

氨、亚硝酸盐和硝酸盐 对凡纳滨对虾幼虾的毒性作用

臧维玲¹ 戴习林¹ 罗春芳¹ 张志宏¹

徐 丹² 徐桂荣² 丁福江²

(1. 上海水产大学生命与科学技术学院, 上海市 200090

2. 上海申漕特种水产开发公司, 上海市 201507)

摘 要 研究了 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对凡纳滨对虾幼虾的毒性作用。获得了 $\text{NH}_3\text{-N}$ ($\text{NH}_3\text{-N}_m$) 与 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 对体长 2.4 cm 幼虾的 24 h、48 h、72 h、96 h 之 LC_{50} 值, 两者对幼虾的安全质量分数分别为 1.30 (0.101) mg/L 和 3.80 mg/L。当 $\text{NH}_3\text{-N}$ ($\text{NH}_3\text{-N}_m$) 质量分数在 1.3 (0.101) ~ 4.3 (0.333) mg/L 时, 存活率为 71.4% ~ 92.9%, 体长增长率为 36.3% ~ 57.1%, 体重增长率为 188.5% ~ 322.3%。当 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 质量分数在 3.00 ~ 21.00 mg/L 时, 成活率为 75.0% ~ 91.7%, 体长增长率为 21.2% ~ 59.2%, 体重增长率为 72.0% ~ 311.9%。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 对体长 7.37 cm 幼虾的亚急性毒性效应: $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的质量分数在 30 ~ 195 mg/L 时, 成活率为 35% ~ 100%, 体长增长率为 8.5% ~ 20.5%, 体重增长率为 29.6% ~ 56.8%。三态氮在一定质量分数范围内均对幼虾的存活率和生长率产生影响。

关键词 凡纳滨对虾 $\text{NH}_3\text{-N}$ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 毒性 LC_{50} 安全质量分数

The Toxicity of Ammonia, Nitrite and Nitrate to Juvenile Whiteleg Shrimp *Penaeus vannamei*

ZANG Wei - ling¹ DAI Xi - lin¹ LUO Chun - fang¹

ZHANG Zhi - hong¹ XU Dan² XU Gui - rong² DING Fu - jiang²

(1. College of Aqua - Life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China

2. Shanghai Shencao Special Fisheries Development Co., Shanghai 201507, China)

Abstract The toxicity of $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ to juvenile whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* was studied and the toxicity of $\text{NH}_3\text{-N}$ ($\text{NH}_3\text{-N}_m$) and $\text{NO}_2^-\text{-N}$ to median lethal concentration of juvenile shrimp 2.4 cm in length was obtained in 24 h, 48 h, 72 h and 96 h. Their toxicity to safety concentration of juvenile shrimp was 1.30 (0.101) mg/L and 3.80 mg/L, respectively. When the concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$ ($\text{NH}_3\text{-N}_m$) were 1.3 (0.101) ~ 4.3 (0.333) mg/L, the survival rates were 71.4% ~ 92.9%, the growth rates in length were 36.3% ~ 57.1% and the growth rates in weight were 188.5% ~ 322.3%. While the concentrations of $\text{NO}_2^-\text{-N}$ were 3.00 ~ 21.00 mg/L, the survival rates were 75.0% ~ 91.7%, with growth rates in length of 21.2% ~ 59.2% and those in weight of 72.0% ~ 311.9%. The effects of subacute toxicity of

收稿日期: 2005-05-16; 修回日期: 2005-08-19

作者简介: 臧维玲 (1938-), 女, 教授, 主要从事渔业水环境及其调控研究。

资助项目: 上海市农业重点攻关项目 [沪农科攻字 (2003) 第 8-4 号]

$\text{NO}_3^- - \text{N}$ to juvenile shrimp 7.37 cm in length were as follows: When the concentrations of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ were 30 – 195 mg/L, the survival rates were 35% – 100%, the growth rates in length 8.5% – 20.5% and the growth rates in weight 29.6% – 56.8%. Three kinds of liquid nitrogen within the range of specific concentration have all effects on the survival rates and growth rates of juvenile shrimp.

