

동자개 치어의 아질산 급성 독성

손상규* · 이영식 · 김광석 · 이한나 · 이주용 · 백선정
(국립수산과학원 내수면양식연구센터)

Acute Toxicity of Nitrite on Juvenile Banded Catfish(*Pseudobagurus fulvidraco*)

Sang-Gyu SOHN[†] · Young-Sik LEE · Kwang-Seog KIM · Han-Na LEE ·
Joo-Yong LEE · Sun-Jung BACK

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

Abstract

Juvenile banded catfish(*Pseudobagurus fulvidraco*, mean length 10.4 ± 0.37 cm and mean weight 14.5 ± 0.46 g) were exposed to several nitrite(NO_2^-) concentrations for 96h at pH levels of 6.18 ± 0.54 , 6.5 ± 0.30 and 7.07 ± 0.22 .

The result showed that cumulative mortalities of fish to NO_2^- levels of 12.4, 19.8, 33.9 and 53.6 mg/L at pH levels of 6.18 ± 0.54 were 20, 25, 40 and 85%, respectively. At pH 6.5 ± 0.54 , mortalities to NO_2^- 22.4, 36.4, 45.3 and 63.2 mg/L were 25, 35, 50 and 100%, respectively. At pH 7.07 ± 0.22 , mortalities to NO_2^- 25.5, 45.7, 56.3 and 66.4 mg/L were 0, 55, 70 and 100%, respectively.

The 96h- LC_{50} (median lethal concentration, LC_{50}) of fish to several NO_2^- concentrations at pH levels of 6.18 ± 0.54 , 6.5 ± 0.30 and 7.07 ± 0.22 were assessed in these experiments. 96h- LC_{50} at pH levels of 6.18 ± 0.54 , 6.5 ± 0.30 and 7.07 ± 0.22 were 32.68, 40.49 and 45.85 mg/L, respectively.

It indicated that acute toxicity of NO_2^- to juvenile banded catfish increased with low levels of pH and lengthening of exposure time to NO_2^- . In particular, smaller fish(mean weight 14.5 ± 0.46 g) were more sensitive to NO_2^- than larger fish(mean weight 81.7 ± 1.42 g; not published).

The 96h- LC_{50} of juvenile banded catfish to NO_2^- would be primary guideline for water quality management in the intensive culture system such as RAS and BFT.

Key words : Banded catfish, Nitrite(NO_2^-), Acute toxicity, Mortality, 96h- LC_{50}

I. 서론

동자개 *Pseudobagurus fulvidraco*(Richardson)는 우리나라에 서식하는 고유어종으로 분류학적으로는 메기목, 동자개과, 동자개속에 속하는 온수성 어류로서 내수면 양식 어류 중에서는 매운탕용으로 비싸게 판매되는 양식 어류이지만, 지수식으로 양식함으로써 단위 면적당 양식 생산성이 낮

고 고밀도 양식기술이 개발되지 않아 양식 생산량이 부족하여 소비량의 상당한 부분을 중국 등에서 수입하고 있는 실정이다.

일반적으로 양식생물을 지수식으로 양식하면 수질관리가 사료 공급량과 환수량에 의존할 수밖에 없어 수질관리에 어려움이 많으며, 또한 주간 pH와 용존산소량의 변동이 심하고 사료 찌꺼기 및 양식생물의 배설물 등에 의해 수질과 저질

[†] Corresponding author : 055-540-2722, sgsohn2067@korea.kr

* 이 논문은 국립수산과학원 시험연구사업비(RP-2014-AQ-50)로 수행되었음.

이 지속적으로 악화되어 양식생물의 성장 저하는 물론 암모니아나 아질산 중독에 의해 양식생물이 폐사하는 경우가 흔히 있다.

양식생물의 단백질 대사과정에서 생성되거나 사료 찌꺼기 등 유기물 분해에 의해 생성되는 암모니아가 질화과정(nitrification)에서 *Nitrosomonas* sp. 등에 의해 산화되어 아질산이 생성되거나, 질산의 혐기성 탈질화과정(anaerobic - denitrification)에서 생성된다(Schoore *et. al.*, 1995).

