合成可能比尿素生成更能有效地应对氨暴露。

3. 氨暴露条件下, 团头鲂通过增强肝脏抗氧化反应系统以及尿素和谷氨酰胺合成共同抵御环境氨毒性。



Notes: ROS, reactive oxygen species; GSH, glutathione; GSSG, oxidized glutathione; NADPH, nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; G-6-P, Glucose 6-phosphate; 6-PGL, 6-phosphogluconolactone.