

## 환경수의 수온과 암모니아 농도 변화에 따른 쥐노래미 (*Hexagrammos otakii* Jordan et Starks) 육성어의 산소소비와 암모니아 배설

김유희·김병기·김현주<sup>1\*</sup>·조재윤<sup>2</sup>·한원민<sup>3</sup>·박정환<sup>4\*</sup>

강원도립대학 해양생명과학과, <sup>1</sup>한국해양연구원 해양시스템안전연구소,  
<sup>2</sup>부경대학교 양식학과, <sup>3</sup>코엑스아쿠아리움 어류1팀, <sup>4</sup>노스캐롤라이나 주립대학 생물학과

### Effects of Water Temperature and Ambient Ammonia Concentration on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion of Greenling *Hexagrammos otakii* Jordan et Starks

Youhee KIM, Pyong Kih KIM, Hyeon Ju KIM<sup>1</sup>, Jae Yoon JO<sup>2</sup>,  
Wonmin HAN<sup>3</sup>, Jeonghwan PARK<sup>4\*</sup>

Department of Marine Bio-Resources, Gangwon Provincial College,  
Gangneung 210-804, Korea

<sup>1</sup>Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon 305-343, Korea

<sup>2</sup>Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>3</sup>Coex Aquarium, Seoul 135-090, Korea

<sup>4</sup>Department of Biology, North Carolina State University, Raleigh, NC 27511, USA

This study investigated oxygen consumption rate (OCR),  $Q_{10}$  coefficient and ammonia excretion rate of the greenling, *Hexagrammos otakii* Jordan et Starks with the average body weight of 250 g in a semi-recirculated respiratory measuring system. The experiment was done under three different water temperatures (10, 15, 20°C) and five different ambient ammonia concentrations (0, 2.5, 5, 10, 20 mg/L). As the water temperature and ambient ammonia concentration increased the OCR has significantly increased ( $P < 0.05$ ). Given experimental conditions, the OCR of greenling were 50.8~159.4 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup> and the relationship of water temperature (T) and ambient ammonia concentration (C) on the OCR were following:  $OCR = 41.3 - 1.87T - 7.38C + 0.463T^2 + 0.661C^2 + 0.642TC - 0.011T^3 - 0.010C^2 - 0.031TC^2 - 0.001T^2C$  ( $r^2 = 0.9226$ ).  $Q_{10}$  coefficients were 1.88~3.50 for 10°C to 15°C, 1.03~2.73 for 15°C to 20°C and 1.40~1.90 for 10°C to 20°C, respectively. In general, the ammonia excretion rate tended to increase with increasing of the water temperature within normal ambient ammonia concentration. However, interestingly, it was observed that ammonia was absorbed rather than excreted above the ambient ammonia concentration of 2.5 mg L<sup>-1</sup>, regardless of the water temperature. Thus, the largest ammonia absorption rate (AAR) was observed at the level of 98.4 mg TAN kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>. The relationship ambient ammonia concentration (C) on AAR was following:  $Y = 1.61 + 10.9X^{0.7}$  ( $r^2 = 0.889$ ).

Keywords: Greenling, Oxygen consumption,  $Q_{10}$  coefficient, Water temperature, Ambient ammonia concentration

#### 서 론

육상 사육 환경에서 양식 생물을 사육하기 위해서는 특정 어종의 환경 조건에 따른 대사 활성의 변화와 환경 적응력을 평가하는 것이 필수적이다. 특히 순환여과식과 같은 폐쇄된 환경에서 어류를 사육하는 경우에는, 용존산소의 부족, 질소성 화합물의 축적 등과 같은 제한 요인들로 인해 사육 생물의 대사 활성을 저해 (Bromage and Sheperd, 1995)하는 등의 문제가 발생할 수 있으므로 대상 생물의 대사율에 대한 기초적인 연구가 선행되어야 한다.

어류의 산소소비율은 어류의 생명 유지 및 에너지 소비와 관련한 물리·화학적 생체 반응에 대해 중요한 자료를 얻을 수 있는 대사율의 지표이며 (Kaushik, 1980; Degani et al., 1989; Oh et al., 2007), 수온, 광주기, 염분, 어체 크기, 수질 등 여러 가지 외부 요인들에 의해 영향을 받는다 (Widdows and Bayne, 1971; Adams et al., 2001). 또한 암모니아 대사율은 양식 생물의 대사 활성의 지표로서 뿐만 아니라 사육 시설 및 수처리 장치의 규격과 크기, 사육 환경을 결정짓는데 중요한 요인이다 (Forsberg and Summerfelt, 1992; Wu, 1995; Dosdat et al., 1996). 암모니아 대사율 역시 어종, 어체중, 수온, 먹이, 수질 등과 같은 외부 환경 요인에 크게 영향을 받는다 (Jobling, 1981; Handy and Poxton, 1993; Yager and Summerfelt, 1993).

\*Corresponding author: jpark90@yahoo.co.kr

이와 같은 다양한 요인 중에서 수온은 산소소비율과 암모니아 대사율에 직접적인 영향을 주는 요인으로, 특히 수온은 변온동물의 생물학적 대사 과정에 직접적인 영향을 주는 원초적인 외부 요인 중의 하나이다 (Wiser, 1973; Bayne et al., 1976a,b). 또한 암모니아는 어류의 체내 단백질 대사 과정의 최종 배설산물로서 고밀도 사육 시설이나 활어 운송 중에 고농도로 수중에 농축될 수 있으며, 단시간 내에 양식 생물에 피해를 줄 수 있는 중요한 수질 요인이다 (Bromage and Sheperd, 1995). 수중 암모니아는 어체의 세포 및 조직, 면역 기능, 재생산력, 삼투압 조절, 성장, 혈액 성분 등에 영향을 주어 생체 기능을 저해하며 (Cameron and Heisler, 1983), 이러한 저해 현상은 바로 생물의 산소소비율과 암모니아 대사율에 영향을 준다 (Smart, 1978; Chen and Lai, 1992; Chen and Lin, 1992; Noor-Hamid et al., 1994; Rasmussen and Korsgaard, 1996; Harris et al., 1998).

