

쥐노래미(*Hexagrammos otakii*)의 생존율, 산소 소비율과 혈액 성상에 미치는 염분의 영향

오승용^{1,2} · 명정구³ · 박진우^{3*}

¹한국해양과학기술원 통영해양과학기지, ²과학기술연합대학원대학교 해양생물학과, ³한국해양과학기술원 생태기반연구센터

Effects of Salinity on Survival, Oxygen Consumption, and Hematological Response of Greenling *Hexagrammos otakii*

Sung-Yong Oh^{1,2}, Jung-Goo Myoung³ and Jin Woo Park^{3*}

¹Tongyeong Marine Science Station, Korea Institute Ocean Science and Technology, Ansan 15627, Korea

²Department of Marine Biology, Korea University of Science and Technology, Daejeon 34113, Korea

³Marine Ecosystem and Biological Research Center, Korea Institute Ocean Science and Technology, Ansan 15627, Korea

The effects of salinity on survival, oxygen consumption, and hematological response of greenling *Hexagrammos otakii*, mean body weight 147.1±3.8 g, were investigated under salinity conditions of 33.4 (control), 33.1, 32.8, 32.2, 31.0, 28.7, 23.9, 14.5, and 3.8 psu, to evaluate physiological effects in relation to changes in salinity. The survival and hematological responses of fish were measured at each salinity after 96- and 24-h exposures. The oxygen consumption rate (OCR) of fish was measured in triplicate under conditions of stepwise salinity exposure (33.4→33.1→32.8→32.2→31.0→28.7→23.9→14.5→3.8 psu) with an interval of 24 h at each salinity, using a continuous flow-through respirometer. No fish mortality was observed in the range of 33.4 to 14.5 psu, but the survival rate was reduced to 53.3% at 3.8 psu after 96 h of exposure. The OCRs did not significantly differ in the range between 33.4 to 28.7 psu ($P>0.05$), but significantly increased at 23.9 and 14.5 psu, and then dramatically decreased at 3.8 psu compared to the control ($P<0.05$). Hematological variables, such as glucose, glutamic pyruvic transaminase (GPT), hematocrit, and Na⁺, were affected by reduced salinity. This result may be applicable for habitat and culture management of greenlings.

Key words: *Hexagrammos otakii*, Salinity, Oxygen consumption, Blood physiology

서론

환경 변화에 따른 해양생물의 생리·생태학적 변동 특성은 생태계 내 생물의 반응 및 적응 정도를 이해하는 중요한 정보를 제공한다(Ai-li et al., 2008). 많은 환경요인들 중 염분은 해양생물의 생존, 분포 특성 및 체내 생리적 반응에 직접적인 영향을 미치며(Romo et al., 2010), 단기간 내 급격한 염분 변화 또는 원래의 서식 염분 범위를 벗어난 장기적 노출의 경우 폐사를 유발하거나 성장 지연 및 대사율 변화 등 다양한 형태의 스트레스 반응으로 나타난다(Partridge and Jenkins, 2002; Lim et al., 2005; Oh et al., 2014).

어류의 삼투압 조절 능력은 각 대상어종이 가지는 생리적 특성인 광염성(euryhaline) 또는 협염성(stenohaline)에 따라 달라지지만, 염분 변화에 따른 체내 이온과 삼투압 조절을 위한 대사 에너지를 소비하며, 이를 통해 항상성(homeostasis) 유지를 하게 된다(Abud, 1992; Shi et al., 2011; Oh et al., 2014). 즉, 삼투압 조절을 위한 어체 내 대사 반응은 에너지 소비를 수반(Immland et al., 2008)하기 때문에 이의 측정을 통한 생체 반응의 정도를 파악할 수 있다. 산소 소비율은 수서생물의 체내 대사 및 스트레스 반응과 연관된 에너지 이용을 조사하기 위해 널리 이용되는 대사율 지표로서(Pérez-Robles et al., 2012; Oh et al., 2014), 염분 변화에 따른 다양한 어종의 생리적 변화 연구에

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0712>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 48(5) 712-718, October 2015

Received 31 August 2015; Revised 12 October 2015; Accepted 21 October 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 31. 400. 7732 Fax: +82. 31. 406. 2882

E-mail address: pjw@kiost.ac

이용되어져 왔다(Mosser and Hettler, 1989; Abud, 1992; Kang et al., 2004; Shi et al., 2011; Oh et al., 2014). 이와 아울러 혈액 내 화학 성상의 변화 역시 염분 변화로 유발된 어류의 스트레스 정도와 건강도를 평가하는 지표 중의 하나로 알려져 있다 (Imsland et al., 2008; Imanpoor et al., 2012; Oh et al., 2014). 그러나 염분 변화가 미치는 해산어의 생리적 영향 정도는 제한적으로 알려져 있으며(Árnason et al., 2013), 특히 염분 변화가 빈번히 일어날 수 있는 연안 서식종에 대한 연구가 요구된다.

