

不同盐度、pH 条件下氨氮对 管角螺稚贝毒性影响

罗杰^{①②} 杜涛^③ 刘楚吾^{①②*} 陈加辉^{①②}

(① 广东海洋大学水产学院 湛江 524025; ② 南海水产经济动物增养殖广东普通高校重点实验室 湛江 524025;
③ 广东海洋大学科技园 湛江 524025)

摘要: 在水温 28.5℃,采用实验生态学方法研究了不同盐度、pH 条件下氨氮对管角螺 (*Hemifusus tuba*) 稚贝 [壳高 (11.3 ± 0.11) mm, n = 30] 毒性的影响。结果表明, (1) 盐度对氨氮的毒性有较大影响,随着盐度的降低,氨氮在水体中的毒性增强;盐度为 16、19、23 和 28,总氨氮对稚贝的 96 h 半数致死浓度 (96hLC₅₀) 分别为 36.5、43.7、52.6 和 58.8 mg/L,安全浓度 (SC) 为 3.7、4.4、5.3 和 5.9 mg/L。(2) 氨氮在水体中的毒性随 pH 的升高而增强, pH 为 7.6、8.0、8.4 和 8.8 时,总氨氮对稚贝的 96hLC₅₀ 依次为 58.3、54.5、50.6 和 20.2 mg/L,对应的 SC 依次为 5.8、5.5、5.1 和 2.0 mg/L。氨氮在 pH 8.8 时对稚贝的 96hLC₅₀ 急剧下降,其毒性是在 pH 7.6 时的 2.9 倍。

关键词: 管角螺;稚贝;盐度;pH;氨氮;毒性

中图分类号:S968.31 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2010)03-102-08

Toxic Effects of Ammonia to *Hemifusus tuba* Juveniles at Different pH and Salinity

LUO Jie^{①②} DU Tao^③ LIU Chu-Wu^{①②*} CHEN Jia-Hui^{①②}

(① Fishery College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025;

② Key Laboratory of Aquaculture in South China Sea for Aquatic Economic Animal of Guangdong Higher Education Institute, Zhanjiang 524025; ③ Technology Park of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Abstract: In this paper, under water temperatures 28.5℃, the toxic effects of ammonia to *Hemifusus tuba* juveniles (shells high 11.3 ± 0.11 mm, n = 30) were studied at different pH and salinity with ecological method. The result showed that salinity has significantly effect on the toxicity of ammonia. The toxicity of ammonia in water became stronger when the salinity was lower. When salinity was 16, 19, 23 and 28 respectively, the 96hLC₅₀ of total ammonia to *H. tuba* juveniles were 36.5, 43.7, 52.6 and 58.8 mg/L respectively, and equivalent the safe concentration (SC) of total ammonia to the juveniles were 3.7, 4.4, 5.3 and 5.9 mg/L, respectively. The toxicity of ammonia in water became stronger in higher pH than in lower. The 96hLC₅₀ and the SC of total ammonia to *H. tuba* juveniles were 58.3, 54.5, 50.6, 20.2 mg/L and 5.8, 5.5, 5.1 and 2.0 mg/L, respectively. The 96hLC₅₀ of total ammonia to *H. tuba* juveniles fell rapidly when pH was 8.8, and toxicity of ammonia in water became 2.9 times higher than in pH 7.6.

Key words: *Hemifusus tuba*; Juveniles; Salinity; pH; Ammonia; Toxicity

基金项目 广东省科技计划项目 (No. 2005B33201011);

* 通讯作者, E-mail: liucw@gdou.edu.cn;

第一作者介绍 罗杰, 硕士, 高级工程师; 研究方向: 水产动物增养殖; E-mail: luoj@gdou.edu.cn。

收稿日期: 2009-11-19, 修回日期: 2010-02-04

在水产经济动物养殖过程中,尤其是在高密度养殖模式下,由于投饵量大、排泄物多及残饵过剩的影响,随着养殖时间的增加,养殖水体中氨氮和亚硝酸盐会逐渐积累,而这二者是制约水产动物正常生长的主要因子之一。当其浓度达到一定值时,不仅会对水产动物产生直接毒害,而且能够诱发多种疾病,从而影响其生长。在养殖水体中,总氮由非离子氨 NH_3 和离子氨 NH_4^+ 两种形式组成。这两种形式的比例取决于 pH、温度、溶解氧、压力和盐度^[1]。