쥐노래미 (*Hexagrammos otakii* Jordan et Starks)는 양볼락과 쥐노래미속에 속하는 냉수성 연안 정착성 어류로서 우리나라와 중국 북부 지역 그리고 일본 연안의 암초 지역에 주로 분포하는 잡식성 어류이다. 이 어종은 백색육을 가진 고급 어종으로 우리나라 어업자로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며, 특히 동해 중북부 지역에서는 산업적으로 중요성이 매우 높다. 아직까지 인공 증묘 생산 기술이 완전히 이루어지지 않아 양식 생산량은 매우 적다. 그러나, 최근 자원조성용 품종으로 수요가 증가하고 있어 양식 대상으로 유망한 어종이므로 대량 증묘 생산과 양성을 위한 기술 개발이 필요하다. 특히, 쥐노래미는 냉수성 어종에 가까운 어류로서 육상 사육 환경에서 증묘 생산 및 양성 시 우리나라 해역의 수온 환경 특성상 봄철 수온 상승기에 대량 폐사가 발생하는 문제점이 있다. 본 연구에서는 수서 생물의 대사 생리에 직접 영향을 주는 환경 요인인 수온과 암모니아 농도에 따른 쥐노래미 육성어의 사육환경에 적절한 대사율의 변화를 밝히고자 한다.

## 재료 및 방법

### 실험 어류 및 실험 장치

자연에서 포획한 어미로부터 증묘 생산하여 육상 사육 환경에서 배합사료로 사육 중이던 평균 약 250 g 전후의 쥐노래미를 실험에 이용하였다. 실험어의 산소소비율과 암모니아 대사율을 측정하기 위하여 연속 호흡 측정 시설을 자체 제작하였다 (Fig. 1). 호흡 측정 시설은 저수조(약 200 L), 산소 측정실, 호흡실, 집수탱크(약 120 L), 카트리지 필터, 자외선 살균기로 구성되었다. 120 L의 집수정에서 순환 펌프(PB-36-E-D, 7W, 1/20HP, 한일)를 통해 양수된 물은 200 L 용량의 상부 저수조로 유입되었고, 이것은 호흡실을 거쳐 다시 집수정으로 흐르도록 설치하였다. 자동 온도 조절 장치가 연결되어 있는 히터와 냉각기를 저수조에 설치하여 실험 수온을 일정하게 조절하였고, 수중의 산소 포화도를 90% 이상으로 항상 유지하기 위해 블로워를 통하여 3개의 에어스톤으로 공기를 저수조에 주입하였다. 물이 집수정에서 양수되어 저수조로 유입되기 전에 10  $\mu$ m의 카트리지 필터 2개를 직렬로 연결하여 입자성

부유물질을 제거하였다. 또한 수중 미생물에 의한 산소 소비를 방지하기 위해 카트리지를 통과한 사육수가 최종적으로 자외선 살균기(Model: P301, 처리용량 3 ton/hr, 삼지테크)를 통과하여 저수조로 재입되도록 하였다.

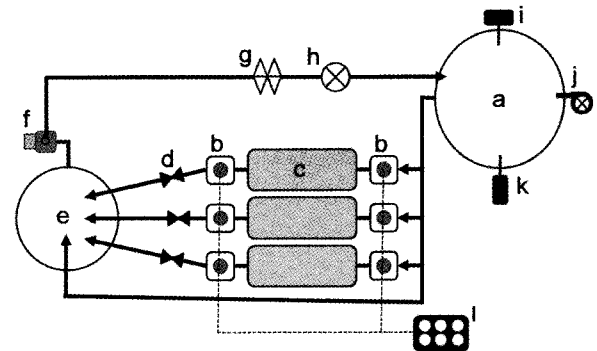


Fig. 1. Schematic diagram of respiratory measuring system for measuring the oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of greenling under different water temperature and ambient ammonia concentration. a: reservoir, b: oxygen measuring chamber and oxygen probe, c: respiration chamber, d: water flow meter, e: sump, f: pump, g: cartridge filter, h: UV contactor, i: heater and thermostat, j: air blower pump and air-stone, k: chilling system, l: data logger and computer

호흡실은 투명 아크릴 재질을 이용하여 20 cm (W) X 33 cm (L) X 40 cm (H) 크기로 제작되었고, 호흡실 전후에는 10 cm (W) X 10 cm (L) X 6 cm (H) 크기의 용존산소 측정실을 설치하였으며, 3 set의 호흡실과 산소 측정실을 1개의 시스템으로 구성하였다. 유속은 유량계를 이용하여 평균 1.2 L/min가 유지되도록 하였다. 호흡실 전후의 산소 측정실에 장착한 산소 probe와 8 Channel Multi Data Logger System (OxyGuard, Denmark)을 이용하여 수중의 용존산소를 측정하였다. 측정된 용존산소의 농도를 산소 측정 판넬을 통해 Data Logger에 저장한 후 자료를 프로그램을 통해 다운로드 받아 산소소비율을 계산하였다. 각 호흡실당 쥐노래미를 3 마리씩 수용하였고, 실험 기간 중 호흡실에 수용된 평균 어체중은 755.6 $\pm$ 16.7 g이었다. 실험을 실시하기 전 2 일 동안 실험어를 절식하였고, MS-222로 마취하여 무게를 측정 후 호흡실에 수용하였다.