쥐노래미(*Hexagrammos otakii* Jordan et Starks)는 쏨뱅이목(*Scorpaeniformes*), 쥐노래미과(*Hexagrammidae*)에 속하는 연안 정착성 어류로서, 우리나라 동해안과 남해 연안, 일본 각지 연안의 암초지대에 널리 분포한다(Masuda et al., 1988). 쥐노래미의 주 서식지인 연안 지역은 태풍, 장마 및 육상 담수 유입에 의한 저염분 현상(<http://sms.khoa.go.kr/koofs>)이 나타나고 있지만, 이에 따른 쥐노래미의 생리적 영향에 대해 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 염분 변화가 미치는 쥐노래미의 생존율, 산소 소비율 그리고 혈액 성분 변화 정도의 조사를 통해 삼투압 조절을 위한 체내 에너지 이용 변화 및 스트레스 반응 정도를 파악함으로써 향후 저염분 현상에 대응하기 위한 기초자료를 수집하였다.

재료 및 방법

실험어

실험어는 통영 연안에서 통발로 어획한 쥐노래미(평균 무게 130.2 ± 25.9 g)를 해상가두리에서 2개월 이상 사육한 후 실내 소형 순환여과식 시스템으로 옮긴 뒤 2주 동안 순치시킨 다음 사용하였다(평균 무게 147.1 ± 3.8 g). 순치기간 동안 먹이는 시판용 해산어 상품사료(E-hwa Feed Co., Korea, 단백질 함량 46.7%)를 공급(일간 어체중의 1-2%)하였으며, 히터와 냉각기를 이용하여 수온은 $20.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 를 유지하였고, 광주기는 32-W 형광등을 이용하여 12L:12D으로 조절하였다. 순치 기간 동안 용존산소는 6.9 mg/L 이상을 유지하였으며, 평균 pH와 염분은 각각 7.5 ± 0.5 와 33.4 ± 0.1 psu이었다.

실험 장치

염분에 따른 쥐노래미의 생존율과 혈액 성상에 미치는 영향은 Oh et al. (2014)의 소형 순환여과시스템을 이용하여 조사하였다. 이 시스템은 침지식 생물여과조($0.7 \times 1.3 \times 1.1$ m, 1,000 L)와 포말분리기(직경 0.4 m, 높이 2.1 m) 그리고 PVC 재질의 사육조($0.4 \times 0.6 \times 0.4$ m, 96 L)로 이루어진 순환여과식 시스템으로, 사육조 내에 에어레이션을 통해 용존산소를 공급하였고, 수온은 히터(용량 2 kW)와 냉각기[DA-3000W, 3마력, 대일냉각기(주)]를 생물여과조 내에 설치하여 조절하였다. 수조 내 유량은 2-3 L/min로 유지하면서 지속적인 노폐물의 배출과 용존산소를 보충하였다.

염분에 따른 쥐노래미의 산소 소비율 변화는 Oh et al. (2006)의 폐쇄 순환 호흡 측정 시스템을 사용하여 측정하였다. 호흡 측정 시스템은 공급탱크(용량 500 L), 저수탱크(용량 700 L), 호흡실($0.4 \times 0.4 \times 0.4$ m, 64 L), 용존산소 측정실(원통 투명 아크릴, 두께 8 mm, 직경 8 cm, 길이 20 cm), 유량계(Korea flow, 최대 3 L/min) 그리고 Multi Data Logger로 구성된 폐쇄 순환형 장치로서, 측정실 내 형광 용존산소 probe (MPA-48 Multi-Parameter Analyzer, Insite IG, USA)를 이용하여 용존산소를 측정하며 측정된 값은 컴퓨터와 연결된 GigaLog E Data Logger system을 이용하여 컴퓨터에 실시간 저장하였다. 시스템 내 설치된 냉각기[DA-100B, 1마력, 대일냉각기(주)]와 히터(용량 2 kW)를 이용하여 실험기간 동안 일정한 수온($20.1 \pm 0.2^\circ\text{C}$)을 유지하였다.

