

## 동자개 치어의 암모니아 급성 독성

손상규<sup>†</sup> · 이주용 · 이영식 · 김광석 · 김봉래 · 이정호 · 최혜승  
(국립수산과학원 내수면양식연구센터)

### Acute Toxicity of Ammonia on Juvenile banded Catfish(*Pseudobagrus fulvidraco*)

Sang-Gyu SOHN<sup>†</sup> · Joo-Yong LEE · Young-Sik LEE · Kwang-Seog KIM · Bong-Rae KIM ·  
Jeong-Ho LEE · Hye-Sung CHOI

(National Fisheries Research & Development Institute, Inland Aquaculture Research Center)

#### Abstract

Juvenile banded catfish(*Pseudobagrus fulvidraco*, mean length  $10.7 \pm 0.42$  cm and mean weight  $15.0 \pm 0.23$  g) were exposed to varies TAN(total ammonia) concentrations at pH levels of  $6.12 \pm 0.51$ ,  $7.00 \pm 0.26$  and  $8.04 \pm 0.07$  for 96hrs to check the level of acute toxicity on biofloc technology aquaculture system(BFT).

The result showed that cumulative mortalities for juvenile banded catfish at TAN levels 48.95, 55.96, 66.47, and 78.88 mg/L at pH  $6.12 \pm 0.51$  were 0, 30, 30, and 50%, respectively. At pH  $7.00 \pm 0.26$ , its mortalities to TAN 5.20, 11.68, 15.31, and 18.31 mg/L were 0, 10, 20, and 70%, respectively and at pH  $8.04 \pm 0.07$ , the mortalities to TAN 0.96, 1.49, 2.13, and 3.62 mg/L were 10, 20, 40, and 100%, respectively. Its 96h-LC<sub>50</sub> (median lethal concentration, LC<sub>50</sub>) at pH  $6.12 \pm 0.51$ ,  $7.00 \pm 0.26$ , and  $8.04 \pm 0.07$  were 78.12, 15.87, and 2.21 mg/L for TAN, and 0.05, 0.10, and 0.14 mg/L for NH<sub>3</sub>, respectively, and the acute toxicity for ammonia to juvenile banded catfish increased exponentially with increase of pH.

**Key words :** Banded catfish, Ammonia, TAN, NH<sub>3</sub>, Acute toxicity, Mortality, 96h-LC<sub>50</sub>

#### I. 서론

어류양식장에서 어류의 단백질 대사과정과 사료찌꺼기등 유기물 분해에 의해 암모니아가 생성되며, 사육수 환수량이 부족하거나 *Nitrosomonas* sp. 등과 같은 질화세균에 의한 질산화과정(nitrification)이 충분히 일어나지 않을 때 사육수 중에 암모니아가 축적되어 양식어류에 치명적인 피해를 주는 경우가 있다.

수중에 용존하는 총암모니아(total ammonia, TAN)는 이온화된 암모늄(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)과 이온화되지 않은 유리 암모니아(NH<sub>3</sub>)로 구성되며, 그 비율은 pH, 수온, 염분도 및 이온강도 등에 의해 다르지만, pH의 영향이 가장 커서 pH가 상승하면 NH<sub>3</sub> 비율도 증가하여 독성이 강해지고(Emmerson *et al.*, 1975), 용존산소량이 증가하면 독성이 감소한다.

TAN 중에서 독성이 강한 NH<sub>3</sub>는 생물 세포막

<sup>†</sup> Corresponding author : 055-540-2722, sgsohn2067@korea.kr

\* 이 논문은 2015년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2015021)의 지원으로 수행된 연구임.

(cell membrane)을 쉽게 통과할 수 있지만,  $\text{NH}_4^+$ 는 세포막을 통과하기 어려워 독성이 없거나 비교적 덜하다(Adams *et al.*, 1994).