### 실험 조건

실험 수온은 10 $^{\circ}$ C, 15 $^{\circ}$ C, 20 $^{\circ}$ C이었으며, 실험 암모니아 농도는 예비실험을 통해 정하였으며 각 수온에서 0, 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 mg/L가 되도록 하였다. 이러한 실험 조건에서 쥐노래미의 산소소비율,  $Q_{10}$  coefficient, 암모니아 대사율을 평가하였다. 실험 시작 전까지는 수온을 평균 15 $^{\circ}$ C로 유지한 유수식 환경에서 사육하였다. 사육수온과 실험 수온의 차이에 의한 스트레스를 최소화하기 위해, 실험에 이용할 쥐노래미를 미리 선별하여 순환여과 사육 시설에 수용한 후 1일에 0.5 $^{\circ}$ C씩 수온을 높이거나 낮춰 실험 수온에 적응시킨 후, 4-5일간 실험 수온 조건에서 사육을 한 후 실험에 이용하였다. 실험 시설은 완전 차광한 후, 타이머를 이용하여 광주기를 조절하였으며,

오전 7시에서 오후 7시까지 점등하였다. 전 실험 기간 동안 평균 34.9±0.1 ppt의 염분도와 8.06±0.03의 pH를 유지하였다.

염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl)을 이용하여 실험에 필요한 암모니아 농도를 조절하였으며, 호흡실 환경 변화 및 암모니아 농도에 따른 스트레스와 측정오차를 줄이기 위해 12시간 이전부터 동일한 조건에 실험어를 순치시킨 후 24시간 동안 측정하였다. 또한 측정 시설 내 암모니아 상승을 방지하고 목표 암모니아 농도를 조절하기 위해 정량 펌프를 이용하여 지속적으로 염화암모늄을 공급하면서, 반유수식으로 측정 시설을 운전하였다. 각 실험 조건에서 호흡실로 들어간 유입수 내 암모니아 농도를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Average ammonia concentration in inflow water of respiration chamber for measuring the oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of greenling under different water temperature and ambient ammonia concentration

Ambient ammonia concentration (mg TAN/L)	Water temperature (°C)		
	10	15	20
0.0	0.05±0.02*	0.02±0.01	0.01±0.00
2.5	2.57±0.26	2.52±0.64	2.43±0.60
5.0	5.15±0.81	5.12±0.96	5.16 ±1.84
10.0	10.54±3.78	9.91±0.90	10.12 ±1.86
20.0	21.16±1.14	21.05±1.06	20.30±1.52

\* Values are mean ammonia concentration±SD (mg/L) of inflow water to the respiration chambers.

산소 측정은 24시간동안 매 5분 간격으로 이루어졌고, 호흡실 전후 용존 산소량의 차이를 토대로 아래의 식 (1)을 이용하여 단위 시간 당 산소소비율을 계산하였다.

$$\text{산소소비율}(\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}) = \{(C_i - C_o) \times Q \times 60\} / B \quad \text{식 (1)}$$

여기서, C<sub>i</sub> = 유입수의 산소 농도, mg/L  
 C<sub>o</sub> = 배출수의 산소 농도, mg/L  
 Q = 유입 수량, L/min, B = 어류의 무게, kg

계산된 쥐노래미의 산소소비율에 수온과 암모니아 농도가 미치는 영향을 알아보기 위해 다음 식 (Bayne and Newell 1983)을 이용하여 Q<sub>10</sub> 계수를 계산하였다.

$$Q_{10} = (R_2/R_1)^{10/(T_2-T_1)}$$

여기서, R<sub>1</sub>와 R<sub>2</sub>은 수온 T<sub>1</sub>과 T<sub>2</sub>일 때 산소소비율

실험 시작 시(0 시간), 6, 12, 24 시간째에 HACH-DR4000 spectrophotometer를 이용하여 호흡실 전후의 암모니아 농도를 측정하였다. 호흡실 전후의 암모니아 농도의 차이를 토대로 식 (2)를 이용하여 단위 시간당 암모니아 대사율을 계산하였다.

$$\text{암모니아 대사율}(\text{mg TAN/kg/hr}) = \{(C_o - C_i) \times Q \times 60\} / B$$

여기서, C<sub>i</sub> = 유입수의 암모니아 농도, mg/L

C<sub>o</sub> = 배출수의 암모니아 농도, mg/L

Q = 유입 수량, L/min, B = 어류의 무게, kg

### 통계분석

Window용 SPSS Version 15.0을 이용하여 수온과 암모니아 농도에 대해 two-way ANOVA를 실시하여 수온과 암모니아 농도가 쥐노래미의 산소소비율과 암모니아 대사율에 미치는 영향을 평가하였으며, Duncan's multiple range test를 이용하여 평균 간의 유의차 (p<0.05)를 검정하였다. 또한 쥐노래미의 산소소비율과 암모니아 대사율 자료를 토대로, 수온과 암모니아 농도에 따른 쥐노래미의 산소소비율과 암모니아 대사율을 회귀 최적화 프로그램 Table Curve 3D와 2D (Systat Version 4.0)로 각각 회귀모델식을 도출하였다.