실험 방법

실험 염분 농도의 결정 및 방법은 Oh et al. (2014)의 방법을 따랐다. 즉, 24시간 이상 생존 가능한 최저 염분 농도 파악을 위한 예비실험 결과(3.5 psu와 4.0 psu)를 통해 조사된 평균 농도 3.8 psu를 최저 농도로, 일반 해수 농도인 33.4 psu를 초기 농도로 설정한 뒤 희석 비율에 따라 각각 33.4 (대조구, 희석 비율 0%), 33.1 (1%), 32.8 (2%), 32.2 (4%), 31.0 (8%), 28.7 (16%), 23.9 (32%), 14.5 (64%) 그리고 3.8 (100%) psu로, 총 9개 농도로 설정하였다. 염분에 따른 쥐노래미의 생존율과 혈액 성분 변화를 조사하기 위해 각 실험 염분 농도별로 조절된 소형 순환여과시스템 내 사육조에 쥐노래미를 5마리씩 4반복 수용하여, 이 중 세 사육조에 수용된 쥐노래미는 96시간 동안 24시간 간격으로 생존율(n=3)을 조사하였고, 나머지 하나의 사육조에 수용된 쥐노래미(n=5)는 24시간 유지시킨 후 각각 채혈하여 혈액 내 변화를 조사하였다. 실험어는 스트레스를 최소화하기 위해 수용 전 48시간 절식한 뒤 2-phenoxyethanol (150 mg/L)로 마취시켜 무게를 측정한다 다음 실험 사육조에 수용하였고, 먹이에 의한 영향을 배제하기 위해 실험 기간 동안 절식시켰다. 혈액은 헤파린으로 처리된 주사기(용량 1 mL)를 이용하여 미부동맥으로부터 채취한 후 4°C 에서 5분간 방치한 후 hematocrit, hemoglobin (Hb)을 측정하였고, 12,000 rpm에서 5분간 원심분리하여 혈장을 추출한 다음 glutamic oxaloacetic transaminase (GOT), glutamic pyruvic transaminase (GPT), glucose (GLU) 그리고 Na^+ , K^+ , Cl^- 를 FUJI DRY-CHEM 4000i (Fujifilm Co., Japan)를 사용하여 측정하였다.

산소 소비율 실험은 섭취에 따른 소화와 배설 등의 대사 작용에 의한 영향을 최소화하기 위해 실험 시작 48시간 동안 절식시킨 후 스트레스를 최소화하기 위해 2-phenoxyethanol (150 mg/L)로 마취시켜 무게를 측정한다 다음 초기 염분 33.4 psu로 유지된 시스템 내 호흡실에 각각 5마리씩, 3반복 수용하여 실험을 실시하였다. 호흡실에 수용한 후 handling에 의한 영향을 배제하기 위하여 24시간 동안 안정시킨 후 매 24시간 간격으로 다음

단계의 실험 염분 농도(즉, 33.4→33.1→32.8→32.2→31.0→28.7→23.9→14.5→3.8 psu)로 1시간 이내에 조절하였다. 염분 변화에 따른 쥐노래미의 산소 소비율은 염분 농도 변경 직전 6시간 동안 측정하였다. 즉, 각 염분 농도별 영향을 충분히 받도록 하기 위해 산소 소비율 측정 전 18시간 동안 유지시킨 다음 마지막 6시간 동안(즉, 각 염분 농도별 총 24시간) 산소 소비율을 30초 간격으로 측정한 후 다음 염분 농도로 조절하였다(Oh et al., 2014).

산소 소비율(oxygen consumption rate, OCR)은 아래와 같은 방법에 따라 구하였다(Jobling, 1982).

$$OCR (mg O_2 kg^{-1} h^{-1}) = (C_i - C_o) \times Q / W$$

여기서, C_i = 어류 호흡실 유입수의 용존산소 농도(mg/L)
 C_o = 어류 호흡실 배출수의 용존산소 농도(mg/L)
 Q = 어류 호흡실을 지나가는 시간당 유량(L/h)
 W = 호흡실 수용 어체중(kg)

자료 분석

모든 자료의 통계처리는 SPSS 11.5 (SPSS Inc., USA) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석(ANOVA)를 실시하였다. 분산 분석 이전에 자료의 동질성(homogeneity)과 정규성(normality)을 검정하였고, 자료가 동질성과 정규성 가정에 위배될 경우 ANOVA의 비모수 통계인 Kruskal-Wallis test를 실시하였다. 분산분석 결과 유의한 차이가 있을 경우 Tukey's multiple range test로 평균간 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였다. 각 염분별 시간당 평균 산소 소비율의 경우 반복구별로 pooling 하여 분산분석을 수행하였다.

결 과

생존율

염분 농도에 따른 쥐노래미의 생존율 변화를 Table 1에 나타내었다. 실험이 이루어진 96시간 동안 염분 33.4-14.5 psu 범위의 경우 쥐노래미의 폐사가 발생하지 않은 반면, 3.8 psu에서는 48시간 후 생존율이 86.7%로 감소하였고, 72시간과 96시간 후에는 각각 66.7%와 53.3%로 감소하였다.

