

염분변화가 대왕바리, *Epinephelus lanceolatus*의 산소소비에 미치는 영향

김문진 · 임한규[†] · 정민환^{*}

(씨-라이프 부산아쿠아리움 · [†]국립목포대학교 · ^{*}국립수산과학원)

Effects of Low Salinity acclimation on Oxygen Consumption in Giant Grouper, *Epinephelus lanceolatus*

Moon-Jin KIM · Han-Kyu LIM[†] · Min-Hwan JEONG^{*}

(Sea Life Busan Aquarium · [†]Mokpo National University · ^{*}National Fisheries Research and Development Institute)

Abstract

Changes of oxygen consumption in juvenile giant grouper, *Epinephelus lanceolatus* were investigated in order to find out the physiological responses associated with freshwater and low salinities acclimation. Salinity changes in this experiment were set as follows; 35 psu (Exp. I) as control, decrease in the manners of 35→20→10→0 psu (Exp. II), 35→10→0 psu (Exp. III) and 35→0 psu (Exp. IV). The average oxygen consumption at 27°C in Exp. I (control) was 106.9±0.7 mg O₂/kg/h. In Exp. II, according to the changes of 35→20→10→0 psu in freshwater acclimation, fish showed the gradual decrease in oxygen consumption as 108.1±2.1, 99.6±2.9, 74.6±0.9 and 62.7±1.0 mg O₂/kg/h, respectively. The fish in Exp. III also revealed the same tendency as 106.5±1.3, 77.0±1.2 and 64.7±1.2 mg O₂/kg/h, respectively. In Exp. IV, fish showed the decreased oxygen consumption from 109.0±0.9 mg O₂/kg/h of 35 psu to 71.6±2.0 mg O₂/kg/h of 0 psu. Giant grouper is thought to be a diurnal fish species, because the level of oxygen consumption during light period was higher than that during dark period.

Key words : Giant grouper, *Epinephelus lanceolatus*, Oxygen consumption, Salinity change

I. 서론

수중에서 아가미를 통하여 산소를 받아들이는 어류에 있어서 호흡 즉, 산소소비량은 대사의 척도가 되고 있다. 특히 제한된 공간속의 어류는 빈산소 환경에서 호흡곤란을 일으켜 죽는 경우가 발생하기 때문에 어류 양식장에서 산소공급은 중요한 관리사항 중 하나이다. 어류의 산소소비는 수온(Brett and Glass, 1973; Wi and Chang, 1976),

염분(Rao, 1971; Forsberg, 1994), 광주기(Withey and Saunders, 1973), 어체크기(Brett and Glass, 1973), 사료공급량(Brett and Groves, 1979) 및 스트레스(Smart, 1981; Barton and Schreck, 1987) 등 여러 가지 요인에 의해 달라지는 것으로 알려져 있다. 용존산소는 양식 어류의 못이나 탱크에서 생산량을 결정하는 데 매우 중요한 요인 중 하나이다(Erez et al., 1990; Itazawa and Hanyu, 1991; ; Jorgensen et al., 1991). 더욱이 용존산소는 어류양

[†] Corresponding Author : 82-61-450-2395, limhk@mokpo.ac.kr

* 이 논문은 농림축산식품부, 해양수산부, 농촌진흥청, 산림청 Golden Seed Project에 의해 수행되었습니다.

식에서 수용밀도를 결정(Kawamoto, 1977)하거나, 황어수송(Wi and Chang, 1976) 및 사료요구량 산정(Buentello et al., 2000)에 변수가 되고 있다.

