

## Note

<https://doi.org/10.11626/KJEB.2020.38.1.040>

Korean J. Environ. Biol.

38(1) : 40-46 (2020)

ISSN 1226-9999 (print)

ISSN 2287-7851 (online)

## 암모니아 급성노출에 따른 대왕범바리(*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂)의 혈액성상 및 혈장성분의 변화

김광민, 이희진, 윤한빈, 조재황<sup>1</sup>, 김석렬<sup>1</sup>, 이경미<sup>1</sup>, 김준환<sup>1,\*</sup>

선문대학교 수산생명의학과, <sup>1</sup>서해수산연구소 양식산업과

## Changes of hematological parameters and plasma components in the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) by acute ammonia exposure

Kwang-Min Kim, Hee-Jin Lee, Han Bin Yun, Jae-Hwang Cho<sup>1</sup>, Seok-Ryel Kim<sup>1</sup>,  
Kyung Mi Lee<sup>1</sup> and Jun-Hwan Kim<sup>1,\*</sup>

Department of Aquatic Life and Medical Science, Sun Moon University, Asan 31460, Republic of Korea

<sup>1</sup>West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Taean 32132, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Jun-Hwan Kim

Tel. 041-675-3773

E-mail. junhwan1982@korea.kr

Received: 23 December 2019

First Revised: 13 January 2020

Second Revised: 21 January 2020

Third Revised: 3 February 2020

Revision accepted: 10 February 2020

**Abstract:** Hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) (mean weight 25.7 ± 3.5 g, mean length 11.2 ± 0.9 cm) were exposed to different ammonia concentrations of 0, 5, 10, 20, and 40 mg L<sup>-1</sup> for 96 hours. The hematological hematocrit and hemoglobin parameters of the hybrid grouper were significantly decreased by 20 mg L<sup>-1</sup> ammonia exposure. In the organic plasma components, calcium was significantly decreased, whereas there was no change in magnesium. In the organic plasma components, the glucose and cholesterol values of the hybrid grouper were significantly increased by ammonia exposure. In the enzymatic plasma components, the ALP (Alkaline phosphatase) value of the hybrid grouper was also significantly increased by ammonia exposure. The results of this study demonstrate that acute ammonia exposure to hybrid grouper induced changes in hematological parameters and plasma components. Therefore, acute ammonia exposure over 20 mg L<sup>-1</sup> appears to be toxic to hybrid grouper and the results can be used as a major indicator in breeding hybrid grouper.

**Keywords:** hybrid grouper, ammonia, acute exposure, hematological parameter, plasma components

## 서 론

수중의 암모니아는 양식장에서 섭취되지 않고 남은 사료와 배설물로 인해 발생하며, 고밀도 양식시설에서 높

은 수준으로 존재하여 양식생물에 독성으로 작용할 수 있다 (Randall and Tsui 2002; Kim *et al.* 2017a). 암모니아는 이온화된 암모늄 이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)과 이온화 되지 않은 형태(NH<sub>3</sub>)로 존재한다 (Ip and Chew 2010). 특히, 비극성 암

모니아( $\text{NH}_3$ )는 암모늄 이온( $\text{NH}_4^+$ )에 비해 지질에 쉽게 용해되지 않는 성질이 있어 매우 높은 독성을 나타낸다 (Roumieh *et al.* 2013).

암모니아는 어류 체내에 축적되어 독성으로 작용할 뿐만 아니라 호흡곤란, 평형상실, 경련, 삼투 및 이온조절 실패와 과민반응을 유발한다 (Kim *et al.* 2015). 암모니아는 어류 세포막의 칼륨-나트륨 이온 펌프에서 칼륨이온( $\text{K}^+$ )을 대체하여 어류의 수분 조절 및 이온 균형에 악영향을 미친다 (Roumieh *et al.* 2013). 또한, 높은 수준의 암모니아는 어류 아가미 조직을 통해 유입되어 신경세포 내 화학 전달물질인 NMDA (N-methyl-D-aspartate) 수용체를 과활성화하고, 칼슘이온( $\text{Ca}^{2+}$ )과 나트륨이온( $\text{Na}^+$ )이 과잉 유입으로 인한 세포 내  $\text{Ca}^{2+}$  의존성 효소(Protease, Phospholipase)를 활성화하여, 세포손상을 유발한다 (Randall and Tsui 2002).