산소 소비율

염분 농도에 따른 쥐노래미의 산소 소비율 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 실험이 이루어진 염분 33.4-3.8 psu의 범위에서 쥐노래미의 산소 소비율은 86.3-436.7 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹ 범위이었으며, 3.8 psu (86.3-117.6 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹)와 33.1 psu (133.8-436.7 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹)에서 각각 최소와 최대 변동 폭을 보였다. 쥐노래미의 산소 소비율은 높은 변동 폭을 보인(즉, 33.4-32.2 psu 범위) 후 비교적 일정한 산소 소비 패턴을 나타낸(즉, 31.0-28.7 psu 범위) 다음, 23.9 psu에서 급격히 증가한 뒤 14.5 psu에서 소폭 감소하고 3.8 psu에서는 급격히 감소하는 경향을 보였다. 염분 농도에 따른 쥐노래미의 시간당 평균 산소 소비율은 Fig. 2에 나타내었다. 염분 33.4, 33.1, 32.8, 32.2, 31.0, 28.7, 23.9, 14.5 그리고 3.8 psu에서 쥐노래미의 시간당 평균 산소 소비율은 각각 281.4, 279.8, 279.6, 279.0, 280.0, 279.6, 387.8, 334.4 그리고 99.8 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹이었으며, 33.4-28.7 psu 범위에서는 염분 간 유의한 차이가 없었지만($P>0.05$), 23.9-14.5 psu에서 전 농도에 비해 유의하게 증가한 뒤 3.8 psu에서 가장 낮은 시간당 평균 산소 소비율을 보였다($P<0.05$).

혈액 성상

염분 농도에 따른 쥐노래미의 혈액 성상 변화는 Fig. 3에 나타

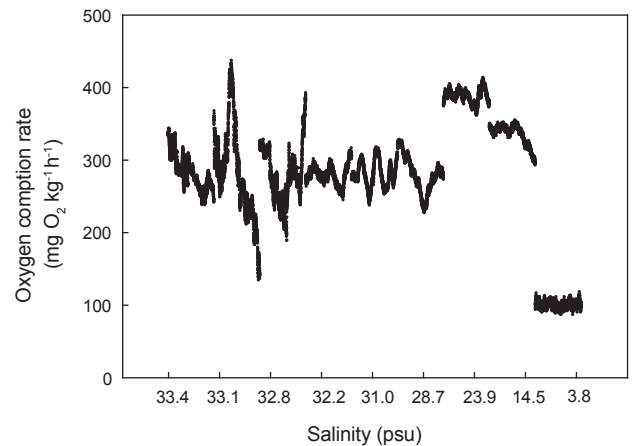


Fig. 1. Changes of oxygen consumption rate in fasted greenling *Hexagrammos otakii* exposed to nine different salinities.

Table 1. Survival rate (mean±SD) of greenling *Hexagrammos otakii* exposed to nine different salinities for 96 hours

Elapsed time (h)	Salinity (psu)	33.4	33.1	32.8	32.2	31.0	28.7	23.9	14.5	3.8
	Survival rate (%) ¹									
24		100	100	100	100	100	100	100	100	100
48		100	100	100	100	100	100	100	100	86.7±11.5
72		100	100	100	100	100	100	100	100	66.7±11.5
96		100	100	100	100	100	100	100	100	53.3±30.6

¹Values represent mean±SD (n=3).

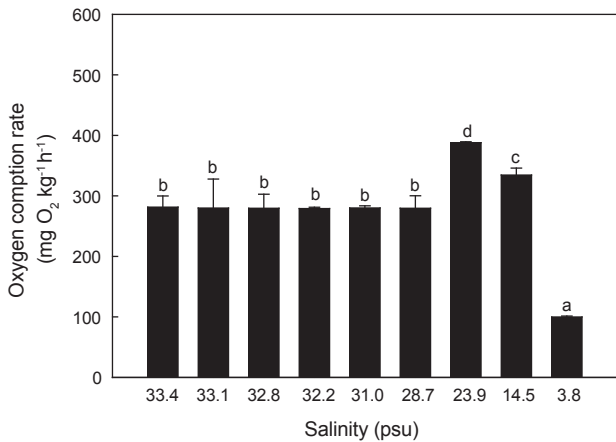


Fig. 2. Mean oxygen consumption rates of fasted greenling *Hexagrammos otakii* exposed to nine different salinities. Values (mean±SD, n=3) with different letter are significantly different.

내었다. 염분 33.4-3.8 psu의 범위에서 24시간 노출된 쥐노래미 혈액 내 Hb, GOT, K⁺ 그리고 Cl⁻ 농도는 염분 농도에 따라 유의한 차이를 보이지 않거나 초기 농도인 33.4 psu(대조구)와 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 반면, 혈액 내 GPT 농도의 경우 28.7-3.8 psu 범위에서, 그리고 GLU와 hematocrit의 농도의 경우 14.5-3.8 psu 범위에서 대조구보다 유의하게 낮은 값을 보였다(P<0.05). 또한 Na⁺ 농도의 경우 염분 농도 33.4-14.5 psu 구간에서는 유의한 차이가 없었지만, 3.8 psu에서 유의하게 감소하였다(P<0.05).