管角螺 (*Hemifusus tuba*) 属软体动物门腹足纲笠螺科,广东又名“响螺”,主要分布在我国东、南沿海,尤以南海诸岛海域居多,生活在近海约 10 m 的泥沙或泥质的海底^[2],是浅海较大型的经济腹足类,具极高的经济价值,是我国具有人工养殖前景的经济贝类之一。近年来管角螺的人工育苗和养殖技术取得了进一步提高^[3-5],其生活方式与同为腹足类的方斑东风螺 (*Babylonia areolata*) 相同,具有埋栖的习性。由于生活在泥沙里,造成氨氮、硫化氢、亚硝酸盐氮等有毒物质的大量积累,而这些有毒物质中,氨在水体中以离子氨和非离子氨的形式存在,其毒性与水环境的 pH、温度、盐度及溶解氧等因子有关^[6]。国内外关于氨氮对贝类的毒性实验较多^[7-15],但关于氨对管角螺稚贝毒性影响的研究尚未见报道。本文在不同盐度、pH 条件下研究了氨对管角螺稚贝毒性效应,旨在为今后管角螺规模化人工养殖条件下的水质管理提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料 实验用的材料是人工育苗经饲养一段时间后,壳高为 $[(11.3 \pm 0.11) \text{ mm}, n = 30]$ 的管角螺稚贝。实验前稚贝在海水中暂养 2 d,暂养期间不投饵。海水取自港湾附近,水温 $28.5 \sim 29.2^\circ\text{C}$ 、盐度 23、pH 8.2,经沉淀、砂滤后使用。同时根据稚螺喜欢埋栖的生活习性,把细砂(粒径 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$)清洗,用高锰酸钾消毒后备用。

1.1.2 试剂和仪器 试剂采用分析纯 NH_4Cl (广州化学试剂厂,分子量 53.49),水溶解后配成浓度为 10 g/L 的母液,避光冷藏保存以备用。实验容器为 $2\,000 \text{ ml}$ 的烧杯,用 $1\,000 \text{ W}$ 电子继电器、电触点水银温度计、 500 W 石英加热管来控制温度使之保证恒温,用 CT-6659 型精密酸度计测定 pH、YK-31SA 型盐度计测定海水盐度。

1.2 方法

1.2.1 实验方案设计 实验方案根据参考文献^[16]进行。盐度设 16、19、23、28 4 个系列,pH 设 7.6、8.0、8.4、8.8 4 个系列。根据每个 pH 和盐度系列预实验结果,用移液管吸取一定体积已配制好的 NH_4Cl 母液,按等对数间距设总氮浓度分别为 4.8、11.3、18.8、23.6、47.5、63.5、85、100、150 mg/L 共 9 个浓度梯度组。以上每个实验组设置 3 个重复,结果取平均值,同时设置一个没有加 NH_4Cl 的空白对照组。

实验以 $2\,000 \text{ ml}$ 的玻璃烧杯为实验容器,每个烧杯注入上述配制好的系列液 $1\,200 \text{ ml}$,同时铺放 0.5 mm 厚经消毒的细砂,然后放养管角螺稚贝 20 个。实验过程均在 28.5°C 的恒温水箱中进行。

1.2.2 日常管理 为保证实验毒物浓度的相对稳定,实验期间不投饵,不充气,每 24 h 更换实验液(100%)一次,更换的实验液毒物浓度分别与各实验组相同,并保持其他实验因子稳定。每天观察稚贝的活动和死亡情况,及时剔除死亡个体,并记录 24 h、48 h、72 h 和 96 h 稚贝的死亡数。判断稚贝死亡的标准是稚贝无附着能力、躺在杯底不动,且足部伸出体外,对异物刺激无反应。

1.2.3 数据处理 使用 SPSS 13.0 处理实验数据,采用直线内插法求出 24 h、48 h、72 h、96 h 半数致死浓度 (LC_{50}) 值及 95% 可信区间^[16];安全浓度 (SC) 的计算公式^[17]: $\text{SC} = 0.1 \times 96\text{hLC}_{50}$ 。

本实验中提及的氨氮是指水环境中的总氮浓度,由离子氨和非离子氨组成。通常在计算氨氮半数致死浓度时还要考虑非离子氨半数致死浓度,假设在无其他因素影响的前提下,非

离子氨的计算公式^[18]: $\rho_{\text{NH}_3} = \rho_{\text{T}} / [10^{(\text{pKa} - \text{pH})} + 1]$ 式中 ρ_{NH_3} 为非离子氨含量 (mg/L) ρ_{T} 为总氨含量 (mg/L) ,pKa 为 $\text{NH}_4\text{-N}$ 表观电离常数的负对数: $\text{pKa} = 0.09018 + 2729.92/T$ (T 为开氏温度, $T = 273 + t^\circ\text{C}$, t 为实验时海水温度 28.5°C)。

在不同 pH 条件下,根据总氨氮浓度求出相对应的非离子氨浓度,其结果见表 1。

表 1 不同 pH 下总氨氮 (ρ_{T}) 相对应的非离子氨 (ρ_{NH_3})