사육수에 아질산 농도가 높아지면 아질산이 아가미를 통해 양식생물의 혈액으로 들어가 산소 운반 능력이 있는 헤모글로빈(Hb)의 2가 철 이온(Fe^{2+})이 3가 철 이온(Fe^{3+})으로 산화되어 산소 운반 능력이 없는 메타헤모글로빈(methemoglobin, MetHb)으로 된다.

따라서 양식생물의 혈액 내에 MetHb 농도가 높아지면 수중에 용존산소량이 많아도 산소를 체내에 운반하지 못하므로 양식생물은 호흡장애를 일으키고, 아가미와 혈액은 갈색이나 초콜릿색으로 변색(Lewis & Morris, 1986)되므로 인해 아질산 중독증을 'brown blood disease'라고도 부르기도 하며, 아질산 중독증이 심할 경우에는 단기간 내에 양식생물을 대량폐사 시키는 경우가 흔히 있다.

아질산 농도가 어류 혈액 내에 Hb을 산화시켜 MetHb 비율이 50% 또는 그 이상이 되면 어류는 위험한 상태에 놓이며(Browner *et. al.*, 1983), MetHb 비율이 70~80%이면 어류를 보통 마비상태에 이르게 하고, 100%에 이르면 치명적이어서 산소 결핍증(anoxia)으로 어류가 폐사하기도 한다(Lewis & Morris, 1986).

이처럼 아질산은 어류에 치명적인 영향을 미치는데 그 독성은 pH가 낮아지면 증가하는 것으로 잘 알려져 있다(Sampaio *et. al.*, 2002; Weirich & Riche, 2006).

지금까지 양식어류 건강하고 안전하게 키우기 위해 연구자들이 암모니아뿐만 아니라 아질산에 대해서도 급성 및 만성 독성에 대한 많은 연구를

수행하였지만(Cameron, 1971; Russo *et al.*, 1974; Smith & Williams, 1974; Westin, 1974; Brown & McLeay, 1975; Konikoff, 1975; Simth & Russo, 1975; Colt & Tchobanoglous, 1976; Jee & Kang, 2004; Williams & Eddy, 1986; Tomasso & Grosell, 2005),

아직까지 동자개에 대해서는 암모니아뿐만 아니라 아질산의 만성 또는 급성독성에 관한 연구는 없다. 그래서 본 연구에서는 동자개 양식을 하는데 있어서 중요한 수질관리를 적절하게 하기 위해서는 pH 농도 변화에 따른 아질산 급성독성 농도 범위를 규명할 필요가 있고, 특히 동자개를 연중 사육할 수 있는 미생물총을 이용한 친환경 고밀도 양식기술인 바이오플락(biofloc) 양식기술을 개발하기 위해서는 아질산 급성독성 실험을 통한 96시간 반수치사 농도(median lethal concentration, LC₅₀)를 확인하기 위해 본 연구를 수행하게 되었다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어

대수면 양식연구센터에서 사육중인 평균 체중 14.5 ± 0.46 g(평균 전장 10.4 ± 0.37 cm) 동자개 치어를 250 L PVC 원형수조에 수용하고 실험 4 일전 부터 절식하여 실험어로 사용하였다.

2. 실험 방법

아크릴 원형수조(\varnothing 35 cm × H 35 cm) 12개에 지하수를 20 L씩 채우고 HCl과 NaOH로 pH를 6.0, 6.5, 7.0으로 조정 한 후, NaNO₂ 시약을 첨가하여 아질산염 농도(NO₂⁻)를 pH 6 실험구에서는 10, 20, 30, 40 mg/L, pH 6.5에서는 20, 30, 40, 50 mg/L, pH 7에서는 30, 40, 50, 60 mg/L로 조절해서 동자개 치어를 실험구별로 수조 당 20 마리씩 수용하였고, 대조구는 NaNO₂ 시약과 HCl 및 NaOH를 첨가하지 않고 지하수를 사육수로 사용

하였다.