고 찰

염분 변화는 쥐노래미의 생존율, 산소 소비율과 혈액 성상에 유의한 영향을 미쳤다. 일반적으로 사육수의 염분 변화는 어류 체내 삼투압 조절을 위한 많은 대사에너지의 소비와 스트레스를 유발하며 항상성 유지 한계를 넘어서는 경우 결국 폐사에 이르게 된다(Woo and Fung, 1981; Chang et al., 2002; Kim et al., 2009, Oh et al., 2014). 본 실험의 경우 염분 33.4-14.5 psu 범위에서는 96시간 동안 폐사가 발생하지 않았지만, 3.8 psu에서는 96시간 후 생존율은 53.3%까지 감소하였다. 어류의 생존율에 미치는 염분의 영향은 어류의 생리·생태학적 특성에 따라 달라진다(Martin, 1990; Boeuf and Payan, 2001; Kim et al., 2004). Kang et al. (2000, 2004)은 기수역에 서식하는 날개망둑(*Favonigobius gymnauchen*)과 두줄망둑(*Tridentiger trignocephalus*)을 대상으로 10.1-33.6 psu 범위에서 40일간 사육하였을 경우 90% 이상의 생존율을 보이고, 3.4 psu에서도 두 어종 모두 70.0% 이상의 생존율을 보고하였다. 또한 광염성 어종으로 알려져 있는 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 경우 20 psu와 5 psu에서 14주간 사육 시 모두 86.0% 이상의 높은 생존율이 보고된 바 있다(Kim et al., 2004). 반면 연안 정착성 어종이자

해상 가두리에서 주로 양식이 이루어지고 있는 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)의 경우 염분 3.8 psu에서 96시간 후 26.7%까지 생존율이 감소하는 것(Oh et al., 2014)으로 볼 때 쥐노래미의 경우 광염성 어종으로 알려져 있는 날개망둑, 두줄망둑 그리고 넙치에 비해 낮은 염분 저항성을 보이며, 유사한 연안 서식지 분포를 보이는 조피볼락보다는 높은 염분 저항성을 가지는 것으로 생각된다.

산소 소비율은 염분 변화로 유발된 체내 삼투압 조절 및 항상성 유지를 위해 소비되는 대사 에너지를 측정하는 유용한 방법(Brown and Terwillinger, 1999; Altinok and Grizzle, 2003)으로서, 염분 변화에 따른 산소 소비율은 어종에 따라 다양하게 나타난다(Dalla Via et al., 1998; Kang et al., 2004; Shi et al., 2011; Oh et al., 2014). 본 실험의 경우 실험 염분 33.4-28.7 psu 범위에서는 염분 농도 간 산소 소비율의 차이를 보이지 않고 23.9 psu에서 급격히 증가한 다음 감소하는 경향을 보였다. Oh et al. (2014) 역시 조피볼락을 대상으로 한 실험에서 33.4-28.7 psu 범위에서는 염분 간 산소 소비율의 차이가 없지만, 23.9-14.5 psu에서 급격히 증가한 뒤 3.8 psu에서 감소하는 결과를 보여 본 실험과 유사한 경향을 보고하였다. Dalla Via et al. (1998)은 sea bass (*Dicentrarchus labrax*)의 경우 염분을 단계적으로 감소시킬 경우 일시적으로 산소 소비율이 증가한 뒤 감소한다고 하였으며, 날개망둑(Kang et al., 2000)과 두줄망둑(Kang et al., 2004)은 일정 염분 범위 내(33.6-20.2 psu) 산소 소비율은 차이가 없었지만, 일반적인 서식 환경 범위를 벗어난 낮은 염분(10.1-0.0 psu)에서는 산소 소비율이 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 이 밖에 tawny puffer (*Takifugu flavidus*) 치어의 경우 5-25 psu 범위에서는 염분 증가에 따라 산소 소비율이 증가한 뒤 30-35 psu 범위에서는 감소하는 포물선(parabolic) 형태를 보인(Shi et al., 2011) 반면, 등삼투압(iso-osmotic) 조건에서 가장 낮은 산소 소비율을 보이는 croaker (*Micropogonias furnieri*) (Abud, 1992) 등과 같이 각 어종마다 염분 변화에 대한 반응이 다르게 나타남을 알 수 있다. 일반적으로 광염성 어종일 경우 장기간의 염분 순치가 이루어진다면 염분 변화에 의한 대사율의 변동은 매우 적은 것으로 알려져 있다(Claireaux and Lagardère, 1999). 이와 같은 대사율의 변화는 삼투압 조절에 따른 이온 평형 시 catecholamine과 corticosteroid와 같은 체내 호르몬 분비와 연관이 있기(Wedemeyer, 1996) 때문에 향후 이에 대한 연구가 필요하다.