혈액학적 성상은 오염된 환경에 대한 분석을 하기 위해 어류의 건강을 나타내는 주요한 지표이며, 다양한 스트레스 요인에 의해 영향을 받는다 (Groff and Zinkl 1999; Kim *et al.* 2019). 따라서 혈액학적 성상은 어류대사 및 병리학 적 변화를 확인할 수 있는 지표이다 (Kim and Kang 2014). 수중의 암모니아 노출에 따른 어류 체내에 증가된 암모니아는 아가미 조직과 혈관 내 적혈구 사이에 산소 교환을 차단하여, 저산소증을 유발한다 (Robert *et al.* 1997). 또한 혈액 내에 암모니아는 신장에 축적되어 혈중 암모니아 농

도 및 pH의 증가를 유발한다 (Hrubic *et al.* 1996). 따라서, 헤모글로빈 및 적혈구 용적과 같은 혈액학적 성상 및 혈장 성분은 암모니아 독성노출에 따른 생물의 생리학 적 반응과 대사 장애의 수준을 판단할 수 있는 중요한 지표가 될 것이다.

대왕범바리 (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂)는 대왕바리 (giant grouper, *E. lanceolatus*)와 범바리 (tiger grouper, *E. fuscoguttatus*)의 교잡종으로, 고수온에 내성(적수온 25~35°C)이 강해, 고수온 대비 조피볼락 대체 품종으로 현재 양식가능성을 연구 중인 어종이다. 하지만, 대왕범바리에 대한 암모니아 내성 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 대왕범바리를 우리나라 양식어종으로 안정적인 대량생산을 위해 환경요소인 암모니아에 대한 기준적립은 필수적이다. 따라서 본 실험의 목적은 암모니아 급성노출에 따른 대왕범바리 혈액성상 및 혈장성분의 변화를 통해 대왕범바리의 암모니아 내성한계를 마련하는데 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험어 및 실험환경

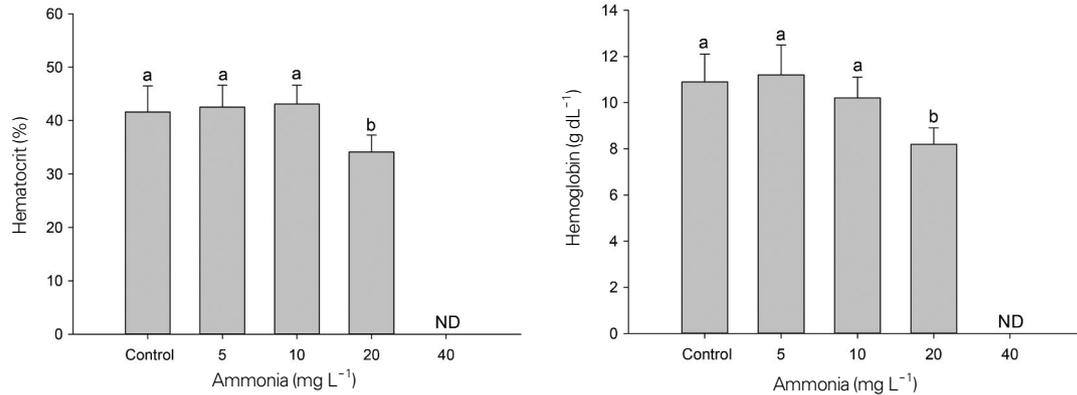
본 실험은 평균 무게  $25.7 \pm 3.5$  g, 평균 전장  $11.2 \pm 0.9$  cm의 대왕범바리 치어를 경남고성 소재의 종묘생산장에서 분양을 받아 실험을 실시하였다. 실험 전 10일간 실험실 환경에서 순치시켰으며, 실험에 사용된 해수의 성분은 Table 1과 같다. 암모니아 노출은  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA)을 사용하여 표준원액  $20,000 \text{ mg L}^{-1}$ 를 제조한 뒤, 각 수조에 0, 5, 10, 20,  $40 \text{ mg L}^{-1}$ 의 농도로 급성으로 96시간 노출을 실시하였다. 사육수조 5개(100L 원형수조)에 각 농도구간별 6마리씩 총 30마리를 입식 후, 노출 96시간 sampling을 실시하였다. 각 노출 실험 수조의 실제 암모니아 농도는 암모니아 분석용 키트 (Merck & Co., Inc., USA)를 이용하여 24, 48, 72, 96시간 각각 측정하였다 (Table 2).