사육수중에  $\text{NH}_3$  농도가 증가하면 어류 혈장, 아가미, 뇌 및 근육 조직 등에서  $\text{NH}_3$  농도가 증가해서 혈액 pH가 상승하게 된다. 그 결과, 효소 촉매작용이 억제되어 아가미, 신장 및 비장이 손상을 받게 되며(Cheng *et al.*, 1998), 헤모글로빈의 산소 운반 능력 저하로(Sousa *et al.*, 1977) 호흡수나 심장 박동수가 증가한다(Smart, 1976).

어류가  $\text{NH}_3$  허용 한계 범위 내에서 장기간 노출되면 섭이량 저하로 성장률이 떨어지고, 허용 한계 범위를 벗어나면 폐사에 이른다(Thurston *et al.*, 1984).

이처럼  $\text{NH}_3$ 는 사육수에 축적이 되면 양식생물 사육에 피해를 주기 때문에 cutthroat trout(Thurston *et al.*, 1978), rainbow trout(Burkhalter *et al.*, 1997; Hillaby *et al.*, 1979; Soderberg *et al.*, 1983; Thurston *et al.*, 1978), eel(Yamagata *et al.*, 1982), fathead minnow(Thurston *et al.*, 1983), channel catfish(Colt *et al.*, 1976; Knepp *et al.*, 1973), rockfish and red sea bream(Cho *et al.*, 1998), carp(Yang *et al.*, 1986)등 많은 어류를 대상으로 암모니아의 급성독성 연구가 수행되어 있지만, 아직까지 동자개에 대해서는 암모니아 급성 및 만성독성 연구는 없다.

그래서 본 연구에서는 동자개를 BFT(biofloc technology)로 고밀도 양식하기 위해 아질산 급성독성 및 암모니아 급성독성 연구가 필요하여, 미생물총을 이용한 BFT 양식 시스템에서 pH를 적절히 관리해야 할 pH 6~8 변동 범위내에서 암모니아 급성독성 실험을 수행하고 96시간 치사농도인  $\text{LC}_{10}$ ,  $\text{LC}_{50}$  및  $\text{LC}_{90}$ (lethal concentration, LC)를 계산해서 그 결과를 보고하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험어

경남 창원시 진해구에 위치한 내수면 양식연구센터에서 사육중인 평균 체중  $15.0 \pm 0.23$  g(평균 전장  $10.7 \pm 0.42$  cm) 동자개 치어를 250 L PVC 원형수조에 수용하고 실험 4일 전부터 절식하여 실험어로 사용하였다.

### 2. 실험 방법

아크릴 원형수조( $\varnothing 35$  cm  $\times$  H 35 cm) 12개에 지하수를 20 L씩 채우고 0.1 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 와 0.1 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 로 pH를 6.0, 7.0, 8.0으로 조정하였다. 0.1 M  $\text{NH}_4\text{Cl}$  시약을 첨가해서 총암모니아(TAN) 농도를 pH 6 실험구에서는 50, 60, 70, 80 mg/L, pH 7.0에서는 5, 10, 15, 20 mg/L, pH 8에서는 1, 1.5, 2, 2.5 mg/L로 조절해서 동자개 치어를 실험구별로 수조 당 20 마리씩 수용하였고, 대조구는  $\text{NH}_4\text{Cl}$  시약과 HCl 및 NaOH를 첨가하지 않고 지하수를 사육수로 사용하였다.