내성 한계를 벗어나는 염분 변화는 어류에게 스트레스 요인(Ármason et al., 2013)으로 작용하며 어종에 따라 혈액 내 다양한 인자에 영향을 미친다(Imsland et al., 2008; Oh et al., 2014). Imsland et al. (2008)은 Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*)를 대상으로 15, 25 그리고 32 psu 조건에서 4개월 사육 시 혈액 내 Na⁺, GLU 그리고 hematocrit의 농도는 염분이 낮아질수록 감소하지만, K⁺와 Hb 농도는 영향이 없는 결과를 보고해 본 실험과 유사한 결과를 보였다. 본 실험에서 나타난 Na⁺

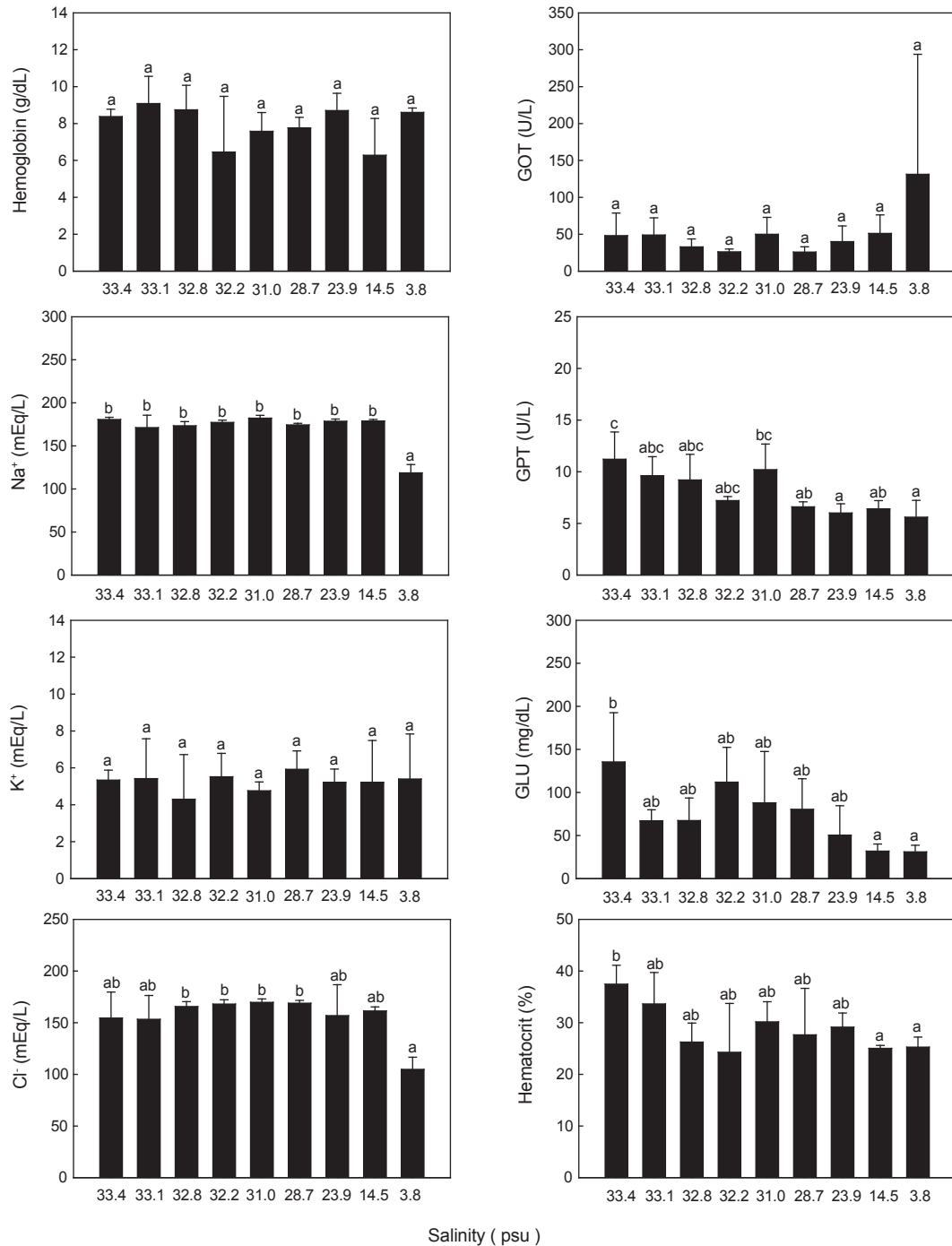


Fig. 3. Changes of the concentration of hemoglobin, Na⁺, K⁺, Cl⁻, GOT, GPT and glucose (GLU) in the blood plasma and hematocrit in the blood of greenling *Hexagrammos otakii* exposed to nine different salinities. Values (mean±SD, n=5) with different letter are significantly different.