해산어류 사육시 염분변화는 삼투압조절에 영향을 미침으로써, 이온과 수분 평형에 혼란을 일으키며 어체의 생리조건 악화 및 성장 지연을 초래하는 것으로 알려져 있다(Singley and Chavin, 1971). 어류는 환경수의 염분변화에 대처하기 위해 삼투압조절로 체내의 항상성을 유지하려고 한다(Morgan and Iwama, 1991). 어류의 삼투압조절과 관련하여 킬라피아(Fontainhas-Fernandes et al., 2001)와 연어과 어류(Lasserre et al., 1978)에서 염분변화에 따른 아가미 염류세포의 구조적 변화, Na^+/K^+ -ATPase 활성과 삼투질 농도 변화 및 삼투압조절 능력을 향상시키기 위한 성장호르몬, 갑상선호르몬 등의 내분비학적 연구가 이루어진 바 있다. 또한, 연구자들은 염분변화에 대응하는 어류의 산소소비 변화를 비롯한 생리적 요인에 대하여 연구한 바 있다(Fanta-Feofiloff et al., 1986, Iwama et al., 1997, Morgan and Iwama, 1998).

바리과 어류는 전 세계적으로 약 159종이 보고되고 있으며, 서식지역은 대부분 아열대와 열대지방의 산호초가 발달한 해역과 암초지역으로 알려져 있다(FAO, 1993). 대왕바리, *Epinephelus lanceolatus*는 대형 바리과 어류로 열대성 기후인 인도-태평양 지역 연안에 서식하며, 최대 270 cm, 400 kg까지 성장한다고 보고되어 있다(Froese and Pauly, 2014). 한국에서 대왕바리는 2009년 12월 제주도 강정항 인근 연안에서 1마리가 채집되었다는 기록 외에는 자료가 전무한 실정이다(Myoung et al., 2013). 대왕바리는 맛이 좋고, 대형으로 생장이 빠를 뿐만 아니라 시장에서 판매가격이 비싸기 때문에 동남아시아를 비롯해 세계 여러 국가에서 차세대 양식 대상종으로 주목받고 있으나, 양식기술개발에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

본 연구는 한국의 새로운 양식 대상종으로 잠재적 가능성이 있는 대왕바리의 염분변화에 따른

산소소비 특성을 파악하여, 이 어종의 사육 시 적절한 산소공급량과 대사활성에 관한 자료를 얻고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

실험에 사용된 대왕바리는 평균 전장 30.7 ± 0.4 cm, 평균 체중 544.6 ± 24.4 g으로 씨-라이프 부산 아쿠아리움에서 사육중인 어류를 국립수산물과학원의 대형 수조에 수용한 후, 수온 $27 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 1개월간 적응시킨 다음 실험에 사용하였다. 실험어의 염분변화에 따른 산소소비 경향을 알아보기 위하여 염분변화를 달리하여 4개의 실험구를 설정하였다. 실험을 위한 사육수의 수온은 $27 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 광조건은 명기(06:00~18:00)와 암기(18:00~06:00) 각각 12시간, 호흡실의 유수량은 분당 1,000 mL로 유지하였다.

염분변화에 따른 산소소비 경향을 알아보기 위하여 Exp. I (대조구)은 염분 35 psu의 실험용수에서 24시간 동안 안정시킨 후 48시간 동안 35 psu의 산소소비량을 측정하였다. Exp. II는 해수(35 psu)에서 담수(0 psu)까지 염분을 3단계(35→20→10→0 psu)로 순차적으로 낮췄다. 실험어를 염분 35 psu의 실험용수에서 24시간 동안 안정시킨 다음 24시간 동안 35 psu의 산소소비량을 측정하였다. 이후 수온 27°C , 염분 0 psu의 담수를 첨가하여 실험용수의 염분을 20 psu로 조절하여 24시간 동안 염분에 적응 및 순화시킨 후, 24시간 동안 염분 20 psu의 산소소비량을 측정하였다. 이와 같은 방법으로 염분을 10, 0 psu로 단계적으로 낮추면서 실험을 진행하였다. Exp. III은 해수에서 담수까지 염분 저하를 2단계(35→10→0 psu)로 조절하였다. Exp. IV는 해수에서 담수로(35→0 psu)로 급격하게 염분을 낮췄다.