시험 수조는 히터를 이용하여 수온을 조절한 항온 수조 내에 설치하고 수온을  $27.0 \pm 0.41$  °C로 유지하였고, 실험기간 동안 사료는 공급하지 않고 폭기하여 용존산소를  $6.8 \pm 0.21$  mg/L를 유지시켰으며, 실험 시작 후 6, 12, 24, 48, 72, 96시간 간격으로 폐사체를 확인하여  $\text{LC}_{50}$ 을 구하였다. 수온, 용존산소 및 pH는 YSI 600 XL(YSI Nanotech, Yellow Springs, Ohio, USA)로 같은 시간 간격으로 측정하였다. 총암모니아(TAN)는  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{NH}_3$  합으로 산출하였다.  $\text{NH}_4^+$ 는 같은 시간 간격으로 사육수를 채취해서 0.2  $\mu\text{m}$  여과지로 여과해서 Spectroquant Photometer NOVA 60으로 분석하여 구하였고,  $\text{NH}_3$ 는 YSI 600 XL를 이용하여 사육수의 pH와 수온을 측정해서 총암모니아 중 이온화되지 않은  $\text{NH}_3$ 의 해리비율을 계산하여 산출하였으며, TAN 농도 유지를 위해  $\text{NH}_4\text{Cl}$  시약을 6시간 간격으로 첨가해서 농도를 조절하였다.

그리고 반수치사 농도( $\text{LC}_{50}$ )는 Microsoft Excel

2010을 사용하여 다중공선성(multicollinearity)을 검토하였고, 최종적으로 선택된 독립변수들에 대하여 회귀분석을 수행해서 얻어진 회귀식에 대해 통계적으로 의미가 있는지의 여부를 판단하기 위해 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며 결정계수(coefficient of determination;  $R^2$ )는 0.95로 산출하여 계산하였다.

### III. 결 과

#### 1. 수질 변화

실험에 사용한 지하수의 수질은 <Table 1>에서와 같이 TAN(총암모니아)는 0.1 mg/L,  $\text{NO}_2^-$ (아질산염)은 0.1 mg/L,  $\text{Cl}^-$ (염소이온)은 52.4 mg/L, Alkalinity(알카리도)는 85.4 mg/L(as  $\text{CaCO}_3$ )를 나타내어 동자개 암모니아 급성독성 시험에 적합한 수질 상태를 나타내었다.

<Table 1> Qualities of underground water used in this study

Parameter	Value
Temperature(°C)	22.5
pH	7.7
Dissolved oxygen(mg/L)	6.8
TAN(mg/L)	0.1
$\text{NO}_2^-$ (mg/L)	0.1
$\text{Cl}^-$ (mg/L)	52.4
Alkalinity(mg/L as $\text{CaCO}_3$ )	85.4

실험 시작 시 pH는 6.0, 7.0, 8.0로 조정하였으나 시간이 경과함에 따라 사육수에 녹아 있는  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  이온 등의 완충 작용으로 인해 실험구 모두 pH가 약간 상승하는 경향을 나타내었고, TAN 농도는 실험 시작 시 조정된 농도 보다 다소 차이가 있었다(<Table 2>).

#### 2. 폐사율

pH 및 암모니아 농도에 따른 96시간 동안, 대

<Table 2> Average of water qualities parameter during the evaluation of toxicity of ammonia for juvenile banded catfish(*P. fulvidraco*)