**Table 1.** The chemical components of seawater and experimental conditions used in the experiments

Item	Value
Temperature (°C)	$25.0 \pm 0.5$
pH	$8.14 \pm 0.11$
Salinity (‰)	$33.6 \pm 0.1$
Dissolved Oxygen ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$7.4 \pm 0.3$
Ammonia ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$0.13 \pm 0.04$
Nitrite ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$0.07 \pm 0.02$
Nitrate ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$0.5 \pm 0.1$

**Table 2.** Analyzed waterborne chromium concentration ( $\text{mg L}^{-1}$ ) from each source

	Ammonia concentration ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
	Control	5	10	20	40
Ammonia concentrations					
Measured ammonia concentrations	0.12	5.41	10.6	19.9	42.9



**Fig. 1.** Hematological parameters, such as hematocrit and hemoglobin, of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) exposed to different concentrations of waterborne ammonia for 96 hours. Values with different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ), as determined by Tukey's multiple range test.

## 2. 혈액학적 성상

암모니아 노출 96시간 후, 혈액학적 분석을 위해 채혈을 실시하였다. 혈액은 헤파린(Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA) 처리된 주사기를 이용해 채취 후, 즉시 적혈구 용적(Hematocrit)과 헤모글로빈(Hemoglobin)을 측정하였다. 적혈구 용적은 모세관 내로 혈액을 넣어, Microhematocrit centrifuge (VS-12000, Vision Scientific Co., Ltd., Korea)에서 12,000 rpm, 10분간 원심분리 후 Micro-hematocrit reader를 이용하여 측정하였다. 헤모글로빈수치는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd., Korea)를 이용하여 Cyan-methemoglobin 법으로 측정하였다.

## 3. 혈장성분 분석

암모니아 노출에 따른 혈장성분의 변화를 분석하기 위해 채취한 혈액을 4°C에서 3,000×g로 15분간 원심분리 후 혈장을 분리하였다. 혈장 무기성분으로 칼슘(Calcium), 마그네슘(Magnesium)을 측정하였다. 칼슘은 OCPC법, 마그네슘은 Xylidyl blue-I법에 따라 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd., Korea)를 이용하여 측정하였다. 혈장 유기성분으로 글루코즈(Glucose), 콜레스테롤(Cholesterol) 및 총 단백질(Total protein)을 측정하였다. 혈당은 GOD/POD법, 콜레스테롤은 비색법, 총 단백질은 Biuret법에 의해 시판되고 있는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd., Korea)를 이용하였다. 혈장 효소활성으로 ALP (Alkaline phosphatase)를 측정하였다. ALP는 King-King법으로 500 nm에서 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd., Korea)를 이용하여 분석하였다.

## 4. 통계분석 방법

본 실험분석은 노출물질별 농도에 따른 각 6마리를 분석에 이용하였고, 모든 분석은 3반복으로 이루어졌다. 실험 분석 결과에 대한 통계적 유의성은 SPSS 통계 프로그램 (SPSS Inc.)을 이용하여 ANOVA test를 실시하여 Tukey's multiple range test를 통해  $p < 0.05$ 일 때 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