농도의 감소는 turbot (*Scophthalmus maximus*) (Gaumet et al., 1994), coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) (Morgan and Iwama, 1998), spotted wolffish (*Anarhichas minor*) (Magnus-

sen et al., 2008) 그리고 조피볼락(Oh et al., 2014) 등 다양한 어종에서 관찰되었다. Oh et al. (2014)은 해산어의 서식 환경 내 염분 농도의 감소 시 Na⁺와 Cl⁻ 농도 유지를 위한 고삼투압

(hyper-osmoregulation) 조절을 하지 못할 경우 폐사의 한 원인이 될 수 있다고 고찰하고 있어 쥐노래미 역시 저염분 조건에서의 낮은 Na^+ 농도는 삼투압 조절 실패에 따른 폐사 원인 중의 하나로 생각된다. 이 밖에 넙치(Hur et al., 2006)와 농어 (*Lateolabrax japonicus*) (Han et al., 2003) 그리고 조피볼락 (Oh et al., 2014)을 급격한 저염분에 노출하였을 때 GPT 농도에는 영향이 없었지만, GOT의 농도는 증가하는 결과를 나타내 본 실험과 차이를 보였다. 이러한 관점에서 볼 때 어종과 염분 변화 조건 등에 따라 혈액 내 다양한 인자들의 반응 정도가 달라짐을 알 수 있다.

이상의 결과에서 염분의 감소는 쥐노래미의 생존, 산소 소비율 그리고 혈액 내 화학성상에 유의한 영향을 미치며, 28.7 psu 이하에서는 삼투압조절을 위한 유의한 생리적 반응이 나타남을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 쥐노래미의 서식지 변화, 성장 및 생존에 대한 영향을 예측할 수 있는 기초 자료를 제공하며, 사육 시스템 내 사육밀도 및 용존산소 관리를 위한 중요한 정보를 제공할 수 있어 쥐노래미 양식을 위한 자료로 활용할 수 있을 것이다. 향후 쥐노래미의 염분별 에너지 이용 효율을 구명할 수 있는 장기 사육실험이 필요하며, 이를 통해 염분 저항성에 대한 쥐노래미의 생리적 특성 확인이 요구된다.

사 사

본 연구는 한국해양과학기술원 연구비(과제번호: PN66370, PO01215, PE99317) 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 실험기간 중 어류 사육과 관리, 자료 정리에 도움을 주신 정유경 연구원께도 감사드립니다.