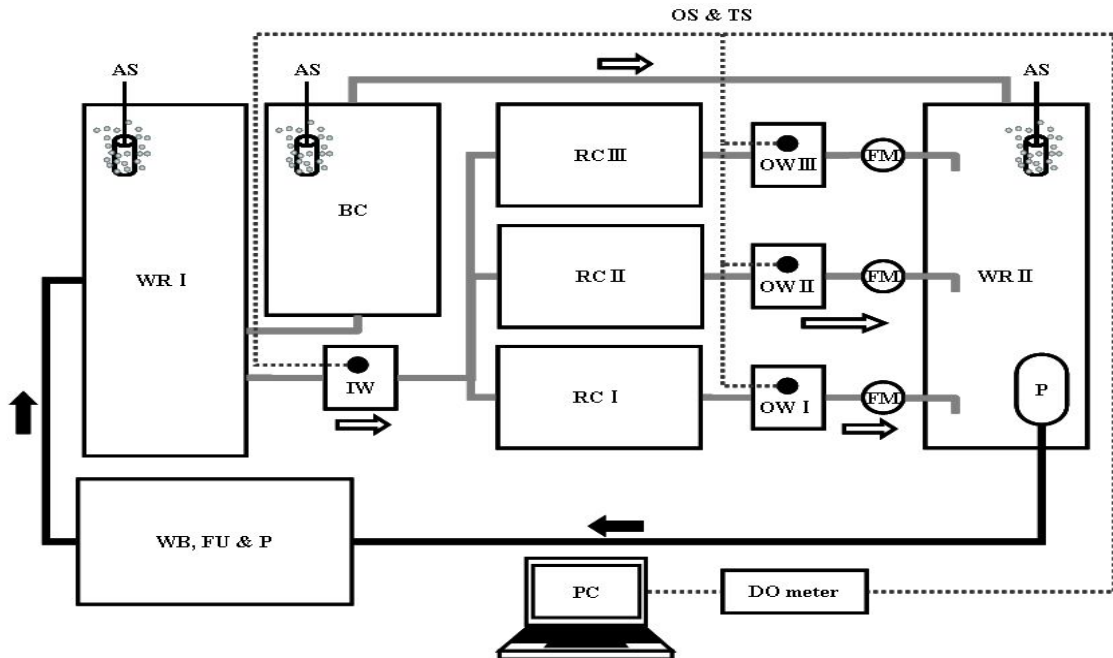
각 실험에서 어체의 호흡 상태를 파악하기 위하여 산소소비 측정기간 동안 분당 호흡수를 관찰하였는데, 아가미뚜껑을 1회 개폐한 것을 1호

흡으로 간주하여 1분 동안의 개폐 횟수로 나타냈으며, 개체당 5회 측정하여 평균값으로 나타냈다.

실험어의 산소소비량을 측정하기 위하여 사용한 주요 장치는 호흡실과 유입·유출수질, 집수탱크 I·II, 용존산소 기록저장용 컴퓨터, 순환식 항온수조(HSP-250WL-2, We Tech, Busan, Korea), oxygen monitoring system (oxygen optode sensor 3835, multiplexer 6 ports, real-time monitoring software; AANDERAA, Norway), 유량모니터링시스템 (turbine flowmeter flow-350, flow monitor flow-590, Iljin, Korea)으로 구성되어 있다. 실험용수는 집수탱크 I(WR I)에서 나와 유입수질(IW)을 통과하여 실험어가 있는 호흡실(RC)로 들어간다. 호흡실에서 실험어에 의해 용존산소가 소비된 실험용수는 유출수질(OW)을 통과하여 집

수탱크 II(WR II)로 모이게 된다. 집수탱크 II에 모인 실험용수는 이곳에서 에어레이션(AS)하여 실험어에 의해 소비된 용존산소를 보충하였으며, 온도조절 순환수조(WB, FU & P)로 보내진다. 온도조절 순환수조로 보내진 실험용수는 이곳에서 수온이 조절되며, 필터를 이용하여 찌꺼기를 제거하였다. 온도조절 순환수조에서 수온과 수질이 조절된 실험용수는 다시 집수탱크 I로 보내져 순환하게 된다([Fig. 1]).