Table 1 The relation with total ammonia and un-ion ammonia at difference pH

ρ_{T} (mg/L)	ρ_{NH_3} (mg/L)			
	pH 7.6	pH 8.0	pH 8.4	pH 8.8
4.8	0.13	0.32	0.73	1.50
11.3	0.31	0.76	1.73	3.52
18.8	0.52	1.26	2.87	5.85
23.6	0.65	1.58	3.60	7.35
47.5	1.32	3.18	7.25	14.80
63.5	1.76	4.25	9.69	19.78
85.0	2.36	5.69	12.98	26.48
100.0	2.77	6.69	15.27	31.15
150.0	4.16	10.03	22.90	46.73

2 结果

2.1 管角螺稚贝对氨氮毒性反应症状 在空白对照组 稚贝放到烧杯后很快就在杯底及四周爬动,或者钻到沙里面附着不动,足部牢牢附在硬物上,需要很大的外力才能把它剥下;两触角伸

出左右摆动来感觉周围的环境。在毒性预实验中 稚贝中毒症状表现如下:视毒性实验中氨氮的浓度不同 稚贝对毒性反应陆续从砂里钻出的时间也不相同,在高浓度中稚贝从砂里爬出的时间约 50 min 然后在烧杯内不停爬动,足部和两触角伸出很长,130 min 后足部对异物的刺激反应迟钝,收缩无力,无法在杯壁附着,处于麻醉状态,继而壳口朝上躺在砂面上,同时有黏液从体内流出,200 min 后稚贝陆续死亡。

2.2 不同盐度下氨氮对管角螺稚贝毒性实验结果 在水温 28.5°C 、pH 8.2 时,不同盐度下总氨氮对管角螺稚贝的毒性作用结果见表 2。在水温、pH 相同时,总氨氮在不同盐度下其毒性大小也不相同:盐度越低,氨氮的毒性越强,对稚贝的毒害越大;在同一盐度下,氨氮浓度越大,其毒性越强,稚贝的死亡率越高。总氨氮浓度 11.3 mg/L 时,盐度 16、19 实验组稚贝出现死亡的时间分别为 48 h、72 h,而盐度 23 和 28 两组均无稚贝死亡;总氨氮浓度 100 mg/L 时,盐度 16、19 两组 96 h 稚贝全部死亡。通过对表 2 的数据进行分析处理(表 3),盐度为 16、19、23 及 28 时,96 h 的半数致死浓度 (96hLC₅₀) 分别为 36.5、43.7、52.6、58.8 mg/L,根据安全浓度 $\text{SC} = 0.1 \times 96\text{hLC}_{50}$,得出在盐度 16、19、23 及 28 时相对应安全浓度分别为 3.7、4.4、5.3、5.9 mg/L。

表 2 不同盐度下氨氮对管角螺稚贝毒性实验结果

Table 2 The result of toxicity experiment of ammonia to *Hemifusus tuba* juveniles at difference salinities

ρ_{T} (mg/L)	死亡率 The mortality rate (%)															
	盐度 Salinity 16				盐度 Salinity 19				盐度 Salinity 23				盐度 Salinity 28			
	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h
对照组 Control	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.3	0	1.7	1.7	3.3	0	0	1.7	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0
18.8	6.7	10.0	16.7	23.3	0	3.3	10.0	10.0	1.7	1.7	6.7	6.7	0	3.3	3.3	3.3
23.6	18.3	23.3	31.7	43.3	11.7	11.7	26.7	36.7	8.3	8.3	15.0	25.0	6.7	10.0	13.3	21.7
47.5	38.3	43.3	51.7	61.7	28.3	41.7	45.0	53.3	18.3	33.3	41.7	46.7	18.3	26.7	36.7	41.7
63.5	41.7	51.7	55.0	71.7	36.7	43.3	51.7	66.7	31.7	38.3	48.3	61.7	31.7	33.3	48.3	56.7
85.0	56.7	61.7	78.3	86.7	51.7	56.7	68.3	83.3	48.3	53.3	68.3	78.3	43.3	51.7	58.3	63.3
100.0	61.7	86.7	98.3	100.0	56.7	86.7	93.5	100.0	53.3	66.7	78.3	83.3	51.7	63.3	80.0	81.7
150.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	100.0	100.0	100.0	96.7	100.0	100.0	100.0

表 3 不同盐度下总氨氮对管角螺稚贝的半致死浓度 (LC₅₀) 及 95% 可信区间

Table 3 The median lethal concentrations (LC₅₀) and their 95% confidence interval of total ammonia to *Hemifusus tuba* juveniles at difference salinities