### 결 과

수온 10°C에서 쥐노래미의 산소소비율은 암모니아 농도가 0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 mg/L 일 때 각각 50.8±2.7, 58.3±1.8, 66.8±0.9, 79.5±3.2, 95.7±10.1 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>이었다. 수온 15°C 과 20°C에서 쥐노래미의 단위 시간당 산소소비율은 각각 86.5±7.3, 87.2±4.3, 89.5±4.9, 94.3±2.3, 117.6±19.4 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>과 90.0±4.3, 97.8±11.2, 129.4±8.0, 159.4±9.1, 133.7±10.0 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>이었다. 쥐노래미의 산소소비율은 수온과 암모니아 농도가 상승하면서 더 높아지는 경향이였다. 수온에 의한 차이를 보면, 모든 수온에서 산소소비율이 유의하게 차이가 있었다 (P<0.05). 암모니아 농도에 의한 차이를 보면, 암모니아 농도가 2.5 mg/L에서 산소소비율은 대조구와 차이가 없었으나 (P>0.05), 암모니아 농도가 5.0 mg/L로 상승하면서 산소소비율이 유의하게 증가하였다 (P<0.05). 암모니아 농도가 10 mg/L와 20 mg/L에서 산소소비율은 차이가 없었으나 (P>0.05), 5.0 mg/L에서 산소소비율보다는 유의하게 높았다 (P<0.05).

수온과 암모니아 농도에 따른 쥐노래미의 산소소비율 변화의 상관관계를 그림 Fig. 2에 나타내었다. 수온(T) 및 암모니아 농도(C)와 산소소비율은 비직선적인 상관관계를 보였으며, 회귀식은  $OCR = 41.3 - 1.87T - 7.38C + 0.463T^2 + 0.661C^2 + 0.642TC - 0.011T^3 - 0.010C^3 - 0.031TC^2 - 0.001T^2C$  (r<sup>2</sup> = 0.9226) 이었다.

수온에 따른 산소소비율의 증감 패턴을 나타내는 Q<sub>10</sub> 값을 조사한 결과를 Table 2에 나타내었다. 수온이 10°C에서 20°C로 상승할 때, 0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 mg/L의 암모니아 농도에 대한 Q<sub>10</sub> 값은 각각 1.90, 1.85, 1.84, 1.98, 1.40이었다. 20.0 mg/L의 암모니아 농도 실험구를 제외하고는 유사한 Q<sub>10</sub> 값을 나타내었다.

사육수의 암모니아 농도에 따른 쥐노래미의 단위 시간당 암모니아 배설량의 증감을 조사한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 본 실험 기간 동안 사육수의 내 암모니아 농도가 2.5 mg/L

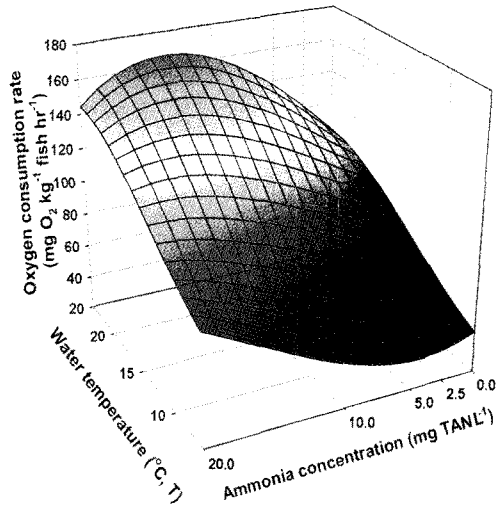


Fig. 2. The change of oxygen consumption rate (OCR) of greenling depending on water temperature and ambient ammonia concentration. Regression;  $OCR = 41.3 - 1.87T - 7.38C + 0.463T^2 + 0.661C^2 + 0.642TC - 0.011T^3 - 0.010C^3 - 0.031TC^2 - 0.001T^2C$  ( $r^2 = 0.9226$ ). ANOVA for regression: sum of square mean; 1,1034.336, mean square; 1,226, F value; 6.618, P value 0.0256.

Table 2. The change of Q<sub>10</sub> coefficient depending on the different ambient ammonia concentration

Ambient ammonia concentration (mg TAN/L)	Water temperature interval (°C)		
	10~15	15~20	10~20
0.0	3.50	1.03	1.90
2.5	2.18	1.58	1.85
5.0	1.63	2.07	1.84
10.0	1.44	2.73	1.98
20.0	1.88	1.04	1.40

이상으로서 증가하면 암모니아가 쥐노래미의 체내로 흡수되는 현상이 명확히 나타났다. 쥐노래미의 암모니아 배설량은 사육수의 암모니아 농도가 0mg/L에서는 수온 10°C, 15°C 및 20°C에서 각각 2.63±0.64, 5.72±0.58, 및 6.23±0.91 mg TAN/kg/hr으로 수온증가에 따라 배설량도 증가하였다. 그러나 사육수의 암모니아의 농도가 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 mg/L으로 증가하면 쥐노래미의 단위 시간당 암모니아 흡수율은 수온 10°C에서 각각 23.4±5.4, 31.1±10.9, 57.65±12.6, 98.4±13.5 mg TAN/kg/hr로, 수온 15°C에서는 각각 23.5±5.3, 28.9±8.8, 62.8±19.2, 81.6±15.9 mg TAN/kg/hr로, 수온 20°C에서는 각각 25.2±10.8, 33.1±4.1, 57.9±6.5, 89.7±9.1 mg TAN/kg/hr로 상승하였다. 수온과 암모니아 농도에 따른 쥐노래미의 암모니아 흡수율 변화의 상관관계를 Fig. 3에 나타내었다. 본 실험에서 수온은 암모니아 대사율에 미치는 영향이 유의하지 않아 자료를 수온 실험구 별로 자료를 pooling하여 회귀식을 작성하였다. 암모니아 농도(C)에 따른 산소소비율의 변화를 도시한

결과, 회귀식은  $Y = 1.61 + 10.9X^{0.7}$  ( $r^2 = 0.889$ ) 이었다.