Key words *Penaeus vannamei* $\text{NH}_3 - \text{N}$ $\text{NO}_2^- - \text{N}$ $\text{NO}_3^- - \text{N}$ Toxicity LC_{50} Safety concentration

凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)又称南美白对虾,因其生长快,抗病力强,肉味鲜美,我国东南沿海及内地广泛进行大面积养殖。目前,人们已开始探索该虾室内高密度循环水的养殖方式,高密度养殖循环水中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ (简称三态氮)的积累已引起关注,三态氮的调控乃是此种养殖方式需要解决的重要问题。孙国铭与彭自然等曾分别报道 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 与 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对体长 5 cm 和 5.21 cm 凡纳滨对虾幼虾的毒性作用^[1,2]。作者通过研究和实践发现,幼虾在室内高密度养殖至 20 ~ 30 天时,虾体长约达 2.5 cm 左右,水中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 大约分别升至 0.6 mg/L 和 0.10 mg/L 以上。故本试验选体长 2.4 cm 幼虾进行 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的毒性效应研究,以了解两种毒物对幼虾的安全质量分数和生长的影响。当养至 70 天左右时,幼虾的体长达 7.0 cm 以上,水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量分数可达 20 ~ 30 mg/L 以上,故取相应体长的幼虾作 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 毒性试验。本试验根据室内高密度循环水养虾水质的变化特点选用相应规格幼虾进行三态氮的急性和亚急性毒性试验,所得数据将为室内高密度循环水养殖水质调控提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验用水

试验于 2004 年 7 ~ 8 月在上海申漕特种水产开发公司 1 号育苗车间进行。试验用水为当地河口水(pH 8.33、盐度 11.65),预先经沉淀、消毒、曝气等处理。 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的毒性试液以 NH_4Cl 、 NaNO_2 、 NaNO_3 试剂精确配制母液后按试验要求稀释、复测并调整配制而成。三者分别用萘氏法、重氮-偶氮法、锌镉还原-重氮-偶氮比色法测定^[3,4]。

1.2 试验用虾和容器

试验用虾取自上海申漕特种水产开发公司。 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 亚急性毒性试验的虾,其体长和体重分别为 2.40 ± 0.04 cm、 2.41 ± 0.37 cm 和 0.139 g、 0.143 g,试验容器分别为 45.00 cm $\times$ 34.00 cm $\times$ 22.00 cm 的塑料箱和 1.5 L 的塑料圆盆, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 亚急性毒性试验的虾,其体长和体重分别为 7.94 ± 0.60 cm 和 6.302 ± 1.700 g,试验容器为 58.00 cm $\times$ 37.00 cm $\times$ 38.00 cm 的塑料箱。

1.3 试验管理

急性毒性试验前 1 天及试验期间停食;亚急性试验期间每天投喂 4 次配合饲料,试液每天排污、换水三分之二,连续充气,定时观察试验虾的活力、死亡数和活动情况,及时捞出死虾。由于试验容器置于育苗房池内,房内门窗紧闭,故试验温度基本恒定在 26 ± 2 °C。

1.4 试验方法

根据预试验结果及经验,按等对数间距设置急性毒性试液质量分数, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 分别设 7 和 8 组,均设对照组和平行组。每组放幼虾 10 尾,根据 24 h、48 h、72 h 和 96 h 校正死亡率 $P^{[5]}$,以 Karber 法计算半致死质量分数(LC_{50})^[6],再按下式计算安全质量分数 $\text{Sc}^{[7,8]}$:

$$\text{Sc} = 0.1 \times 96 \text{ h } \text{LC}_{50}$$

根据资料^[7]和生产经验设计三态氮亚急性毒性试液的质量分数,各设 7 个试验组,各组均设对照组

和平行组。为深入了解 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 对虾的毒性效应,特设两个特高质量分数组 ($\text{NO}_3^- - \text{N}$:500 mg/L 和 700 mg/L)。 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$, 每组分别放虾 12、14 和 10 尾, 试验期 20 天。试验前后测量受试虾体长、体重, 计算体长增长率 ($\Delta L\% = [(L - L_0) / L_0] \times 100\%$)、体重增长率 ($\Delta W\% = [(W - W_0) / W_0] \times 100\%$)。