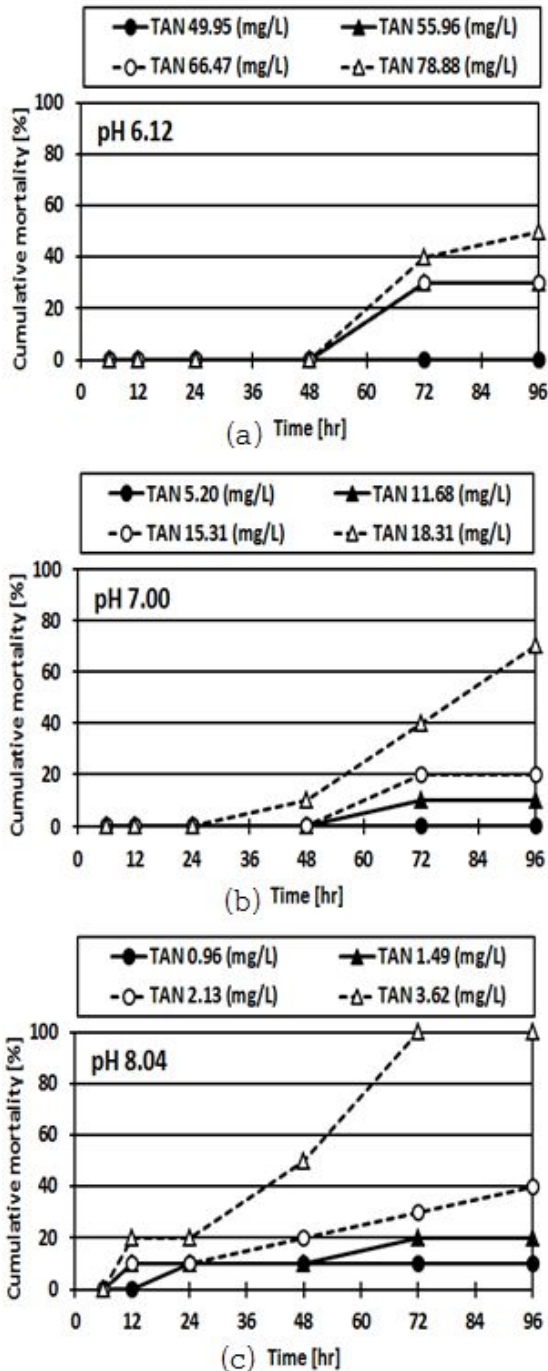
Nominal		Real			
pH	TAN (mg/L)	pH	TAN (mg/L)	$\text{NH}_4^+$ (mg/L)	$\text{NH}_3$ (mg/L)
6.0	50.0		48.95	48.92	0.03
	60.0	6.12	55.96	55.92	0.04
	70.0	$\pm 0.51$	66.47	66.43	0.04
	80.0		78.88	78.83	0.05
7.0	5.0		5.20	5.17	0.03
	10.0	7.00	11.68	11.60	0.08
	15.0	$\pm 0.26$	15.31	15.21	0.10
	20.0		18.31	18.19	0.12
8.0	1.0		0.96	0.90	0.06
	1.5	8.04	1.49	1.41	0.09
	2.0	$\pm 0.07$	2.13	2.00	0.13
	2.5		3.62	3.40	0.22

조구는 폐사가 전혀 일어나지 않았지만, TAN를 첨가한 시험구에서는 폐사가 일어나서 pH 농도별 TAN 농도에 따른 누적 폐사율은 [Fig. 1]에 표시하였다.

동자개 치어( $15.0 \pm 0.23$  g)는 pH  $6.12 \pm 0.51$  (pH 6 조정)에서 96시간 동안 TAN 48.92 mg/L( $\text{NH}_3$  0.03 mg/L)농도의 폐사율은 0%, 55.92 mg/L( $\text{NH}_3$  0.04 mg/L)에서 30%, 66.43 mg/L( $\text{NH}_3$  0.04 mg/L)에서 30%, 78.88 mg/L( $\text{NH}_3$  0.05 mg/L)에서 50%를 나타냈다.

pH  $7.00 \pm 0.26$ (pH 7.0 조정)에서는 TAN 5.17 mg/L( $\text{NH}_3$  0.03 mg/L)에서 0%, 11.60 mg/L( $\text{NH}_3$  0.08 mg/L)에서 10%, 15.21 mg/L( $\text{NH}_3$  0.10 mg/L)에서 20%, 18.19 mg/L( $\text{NH}_3$  0.12 mg/L)에서 70% 폐사하였다.

pH  $8.04 \pm 0.07$ (pH 8 조정)에서는 TAN 0.96 mg/L( $\text{NH}_3$  0.06 mg/L) 농도에서는 10%, 1.49 mg/L( $\text{NH}_3$  0.09 mg/L)에서 20%, 2.13 mg/L( $\text{NH}_3$  0.13 mg/L)에서 40%, 3.62 mg/L( $\text{NH}_3$  0.22 mg/L)에서 100% 폐사하였다.



[Fig. 1] Cumulative mortalities of banded catfish by pH at various ammonia(TAN) concentrations. (a) pH 6.12, (b) pH 7.00, (c) pH 8.04.