盐度 Salinity	时间 Time (h)	LC ₅₀ (mg/L)	95% 可信区间 Confidence interval (mg/L)	安全浓度 Safe concentration (mg/L)
16	24	76.3	71.2 ~ 80.4	3.7
	48	61.2	58.6 ~ 65.3	
	72	44.3	41.6 ~ 48.3	
	96	36.5	33.2 ~ 41.2	
19	24	82.3	75.4 ~ 88.7	4.4
	48	77.6	72.6 ~ 83.4	
	72	61.5	56.3 ~ 66.4	
	96	43.7	37.2 ~ 47.3	
23	24	87.4	83.4 ~ 92.7	5.3
	48	79.4	75.4 ~ 84.2	
	72	66.2	60.8 ~ 70.8	
	96	52.6	48.3 ~ 55.8	
28	24	98.4	92.3 ~ 101.4	5.9
	48	83.5	76.5 ~ 90.7	
	72	68.3	63.2 ~ 74.1	
	96	58.8	52.4 ~ 66.4	

2.3 不同 pH 下氨氮对管角螺稚贝毒性实验结果 由表 4 的结果可知,在温度 28.5℃、盐度 23 的相同条件下,水体中总氨氮的毒性随着 pH 升高而增强 稚贝对氨氮的忍受力随着时间的增长而降低;在同一 pH 下,氨氮浓度越高,其毒性越强,对稚贝的毒害越大。总氨氮浓度为 11.3 mg/L 时,各 pH 实验组中管角螺稚贝 96 h 内陆续出现死亡;氨氮浓度 100 mg/L 时,pH 8.8 实验组 96 h 后稚贝死亡率为 100%,余下三组均有存活;而浓度达到 150 mg/L 时,各实

验组在 24 h 内死亡率就达 100%。对表 4 的数据进行分析处理,得出在不同 pH 下总氨氮对稚贝的半致死浓度 (LC₅₀) 及 95% 可信区间(表 5) ,pH 7.6、8.0、8.4 和 8.8 实验组中半致死浓度分别为 58.3、54.5、50.6 和 20.2 mg/L;根据安全浓度 SC = 0.1 × 96hLC₅₀,相对应的 pH 7.6、8.0、8.4 和 8.8 安全浓度分别为 5.8、5.5、5.1 和 2.0 mg/L ,pH 8.8 时的氨氮安全浓度是 pH 7.6 时的 2.9 倍。

表 4 不同 pH 下氨氮对管角螺稚贝毒性实验结果

Table 4 The result of toxicity experiment of ammonia to *Hemifusus tuba* juveniles at different pH

ρ _T (mg/L)	死亡率 The mortality rate (%)															
	pH 7.6				pH 8.0				pH 8.4				pH 8.8			
	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h	24 h	48 h	72 h	96 h
对照组 Control	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.3	0	0	0	1.7	0	0	1.7	1.7	0	0	3.3	5.0	0	0	3.3	6.7
18.8	0	11.7	16.7	16.7	11.7	15.0	18.3	18.3	11.7	16.7	18.3	23.3	10	18.3	28.3	28.3
23.6	10	13.3	25.0	25.0	16.7	23.3	25.0	36.7	21.7	26.7	31.7	41.7	31.7	36.7	41.7	51.7
47.5	23.3	26.7	33.3	38.3	26.7	26.7	36.7	43.3	33.3	38.3	40.0	48.3	38.3	43.3	56.7	63.3
63.5	23.3	36.7	45.0	53.3	38.3	43.3	48.3	58.3	43.3	46.7	51.7	66.7	48.3	58.3	66.7	78.3
85.0	41.7	50.0	55.0	66.7	43.3	51.3	66.7	78.3	51.7	61.7	75.0	83.3	56.7	78.3	88.3	95.0
100.0	51.7	68.3	75.0	88.3	55.0	76.7	76.7	85.0	63.3	76.7	81.7	91.7	86.7	93.3	98.3	100
150.0	96.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表 5 不同 pH 下总氨氮对管角螺稚螺的半致死浓度 (LC₅₀) 及 95% 可信区间
 Table 5 The median lethal concentrations (LC₅₀) and their 95% confidence interval of total ammonia to *Hemifusus tuba* juveniles at difference pH

pH	时间 Time (h)	LC ₅₀ (mg/L)	95% 可信区间 Confidence interval (mg/L)	安全浓度 Safe concentration (mg/L)
7.6	24	94.6	87.3 ~ 98.1	5.8
	48	85.1	80.4 ~ 92.5	
	72	71.5	67.3 ~ 76.3	
	96	58.3	55.1 ~ 93.4	
8.0	24	91.4	86.7 ~ 96.4	5.5
	48	81.3	77.3 ~ 87.5	
	72	68.2	65.4 ~ 76.1	
	96	54.5	49.7 ~ 60.1	
8.4	24	82.4	77.2 ~ 85.3	5.1
	48	74.3	70.1 ~ 81.3	
	72	58.6	53.6 ~ 63.1	
	96	50.6	47.3 ~ 55.2	
8.8	24	60.4	56.4 ~ 64.7	2.0
	48	55.8	51.3 ~ 60.1	
	72	42.3	38.5 ~ 44.6	
	96	20.2	18.4 ~ 22.7	