시험 수조는 히터를 이용하여 수온을 조절한 항온 수조 내에 설치하고 수온을 26.4 ± 0.22 °C로 유지하였고, 실험기간 동안 사료는 굵이 하지 않고 폭기하여 용존산소를 6.8 ± 0.73 mg/L를 유지시켰으며, 실험 시작 후 6, 12, 24, 48, 72, 96시간 간격으로 폐사체를 확인하여 LC₅₀을 구하였다. 수온, 용존산소 및 pH는 YSI 600 XL(YSI Nanotech, Yellow Springs, Ohio, USA)로 같은 시간 간격으로 측정하였고, 아질산염 농도(NO₂⁻)도 같은 시간 간격으로 사육수를 채취하여 0.2 μm 여과지로 여과해서 NOVA 60으로 분석하였고, 아질산염 농도 유지를 위해 NaNO₂ 시약을 첨가해서 농도를 조절하였다.

그리고 반수치사 농도 값(LC₅₀)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; R²)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, NO₂⁻(아질산염)은 0.1 mg/L, Cl⁻(염소이온)은 52.4 mg/L, Alkalinity(알카리도)는 85.4 mg/L(as CaCO₃)를 나타내어 동자개 아질산 급성 독성 시험에 적합한 수질 상태를 나타내었다.

실험 시작 시 pH는 6.0, 6.5, 7.0로 조정하였으나 시간이 경과함에 따라 사육수에 녹아 있는 HCO₃⁻, CO₃⁻ 이온 등의 완충 작용으로 인해 실험구 모두 pH가 약간 상승하는 경향을 나타내었고, 아질산염 농도(NO₂⁻)도 실험 시작 시 조정된 농

도 보다 다소 높게 나타내었다(<Table 2>).

<Table 1> Underground water qualities in this study

Parameter	Value
Temperature(°C)	22.5
pH	7.7
Dissolved oxygen(mg/L)	6.8
TAN(mg/L)	0.1
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0.1
Cl ⁻ (mg/L)	52.4
Alkalinity(mg/L as CaCO ₃)	85.4

<Table 2> Mean water quality parameter during the evaluation of toxicity of nitrite for juvenile banded catfish(*P. fulvidraco*)

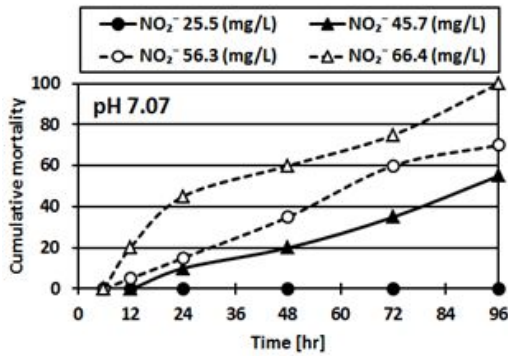
Nominal		Real	
pH	NO ₂ ⁻ (mg/L)	pH	NO ₂ ⁻ (mg/L)
6.0	10.0	6.18 ± 0.54	12.4
	20.0		19.8
	30.0		33.9
	40.0		53.6
6.5	20.0	6.50 ± 0.30	22.4
	30.0		36.4
	40.0		45.3
7.0	50.0	7.07 ± 0.22	63.2
	30.0		25.5
	40.0		45.7
	50.0		56.3
	60.0		66.4