### 3. 반수치사 농도(LC<sub>50</sub>)

pH 농도에 따른 TAN 농도별 동자개 치어에 대한 24, 48, 72, 96시간 반수치사 농도(LC<sub>50</sub>)는 <Table 3>에 나타내었다. 동자개 치어는 pH 6.12 ± 0.51에서 72, 96시간의 반수치사 농도(LC<sub>50</sub>)는 TAN 84.24, 78.12 mg/L이며, 해리비율로 환산한 NH<sub>3</sub>는 0.05, 0.05 mg/L이다.

<Table 3> LC<sub>10</sub>, LC<sub>50</sub> and LC<sub>90</sub> values of total ammonia(TAN) for juvenile banded catfish

Pollutant (mg/L)	pH	Time (hr)	LC <sub>10</sub>	LC <sub>50</sub>	LC <sub>90</sub>
TAN	6.12 ± 0.51	12	N.D	N.D	N.D
		24	N.D	N.D	N.D
		48	N.D	N.D	N.D
		72	54.98	84.24	113.50
		96	50.40	78.12	105.84
		7.00 ± 0.26	12	N.D	N.D
	24		N.D	N.D	N.D
	48		15.87	50.00	84.13
	72		7.72	26.93	46.14
	96		7.33	15.87	24.40
	8.04 ± 0.07		12	2.00	7.72
		24	2.00	7.72	13.45
48		1.24	3.68	6.12	
72		1.15	2.28	3.41	
96		1.09	2.21	3.33	

pH 7.00 ± 0.26에서는 48, 72, 96시간의 반수치사 농도(LC<sub>50</sub>)는 TAN 50.00, 26.93, 15.87 mg/L이고, NH<sub>3</sub>는 0.33, 0.18, 0.10 mg/L이다.

pH 8.04 ± 0.07에서 12, 24, 48, 72, 96시간의 반수치사 농도(LC<sub>50</sub>)는 TAN 7.72, 7.72, 3.68, 2.28, 2.21 mg/L이며, NH<sub>3</sub>는 0.47, 0.47, 0.23, 0.14, 0.14 mg/L이다.

## IV. 고찰

일반적으로 pH가 상승하면 유리 암모니아 양이 증가하여 독성이 증가하는 것으로 알려져 있다. 그래서 본 연구에서는 동자개 치어를 대상으로 pH 농도별 TAN의 급성독성 시험을 실시하였

다. TAN에 대한 96시간 후의 pH 농도별 LC<sub>10</sub>, LC<sub>50</sub> 및 LC<sub>90</sub>는 pH 6.12 ± 0.51은 50.40, 78.12 및 105.84 mg/L였고, pH 7.00 ± 0.26에서는 7.33, 15.87 및 24.40 mg/L였으며, pH 8.04 ± 0.07은 1.09, 2.21 및 3.33 mg/L로 나타나, LC<sub>10</sub>, LC<sub>50</sub> 및 LC<sub>90</sub> 모두 pH가 상승함에 따라 LC값이 낮아져 암모니아 독성이 증가하였다. Tomasso *et al.*, (1980)의 연구에 의하면 channel catfish에서도 pH 7.0과 8.0에서 24시간 후 TLm이 263±11.3과 38.8±1.8mg/L로 나타나, 본 실험과 같이 pH가 증가하면 암모니아 독성이 증가하는 것으로 나타났다.

이처럼 pH가 증가하면 NH<sub>3</sub> 독성이 강해지는 이유는 TAN 중 이온화되지 않은 유리 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 이온화된 암모니움(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)이 수중에서 평행상태를 이루고 있지만, 수산화이온(OH<sup>-</sup>)량이 증가하여 pH가 상승하면 상대적으로 수소이온(H<sup>+</sup>)량이 부족하여 산과 염기반응의 균형을 맞추기 위해 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>가 NH<sub>3</sub> + H<sup>+</sup>로 해리됨에 따라 독성이 있는 NH<sub>3</sub>량이 증가하기 때문이다.