非离子氨-氮 ($\text{NH}_3 - \text{N}_m$) 质量分数由总氨-氮 ($\text{NH}_3 - \text{N}_t$) 质量分数计算求得^[9]:

$$C_{\text{NH}_3 - \text{N}_m} = C_{\text{NH}_3 - \text{N}_t} \times f_{\text{NH}_3 - \text{N}_m}$$

$$f_{\text{NH}_3 - \text{N}_m} = 1 / [1 + 10^{\text{pK}_a - \text{pH} + \text{p}\gamma_{\text{H}^+}}]$$

式中 $f_{\text{NH}_3 - \text{N}_m}$ 为 $\text{NH}_3 - \text{N}_m$ 在 $\text{NH}_3 - \text{N}_t$ 中所占的百分比, K_a 为 NH_4^+ 电离常数, γ_{H^+} 为氢离子活度系数。

2 结果和讨论

2.1 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对凡纳滨对虾幼虾的急性毒性效应

2.1.1 $\text{NH}_3 - \text{N}_m$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对幼虾急性毒性试验的结果

$\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对凡纳滨对虾幼虾急性毒性试验的结果分别列于表 1 和表 2, LC_{50} 和 Sc 值列于表 3。试验中发现, 虾的活力随试液质量分数和中毒时间的增加而明显降低, 虾体失衡而侧身的虾的数量也相应逐步增加。表 1、表 2 虾死亡率及表 3 中 LC_{50} 的变化情况更充分说明了虾体受毒程度随试液质量分数和中毒时间的增加而增强。由表 1 可知, 虽然试液 $\text{NH}_3 - \text{N}_m$ 的质量分数按等对数间距递增, 但在中毒 48 h 时, $\text{NH}_3 - \text{N}_m \geq 1.783 \text{ mg/L}$ 的两最高质量分数组, 虾的死亡率 (95% 和 100%) 陡增, 远大于其他低质量分数组, 为邻近组 (1.628 mg/L) 的 2 倍。可见, 当 $\text{NH}_3 - \text{N}_m \geq 1.783 \text{ mg/L}$ 时, 将对虾产生强烈的致死作用; 当 $\text{NH}_3 - \text{N}_m$ 为 1.473 和 1.628 mg/L 时, 96 h 的致死率等同 (90%), 略低于其余低质量分数组 (100%), 此质量分数范围对幼虾也具较强致死作用; 当 $\text{NH}_3 - \text{N}_m \leq 1.318 \text{ mg/L}$ 时, 96 h 死亡率 ($\leq 70\%$) 明显地低于其余组, 表明质量分数低于 1.318 mg/L 时, $\text{NH}_3 - \text{N}_m$ 对于虾的毒性明显降低, 但仍有一定致死强度, 虾的存活率仅 30% ~ 50%。

由表 1 和表 2 可知, 当 $\text{NO}_2^- - \text{N} \geq 126 \text{ mg/L}$, 致毒 48 h 时, 受试虾的死亡率 (50% ~ 100%) 与 $\text{NH}_3 - \text{N}_m \geq 1.628 \text{ mg/L}$ 时相同。另外由表 3 可知, 前者的安全质量分数 (5.180 mg/L) 为后者 (0.101 mg/L) 的 51.3 倍, 前者 48 ~ 96 h 的 LC_{50} 为后者的 51 ~ 77 倍, 24 h 之 LC_{50} 则比后者高 103 倍。可见, $\text{NH}_3 - \text{N}_m$ 对于虾的毒性远