2. 폐사율

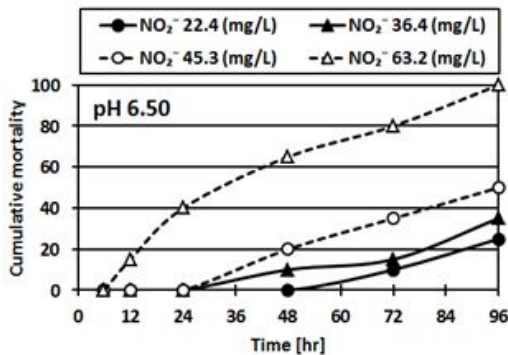
pH 및 아질산염 농도에 따른 96시간 동안, 대조구는 폐사가 전혀 일어나지 않았지만, 아질산염(NO₂⁻)을 첨가한 시험구에서는 동자개 치어가 균형 감각을 상실하면서 이상유영과 호흡 곤란 증상을 나타내면서 폐사하였고, pH 농도별 아질산염 농도에 따른 누적 폐사율은 [Fig. 1]에 나타내었다.

동자개 치어(14.5 ± 0.46 g)는 pH 6.18 ± 0.54 (pH 6 조정)에서 96시간 동안 아질산염(NO₂⁻)

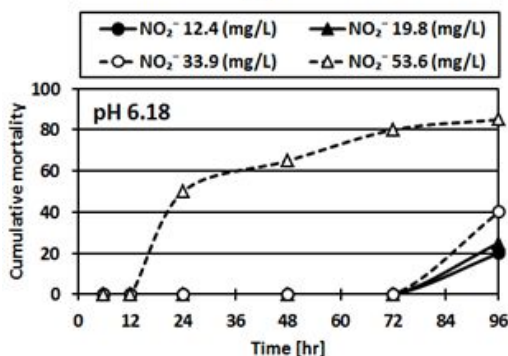
12.4 mg/L 농도의 폐사율은 20%, 19.8 mg/L에서 25%, 33.9 mg/L에서 40%, 53.6 mg/L에서 85%를 나타냈다.



(a)



(b)



(c)

[Fig. 1] Cumulative mortalities of banded catfish by pH at various NO_2^- concentrations. (a) pH 7.07, (b) pH 6.50, (c) pH 6.18.

pH 6.50 ± 0.30 (pH 6.5 조정)에서는 아질산염 (NO_2^-) 22.4 mg/L에서 25%, 36.4 mg/L에서 35%, 45.3 mg/L에서 50%, 63.2 mg/L에서 100% 폐사하였다.

pH 7.07 ± 0.22 (pH 7 조정)에서는 아질산염 (NO_2^-) 25.5 mg/L 농도에서는 폐사가 없었지만, 45.7 mg/L에서 55%, 56.3 mg/L에서 70%, 66.4 mg/L에서 100% 폐사하였다.

3. 반수치사 농도(LC₅₀)

pH 농도에 따른 아질산염(NO_2^-) 농도별 동자개 치어에 대한 24, 48, 72, 96시간 반수치사 농도(LC₅₀)는 <Table 3>에 나타내었다. 동자개 치어는 pH 6.18 ± 0.54 에서 24, 48, 72, 96시간의 반수치사 농도(LC₅₀)는 54.34, 45.43, 39.87, 32.68 mg/L이었다.

<Table 3> LC₁₀, LC₅₀ and LC₉₀ values of nitrite for juvenile banded catfish

Pollutant (mg/L)	pH	Time (hr)	LC ₁₀	LC ₅₀	LC ₉₀
NO_2^-	6.18 ± 0.54	12	N.D	N.D	N.D
		24	23.47	54.34	85.22
		48	21.68	45.43	69.19
		72	20.57	39.87	59.17
		96	8.27	32.68	57.09
		12	53.39	155.11	256.84
	6.5 ± 0.30	24	37.49	75.64	113.79
		48	33.26	58.20	83.15
		72	27.76	50.28	72.79
		96	19.07	40.49	61.92
		12	49.27	130.82	212.37
		7.07 ± 0.22	24	38.33	74.56
48	35.19	63.53	91.87		
72	31.11	52.48	73.85		
96	29.09	45.85	62.62		

pH 6.50 ± 0.30 에서는 12, 24, 48, 72, 96시간의 반수치사 농도(LC₅₀)는 155.11, 75.64, 58.20, 50.28, 40.49 mg/L이었다.

pH 7.07 ± 0.22 에서 12, 24, 48, 72, 96시간의 반수치사 농도(LC₅₀)는 130.82, 74.56, 63.53, 52.48, 45.85 mg/L이었다.