그리고 TAN 노출시간에 따른 LC를 비교해 보면 pH 농도별 실험구 모두 노출 시간이 길어지면 LC<sub>10</sub>, LC<sub>50</sub> 및 LC<sub>90</sub> 값도 낮아져 독성이 강해지는 것을 알 수 있다. 따라서 이런 결과를 유추해 보면 동자개도 타어종과 같이 아주 낮은 농도의 암모니아에 장기간 노출시키면 만성독성을 일으킬 수 있으므로 추후 이에 대한 연구도 있어야 할 것으로 생각된다.

어류에 대한 암모니아의 독성은 어종을 포함해서 크기, 연령, 성별 등에 따라 다르며(Sprague, 1985), 동일 어종이라도 연구자의 실험 조건에 따라 다르게 나타나기 때문에 어종 간에 암모니아의 독성을 정확히 비교하는 것은 어렵다고 하지만(Frences *et al.*, 1998; Sampaio *et al.*, 2002; Das *et al.*, 2004; Rodrigues *et al.*, 2007), 본 실험에서 동자개 치어를 대상으로 pH 7.00±0.26(수온 26.94±0.46°C, DO 6.72±0.26 mg/L)의 실험 조건에서 행한 96-hr LC<sub>50</sub>의 TAN 15.87 mg/L 값을

Bower *et al.*,(1978)에 의한 해리 비율(%)로 계산하면 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 15.77 mg/L와 NH<sub>3</sub> 0.10 mg/L으로 나타낼 수 있다. 이 환산 값을 기준으로 해산어류인 조피볼락(체중 6.2g, pH 7.3, DO 23°C)의 96-hr LC<sub>50</sub>은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 3.57 mg/L와 NH<sub>3</sub> 0.029 mg/L으로 제시한 Cho *et al.*,(1998)의 결과 값을 본 실험과 유사한 조건(pH 7.0, DO 27°C)으로 환산하면 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 3.53 mg/L와 NH<sub>3</sub> 0.04 mg/L로 나타낼 수 있어, 동자개가 조피볼락 보다 암모니아(NH<sub>3</sub>)에 내성이 있다고 할 수 있다.

담수어류 32종과 해산어류 17종의 암모니아에 대한 평균 급성독성 범위를 비교한 US EPA (1984, 1989) 보고 자료에 의하면, 담수어류가 해산어류보다 암모니아에 내성이 있다고 하여 본 실험 결과를 뒷받침해 주고 있다.

그리고 Zhang *et al.*,(2012)이 보고한 동자개와 유사한 종인 yellow catfish(체중 32.96 ± 5.75g)의 실험 결과를 본 실험 조건으로 96-hr LC<sub>50</sub> 값을 환산해 보면 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 82.72 mg/L와 NH<sub>3</sub> 2.13 mg/L로 나타나 yellow catfish가 동자개 보다 암모니아에 내성이 있다고 할 수 는 있지만, 일반적으로 어체 크기가 커지면 암모니아에 대한 내성이 증가한다고 하므로(Kim *et al.*, 1997; Kido *et al.*, 1991; Cho *et al.*, 1998), 어종 간에 암모니아 독성 내성 비교를 할 때는 이점을 간과해서는 안 될 것이다.

## V. 결론

동자개 치어(평균 체중 15.0 ± 0.23 g)에 대한 pH 농도별 암모니아(TAN)의 급성독성 연구를 실시하였다.