References

- Abud EOA. 1992. Effects of salinity and weight on routine metabolism in the juvenile croacker, *Micropogonias furnieri* (Desmarest 1823). *J Fish Biol* 40, 471-472.
- Ai-li J, Jin-li G, Wen-gui C and Chang-hai W. 2008. Oxygen consumption of the ascidian *Styela clava* in relation to body mass, temperature and salinity. *Aquac Res* 39, 1562-1568.
- Altinok I and Grizzle JM. 2003. Effect of low salinities on oxygen consumption of selected euryhaline and stenohaline freshwater fish. *J World Aquacult Soc* 34, 113-117.
- Árnason T, Magnadóttir B, Björnsson B, Steinarsson A and Björnsson BT. 2013. Effects of salinity and temperature on growth, plasma ions, cortisol and immune parameters of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture* 380-383, 70-79.
- Boeuf G and Payan P. 2001. How should salinity influence fish growth? *Comp Biochem Physiol* 130C, 411-423.
- Brown AC and Terwillinger NB. 1999. Developmental changes in oxygen uptake in *Cancer magister* (Dana) in response to changes in salinity and temperature. *J Exp Mar Biol Ecol* 241, 179-192.
- Martin TJ. 1990. Osmoregulatory in three species of Ambassidae (*Osteichthyes: Perciformes*) from estuaries in Natai. *S Afr J Zool* 25, 229-234.
- Chang YJ, Min BH, Chang HJ and Hur JW. 2002. Comparison of blood physiology in juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegelii*) reared in converted freshwater from seawater and seawater from freshwater. *J Korean Fish Soc* 35, 595-600.
- Claireaux G and Lagardère JP. 1999. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass. *J Sea Res* 42, 157-168.
- Dalla Via J, Villani P, Gasteiger E and Niederstatter H. 1998. Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. *Aquaculture* 169, 303-313.
- Gaumet F, Boeuf G, Severe A, Le Roux A and Mayer-Gostan N. 1994. Effects of salinity on the ionic balance and growth of juvenile turbot. *Journal of Fish Biology* 47, 865-876.
- Han H-K, Kang D-Y, Jun C-Y and Chang Y-J. 2003. Effect of salinity change on physiological response and growth of yearling sea bass, *Lateolabrax japonicus*. *J Aquaculture* 16, 31-36.
- Hur JW, Lee JY, Kim YH, Park I-S and Jang YJ. 2006. Effects of salinity on hematological changes and survival of cultured olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Korean J Environ Biol* 24, 380-389.
- Imanpoor MR, Najafi E and Kabir M. 2012. Effects of different salinity and temperature on the growth, survival, haematocrit and blood chemistry of goldfish (*Carassius auratus*). *Aquac Res* 43, 332-338.
- Imsland AK, Gústavsson A, Gunnarsson S, Foss A, Árnason J, Arnarson I, Jónsson AF, Smáradóttir H and Thorarensen H. 2008. Effects of reduced salinities on growth, feed conversion efficiency and blood physiology of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture* 274, 254-259.
- Jobling M. 1982. A study of some factors affecting rates of oxygen consumption of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J Fish Biol* 20, 501-516.
- Kang J-C, Chin P, Lee J-S, Shin Y-K and Cho K-S. 2000. Effects of salinity on survival, growth and oxygen consumption rates of the juvenile gobiid, *Favonigobius gymnauchen*. *J Korean Fish Soc* 33, 408-412.
- Kang J-C, Lee J-H, Kim S-G, Park GS and Park SY. 2004. Tolerance of juvenile gobiidae, *Tridentiger trigonocephalus* exposed to various salinity. *Korean J Environ Biol* 22, 153-158.
- Kim MJ, Chung SC, Song CB (2004) Effects of salinity on growth and survival of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Korean J Ichthyol* 16,100-106.

- Lim HK, Han H-K, Lee J-H, Jeong MH and Hur JW. 2005. Effects of gradual change of salinity on physiological response in hybrid striped bass (*Morone chrysops*×*M. saxatilis*). *J Aquaculture* 17, 43-48.
- Magnussen AB, Imsland AK and Foss A. 2008. Interactive effects of different temperatures and salinities on growth, feed conversion efficiency, and blood physiology in juvenile spotted wolffish, *Anarhichas minor* Olafen. *J. World Aquac Soc* 39, 804-811.
- Masuda H, Amaoka K, Araga C, Uyeno T and Yoshino T. 1988. The fishes of the Japanese archipelago. Tokai university press. 2nd ed, 305-306.
- Morgan JD and Iwama GK. 1998. Salinity effects on oxygen consumption, gill Na⁺, K⁺-ATPase and ion regulation in juvenile coho salmon. *J Fish Biol* 53, 1110-1119.
- Mosser ML and Hettler WF. 1989. Routine metabolism of juvenile spot, *Leiostomus xanthurus*. *J Fish Biol* 35, 703-707.
- Oh S-Y, Kim C-K, Jang Y-S, Choi H-J and Myoung J-G. 2014. Effect of salinity on survival, oxygen consumption and blood physiology of Korean Rockfish *Sebastes schlegelii*. *Ocean Polar Res* 36, 135-143.
- Oh S-Y and Noh CH. 2006. Effects of water temperature and photoperiod on the oxygen consumption rate of juvenile dark-banded rockfish, *Sebastes inermis*. *J Aquaculture* 19, 210-215.
- Partridge GJ and Jenkins GI. 2002. The effect of salinity on growth and survival of juvenile black bream (*Acanthopagrus butcheri*). *Aquaculture* 210, 219-230.
- Pérez-Robles J, Re AD, Giffard-Mena I and Díaz F. 2012. Interactive effects of salinity on oxygen consumption, ammonium excretion, osmoregulation and Na⁺/K⁺-ATPase expression in the bullseye puffer (*Sphoeroides annulatus*, Jenyns 1842). *Aquac Res* 43, 1372-1383.
- Romo ZM, Re AD, Diaz F and Mena A. 2010. Physiological responses of pink abalone *Haliotis corrugata* (Gray, 1828) exposed to different combinations of temperature and salinity. *Aquac Res* 41, 953-960.
- Shi Y, Zhang G, Liu J and Zang W. 2011. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption of tawny puffer *Takifugu flavidus* juvenile. *Aquac Res* 42, 301-307.
- Wedemeyer GA. 1996. Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman & Hall, New York, 232 p.
- Woo NYS and Fung ACY. 1981. Studies on the biology of red sea bream. 2. Salinity adaptation. *Comp Biochem Physiol* 69A, 237-242.