용존산소 측정은 유입수질과 유출수질에 각각 용존산소 및 수온 센서(OS & TS)를 부착시켜 용존산소와 수온변화를 측정하였다. 이렇게 측정된 용존산소량과 수온은 oxygen monitoring 프로그램에 의해 5분 간격으로 컴퓨터에 자동 저장된다.



[Fig. 1] Schematic diagram of oxygen consumption measuring system. Solid and open arrows indicate circulating and overflow water, respectively. AS: air supply, BC: bleeding chamber, FM: flow meter, FU: filtering unit, IW: inlet water, OS: oxygen sensor, OW: outlet water, P: pump, PC: personal computer, RC: respiratory chamber, TS: temperature sensor, WB: water bath, WR I and II: water reservoir I and II.

실험어의 산소소비량 계산은 유입수와 유출수의 용존산소량을 이용하여 단위체중당 산소소비량(OCW)과 호흡당 산소소비량(OCB)으로 계산하였다.

$$\text{단위체중당 산소소비량 (OCW, mg O}_2\text{/kg/h)} = \{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / W$$

$$\text{호흡당 산소소비량 (OCB, mg O}_2\text{/breath/kg)} = \{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / (W \times B \times 60)$$

C_i = 유입수 용존 산소량(mg/L), C_o = 유출수 용존 산소량(mg/L), F = 유량(L/min), W = 어체중량(kg), B = 호흡수(No./min)

모든 측정값은 평균±표준 오차로 나타냈으며, 유의차는 SPSS-통계패키지(version 12.0)를 이용하여 independent samples t-test와 one-way ANOVA-test로 검정하였다. 집단간의 다중비교는 Duncan's multiple range test에 의해 검정하였다.

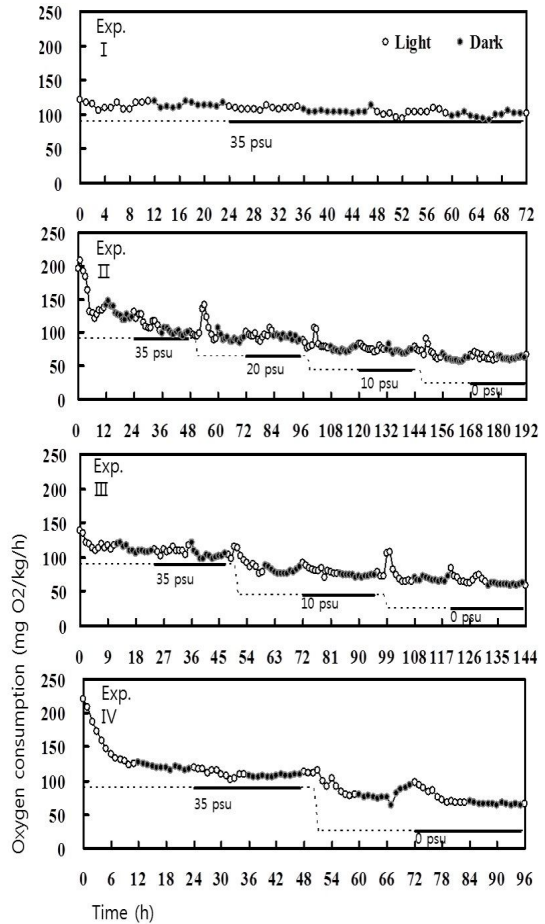
III. 결 과

1. 염분변화에 따른 산소소비 경향

염분변화에 따른 실험어의 산소소비 경향은 [Fig. 2]에서 보는 바와 같다. 대조구인 Exp. I에서 실험어의 산소소비 경향은 염분 35 psu의 경우 암기에서 명기로 광조건이 바뀌기 직전에 산소소비량이 약간 증가했다가 감소하는 경향을 보였으며, 광조건의 영향도 유의한 차이가 관찰되었다. Exp. II에서 실험어는 염분이 35→20→10→0 psu로 낮아지면서 산소소비도 단계적으로 감소하는 경향을 보였으며, 명·암기별 산소소비량에서도 차이를 나타내었다.