IV. 고찰

아질산의 독성 정도는 같은 어종이라도 어류 연령, 어류 크기, 수온, 용존산소, pH, 음이온과 양이온의 농도, 노출 시간 등에 따라 다르게 나타난다(Lewis & Morris, 1986).

본 실험에서 동자개 치어를 대상으로 아질산염(NO_2^-)에 대한 급성 독성 실험을 한 결과, pH 6.18 ± 0.54 (pH 6 조정) 실험구 보다 pH 6.50 ± 0.30 (pH 6.5 조정) 및 pH 7.07 ± 0.22 (pH 7 조정) 실험구에서 96시간 반수치사 농도 값(LC_{50})이 높게 나타나 아질산염 독성은 pH가 낮을수록 높게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 실험 결과는 사육수의 pH가 낮아지면 어류 아가미의 Na^+ 와 Cl^- 농도가 감소하고 Na^+/K^+ ATPase 활성이 낮아져 아질산염 독성이 강하게 나타나는데, pH가 낮은 어류 양식장에서는 무기염류의 농도와 관계없이 아질산 독성이 강하게 나타낸다는 보고(Huey *et al.*, 1980; Lewis & Morris, 1986; Wise & Tomasso, 1988)와 Yang *et al.* (1992)이 참장어를 대상으로 pH 농도에 따른 아질산 독성시험에서도 유사한 보고를 하고 있다.

그리고 노출 시간에 따른 아질산염의 급성 독성 정도를 보면 pH 실험구 모두 같은 농도의 아질산염에서도 노출 시간이 길어짐에 따라 누적 폐사율이 증가하여 아질산염의 독성은 노출 시간이 길어지면 독성도 증가하는 것을 알 수 있다.

동자개에 대한 아질산염의 급성 독성에 미치는 사육 수온의 영향을 보기 위해 같은 크기(체중 14.5 ± 0.46 g)의 동자개 치어를 이용해서 급성 독성 실험을 한 결과(미 발표), 72시간 반수치사 농도 값은 사육 수온 23.2 ± 0.51 °C에서 보다 사육 수온 26.4 ± 0.46 °C에서 낮게 나타나 사육 수온이 높을수록 아질산염의 급성 독성은 증가하였다. 일반적으로 고수온이 되면 어류의 아가미를 통해 이온 교환과 아가미 박막(lamella)의 물 흐름이 증가하여 어류 혈액 내에 아질산 축적이 증가

하기 때문에 독성이 증가하는데(Huey *et al.*, 1984), 동자개와 같이 찬넬메기(*Ictalurus punctatus*)에서도 이러한 경향을 나타내고 있다(Huey *et al.*, 1984).

또한, 동자개 크기에 따른 아질산염의 급성 독성 정도를 파악하기 위해 동자개 치어(평균 체중 14.5 ± 0.46 g)와 성어(평균 체중 81.7 ± 1.42 g)을 이용해서 사육 수온 23.2 ± 0.51 °C에서 pH 6.8 \pm 0.33와 7.4 \pm 0.35에서 아질산염 농도별 급성 독성 실험(미 발표)을 한 72시간 반수치사 농도 값(LC_{50})을 비교해 보면 동자개 치어가 성어 보다 반수치사 농도 값(LC_{50})이 높게 나타나 동자개 치어가 아질산염에 감수성(susceptibility)이 높게 나타났다.

이와 유사한 실험 결과로는 yellow catfish의 아질산에 대한 96hr- LC_{50} 값은 체중 0.296 g에서는 97.23 $\text{NO}_2\text{-N}$ mg/L, 3.52 g은 133.61 mg/L, 32.96 g은 196.05 mg/L을 나타내어 크기가 크면 아질산에 감수성이 적었고(Zang *et al.*, 2012), 또한 무지개 송어 및 잉어도 성장함에 따라 아질산에 대한 96hr- LC_{50} 값은 증가한다고 한다(Zheng *et al.*, 1998).