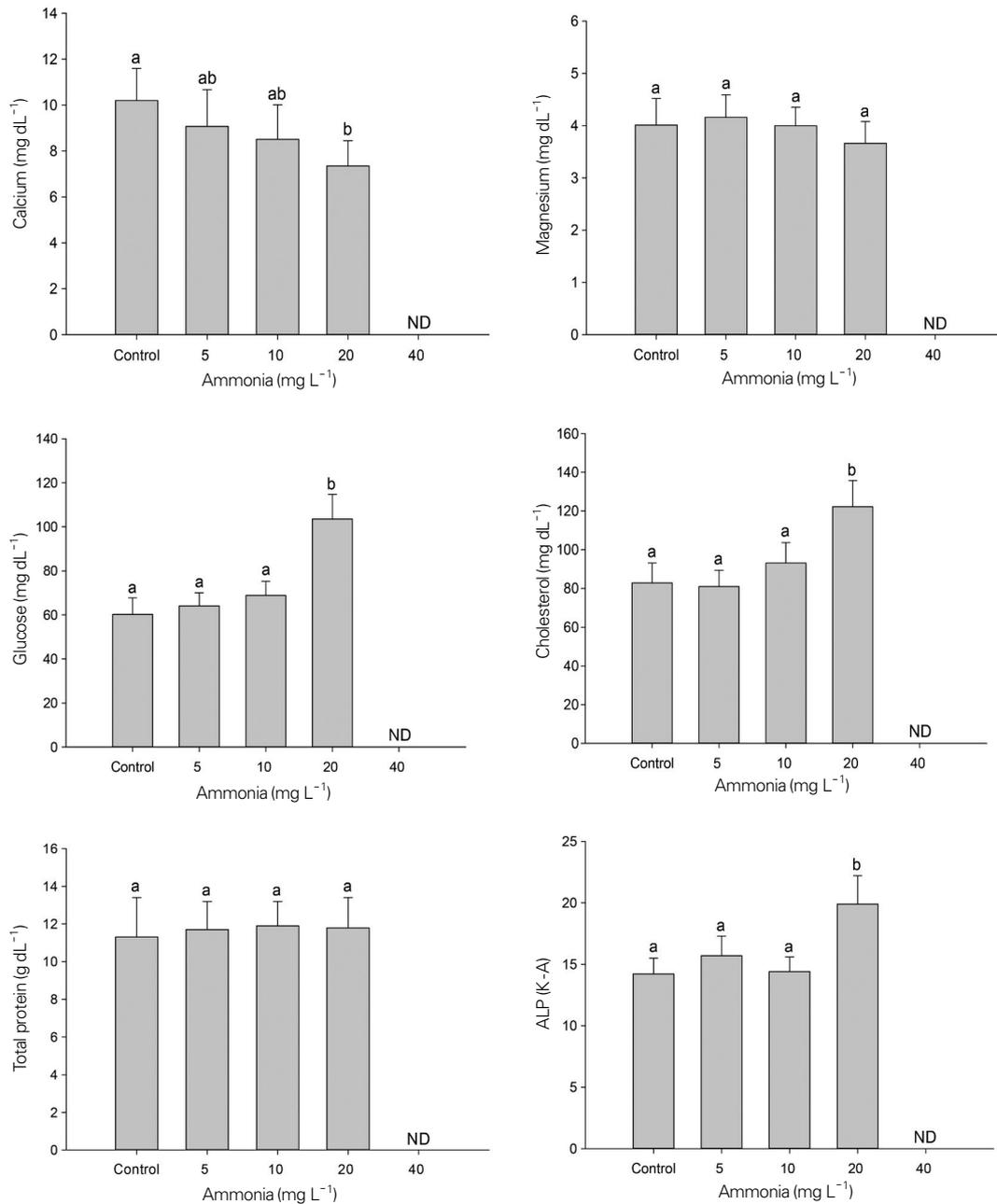
## 결 과

### 1. 혈액학적 성상

암모니아 96시간 노출에 따른 대왕범바리의 혈액성상의 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 암모니아 노출에 따른 대왕범바리 적혈구 용적은 암모니아 20 mg L<sup>-1</sup>에서 유의적 감소가 나타났다( $p < 0.05$ ). 하지만 다른 구간에서는 유의적 변화는 나타나지 않았다. 대왕범바리 헤모글로빈은 암모니아 20 mg L<sup>-1</sup>의 암모니아 노출에 의해 유의적 감소가 나타났다( $p < 0.05$ ).

### 2. 혈장성분

암모니아 96시간 노출에 따른 대왕범바리의 혈장성분의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 암모니아에 노출된 대왕범바리 혈장 칼슘은 암모니아 20 mg L<sup>-1</sup>에서 유의적 감소( $p < 0.05$ )가 나타났지만, 혈장 마그네슘은 유의적 변화는 없었다. 대왕범바리 혈장 글루코즈과 콜레스테롤은 암모



**Fig. 2.** Plasma components of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) exposed to different concentrations of waterborne ammonia for 96 hours. Values with different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ), as determined by Tukey's multiple range test.