Exp. III 역시 염분이 35→10→0 psu로 낮아짐에 따라 산소소비도 단계적으로 감소하는 경향을 보였으며, 광조건에 따른 산소소비 차이는 크게 나타나지 않았으나 명기가 암기보다 높았다. 전체적으로 각각의 염분 저하 후 산소소비가 일시적으로 급격히 증가하였다가 감소하는 경향을 보

였다. Exp. IV (35→0 psu)에서 실험어의 산소소비는 염분이 감소하면서 산소소비도 감소하는 경향을 보였다.



[Fig. 2] Circadian change of oxygen consumption (mg O_2 /kg/h) of giant grouper, *Epinephelus lanceolatus* for the experiment I-IV. Dotted line: change/adaptation of salinity, thick line: experiment of oxygen consumption.

2. 염분변화에 따른 산소소비량

실험어의 염분 저하 단계별 산소소비량 변화는 <Table 1>에 나타내었다. Exp. I (대조구)에서 실험어의 일일평균 산소소비량은 106.9 ± 0.7 mg O_2 /kg/h로 다른 실험구의 35 psu에서도 비슷한

<Table 1> Mean oxygen consumption in giant grouper, *Epinephelus lanceolatus* upon low salinity acclimation

Salinity (psu)	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
35	106.9±0.7	108.1±2.1 ^a	106.5±1.3 ^a	109.0±0.9 ^a
20	-	99.6±2.9 ^b	-	-
10	-	74.6±0.9 ^c	77.0±1.2 ^b	-
0	-	62.7±1.0 ^{dB}	64.7±1.2 ^{cB}	71.6±2.0 ^{bA}
b	-	0.0161	0.0141	0.0122
a	-	64.606	65.349	71.021
R ²	-	0.7977	0.8887	0.8411

Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between different salinities at each experiment ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of oxygen consumption between experiments at same salinities ($P < 0.05$).

산소소비량을 보였다. Exp. II부터 Exp. IV까지 산소소비량을 측정된 결과, 모든 실험에서 산소 소비량도 감소하는 경향을 보였다. Exp. II에서 실험어는 염분이 35→20→10→0 psu로 낮아지면서 산소소비량도 각각 108.1±2.1, 99.6±2.9, 74.6±0.9 및 62.7±1.0 mg O₂/kg/h로 유의하게 감소하였다. Exp. III에서는 염분이 35→10→0 psu로 낮아지면서 산소소비량은 각각 106.5±1.3, 77.0±1.2 및 64.7±1.2 mg O₂/kg/h로 유의하게 감소하였다. Exp. IV(35→0 psu)의 경우 산소소비량이 각각 109.0±0.9, 71.6±2.0 mg O₂/kg/h로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$).

Exp. II부터 Exp. IV까지 해수(35 psu)에서 담수(0 psu)로 실험어의 산소소비량 변화는 각각

0.58, 0.61 및 0.66배 감소하였다. 또한 산소소비량 감소 기울기(b)는 각각 0.0161, 0.0141 및 0.0122로 나타났으며, R²값은 각각 0.7977, 0.8887 및 0.8411로 나타났다. 특히 염분 저하 속도가 완만할수록 산소소비량 감소폭은 컸으며, 염분 저하에 따른 산소소비량 감소는 Exp. III에서 높은 상관관계를 보였다.