성어가 아질산에 내성이 강한 것은 혈액 내에 아질산이 축적되면 methemoglobin reductase system에 의해 methemoglobin 량을 감소시켜 해독 작용(detoxification)을 하기에 일반적으로 어류가 성장하면 암모니아나 아질산에 내성이 강해진다(Sprague, 1985).

그렇지만 아질산 독성은 어중에 따라 차이가 있고(Tomasso, 1986), 같은 종이라도 찬넬메기는 strain에 따라서 감수성 차이가 있으며(Tomasso & Carmichael, 1991), Nile tilapia와 fathead minnows는 오히려 성어보다 치어가 아질산에 강하다(Atwood *et al.*, 2001).

그래서 아질산 독성은 실험 조건, 어류 형질 차이 등 많은 factor의 영향을 받기 때문에 어류 크기와 관련해서 논란의 여지가 있지만(Wedemeyer & Yasutake, 1977; Hilmy *et al.*,

1987; Almendras, 1987), 동자개는 치어보다 성어가 되면 아질산에 어느 정도 내성이 생기는 것으로 생각된다.

아질산은 어류 아가미를 통해 혈액의 적혈구내로 유입되면 헤모글로빈이 산소 운반 능력과 산소 친화성이 떨어지는 메타헤모글로빈으로 산화되어(Cameron, 1971), 어류는 산소 결핍 상태에 이르게 되고, 메타헤모글로빈 비율이 높아지면 어류는 산소 부족 등으로 폐사한다.

그러나 수중에 고농도의 염소이온이 잔류하면 아질산의 흡수율이 저하되어 아질산 독성이 감소하므로 염소이온 함량에 따라 아질산의 LC₅₀ 값에 차이가 있다.

본 실험에 사용한 사육수는 지하 화강암층에서 양수한 지하수로 용존 염소량(Cl⁻ 52 mg/l)이 높기 때문에 동자개에 대한 아질산염의 반수치사 농도가 높게 나타났을 것으로 생각된다.

이처럼 아질산 독성 정도는 사육수중의 염소이온 함량이 미치는 영향이 크기 때문에 아질산 독성에 대한 염소이온의 방어 효과는 channel catfish(Tomasso *et al.*, 1979), salmon(Crawford & Allen, 1977; Perrone & Meade, 1977), giant freshwater prawn(Chen & Lee, 1997), cray fish(Harris & Coley, 1991)등에서 보고되고 있고, 또한 실질적으로 양식장 사육수에 식염을 첨가해서 염소이온의 농도를 높이면 아질산의 어체내 유입이 억제되어 아질산 증독증 예방에 효과가 있다(Perrone & Maede, 1977; Tomasso, *et al.*, 1979)는 점을 고려하면, 추후에 동자개에 대한 아질산 증독증 예방을 위해 사육수나 사료의 식염 첨가효과에 대한 연구를 수행할 필요가 있을 것이다.

V. 결론

동자개 치어(평균 체중 14 ± 0.46 g)에 아질산염(NO₂⁻)의 12, 24, 48, 72, 96시간 반수치사 농도

(LC₅₀)를 구하기 위해 pH 6.18 ± 0.54 , 6.5 ± 0.30 , 7.07 ± 0.22 에서 아질산 급성 독성 연구를 실시하였다.