동자개 치어는 pH 6.12 ± 0.51에서 96시간 동안 TAN 농도별 누적 폐사율은 TAN 48.92 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.03 mg/L)농도에서 폐사율은 0%, 55.92 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.04 mg/L)는 30%, 66.43 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.04 mg/L)는 30%, 78.88 mg/L(NH<sub>3</sub>

0.05 mg/L)는 50%였다.

pH 7.00 ± 0.26에서 TAN 5.17 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.03 mg/L)는 폐사율 0%, 11.60 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.08 mg/L)는 10%, 15.21 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.10 mg/L)는 20%, 18.19 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.12 mg/L)는 70%였다.

pH 8.04 ± 0.07에서는 TAN 0.96 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.06 mg/L)는 10%, 1.49 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.09 mg/L)는 20%, 2.13 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.13 mg/L)는 40%, 3.62 mg/L(NH<sub>3</sub> 0.22 mg/L)에서 100% 폐사하였다.

pH 농도에 따른 TAN 농도별 동자개 치어에 대한 12, 24, 48, 72, 96 시간 반수치사 농도(LC<sub>50</sub>)는 pH 6.12 ± 0.51에서 72, 96시간의 LC<sub>50</sub>은 TAN 84.24, 78.12 mg/L이며, NH<sub>3</sub>는 0.05, 0.05 mg/L였다.

pH 7.00 ± 0.26에서는 48, 72, 96시간 LC<sub>50</sub>은 TAN 50.00, 26.93, 15.87 mg/L이며, NH<sub>3</sub>는 0.33, 0.18, 0.10 mg/L였다.

pH 8.04 ± 0.07에서 12, 24, 48, 72, 96시간 LC<sub>50</sub>은 TAN 7.72, 7.72, 3.68, 2.28, 2.21 mg/L이며, NH<sub>3</sub>는 0.47, 0.47, 0.23, 0.14, 0.14 mg/L였다.

따라서 동자개 치어에 대한 암모니아의 급성독성은 pH가 높을수록 높게 나타났다.

## References

- Adams, N. and Bealing, D.(1994). Organic pollution: biochemical oxygen demand and ammonia. In: Handbook of ecotoxicology, Vol. 2. p. Calow(Ed), Oxford: Backwell Scientific Publication. 264~285.
- Bower, C. E. and Bidwell, J. P.(1978). Ionization of ammonia in seawater: effects of temperature, pH and salinity, J. Fish Res. Board Can. (65), 1012~1016.
- Burkhalter, D. E. and Kaya, C. M.(1977). Effects of prolonged exposure to ammonia on fertilized eggs and sac fry of rainbow trout(*Salmo gairdneri*), Trans. Am. Fish Soc. (106), 470~475.
- Cheng, S. Y. and Chen, J. C.(1998). Effect of nitrite exposure on the hemolymph electrolyte, respiratory protein and free amino acid levels and water content of *Penaeus japonicus*, Aquat. Toxicol. (44), 129~139.
- Cho, S. H. and Hur, S. B.(1998). Comparison of acute toxicity of ammonia in juvenile rockfish and red sea bream, J. Aquaculture (11:4), 429~435.
- Colt, J. and Tchobanoglous, G.(1978). Evaluation of the short-term toxicity of nitrogenous compounds to channel catfish(*Ictalurus punctatus*), Aquaculture, (8), 209~224.
- Das, P. C. · Ayyappan, S. · Jena, J. K. and Das, B. K.(2004). Acute toxicity of ammonia and its sub-lethal effects on selected haematological and enzymatic parameters of mrigal(*Cirrhinus mrigala*), Aquacult. Res. (35), 134~143.
- Emmerson, K. · Russo, R. C. · Lund, R. E. and Thurston, R. V.(1975). Aqueous ammonia equilibrium calculation: effect of pH and temperature, J. Fish Res. Bd. Can. (32), 2379~2383.
- Frances, J. · Allan, G. L. and Nowak, B. F.(1998). The effects of nitrite on the short-term growth of silver perch(*Bidyanus bidyanus*), Aquaculture (163), 63~72.
- Hillaby, B. A. and Randll, D. J.(1979). Acute ammonia toxicity and ammonia excretion in rainbow trout(*Salmo gairdneri*), J. Fish Res. Board Can. (36), 621~629.
- Kido, K. · Watanabe, Y. · Nakamura, Y. and Okamura, T.(1991). Effects of ammonia on the survival of red sea bream(*Pagrus major*) eggs and larvae, Suisanzoshoku (39), 353~362.
- Kim, H. S. · Kim, H. Y. and Chin, P.(1997). Effects of ammonia on survival and growth of the flounder larva(*Paralichthys olivaceus*), J. Korean Fisheries Soc., (30), 488~495.
- Knepp, G. L. and Ankin, G. F.(1973). Ammonia toxicity level and nitrite tolerance of channel catfish, Progr. Fishcult. (35), 221~224.
- Rodrigues, R. V. · Schwarz, M. H. · Delbos, B. C. and Sampaio, L. A.(2007). Acute toxicity and sublethal effects of ammonia and nitrite for juvenile cobia(*Rachycentron canadum*), Aquaculture (271), 553~557.
- Sampaio, L. A. · Wasielesky, W. and Campos Miranda-Filho, K.(2002). Effect of salinity on acute toxicity of ammonia and nitrite to juvenile *Mugil*