3. 염분별 광조건에 따른 산소소비량

실험어의 염분 저하 단계별 명·암기의 산소소비량은 <Table 2>에서 보는 바와 같다. Exp. I (35 psu)에서 실험어의 명기동안 평균 산소소비량은 109.1±0.5 mg O₂/kg/h로 암기동안의 평균 산소소비량 104.7±0.9 mg O₂/kg/h 보다 유의하게 높았

<Table 2> Oxygen consumption of giant grouper *Epinephelus lanceolatus* during freshwater acclimation at light and dark periods

Salinity (psu)	Light				Dark			
	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
35	109.1±0.5 ^{b*}	115.7±2.6 ^{a*}	109.4±1.2 ^{b*}	111.0±1.6 ^{b*}	104.7±0.9 ^a	100.4±1.0 ^b	103.6±1.9 ^{ab}	107.0±0.4 ^a
20	-	106.4±5.2 [*]	-	-	-	92.9±0.9	-	-
10	-	76.6±1.1 ^{b*}	80.9±1.6 ^{a*}	-	-	72.5±1.1	73.0±0.5	-
0	-	63.6±1.0 ^b	68.9±1.7 ^{b*}	77.7±3.2 ^{a*}	-	61.8±0.6 ^b	60.5±0.4 ^b	65.5±0.5 ^a
b	-	0.0178	0.0131	0.0104	-	0.0144	0.0151	0.0140
a	-	65.618	69.542	76.989	-	63.61	61.408	65.515
R ²	-	0.8029	0.8976	0.7679	-	0.8912	0.9676	0.9936

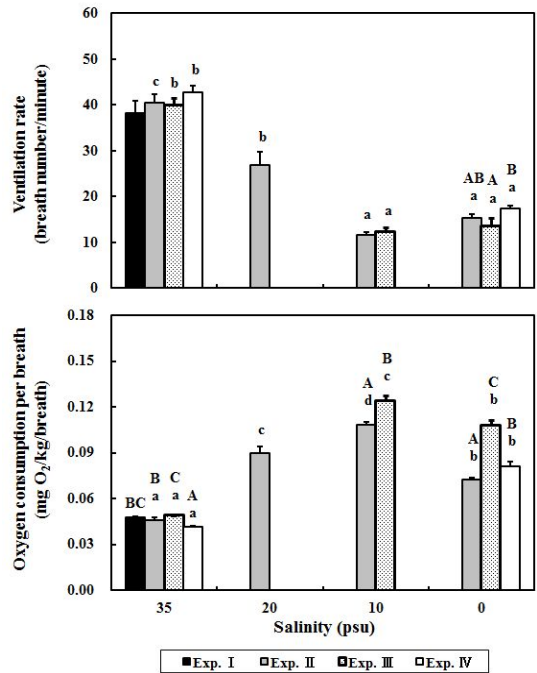
Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption among experiments within same salinities ($P < 0.05$). Asterisk indicates significant differences of oxygen consumption between light and dark within same salinities ($P < 0.05$).

다($P < 0.05$). Exp. II에서 명기동안 평균 산소소비량은 각각 115.7 ± 2.6 , 106.4 ± 5.2 , 76.6 ± 1.1 및 63.6 ± 1.0 mg O_2 /kg/h이었고, 암기동안 평균 산소소비량은 각각 100.4 ± 1.0 , 92.9 ± 0.9 , 72.5 ± 1.1 및 61.8 ± 0.6 mg O_2 /kg/h로 감소하였다. 또한 0 psu를 제외한 다른 염분에서는 명기동안의 산소소비량이 암기동안의 산소소비량 보다 유의하게 높았다 ($P < 0.05$). Exp. III에서 명기동안의 평균 산소소비량은 각각 109.4 ± 1.2 , 80.9 ± 1.6 및 68.9 ± 1.7 mg O_2 /kg/h, 암기동안의 평균 산소소비량은 각각 103.6 ± 1.9 , 73.0 ± 0.5 및 60.5 ± 0.4 mg O_2 /kg/h로 감소하였으며, 명기동안의 산소소비량이 암기동안의 산소소비량 보다 유의하게 높았다 ($P < 0.05$). Exp. IV에서 명기동안의 산소소비량은 각각 111.0 ± 1.6 , 77.7 ± 3.2 mg O_2 /kg/h, 암기동안의 산소소비량은 각각 107.0 ± 0.4 , 65.5 ± 0.5 mg O_2 /kg/h로 감소하였으며, 명기동안의 산소소비량이 암기동안의 산소소비량 보다 유의하게 높았다 ($P < 0.05$).