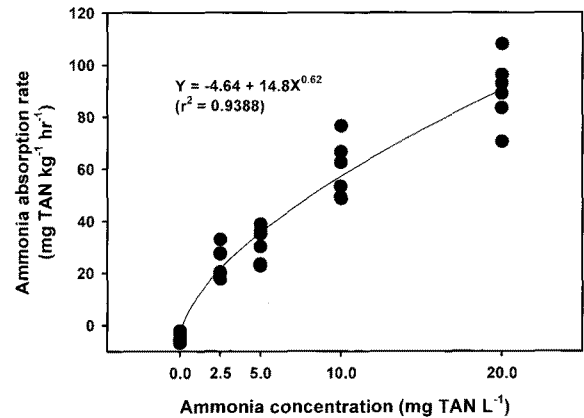


Fig. 3. The change of ammonia absorption rate of greenling depending on ambient ammonia concentration. Regression;  $Y = 1.61 + 10.9X^{0.7}$  ( $r^2 = 0.889$ ). ANOVA for regression: sum of square mean; 16,008.7, mean square; 8,004.3, F value; 84.1,  $P < 0.0001$ .

### 고찰

수온은 어류의 대사율에 직접적인 영향을 주는 주요한 외부 요인으로, 여러 연구들에서 수온이 상승하면서 어류와 패류의 산소소비율이 증가한다고 보고한 바 있으며 (Fonds et al., 1992; Imstrand et al., 1995; Mitsunaga et al., 1999; Oh et al., 2006; Oh and Noh, 2006), 수온과 산소소비율의 상관관계가 서식 수온의 범위 내에서 직선적인 상관관계를 나타낸다고 하였다 (Kim et al., 1995; Oh et al., 2006; Oh and Noh, 2006). 본 실험에서도 수온이 상승하면서 산소소비율이 유의하게 증가하여, 앞선 연구들의 결과와 동일하였다. 또한 각 암모니아 농도 실험구에서 수온변화에 따른 산소소비율의 변화를 살펴보면, 대체적으로 직선적인 증가 패턴을 나타내고 있어, 수온에 따른 산소소비율의 경향이 이전의 연구 결과들과 유사하였다 (Kim et al., 1995; Oh et al., 2006; Oh and Noh, 2006). 본 연구에서 나타난 쥐노래미의 산소소비율은 수온과 암모니아 농도에 따라 차이가 있었으나, 10~20°C의 수온 범위와 0~20 mg/L의 암모니아 농도 범위에서 산소소비율은 50.8~133.7 mg O<sub>2</sub>/kg/hr의 범위를 나타내었다. 수온 24°C에서 어체중 3.0 g 전후의 조피볼락을 대상으로 산소소비율을 조사한 Kim and Jin (1995)의 결과에서, 조피볼락의 산소소비율은 약 1,200 mg O<sub>2</sub>/kg/hr로 나타나, 본 실험에서 나타난 쥐노래미의 산소소비율보다 매우 높았다. 그러나 수온 15°C에서 유사한 크기의 조피볼락의 산소소비율을 조사한 Kim et al. (1995)의 연구에서, 조피볼락의 산소소비율은 75.7 mg O<sub>2</sub>/kg/hr로 나타나, 본 실험에서 나타난 산소소비율과 유사하였다. Kim et al. (2001)은 수온 13.8°C에서 어체중 137.5 g, 400 g인 넙치의 산소소비율을 조사하였다. 그 결과, 어체중 137.5 g, 400 g인 넙치의 산소소비율이 각각 125.5, 46.4 mg O<sub>2</sub>/kg/hr로 나타나, 어체중 약 250 g 전후의 쥐노래미를 이용한 본 실험 결과와 유사한

분포를 보였다. 산소소비율은 어류의 대사 활성을 나타내는 직접적인 지표로서, 어종, 크기, 수온, 광주기, 사육 수질 및 환경, 측정 방법 등에 따라 크게 달라질 수 있다. 조피볼락의 대상으로 한 Kim and Jin (1995), Kim et al. (1995)의 실험에서 이용한 어류의 크기가 본 실험에서 이용한 크기보다 매우 작았고 실험 수온 및 실험 장치의 차이 때문에 산소소비율이 큰 차이를 나타낸 것으로 판단된다.

$Q_{10}$  값은 수온 변화에 따른 어류의 대사량의 변화 정도와 적응 정도를 나타내는 지표로서, 본 실험에서 나타난  $Q_{10}$  값은 1.03~3.50의 범위이었으며, 이것은 다른 어종에서 일반적으로 알려져 있는 2~3 범위 (Bridges, 1988; Oh et al., 2007)와 유사하였다. 본 실험에서 암모니아 농도가 0 mg/L인 조건에서 수온이 10°C에서 15°C로 상승할 때  $Q_{10}$  값이 3.50로 나타나, 15°C에서 20°C로 상승할 때 나타난 1.03보다 높아, 높은 수온에서보다 낮은 수온에서 대사량의 변화폭이 큰 것으로 판단되었다. 이러한 현상은 암모니아 농도가 2.5 mg/L인 조건에서도 유사하였다. 그러나 암모니아 농도가 5.0 mg/L 이상으로 상승하면서,  $Q_{10}$  값이 낮은 수온에서보다 높은 수온에서 변화폭이 커, 높은 암모니아 농도에서는 높은 수온에서 수온 변화에 더 민감하게 반응하는 것으로 판단되었다. 한편, 암모니아 농도가 20.0 mg/L에서  $Q_{10}$  값이 오히려 낮아진 것은 높은 암모니아 농도와 수온으로 인해 실험어가 폐사 직전에 대사가 극단적으로 감소하는 것으로 보이며, 이로 인해 산소소비율이 낮게 평가되었기 때문으로 생각된다.