3 讨论

3.1 养殖水体中氨氮的成因及对水生生物的毒性机理 正常的养殖水体中,由于经常换水,溶解氧充足,水体中的氨氮含量不足以对水生生物造成危害。但在高密度养殖中,由于大量投饵而留下的残饵,以及水生动物本身的大量排泄物累积,且定期使用消毒药剂,在杀灭有害微生物的同时,有益微生物种类及数量也会相应减少,造成养殖水体生态失衡,表现为水质恶化、水体透明度降低、水体缺氧,大量积累的氨氮硝化过程受阻,致使养殖水体中氨氮等有害物质的含量增加;同时在高温季节有机腐败物质积累较多,导致水体中氨氮等有害物质的含量也会相应增加。我国渔业水质标准^[19]中规定分子氨浓度≤0.02 mg/L时,对鱼类生长、繁殖等生命活动不会产生影响。在养殖水体中分子氨浓度介于0.02~0.2 mg/L时,仍在鱼类可忍受的安全范围内。肥水鱼塘氨氮总量(以氮计算)正常范围认为是0.05~0.15 mg/L,超过0.3 mg/L时就构成污染,超过0.5 mg/L时对鱼类的毒性较大。

关于氨氮对水生生物的毒性机理,Armstrong指出主要是非离子氨为亲脂性分子,半径较小,容易穿透脂质性生物膜的疏水性微孔进入生物体内,从而对鱼鳃表皮细胞造成损伤而降低鱼的免疫力^[20];氨氮可影响血淋巴中血细胞数量^[21],血细胞在防御中起着重要作用,透明细胞具有吞噬作用,颗粒细胞与识别异物能力有关,粒细胞内含有大量酚氧化酶原,此种酶原在异物的初始识别中起关键作用^[22],血细胞数量下降势必降低防御能力。氨氮浓度的上升,引起血淋巴理化因子变化,也会改变其中与抗病力有关的酶的活力^[23]。而对软体动物,菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)免疫能力随着氨氮浓度的升高而下降^[24],较高浓度氨氮可使栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)胞内外活性氧的含量显著下降并明显抑制抗氧化酶的活性^[25]。

3.2 不同盐度、pH下氨氮对管角螺稚贝的毒性影响 根据本地区多年来自然海区的pH、盐度变化情况及预实验的结果,按等对数间距设置本实验总氨浓度梯度、4个pH和盐度系列。从上述的实验结果可知,氨氮在不同的海水盐

度下其含量各不相同,海水盐度越低氨氮的含量越高,对水生生物的毒害越大。Chen 等^[26]认为水生生物氨的排泄量随着盐度的增加(15~30)而降低,在低盐度条件下更利于氨的聚集,造成水体中氨含量的升高。本研究氨氮浓度 4.8 mg/L 时,在各盐度下管角螺稚贝的成活率为 100%;浓度为 11.3 mg/L,稚贝在盐度 16、19 的环境中,96 h 的死亡率为 3.3%、1.7%,而在盐度 23、28 的环境下稚贝 96 h 的死亡率为 0;总氨氮浓度达 150 mg/L 稚贝 96 h 的死亡率为 100%。

一般情况下,水体的氮循环处于一种稳定的状态,水体氨氮及亚硝态氮维持正常水平。在 pH 7~8 的常温状态时,有机氮物质约占 60%,氨态氮可占 35%,其他以硝态氮的形式存在。氨氮(NH₃-N)是水体中无机氮的主要存在形式,通常氨主要以 NH₄⁺ 离子状态存在,并包括未电离的氨水合物(NH₃·H₂O)。用一般的化学分析方法测定的氨的含量,实际上是离子氨(NH₄⁺,也称铵离子)和分子氨(NH₃,也称非离子氨)两者的总和,这两者是可以相互转化的,他们在水体中的比例与水温、pH 及盐度等环境因子有密切的关系,而两者在水体中比例的大小直接影响氨毒性的强弱。总的来说,温度和 pH 上升,分子氨在总氨中的比例增加,而对水生生物有明显毒害作用的是养殖水体中的分子氨,水体中分子氨含量越高,毒性就越强;pH 接近 10 时几乎都以分子氨(NH₃)的形式存在^[27]。同时也有研究指出,不仅仅是非