Exp. II부터 Exp. IV까지 해수(35 psu)에서 담수(0 psu)로 단계적으로 염분이 낮아지면서 실험어의 산소소비량은 명기동안에 각각 0.55, 0.63 및 0.70배 감소하였다. 또한 산소소비량의 지수함수식 감소 기울기 값(b)은 각각 0.0178, 0.0131 및 0.0104, R^2 값은 각각 0.8029, 0.8976 및 0.7679로 나타나 명기동안에 염분 저하가 완만할수록 산소소비량은 크게 감소하였다. 특히 염분 저하에 따른 산소소비량 감소는 Exp. III이 높은 상관관계를 보였다. 암기동안에 실험어의 산소소비량 변화는 각각 0.62, 0.58 및 0.61배 감소하여 명기동안의 산소소비량 감소와 다르게 비슷한 범위로 감소하는 경향을 보였다. 또한 산소소비량의 지수함수식 감소 기울기 값(b)은 각각 0.0144, 0.0151 및 0.0140, R^2 값은 각각 0.8912, 0.9676 및 0.9936으로 나타나 염분 저하에 따른 산소소비량 감소는 Exp. IV가 높은 상관관계를 보였다.

4. 염분별 호흡수 및 호흡당 산소소비량

담수순화 동안 염분 저하 단계별 실험어의 명기에서 분당 호흡수 및 호흡당 산소소비량 변화는 [Fig. 3]에서 보는 바와 같다.



[Fig. 3] Ventilation rate and oxygen consumption per breath of giant grouper *Epinephelus lanceolatus* during freshwater acclimation. Different small letters indicate significant differences of between salinity at each experiment ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of between experiment at each salinity ($P < 0.05$).

Exp. I에서 Exp. IV까지 염분 35 psu에서 실험어의 분당 호흡수는 각각 38.2 ± 2.6 , 40.6 ± 1.7 , 40.0 ± 1.5 및 42.8 ± 1.3 회로 평균 40회였다.

Exp. II에서 호흡수는 각각 40.6 ± 1.7 , 26.8 ± 3.0 , 11.7 ± 0.6 및 15.3 ± 0.8 회로 35 psu에서 10 psu까지 염분 감소와 함께 호흡수도 유의하게 감소하였다 ($P < 0.05$). 그러나 염분이 10 psu에서 0 psu로 낮

아지자 분당 호흡수는 수치적으로 증가하는 경향을 보였으나, 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$). Exp. III에서 호흡수는 각각 40.0 ± 1.5 , 12.3 ± 1.0 및 13.6 ± 1.8 로 Exp. II와 같이 호흡수도 감소하였다. 염분이 10 psu에서 0 psu로 감소하자 호흡수가 다소 증가하였으나, 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$). Exp. IV 역시 호흡수가 각각 42.8 ± 1.3 , 17.4 ± 0.6 회로 감소하였다.

Exp. I에서 명기동안 실험어의 호흡당 산소소비량은 0.0480 ± 0.0002 mg O_2 /kg/breath이었다. Exp. II에서 명기동안 호흡당 산소소비량은 각각 0.0462 ± 0.0015 , 0.0896 ± 0.0043 및 0.1084 ± 0.0017 mg O_2 /kg/breath로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 그러나 염분이 10 psu에서 0 psu로 감소하면서 호흡당 산소소비량이 0.0727 ± 0.0013 mg O_2 /kg/breath로 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). Exp. III에서 명기동안 호흡당 산소소비량은 각각 0.0490 ± 0.0006 , 0.01240 ± 0.0031 mg O_2 /kg/breath로 유의하게 감소하였다. Exp. IV에서 명기동안의 호흡당 산소소비량은 각각 0.0415 ± 0.0006 , 0.0809 ± 0.0033 mg O_2 /kg/breath로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$).