니아 20 mg L<sup>-1</sup>에서 유의적 증가( $p < 0.05$ )가 나타났다. 대왕범بار리 혈장 총 단백질은 암모니아 노출에 따른 유의적 변화는 나타나지 않았다. 대왕범بار리 혈장 ALP는 암모니아 20 mg L<sup>-1</sup>에서 유의적 증가( $p < 0.05$ )가 나타났다.

## 고 찰

혈액학적 성상은 어류의 독성노출에 따른 생리적 변화를 평가하는 가장 주요한 지표 중 하나이다(Kim *et al.* 2017b). 높은 수준의 암모니아 노출은 어류의 혈액에 축

적되며, 어류의 생리적 대사에 영향을 미친다(Yang *et al.* 2010). 본 실험에서 대왕범바리 적혈구 용적과 헤모글로빈 수치에 미치는 암모니아  $20 \text{ mg L}^{-1}$ 의 농도에서 유의적으로 감소했다. Kim *et al.* (2017a)은 암모니아 노출된 넙치 *Paralichthys olivaceus*의 적혈구 용적과 헤모글로빈 수치에서 유의적 감소를, Thangam *et al.* (2014)는 잉어 *Cyprinus carpio*에서 암모니아 노출에 따른 적혈구 감소를 보고했다. Das *et al.* (2004) 역시 암모니아 노출에 따른 *mrigal Cirrhinus mrigala* 헤모글로빈의 유의적으로 감소를 보고했다. 이런 결과는 암모니아 노출은 직접적으로 혈중 암모니아 축적을 유발하여 혈액 성분에 독성을 유발하여 조혈세포 손상 및 적혈구 용해 등으로 빈혈 및 무산소증을 유발했을 것이다. Kim *et al.* (2017b)에서도 은대구 *Anoplopoma fimbria*의 적혈구 용적과 헤모글로빈 수치가 현저하게 감소했으며, 이는 암모니아 노출에 의한 저산소 상태에 따른 조혈세포 손상에 따른 것으로 보고되었다. 본 실험에서 암모니아 급성노출은 대왕범바리의 혈액학적 성상에 영향을 주어 유의적 감소를 유발하였으며, 이는 암모니아 독성에 의한 생리적 변화에 의한 것으로 판단된다.

어류의 혈장 칼슘과 마그네슘은 혈장 무기성분으로 세포막 이온조절을 통해, 체내 항상성을 유지하는 역할을 한다(Bijvelds *et al.* 1998). 혈장 칼슘과 마그네슘은 환경 스트레스에 민감하게 변화하여 증가되거나 감소될 수 있다(Kim and Kang 2014). 암모니아 노출은 대왕범바리의 혈장 칼슘 성분의 유의적 감소를 나타내었다. 반면, 혈장 마그네슘의 유의적 변화는 나타나지 않았다. Ruyet *et al.* (2003)은 암모니아 노출은 turbot *Scophthalmus maximus*의 이온조절에 영향을 미쳐 혈장 이온 성분의 유의적 변화를 보고했다. 혈장 이온 성분의 변화는 어류의 삼투 조절 등 기본적인 생리적 변화를 유발할 수 있으며, 본 연구결과 혈장 무기 성분의 유의적 변화는 암모니아 급성 노출에 의한 이온 조절 장애에 의한 것으로 판단된다.

혈중 글루코즈 수치는 외부 환경 스트레스에 의해 민감하게 반응하며 신뢰성 있는 지표로 사용된다(Lee and Ryu 2011). 본 실험에서, 암모니아 급성 노출된 대왕범바리의 혈중 글루코즈는 암모니아 노출에 의해 유의적 증가를 나타냈다. 암모니아 노출은 Nile tilapia *Oreochromis niloticus*의 글루코즈 수치를 유의적으로 증가시켰다고 보고했다(Evans *et al.* 2006). 또한 *Cirrhinus mrigala*은 암모니아 노출에 의해 혈중 글루코즈가 유의적 증가를 나타내었다(Das *et al.* 2004). 혈장 글루코즈는 오염물질 노출

에 의해 급격한 증가를 보이는데, 이는 단백질 분해작용인 gluconeogenesis에 의한 것이다(Leroy and Folmar 1993).