表 1 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 对凡纳滨对虾幼虾死亡率的影响

组号	$\text{NH}_3 - \text{N}_t$ /mg/L	$\text{NH}_3 - \text{N}_m$ /mg/L	死亡率 /%			
			24 h	48 h	72 h	96 h
1	25.0	1.939	65	100	100	100
2	23.0	1.783	40	95	100	100
3	21.0	1.628	25	50	90	90
4	19.0	1.473	10	35	85	90
5	17.0	1.318	10	40	60	70
6	15.0	1.163	0	30	50	50
对照组	0.259	0.020	0	0	0	0

表 2 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对凡纳滨对虾幼虾死亡率的影响

组号	$\text{NO}_2^- - \text{N}$ /mg/L	死亡率 /%			
		24 h	48 h	72 h	96 h
1	185	50	100	100	100
2	170	25	80	100	100
3	126	15	50	90	100
4	104	0	35	85	95
5	82	5	25	65	80
6	60	0	15	45	70
7	30	0	5	10	20
对照组	0.013	0	0	0	0

表 3 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 与 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对凡纳滨对虾幼虾的半致死质量分数和安全质量分数

毒物	LC_{50} /mg/L				安全质量分数 /mg/L
	24 h	48 h	72 h	96 h	
$\text{NH}_3 - \text{N}_t$	24.24	21.00	15.00	15.00	1.50
$\text{NH}_3 - \text{N}_m$	1.783	1.628	1.163	1.008	0.101
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	185.0	126.0	70.5	51.80	5.180

强于 $\text{NO}_2^- - \text{N}$, 且 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 在较短时间内致毒的外观症状不明显, 因此在养虾过程中应特别注意对氨、氮的调控。

彭自然等^[4]指出, $\text{NH}_3 - \text{N}_\text{m}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对体长 9.92 mm 幼虾的安全质量分数分别为 0.054 和 1.9 mg/L。在与其相近的试验条件下, 本试验所用幼虾的体长为 2.4 cm, 两毒物的安全质量分数分别为 0.101 mg/L 和 5.180 mg/L, 表明幼虾的耐毒能力随生长而逐渐增强。上述两毒物的试验结果与以往的资料报道相符合^[4,7,10]。

2.1.2 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对幼虾的急性毒性症状

当受试虾被放入 $\text{NH}_3 - \text{N}_\text{m}$ 最高质量分数组 (1.939 mg/L) 15 min 时, 即显急躁不安, 剧烈游动, 易受惊, 2 h 后基本上全部沉入底部, 且约有 30% 的虾侧卧于底部, 体色呈乳白色, 活力减弱, 无力游动, 仅附肢轻微颤动。到 5 ~ 8 h 时出现死亡, 死亡率达 40%。其余试验组受试虾稍迟些也出现上述症状, 只是程度随质量分数的降低有些减弱。

$\text{NO}_2^- - \text{N}$ 最高质量分数组 (185 mg/L) 的受试虾, 1 h 后也有部分侧身于底部, 3 h 基本上全部沉于底部, 8 h 后体色方呈乳白色, 并出现死虾, 但前 8 h 时仍有一定活动能力, 触碰时尚可弹跳。8 h 之内, $\text{NO}_2^- - \text{N} \leq 82$ mg/L 质量分数组的受试虾仅较易受惊, 未出现其他明显的异常现象。30 mg/L 质量分数组受试虾状况与对照组基本相似, 但 8 ~ 96 h 时, 也程度不等地逐步出现上述中毒症状。这又表明, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的毒性远低于 $\text{NH}_3 - \text{N}_\text{m}$, 其质量分数虽远高于 $\text{NH}_3 - \text{N}_\text{m}$, 但它对幼虾的致毒程度明显弱于后者。

2.2 $\text{NH}_3 - \text{N}_\text{m}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对幼虾的亚急性毒性效应

幼虾在 $\text{NH}_3 - \text{N}_\text{m}$ (0.101 ~ 0.333 mg/L) 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ (3 ~ 21 mg/L) 的试液中饲养 20 天后, 体长和体重增长率 ($\Delta L\%$, $\Delta W\%$)、存活率等分别列于表 4 和表 5。由表 4 和表 5 可知, 在试验质量分数范围内, $\text{NH}_3 - \text{N}_\text{m}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对于受试虾均显示一定的毒性, 并影响幼虾的生长和存活, 试验虾体长和体重的增长率、存活率均低于对照组。且随质量分数增加, 体长和体重的增长率以及存活率均逐步递减。