离子氨有毒,在低 pH 条件下,高浓度的离子氨也有毒^[28]。可见,水体中非离子氨毒性与 pH 密切相关^[29]。NH₃ 在水体中的毒性除了受温度、pH 和盐度影响外,溶解氧的含量对 NH₃ 的毒性也有影响,两者呈逆相关关系^[30]。

通过研究在不同 pH 下氨氮对管角螺稚贝的毒性影响,结果表明,随着 pH 的升高,氨氮对管角螺稚贝的毒性越强。pH 7.6、8.0、8.4 时氨氮的安全浓度由高至低变化平稳,可 pH 达 8.8 时,氨氮的安全浓度急剧下降至 2.0 mg/L,其毒性是 pH 7.6 时的 2.9 倍。此结果与杨凤等^[11]对海湾扇贝(*Argopecteni irradians*)幼贝的研究结果一致:当 pH > 7.99 以后,NH₃ 对海湾扇贝的 LC₅₀ 随 pH 的升高而直线下降。即毒性随 pH 的升高而增大。可能是因为海湾扇贝适宜的 pH 范围较窄(7.7~8.2),偏高的 pH 对 NH₃ 的毒性或许起加和或协同作用。在 pH 8.0~8.4 时,管角螺稚贝对氨氮的 96hLC₅₀ (54.5~50.6 mg/L)与其他海水贝类相比较(表 6)结果显示,其对总氨氮的耐受力明显低于同为腹足类的方斑东风螺^[17],与橄榄蚶(*Estellarca olivacea*)^[14]相当,比海湾扇贝^[11]、毛蚶(*Scapharca subrenata*)^[15]、西施舌(*Coelom actra antiquata*)^[7]强。这与管角螺的食性有关,方斑东风螺^[17]和管角螺均为肉食性贝类,且埋栖生活,其排泄物含氮量较高,平时的残饵及排泄物均埋在沙里,导致氨氮、H₂S 和亚硝酸盐氮等有害物质的含量比其他双壳类的生活环境高,这是生物对环境适应性选择的结果。

表 6 总氨对几种海水贝类的 96hLC₅₀ 比较

Table 6 Comparison of 96hLC₅₀ of total ammonia to several kinds of shellfish

种类 Species	壳高 Shell height (mm)	pH	96hLC ₅₀ (mg/L)	温度(°C) Temperature
方斑东风螺 <i>Babylonia areolata</i> ^[17]	30 d 稚贝	8.5	100.2	29~30
海湾扇贝 <i>Argopecteni irradians</i> ^[11]	6~8	7.99	11.85	23~25
橄榄蚶 <i>Estellarca olivacea</i> ^[14]	1.579 ± 0.131	8.3 ± 0.2	50	25 ± 0.5
毛蚶 <i>Scapharca subrenata</i> ^[15]	1.579 ± 0.131	8.15 ± 0.18	20.36	28 ± 0.5
西施舌 <i>Coelom actra antiquata</i> ^[7]	6.10 ± 0.44	7.90~8.34	14.220	25.8~29.2
管角螺 <i>Hemifusus tuba</i> (本研究)	11.3 ± 0.11	8.0~8.4	54.5~50.6	28.5

3.3 管角螺人工养殖的水质管理 管角螺是我国南方的特有种类,近年来人工育苗和养殖技术均有较大的突破,许多地方开展了人工试养殖。本实验结果表明,管角螺稚贝在 pH 8.0 ~ 8.4 时 96 h 的安全浓度为 5.5 ~ 5.1 mg/L,比一般的海水贝类忍受氨氮的能力强。但管角螺为肉食性贝类,尤其喜欢摄食腐败有异味的鱼、蟹和虾肉,平时生活在泥沙里。由于其排泄物及残饵在泥沙,导致管角螺栖息环境中氨氮、硫化氢和亚硝酸盐氮等有害物质的大量积累,容易引发病害。因此,在管角螺的养殖过程中要定时换新鲜海水,投喂的剩饵要及时捞起,底质必须进行定期清洗、消毒。根据高溶解氧和低 pH 的环境可以降低水中氨氮含量这一特点,应保持水中有充足的溶解氧含量和维持 pH 在合适的范围内,避免 pH 和水温过高而使毒性强的非离子氨氮比例上升。同时,定期向养殖水体施加微生态制剂、固定化硝化细菌及各种益生菌,可以改善肠道内环境、增加进食、抑制有害菌群及改善水质等多方面的作用^[31-33]。