암모니아는 양식 생물의 먹이와 관련한 주요 대사산물로서 고밀도 양식 시설이나 장거리 운송 시 운송 용기 내에서 관리가 부적절할 경우, 매우 빠르게 치사 농도에 도달하게 된다 (Bromage and sheperd, 1995). 일반적으로 암모니아 농도가 상승하면 양식 생물의 산소소비율이 증가하고 성장이 저하된다고 하였다 (Smart, 1978; Chen and Lai, 1992; Chen and Lin, 1992, 1995; Wajsbroet et al., 1993; Noor-Hamid et al., 1994; Rasmussen and Korsgaard, 1996; Harris et al., 1998). Adams et al., (2001)는 암모니아 농도가 0.01, 5.0, 10.1, 14.8, 19.9 mg/L인 환경수에 big bellied seahorse (*Hippocampus abdominalis*)를 24시간 동안 노출시키고 산소소비율을 측정된 결과, 고농도인 14.8 mg/L와 19.9 mg/L 실험구에서 산소소비율이 유의하게 증가하였다고 언급하였다. 또한 연어과 어류, 새우, 전복의 경우도 암모니아 농도가 증가하면서 산소소비율이 증가하였다고 여러 연구자들이 보고한 바 있다. Smart (1978)는 0.6 µg/L의 유리 암모니아 농도의 환경수에 노출시킨 무지개송어의 산소소비율이 암모니아가 없는 환경수에 있던 무지개송어의 산소소비율보다 약 3.3배 더 높았다고 하였다. 또한 대하 (*Penaeus chinensis*)과 보리새우 (*Penaeus japonicus*) 같은 새우류의 산소소비율도 5 mg/L 이상의 암모니아 농도에서 유의하게 증가하였다고 보고된 바 있다 (Chen and Lai, 1992; Chen and Lin, 1992, 1995). Harris et al. (1998)은 1.46 mg/L 이상의 암모니아 농도에 장기 노출된 전복 (*Haliotis laevigata*)의 산소소비율이 대조구에 비해 유의하게 증가한다고 하였다. 본 실험에서도 쥐노래미는 수온과 암모니아 농도가 상승하면서

산소소비율이 유의하게 증가하였다. 암모니아 2.5 mg/L 실험구에서 산소소비율은 0.0 mg/L 실험구의 산소소비율과 유사하였으나, 5.0 mg/L 이상으로 암모니아 농도가 상승하면서 산소소비율은 유의하게 증가하여 이전에 보고된 연구들과 유사한 결과를 보였다. 본 실험에서 암모니아 농도 변화에 따른 산소소비율의 경시적 변화 패턴을 살펴보면, 수온이 10°C일 경우에는 암모니아 농도가 증가하면서 산소소비율이 지수 함수의 상승 경향을 보였으나, 수온 20°C에서는 로그 함수의 상승 경향을 나타내었다. 즉 수온이 낮은 경우에는 낮은 암모니아 농도에서는 증가폭이 작으나, 암모니아 농도가 상승하면서 산소소비율이 급격하게 증가하는 경향이였다. 그러나 높은 수온에서는 낮은 암모니아 농도에서부터 산소소비율이 급격하게 증가하며, 암모니아 농도가 상승하면서 증가폭이 감소하였다가 폐사 직전에는 산소소비율이 감소하는 경향이였다. 수온과 환경수 내 암모니아 농도에 따른 산소 소비 경향을 볼 때, 20°C의 사육 수온에서는 환경수 내 암모니아 농도의 증가에 따라 쥐노래미가 매우 민감하게 반응하는 것으로 보아, 적정 수온 범위를 벗어난 것으로 판단되었다.