经显著性检验 ($\alpha = 0.05$), $\text{NH}_3 - \text{N}_\text{m}$ 各试验组之间及各组与对照组之间, 受试虾的体长增长均存在显著性差异; 各试验组成活率与对照组之间存有显著性差异, 第 3 至第 7 组 (2.3 ~ 4.3 mg/L) 之间及两

表 4 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 对凡纳滨对虾幼虾生长和存活率的影响

组 别	1	2	3	4	5	6	7	对照组
$\text{NH}_3 - \text{N}_\text{t}/\text{NH}_3 - \text{N}_\text{m}$ /mg/L	1.3/0.101	1.8/0.140	2.3/0.178	2.8/0.217	3.3/0.256	3.8/0.295	4.3/0.333	1.005
L_0/cm	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
L/cm	3.77 ± 0.51	3.65 ± 0.52	3.59 ± 0.42	3.48 ± 0.42	3.43 ± 0.37	3.37 ± 0.37	3.27 ± 0.43	3.96 ± 0.56
$\Delta L/\%$	57.1	52.1	49.6	45.0	42.9	40.4	36.3	65.0
W_0/mg	139	139	139	139	139	139	139	139
W/mg	587	542	521	479	447	412	401	676
$\Delta W/\%$	322.30	289.93	274.82	244.60	221.58	196.40	188.49	386.33
存活率/%	92.9	78.6	78.6	78.6	78.6	75.0	71.4	100

表 5 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对凡纳滨对虾幼虾生长和存活率的影响

组 别	1	2	3	4	5	6	7	对照组
$\text{NO}_2^- - \text{N}/\text{mg/L}$	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	1.005
L_0/cm	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41
L/cm	3.84 ± 0.39	3.71 ± 0.45	3.60 ± 0.51	3.35 ± 0.46	3.23 ± 0.38	3.07 ± 0.46	2.92 ± 0.20	3.98 ± 0.49
$\Delta L/\%$	59.2	53.8	49.3	39.1	33.9	27.5	21.2	65.00
W_0/mg	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
W/mg	589	543	516	401	359	324	246	683
$\Delta W/\%$	311.9	279.7	260.8	180.4	151.0	126.6	72.0	377.6
存活率/%	91.7	91.7	87.5	83.3	83.3	75.0	75.0	100

表6 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 对凡纳滨对虾幼虾生长和存活率的影响

组别	1	2	3	4	5	6	7	对照组
$\text{NO}_3^- - \text{N} / \text{mg/L}$	30	60	100	145	195	500	700	1.005
L_0 / cm	7.94 ± 0.6	7.94 ± 0.6	7.94 ± 0.6	7.94 ± 0.6	7.94 ± 0.6	7.94 ± 0.6	7.94 ± 0.6	7.94 ± 0.6
L / cm	9.57 ± 0.53	9.42 ± 0.80	9.18 ± 1.14	8.72 ± 0.64	8.62 ± 0.78	—	—	9.69 ± 0.70
$\Delta L / \%$	20.53	18.61	15.55	9.84	8.51	—	—	22.07
W_0 / g	6.302 ± 1.7	6.302 ± 1.7	6.302 ± 1.7	6.302 ± 1.7	6.302 ± 1.7	6.302 ± 1.7	6.302 ± 1.7	6.302 ± 1.7
W / g	9.88	9.61	9.15	8.30	8.17	—	—	10.49
$\Delta W / \%$	56.78	52.49	45.19	31.72	29.64	—	—	66.38
存活率/%	100	90	90	45	35	0	0	100