- platanus*, Bull. Environ, Contam. Toxicol. (68), 668~674.
- Smart, G.(1976). The effect of ammonia exposure on gill structure of the rainbow trout(*Salmo gairdneri*), J. Fish Biol. (8), 471~475.
- Soderberg, R. W. · Flynn, J. B. and Scmittou, H. R.(1983). Effects of ammonia on growth and survival of rainbow trout in intensive static- water culture, Trans. Am. Fish Soc. (112), 448~451.
- Sousa, R. J. and Meade, T. L.(1977). The influence of ammonia on the oxygen delivery system of coho salmon hemoglobin, Bioch. Physiol. (58A), 23~28.
- Sprague, J. B.(1985). Factors that modify toxicity. In: fundamentals of aquatic toxicology methods and applications, G. M. Rand, S. R. Petrocelli (Eds), Hemisphere Publishing, Washington, 124~163.
- Thurston, R. V. · Russo, C. E. and Smith, C. E.(1978). Acute toxicity of ammonia and nitrite to cutthroat trout fry, Tran. Am. Fish Soc. (107), 361~367.
- Thurston, R. V. · Russo, R. C. and Phillips, G. R.(1983). Acute toxicity of ammonia to fathead minnows, Trans. Am. Fish Soc. (112), 705~711.
- Thurston, R. L. · Russo, R. J. · Luedtke, R. J. · Smith, C. E. · Meyn, E. L. · Chakoumalos, C. · Wang, K. C. and Brown, C. D.(1984). Chronic toxicity of ammonia to rainbow trout, Trans. Am. Fish Soc. (113), 56~73.
- Tomasso, J. R. · Goudiem, C. A. · Simco, B. A. and Davis, K. B.(1980). Effects of environmental pH and calcium on ammonia toxicity in channel catfish, Trans. Am. Fish Soc. (109), 229~234.
- USEPA(1984). Ambient water quality criteria for ammonia-1984, National Technical Information Service, Springfield, VA.
- USEPA(1989). Ambient water quality criteria for ammonia(saltwater), National Technical Information Service, Springfield, VA.
- Yamagata, Y. and Niwa, M.(1982). Acute and chronic toxicity of ammonia to eel(*Anguilla japonica*), Jap. Soc. Sci. Fish, (48:2), 171~176.
- Yang, H. C. and Chun, S. K.(1986). Histopathological study of acute toxicity ammonia on common carp(*Cyprinus carpio*), Bull. Korean Fish Soc. (19:3), 249~256.
- Zang, L. · Xiong, D. M. · Li, B. · Zhao, Z. G. · Fang, W. · Yang, K. and Fan, Q. X.(2012). Toxicity of ammonia and nitrite to yellow catfish(*Pelteobagrus fulvidraco*), J. Appl. Ichthyol. (28), 82~86.

- 
- Received : 28 June, 2015
  - Revised : 04 August, 2015
  - Accepted : 13 August, 2015