환경수 내 암모니아 농도에 따른 암모니아 대사의 결과를 살펴보면, 암모니아 농도가 0.0 mg/L에서 암모니아 흡수율은 수온이 증가하면서 다소 증가하는 경향이였다. 그러나 암모니아 농도가 상승하면서 수온에 따른 일정한 경향을 관찰할 수 없었다. 다만 각 수온 조건에서 환경수 내 암모니아 농도가 2.5 mg/L 이상으로 상승하면서, 호흡실로 들어가는 유입수 내 암모니아 농도보다 오히려 배출수 내 암모니아 농도가 더 낮았다. 더욱이 유입수의 암모니아 농도가 상승할수록 유입수와 배출수 내 암모니아 농도 간에 차이가 유의하게 더 커져, 환경수 내 암모니아 농도가 증가하면서 암모니아가 쥐노래미의 체내로 일부 흡수되는 것으로 추정되었다. Chen and Kou (1993)는 pH 6.3, 7.2, 8.2, 9.0에서 50 mg/L의 암모니아 농도의 환경수에 새우류 (*Penaeus monodon*)를 노출시키고 혈액 내 암모니아 농도를 측정된 결과, pH 9.0에서 새우 혈액 내 암모니아 농도가 2시간 만에 20 mg/L까지 증가하였다고 보고하였다. 이에 Chen and Kou (1993)는 새우 혈액 내 암모니아의 축적은 환경수로부터 유리 암모니아가 체내로 확산되었기 때문이라고 언급하였다. Chen and Nan (1992)은 5 mg/L와 10 mg/L의 암모니아 농도의 환경수에 노출시킨 새우 (*P. chinensis*)의  $Na^+$ ,  $K^+$ -ATPase 활성을 조사하였다. 그 결과, 5 mg/L의 실험구에서는 대조구에 비해  $Na^+$ ,  $K^+$ -ATPase 활성이 증가한 반면, 10 mg/L의 실험구에서는 감소하였다고 보고 하였다. 또한 Chen and Lin (1995)은 환경수 내 암모니아 농도와 염분 농도가 증가하면서 새우 (*P. chinensis*)의 요소 분비량이 증가하였다고 보고하였다. 이에 Chen and Nan (1992) 및 Chen and Lin (1995)의 연구 결과를 토대로 Chen and Lin (1995)은 수중의 암모니아 농도가 증가하면서 체내 요소 생성과  $Na^+/NH_4^+$ 의 수송 기작이 비정상적으로 작동하는 것으로 가정하였다. 즉 환경수 내 높은 암모니아 농도로 아가미에서  $Na^+$ ,  $K^+$ -ATPase 활성이 저하되고 요소 생성량이 증가하는 것을 토대로 볼 때, 체내에서 암모니아 형태의 질소 배설이 요소 형태의 질소

배설로 대체되는 것으로 보고하였다. 이에 따라 체내로 흡수된 암모니아 질소는 많은 부분 요소의 형태로 배출되고, 결국 암모니아 대사율이 감소하게 되며, 오히려 환경수 내 고농도로 존재하는 암모니아가 체내로 흡수된다고 하였다. 본 실험의 경우에서도, 이와 같은 기작을 통해 환경수의 암모니아가 체내로 흡수되면서 배출수내 암모니아의 농도가 유입수에 비해 다소 낮았던 것으로 생각된다. 특히 대사율 측정 실험은 절식시킨 상태에서 실시되므로, 단지 내생성 질소만이 체내에서 생성되어 상대적으로 환경수에 비해 암모니아 농도압이 낮아 이러한 현상이 더 명확히 나타났으며, 수중의 암모니아 농도가 증가하면서 더 많은 양의 암모니아가 체내로 흡수된 것으로 보인다. 암모니아 농도에 따른 암모니아 대사율의 차이와는 달리, 수온 변화에 따라서는 암모니아 대사율에 있어서 명확한 경향을 관찰할 수 없었다. 이것은 앞서 언급한 바와 같이 절식 상태에서 실험이 실시되었기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 실험 어류는 실험 전 48시간, 측정 전 호흡실 내에서 12시간, 측정시간 24시간 동안 각각 절식된 상태이므로, 기초 대사 수준의 대사량과 배설량을 나타내었을 것으로 추정된다. 따라서, 암모니아 농도에 의한 변화의 폭이 커 수온에 의한 배설량의 변화가 감지되지 않은 것으로 추정된다.

## 사 사

본 연구는 해양수산부의 지원으로 수행된 ‘해양심층수 다목적 개발’ 연구결과 중 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다. 또한 쥐노래미 친어의 확보와 사육관리에 도움을 주신 ‘아쿠아씨드텍’의 김종구 사장님과 실험 준비에서부터 자료 준비에 이르기까지 실험에 동참하였던 박우근, 박성덕, 최정임 연구원에게도 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- Adams, M.B., M.D. Powell and G.J. Purser. 2001. Effect of acute and chronic ammonia and nitrite exposure on oxygen consumption and growth of juvenile big bellied seahorse. *J. Fish Biol.*, 58, 848-860.
- Bayne, B.L. and R.C. Newell. 1983. Physiological energetics of marine mollusks. In: *The Mollusca* (Wilburg, K.M. and Saleuddin, A.S.M., Eds.), vol. 4 407-415. Academic Press, London, UK.
- Bayne, B.L., R.J. Thompson and J. Widdows. 1976a. Physiology I. In: *Marine Mussels: Their Ecology and Physiology* (Bayne, B.L., Ed.), 121-206. Cambridge University Press, London, UK.
- Bayne, B.L., R.J. Thompson and J. Widdows. 1976b. Physiological integrations. In: *Marine Mussels: Their Ecology and Physiology* (Bayme, B.L., Ed.), 261-292. Cambridge University Press, London, UK.
- Bromage, N. and J. Sheperd. 1995. Fish, their requirements and site evaluation. In: *Intensive Fish Farming* (Sheperd, J. and Romage, N., Eds.), 32-43. Oxford, Blackwell Science, London, UK.
- Cameron, J.N. and N.H. Heisler. 1983. Studies of ammonia in the rainbow trout: physicochemical parameters, acid-base behaviour and respiratory clearance. *J. Exp. Biol.*, 105, 107-125.
- Chen, J.C. and C.Y. Lin. 1992. Oxygen consumption and ammonia-N excretion of *Penaeus chinensis* juveniles exposed to ambient ammonia at different salinity levels. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 102, 129-133.
- Chen, J.C. and C.Y. Lin. 1995. Responses of oxygen consumption and ammonia-N excretion and urea-N excretion of *Penaeus chinensis* exposed to ambient ammonia at different salinity and pH levels. *Aquaculture*, 136, 423-255.
- Chen, J.C. and F.H. Nan. 1992. Effect of ammonia on ammonia-N excretion and ATPase activity of *Penaeus chinensis*. *Aquatic Toxicology*, 23, 1-10.
- Chen, J.C. and S.H. Lai. 1992. Oxygen consumption and ammonia-N excretion of *Penaeus japonicus* adolescents exposed to ambient ammonia. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 102, 129-133.
- Chen, J.C. and Y.Z. Kou. 1993. Accumulation of ammonia in the haemolymph of *Penaeus monodon* exposed to ambient ammonia. *Aquaculture*, 109, 177-185.
- Degani, G., M.L. Gallagher and A. Meltzer. 1989. The influence of body size and temperature on oxygen consumption of the European eel, *Anguilla anguilla*. *J. Fish Biol.*, 34, 19-24.
- Dosdat, A., F. Servais, R. Metailler, C. Huelvan and E. Desbruyeres. 1996. Comparison of nitrogen losses in five teleost fish species. *Aquaculture*, 14, 39-45.
- Fonds, M., R. Cronie, A.D. Vethaak, and P. van Der Pulu. 1992. Metabolism, food consumption and growth of plaice (*Pluronectes platessa*) and flounder (*Platichthys flesus*) in relation to fish size and temperature. *Netherlands J. Sea Research*, 29, 127-143.
- Forsberg, J.A. and R.C. Summerfelt. 1992. Effects of temperature on dial ammonia excretion of filngerling walleye. *Aquaculture*, 102, 115-126.
- Handy, R.D. and M.G. Poxton. 1993. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Fish Biol.*, 3, 205-241.
- Harris, J.O., G.B. Maure, and S.M. Hindum. 1998. Effects of ammonia on the growth rate and oxygen consumption rate of juvenile greenlip