参 考 文 献

- [1] 周光正. 氨和亚硝酸盐对对虾幼体的毒性. 海洋湖沼通报, 1991, (2): 95-98.
- [2] 蔡英亚, 张英, 魏若飞. 贝类学概论: 修订版. 上海: 上海科学技术出版社, 1995, 203-245.
- [3] 潘英, 陈锋华, 庞有萍, 等. 管角螺的生物学特性及养殖. 水产科学, 2008, 27(1): 24-26.
- [4] 张正道. 管角螺的人工育苗. 科学养鱼, 2001, (4): 25.
- [5] 潘英, 王强哲, 庞有萍, 等. 管角螺全人工育苗试验. 水产科技情报, 2007, 34(2): 84-85.
- [6] Meade J W. Allowable ammonia for fish culture. Prog Fish-Culture, 1985, 47(3): 135-145.
- [7] 吴进锋, 陈素文, 陈利雄, 等. 硫化物和氨对西施舌幼贝的毒性影响研究. 热带海洋学报, 2006, 25(1): 42-46.
- [8] 师尚丽, 冯奕成, 郝蓬, 等. 不同 pH 和盐度下氨氮对方斑东风螺的毒性研究. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(6): 36-40.
- [9] 陈觉民, 王恩明, 李何. 海水中某些化学因子对魁蚶幼虫、稚贝及成贝的影响. 海洋与湖沼, 1989, 12(1): 15-21.
- [10] 孙国铭, 于志华. 三种有毒物质对文蛤的毒性试验. 水产养殖, 1997, 1: 17-19.
- [11] 杨凤, 高悦勉, 苏延明, 等. 海湾扇贝幼贝对 pH 和氨态氮的耐受性研究. 大连水产学院学报, 1999, 14(3): 13-18.
- [12] 栾红兵, 兰锡禄. 总氨氮对海湾扇贝幼体的毒性试验. 海洋科学, 1990, (1): 64-65.
- [13] 杨凤, 雷衍之, 王仁波, 等. 皱纹盘鲍自污染及其对幼鲍生长及成活率的影响. 大连水产学院学报, 2003, 18(1): 1-6.
- [14] 张永普, 肖国强, 林立祝, 等. pH 和氨氮对橄榄蚶耐受性的影响. 四川动物, 2009, 28(1): 73-76.
- [15] 方军, 闫茂仓, 张炯明, 等. pH 和氨氮对毛蚶稚贝生长与存活影响的初步研究. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2008, 27(3): 281-285.
- [16] 周永欣, 章宗涉. 水生生物毒性试验方法. 北京: 农业出版社, 1989, 114-122.
- [17] Sprague J B. Measurement of pollutant toxicity to fish. III. Sublethal effects and "safe" concentrations. Water Res, 1971, 5: 245-266.
- [18] Emerson K, Russo R C, Lund R E, et al. Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. J Fisheries Res Board Can, 1975, 32: 2379-2383.
- [19] 中华人民共和国渔业水质标准: GB11607-89. 1990 3.
- [20] Armstrong, D A. Interaction of ionized and un-ionized ammonia on short-term survival and growth of prawn larvae. Biol Bull, 1978, 154: 15-31.
- [21] 孙舰军, 丁美丽. 氨氮对中国对虾抗病力的影响. 海洋与湖沼, 1999, 30(3): 267-271.
- [22] 李光友. 中国对虾疾病与免疫机制. 海洋科学, 1995, (4): 1-3.
- [23] Young-Lai W W, Charmantier-Daures M, Charmantier G. Effect of ammonia on survival and growth in different life stages of the lobster *Homarus americanus*. Mar Biol, 1991, 110: 293-300.
- [24] 王文琪, 姜令绪, 杨宁, 等. 氨氮对菲律宾蛤仔免疫力的影响. 海洋科学, 2007, 31(1): 23-27.
- [25] 樊甄姣, 刘志鸿, 杨爱国. 氨氮对栉孔扇贝血淋巴活性氧含量和抗氧化酶活性的影响. 海洋水产研究, 2005, 26(1): 23-27.
- [26] Chen J C, Nan F H. Changes of oxygen consumption and ammonia-N excretion by *Penaeus chinensis* Osbeck at different temperature and salinity levels. Journal of Crustacean Biology, 1993, (4): 706-712.
- [27] 乔顺风, 刘恒义, 靳秀云, 等. 养殖水体氨氮积累危害

- 与生物利用. 河北渔业, 2006, (1): 20 - 22.
- [28] 陈炜, 雷衍之, 蒋双. 离子铵和非离子氨对海蜇幼体幼体和碟状幼体的毒性研究. 大连水产学院学报, 1997, 12(1): 8 - 14.
- [29] Meade J W. Allowable ammonia for fish culture. Prog Fish Cult, 1985, 47(3): 135 - 141.
- [30] Thurston R V, Russo R C, Vinogradov G A. Ammonia toxicity to fishes. Effect of pH on the toxicity of the un-ionized ammonia specie. Environ Sci Tech, 1981, 15(7): 837 - 840.
- [31] 郑耀通, 胡开辉. 固定化光合细菌净化养鱼水质试验. 中国水产科学, 1999, 6(4): 55 - 58.
- [32] 齐素芳, 余煜棉, 赖子尼, 等. 复合载体固定化硝化细菌去除水体中氨氮的研究. 广东工业大学学报, 2007, 24(2): 15 - 19.
- [33] 黄正, 范玮, 李谷, 等. 固定化硝化细菌去除养殖废水中氨氮的研究. 华中科技大学学报, 2002, 31(1): 18 - 20.