어류 혈중 콜레스테롤은 담즙산 및 스테로이드 호르몬의 전구체이며 인지질과 함께 세포막의 성분이다. 또한, 콜레스테롤은 환경변화에 민감하게 변화하며, 환경적 스트레스를 판단하는 주요한 지표로 이용된다(Choi and Lee 1992). 본 실험에서 대왕범바리 혈중 콜레스테롤은 암모니아 노출에 의해 유의적 증가를 나타냈다. 다른 연구에서도 암모니아 노출은 어류의 혈액학적 성상에 영향을 미치며, 잉어 *Cyprinus carpio* (Peyghan and Takamy 2002)와 *Ctenopharynodon idellus* (Xing *et al.* 2016)에서 혈장 콜레스테롤의 증가를 보고했다.

혈장 총 단백질은 외부 스트레스 요인으로 인한 어류의 건강상태 악화를 판단하는 주요한 지표이다(Riche 2007). 정상적인 경골어류의 경우에서 약  $4\sim 7 \text{ g dL}^{-1}$  정도의 농도 범위가 나타나고, 외부 스트레스 등 환경변화에 의해 영향을 받을 수 있다(Yanagisawa and Hashimoto 1984). 하지만, 본 연구에서 암모니아 노출에 따른 대왕범바리 혈장 총 단백질의 유의적 변화는 나타나지 않았다. ALP (alkaline phosphatase)는 간 손상 정도를 수치로 나타내는 효소성분으로, 독성물질에 노출된 어류의 독성 정도를 판단하는 지표로 많이 사용되고 있다(Shaheen and Akhtar 2012; Kim and Kang 2016). 본 실험에서 암모니아 급성 노출에 대한 대왕범바리의 혈장 ALP는 암모니아 노출에 의해 유의적 증가가 나타났다. Peyghan and Takamy (2002)는 잉어 *Cyprinus carpio*의 암모니아 노출에 따른 혈장 ALP 수치변화는 대조군보다 높았으며, 이는 적혈구와 신장의 손상에 따른 것으로 보고했다. 본 실험의 대왕범바리의 혈장 ALP의 유의적 증가는 암모니아로 인해 간세포의 손상에 따른 것으로 판단된다. 본 연구 결과 암모니아 급성노출은 독성으로 작용하여 대왕범바리의 혈장성분에 영향을 주었다.

## 적 요

본 실험에서 암모니아 급성 노출은 대왕범바리의 혈액학적 성상 및 혈장 성분에 유의적 변화를 나타내었다. 본 실험의 결과  $20 \text{ mg L}^{-1}$  이상의 급성 암모니아 노출은 대왕범바리의 혈액학적 성상 및 혈장 성분에 영향을 주어 생리적 변화를 일으키며,  $40 \text{ mg L}^{-1}$ 의 급성 암모니아 농도는 대량 폐사를 유발할 수 있음을 나타낸다. 향후 대왕범바리

바이오플락 양식기술 적용을 위한 양식연구에 이리한 결과를 지표로 활용할 수 있을 것이다.

## 사 사

이 논문은 2020년 국립수산물과학원 ‘천수만 양식어장 고수온피해 대응기술 연구(R2020042)’의 지원으로 수행된 연구입니다.