- abalone *Haliotis laevis* Donovan. *Aquaculture*, 160, 259-272.
- Imsland, A.K., A. folkvor, and S.O. Stefansson. 1995. Growth, oxygen consumption and activity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) reared under different water temperature and photoperiods. *Netherlands J. Sea Research*, 34, 149-159.
- Jobling, M. 1981. Some effects of temperature, feeding and body weight on nitrogenous excretion in young plaice *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish Biol.*, 1, 87-96.
- Kaushik, S.J. 1980. Influence of nutritional status on the daily patterns of nitrogen excretion in the carp (*Cyprinus carpio* L.) and rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.) *Reprod. Nutr. Dev.*, 20, 1751-1765.
- Kim, C. and P. Jin. 1995. The effects of dietary energy/protein ratio on oxygen consumption, ammonia nitrogen excretion and body composition in juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. *J. Korean Fish. Soc.*, 28, 412-420.
- Kim, I.N, Y.J. Chang, and J.K. Kwon. 1995. The patterns of oxygen consumption in six species of marine fish. *J. Korean Fish. Soc.*, 28, 373-381.
- Kim, Y., J.Y. Jo, P.K. Kim and J.K. Jeon. 2001. Oxygen consumption of olive flounder *Paralichthys olivaceus* depending on body weight. *Proceedings of Korean Aquaculture Society Conference*, 357-358.
- Mitsunaga, Y., W. Sakamoto, N. Arai and A. Kasai. 1999. Estimation of the metabolic rate of wild red sea bream *Pagrus major* in different water temperature. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 65, 45-54.
- Noor-Hamid, S., R.D. Fortes and F. Parado-Estepa. 1994. Effect of pH and ammonia on survival and growth of the early larval stages of *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquaculture*, 125, 67-72.
- Oh, S.Y and C.H. Noh. 2006. Effects of water temperature and photoperiod on the oxygen consumption rate of juvenile dark-banded rockfish, *Sebastes inermis*. *J. Korean Aqua. Soc.*, 19, 210-215.
- Oh, S.Y, C.H. Noh, R.S. Kang and J.G. Myoung. 2006. Effects of water temperature and photoperiod on the oxygen consumption rate of fasted juvenile parrrot fish, *Oplegnathus faxiatus*. *Ocean and Polar Research*, 28, 407-413.
- Oh, S.Y., C.H. Noh, J.G. Myoung and J.Y. Jo. 2007. Effects of water temperature and body weight on oxygen consumption rate of black rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Korean J. Ichthyol.*, 19, 1-7.
- Rasmussen, R.S. and B. Korsgaard. 1996. The effect of external ammonia on growth and food utilization of juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 205, 35-48.
- Smart, G. 1978. Investigation of the toxic mechanisms of ammonia to fish gas exchange in rainbow trout exposed to acutely lethal concentrations. *J. Fish Biol.*, 12, 93-104.
- Wajsbrodt, N., A. Gasith, A., Diamant, and D.M. Popper. 1993. Chronic toxicity of ammonia to juvenile steelhead seabream *Sparus aurata* and related histopathological effects. *J. Fish Biol.*, 42, 321-328.
- Widdows, J. and B.L. Bayne. 1971. Temperature acclimation of *Mytilus edulis*: scope for growth. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 46, 113-121
- Wieser, W. 1973. Temperature relations of ectotherms: a speculative review. In: *Effects of Temperature on Ectothermic Organism* (Wieser, W., Ed.), 1-4. Springer-Verlag, Berlin, German.
- Wu, R.S. 1995. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. *Mar. Poll. Bull.*, 31, 159-166.
- Yager, T.K. and R.C. Summerfelt. 1993. Effects of fish size and feeding frequency on metabolism of juvenile walleye. *Aquacultural Engineering*, 12, 19-36.

---

2009년 7월 11일 접수

2009년 8월 12일 수정

2009년 8월 24일 수리