个最低质量分数组(1.3和1.8 mg/L)之间存活率均无显著性差异。但两个最低质量分数组和 $\text{NH}_3 - \text{N}_m \geq 2.3 \text{ mg/L}$ 的各质量分数组之间存有显著性差异。这说明在 20 天亚急性中毒时间内,在 2.3 ~ 4.3 mg/L 质量分数范围内, $\text{NH}_3 - \text{N}_m$ 对各试验组幼虾所产生的毒害作用尚不足以引起彼此间存活率的显著差异。另外,试验中观察到,质量分数 4.3 mg/L 的试验组,虾的摄食量明显降低,可见此质量分数对幼虾机体的毒性较其它低质量分数组有较大增强,以致影响幼虾的摄食强度。

经 20 天的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 中毒试验,各试验组的存活率(75.0% ~ 91.7%)远低于对照组(100%),第 6、7 两最高质量分数组存活率(75.0%)又明显低于其余各试验组(83.3% ~ 91.7%)。经显著性检验($\alpha = 0.05$),均存有显著性差异;第 3、4、5 组间、第 1、2、3 组间存活率或相同(83.3%),或相近(87.5% ~ 91.7%),故均不存在显著性差异;但第 4、5 组与其余各组间存在显著性差异。由此可知,第 6、7 组,即当 $\text{NO}_2^- - \text{N} \geq 18 \text{ mg/L}$ 时, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对幼虾的毒性剧增,以致引起存活率剧降。随质量分数增加, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对幼虾体长增长的影响程度超过对存活率的影响,以致各试验组与对照组间、及其彼此之间体长增长均存在显著性差异。

在 20 天的 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 亚急性毒性试验中,经显著性检验($\alpha = 0.05$),对于受试虾体长的增长值,各试验组之间及其与对照组之间存在显著性差异。可见,当 $\text{NO}_2^- - \text{N} \geq 1.3 \text{ mg/L}$ 时均明显影响幼虾的生长,说明幼虾生长对 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 毒性的敏感性大于存活率。也即,尽管 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 对幼虾的安全质量分数较高^[7],但它仅是相对于成活率而言。

2.3 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 对幼虾的亚急性毒性效应

幼虾在一定质量分数硝酸盐试液中饲养 20 天后,体重(W)与体长(L)及其增长率、存活率等列于表 6。通常认为,硝酸盐对水产动物无毒害作用,渔业水质标准等对其也未予限制。但试验发现,随质量分数增加,幼虾存活率、体长和体重的增长率均受到一定影响,对幼虾增长的影响更为明显,这是室内虾类封闭式养殖应特别注意的。在 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的两高质量分数组(145 和 195 mg/L),虾的活力和摄食量明显降低,增长率和存活率均陡降。可见,幼虾对 $\text{NO}_3^- - \text{N} \geq 145 \text{ mg/L}$ 时的毒性耐受力急剧下降。经显著性检验($\alpha = 0.05$),第 1 ~ 5 组彼此之间及其与对照组间,体长增长均存在显著性差异。对于存活率,对照组与第 1 组之间,第 2 组与第 4 组间均不存在显著性差异,但其余各组之间均存在显著性差异。表 4 ~ 6 表明, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的毒性远低于 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_3 - \text{N}_m$,但当 $\text{NO}_3^- - \text{N} \geq 30 \text{ mg/L}$ 时,虾的生长已受到影响,且当 $\text{NO}_3^- - \text{N} \geq 60 \text{ mg/L}$ 时,虾的成活率也受到了影响,特别是当 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 145 mg/L 和 195 mg/L 时,存活率仅为对照组的 45% 与 35%。另外,对特高质量分数组的观察发现,当 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 500 mg/L 时,19 天的死亡率高达 100%,最后测得体和体重增长率分别为 4.0% 和 14.1%;700 mg/L 质量分数组 15 天的死亡率即达 100%,最后测得体和体重增长率仅分别为 1.9% 和 5.7%。由此可见,一定质量分数的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 对于虾的生长和成活率均有影响,且在室内封闭式养殖 70 天左右时, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 质量分数可能积累到 20 ~ 30 mg/L,因此,如何控制 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的质量分数也应引起应有的注意。

(下转第 74 页)