## REFERENCES

- Bijvelds M, JA Velden, ZI Kolar and G Flik. 1998. Magnesium transport in freshwater teleosts. *J. Exp. Biol.* 201:1981–1990.
- Choi YS and SY Lee. 1992. Serum cholesterol and 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 21:580–593.
- Das PC, S Ayyappan, JK Jena and BK Das. 2004. Acute toxicity of ammonia and its sub-lethal effects on selected haematological and enzymatic parameters of mrigal, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). *Aquac. Res.* 35:134–143.
- Evans JJ, DJ Pasnik, GC Brill and PH Klesius. 2006. Un-ionized ammonia exposure in Nile tilapia: toxicity, stress response, and susceptibility to *Streptococcus agalactiae*. *N. Am. J. Aquacult.* 68:23–33.
- Groff JM and JG Zinkl. 1999. Hematology and clinical chemistry of cyprinid fish: common carp and goldfish. *Vet. Clin. N. Am. -Exot. Anim. Pract.* 2:741–776.
- Hrubec TC, SA Smith and JL Robertson. 1996. Nitrate toxicity: a potential problem of recirculating systems. In: *Aquacultural Engineering Society Proceedings II: Successes and Failures in Commercial Recirculating Aquaculture*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service Cooperative Extension (NRAES). Ithaca, NY.
- Ip YK and SF Chew. 2010. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. *Front. Physiol.* 1:134.
- Kim JH and JC Kang. 2014. The selenium accumulation and its effect on growth, and haematological parameters in red sea bream, *Pagrus major*, exposed to waterborne selenium. *Eco-tox. Environ. Safe.* 104:96–102.
- Kim JH and JC Kang. 2016. The chromium accumulation and its physiological effects in juvenile rockfish, *Sebastes schlegelii*, exposed to different levels of dietary chromium ( $Cr^{6+}$ ) concentrations. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 41:152–158.
- Kim JH, KW Kim, SH Bae, SK Kim, SK Kim and JH Kim. 2017a. Alterations in hematological parameters and antioxidant responses in the biofloc-reared flatfish *Paralichthys olivaceus* following ammonia exposure. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 50:750–755.
- Kim JH, HJ Park, IK Hwang, JM Han, DH Kim, CW Oh and JC Kang. 2017b. Alterations of growth performance, hematological parameters, and plasma constituents in the sablefish, *Anoplopoma fimbria* depending on ammonia concentrations. *Fish. Aquat. Sci.* 20:4.
- Kim JH, EH Jeong, SR Kim, SK Kim, SK Kim and YB Hur. 2019. Changes in water quality and hematological parameters according to the stocking density of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* raised in bio-floc environment. *Korean J. Environ. Biol.* 37:155–163.
- Kim SH, JH Kim, MA Park, SD Hwang and JC Kang. 2015. The effects of ammonia exposure on antioxidant and immune responses in Rockfish, *Sabastes schlegelii* during thermal stress. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 40:954–959.
- LC Folmar. 1993. Effects of chemical contaminants on blood chemistry of teleost fish: A bibliography and synopsis of selected effects. *Environ. Toxicol. Chem.* 12:337–375.
- Lee KS and HM Ryu. 2011. The acute toxicity of naphthalene on hematologic properties in juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Korean Soc. Mar. Environ.* 17:191–196.
- Peyghan R and GA Takamy. 2002. Histopathological, serum enzyme, cholesterol and urea changes in experimental acute toxicity of ammonia in common carp *Cyprinus carpio* and use of natural zeolite for prevention. *Aquacult. Int.* 10:317–325.
- Randall DJ and TKN Tsui. 2002. Ammonia toxicity in fish. *Mar. Pollut. Bull.* 45:17–23.
- Riche M. 2007. Analysis of refractometry for determining total plasma protein in hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) at various salinities. *Aquaculture* 264:279–284.
- Robert MD, MC David and WB Martin. 1997. Ammonia in Fish Ponds. Publication No. 463. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Stoneville, MS.
- Roumieh R, A Barakat, NE Abdelmeguid, J Ghanawi and IP Saoud. 2013. Acute and chronic effects of aqueous ammonia on marbled spinefoot rabbitfish, *Siganus rivulatus* (Forsskål 1775). *Aquac. Res.* 44:1777–1790.
- Ruyet JPL, A Lamers, AL Roux, A Severe, G Boeuf and N Mayer-Gostan. 2003. Long-term ammonia exposure of turbot: effects on plasma parameters. *J. Fish Biol.* 62:879–894.
- Shaheen T and T Akhtar. 2012. Assessment of chromium toxicity in *Cyprinus carpio* through hematological and biochemical blood markers. *Turk. J. Zool.* 36:682–690.
- Thangam Y, M Perumayee, S Jayaprakash, S Umavathi and SK Basheer. 2014. Studies of ammonia toxicity on haematologi-

- cal parameters to freshwater fish *Cyprinus carpio* (Common carp). Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 3:535-542.
- Xing X, M Li, L Yuan, M Song, Q Ren, G Shi and R Wang. 2016. The protective effects of taurine on acute ammonia toxicity in grass carp *Ctenopharyngodon idellus*. Fish Shellfish Immunol. 56:517-522.
- Yanagisawa T and K Hashimoto. 1984. Plasma albumins in elasmobranchs. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 50:1083-1090.
- Yang W, F Xiang, H Sun, Y Chen, E Minter and Z Yang. 2010. Changes in the selected hematological parameters and gill  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase activity of juvenile crucian carp *Carassius auratus* during elevated ammonia exposure and the post-exposure recovery. Biochem. Syst. Ecol. 38:557-562.