云南普洱记录到游隼 *ernesti* 亚种

何芬奇^① 林 植^②

(^① 中国科学院动物研究所 北京 100101; ^② 厦门观鸟会 厦门 361000)

游隼 (*Falco peregrinus*) 在全球广泛分布, 亚种分化多达 16 个^[1]。综合以往文献, 在中国记录到的游隼亚种有 *calidus*, *japonensis*, *peregrinator*, *peregrinus*^[2-4]。

2010 年 2 月 25 日上午, 我们在云南普洱市(原思茅市)市郊石头山(22°47'34"N, 100°57'11"E; 1 349 m)一棵大树的树冠枯枝上见到一游隼个体, 其头部全黑而无大多数亚种所具的特征性黑色颊纹、下体羽色甚浅并多具横斑、仅胸部略沾红棕色, 与中国以往所记录的游隼诸亚种明显有别, 鉴定为亚种 *ernesti*。(封 4 照片, 林植 摄影)

查有关文献, 游隼 *ernesti* 亚种以往记录见于泰国南部、马来半岛、菲律宾、印度尼西亚、新几内亚等岛屿, 而未见于中印半岛^[5-7]; 在整个缅甸北部和老挝北部地区以往所记录到的游隼为亚种 *peregrinator*^[6-8], 在云南和中国南方大部地区亦然^[9]; 同时, 云南观鸟者张炜先生的照片证据表明, 游隼 *peregrinator* 亚种 2009 年在大理苍山即有繁殖记录。

21 世纪以来, 随着观鸟活动的开展, 在云南南部地区先后发现的中国鸟种新纪录有蓝腰短尾鹦鹉 (*Psittinus cyanurus*)^[10]、栗臀噪鹛 (*Garrulax gularis*)^[11]、褐喉直嘴太阳鸟 (*Anthreptes malacensis*)^[12], 其中蓝腰短尾鹦鹉和褐喉直嘴太阳鸟的以往记录也仅在中印半岛南部及以南地区有分布。这是否预示了无论出于何种原因的南亚鸟种北扩现象的出现, 尚有待于更多的野外发现去证实, 而游隼 *ernesti* 亚种由此很有可能在中国南海诸岛也有分布。

参 考 文 献

- [1] Dickinson E C. The Howard and Moore Complete Checklist of the Birds of the World (3rd ed.). London: Christopher Helm, 2003, 97.
- [2] 郑作新. 中国鸟种与亚种名录大全(修订版). 北京: 科学出版社, 2000, 23.
- [3] 马敬能, 菲利普斯, 何芬奇. 中国鸟类野外手册. 长沙: 湖南教育出版社, 2000, 203, Pl. 55.
- [4] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录. 北京: 科学出版社, 2005, 45.
- [5] Ferguson-Lees J, David Christie. Raptors of the World. London: Christopher Helm, 2005, 310 - 313.
- [6] Robson Craig. Birds of South-East Asia. London: New Holland, 2005, 142, Pl. 67.
- [7] Smythies B E. The Birds of Burma(3rd ed). England: Nimrod Press Ltd., 1986, 68 - 69.
- [8] King B F, Dickinson E C. A Field Guide to the Birds of South-East Asia. London: Collins, 1975, 98 - 99.
- [9] 杨岚. 云南鸟类志: 上卷: 非雀形目. 昆明: 云南科技出版社, 1995, 226 - 227.
- [10] 林剑声, 刘伟民, 何芬奇. 云南思茅菜阳河保护区发现蓝腰短尾鹦鹉 *Psittinus cyanurus*. 动物学研究, 2005, 26(3): 321.
- [11] 何芬奇, 杨晓君, 林剑声, 等. 栗臀噪鹛——中国鸟类物种新纪录. 动物学研究, 2007, 28(4): 446 - 447.
- [12] 吴飞, 廖晓东, 刘鲁明, 等. 中国鸟类种的新纪录: 雀形目: 太阳鸟科: 褐喉直嘴太阳鸟. 动物学研究, 2010, 31(1): 108 - 109.