동자개 치어는 pH 6.18 ± 0.54 에서 96시간 동안 NO₂⁻ 농도별 누적 폐사율은 NO₂⁻ 12.4 mg/L 실험구에서는 20%, 19.8 mg/L는 25%, 33.9 mg/L는 40%, 53.6 mg/L는 85%였다. pH 6.50 ± 0.30 에서 누적 폐사율은 22.4 mg/L는 25%, 36.4 mg/L는 35%, 45.3 mg/L는 50%, 63.2 mg/L는 100%이었으며, pH 7.07 ± 0.22 에서 누적 폐사율은 25.5 mg/L는 0%, 45.7 mg/L는 55%, 56.3 mg/L는 70%, 66.4 mg/L는 100%이었다.

pH 농도에 따른 NO₂⁻ 농도별 동자개 치어에 대한 12, 24, 48, 72, 96 시간 반수치사 농도(LC₅₀)는 pH 6.18 ± 0.54 에서 24, 48, 72, 96시간의 LC₅₀는 54.34, 45.43, 39.87, 32.68 mg/L이었고, pH 6.50 ± 0.30 에서는 12, 24, 48, 72, 96시간의 LC₅₀는 155.11, 75.64, 58.20, 50.28, 40.49 mg/L이었으며, pH 7.07 ± 0.22 에서 12, 24, 48, 72, 96시간의 LC₅₀는 130.82, 74.56, 63.53, 52.48, 45.85 mg/L이었다.

따라서 동자개 치어에 대한 NO₂⁻의 급성 독성은 pH가 낮을수록 높게 나타났고, NO₂⁻에 노출 시간이 길어질수록 독성도 증가하였다. 특히, 동자개에 대한 NO₂⁻의 독성은 성어보다 치어에서 높게 나타났다(미 발표).

References

- Almendras, J. M. E.(1987). Acute toxicity and methemoglobinemia in juvenile milkfish(*Chanos chanos* Forsskae), *Aquacult.* (61), 33~40.
- Atwood, H. L. · Fontenot, Q. C. · Tomasso, J. R. and Isely, J. J.(2001). Toxicity of nitrite to nile tilapia: effect of fish size and environmental chloride, *N. Am. J. Aquacult.* (63), 49~51.
- Brown, D. A. and McLeay, D. J.(1975). Effect of nitrite on methemoglobin and total hemoglobin of juvenile rainbow trout. *Prog. Fish-Cult.* (37),

- 36~43.
- Browner, P. R. · Falls, W. W. · VanZandt, J. · Collier, N. and Phillips, J. D.(1983). Methemoglobinemia in channel catfish: methods of prevention, Prog. Fish-Cult. (45), 154~158.
- Cameron, J. N.(1971). Methemoglobin in erythrocytes of rainbow trout, Biochim. & Physiol. A. (40), 743~749.
- Chen, J. C. and Lee, Y.(1997). Effects of nitrite on mortality, ion regulation and acid-base balance of *Macrobrachium rosenbergii* at different external chloride concentrations, Aquat. Toxicol. (39), 291~305.
- Colt, J. and Tchobanoglous, G.(1976). Evaluation of short-term toxicity of nitrogenous compounds in the channel catfish *Ictalurus punctatus*, Aquaculture (8), 209~224.
- Crawford, R. E. and Allen, G. H.(1977). Seawater inhibition of nitrite toxicity to chinook salmon, Trans. Am. Fish. Soc. (106), 105~109.
- Harris, R. R. and Coley, S.(1991). The effects of nitrite on chloride regulation in the crayfish *Pacifastacus leniusculus* Dana(Crustacea: Decapoda), J. Comp. Physiol. B. (161), 199~206.
- Hilmy, A. M. · El-Domiatiy, N. A. and Wershana, K.(1987). Acute and chronic toxicity of nitrite to *Clarias lazera*, Comp. Biochem. Physiol. (86c), 247~253.
- Huey, D. W. · Simco, B. A. and Criswell, D. W.(1980). Nitrite-induced methemoglobin formation in channel catfish, Trans. Am. Fish. Soc. (109), 558~562.
- Huey, D. W. · Beitinger, T. L. and Wooten, M. C.(1984). Nitrite-induced methemoglobin formation and recovery in channel catfish(*Ictalurus punctatus*) at three acclimation temperatures, Bull. Environ. Contam. Toxicol. (32), 674~681.
- Jee, J. H. and Kang, J. C.(2004). Acute toxicity of nitrite, ammonia and hydrogen sulfide for early developmental stages of *Fenneropenaeus chinensis*, J. Fish Pathol. (17:3), 199~205.
- Konikoff, M.(1975). Toxicity nitrite to channel catfish, Prog. Fish-Cult. (37), 96~98.
- Lewis, W. M. and Morris, D. P.(1986). Toxicity of nitrite to fish: a review, Trans. Am. Fish. Soc. (115), 183~195.
- Perrone, S. J. and Meade, T. L.(1977). Protective effect of chloride on nitrite toxicity to coho salmon(*Oncorhynchus kisutch*), J. Fish. Res. Board. Canada (34), 486~492.
- Russo, R. C. · Smith, C. E. and Thurston, R. V.(1974). Acute toxicity of nitrite to rainbow trout(*Salmo gairdneri*), J. Fish. Res. Bd. Can. (31), 1653~1655.
- 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.
- Schoore, J. E. · Simco, B. A. and Davis, K. B.(1995). Responses of blue catfish and channel catfish to environmental nitrite, J. Aquat. Anim. Health (7), 304~311.
- Smith, C. E. and Russo, R. C.(1975). Nitrite-induced methemoglobinemia in rainbow trout, Prog. Fish-Cult. (37), 150~152.
- Smith, C. E. and Williams, W. G.(1974). Experimental nitrite toxicity in rainbow trout and chinook salmon, Trans. Am. Fish. Soc. (103), 89~90.
- 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.
- Tomasso, J. R.(1986). Comparative toxicity of nitrite to freshwater fishes, Aquat. Toxicol. (8), 129~137.
- Tomasso, J. R. and Carmichael, G. J.(1991). Differential resistance among channel catfish strains and intraspecific hybrids to environmental nitrite, J. Aquat. Anim. Health (3), 51~54.
- Tomasso, J. R. and Grosell, M.(2005). Physiological basis for large differences in resistance to nitrite among freshwater and freshwater - acclimated euryhaline fishes, Environ. Sci. Technol. (39), 98~102.
- Tomasso, J. R. · Simco, B. A. and Davis, K. B.(1979). Chloride inhibition of nitrite-induced methemoglobinemia in channel catfish(*Ictalurus punctatus*), J. Fish. Res. Board. Canada (36), 1141~1144.
- Wedemeyer, G. A. and Yasutake, W. T.(1977). Clinical methods for the assessment of the effects

- of environmental stress on fish, U. S. Fish. Wildl. Serv. Tech. Pap. No. 89, 18.
- Weirich, C. R. and Riche, M.(2006). Tolerance of juvenile black sea bass *Centropristis striata* to acute ammonia and nitrite exposure at various salinities, Fish. Sci. (72), 915~921.
- Westin, D. T.(1974). Nitrate and nitrite toxicity to salmonid fishes, Prog. Fish-Cult. (36), 86~89.
- Williams, E. M. and Eddy, F. B.(1986). Chloride uptake in freshwater teleosts and its relationship to nitrite uptake and toxicity, J. Comp. Physiol. B. (156B), 867~872.
- Wise, D. J. and Tomasso, J. R.(1988). Ascorbic acid inhibition of nitrite-induced methemoglobin in channel catfish, Prog. Fish-Cult. (50), 77~80.
- Yang, H. C. and Chun, S. K.(1992). Histopathological study of chronic nitrite toxicity on the Japanese eel *Anguilla japonica*, J. Fish Pathol. 5(2), 93~134.
- Zhang, 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. Ichthyology (28), 82~86.
- Zheng, Y. H. · Hu, X. W. · Liu, Z. D. and Qin, S. G.(1998). An acute toxicity of ammonia on fry of carp, J. Southwest Agricultural Univ. China (11), 80~85.
-
- 논문접수일 : 2014년 09월 24일
 - 심사완료일 : 1차 - 2014년 10월 29일
 - 게재확정일 : 2014년 11월 06일