IV. 고찰

수중에서 서식하는 어류는 수온, 염분, 광주기 등 환경변화에 민감하게 반응하며, 이는 스트레스로 작용하여 생리활성을 변화시키는 것으로 알려져 있다(Claireaux and Lagardère, 1999; Chang et al., 2005; Chatelier et al., 2005; Jeong et al., 2007). 또한 양식에 있어서 수중에 녹아있는 용존 산소의 양은 양식동물의 생존과 밀접한 관계가 있다(Chatelier et al., 2005; Byun et al., 2008; Yang et al., 2013).

염분에 따른 어류의 저항성은 서식환경에 따라 다양한 내성을 가지고 있다. 기수지역에 서식하는 어류는 담수 혹은 해수지역에 한정되어 서식하는 어류보다 넓은 범위의 염분에서도 강한 내

성을 나타내며 삼투압조절이 가능하다(Martin, 1990; Kang et al., 2000). Boeuf and Payan (2001)은 많은 연구자들의 연구결과를 종합 고찰하여 어류의 발생이나 성장이 환경수 염분변화의 영향을 받지 않는 어종은 거의 없다고 하였다. Konstantinov and Martynova (1993)는 담수어인 잉어, *Cyprinus carpio carpio*와 어린 러시아 철갑상어, *Acipenser guldenstaedti*의 경우, 2 psu의 염분 상승은 성장률과 먹이효율을 상당량 끌어 올리며, 호흡률과 산소소비량의 감소를 초래한다고 하였다. 이와 같이 염분은 어류의 산소소비 변화에 영향을 주는 중요한 요인 중 하나인데, 점농어, *Lateolabrax maculatus*는 자연해수에서의 산소소비량에 비해 15 psu의 염분에서 13.5~16.0%의 감소를 나타냈으며, 담수에서는 25.3~36.4%의 감소를 보였다(Kim et al., 1998). 또한 Jeong et al. (2009)은 해수 및 담수에서 사육한 강도다리의 1일 평균 단위체중당 산소소비량은 15℃에서 각각 74.4 ± 17.0 , 46.7 ± 12.0 mg O_2 /kg/h, 20℃에서는 각각 85.9 ± 15.8 , 63.3 ± 7.5 mg O_2 /kg/h, 25℃에서 각각 98.3 ± 11.4 , 82.8 ± 5.3 mg O_2 /kg/h로 각각의 수온에서 해수사육 강도다리가 담수사육 강도다리에 비해 산소소비량이 유의하게 많다고 하였다. 이와 반대로, *white mullet*, *Mugil curema*의 경우 수온이 20℃일 때 해수보다 담수에서 산소소비량이 더 많았다(Fanta-Feofiloff et al., 1986). Jeong et al. (2007)은 수온 20℃에서 개체수가 1마리일 때 해수에서 사육한 감성돔의 산소소비량은 174.8 ± 52.3 mg O_2 /kg/h, 담수에서 사육한 감성돔의 산소소비량은 307.8 ± 45.6 mg O_2 /kg/h로 담수에서 사육한 감성돔이 해수에서 사육한 감성돔보다 높은 산소소비량을 보였다고 보고하였다. 본 연구에서 해수에서 사육중인 대왕바리의 담수 순화동안 염분 저하 방법별로 산소소비 경향을 측정한 결과, Exp. II부터 Exp. IV까지 염분 저하 방법별로 사육수가 해수에서 담수로 완전히 전환된 후 산소소비량은 각각 0.85, 0.61 및 0.66배 감

소하였다. 그러나 Jeong et al. (2007)의 감성돔을 이용한 호흡실내 수용개체별 산소소비 비교 실험에서 실험어 개체수가 1마리인 단일개체에서는 해수보다 담수에서 많은 산소소비량을 보였으나, 실험어 개체수가 3마리인 복수개체에서는 개체간의 상호작용으로 인해 담수보다 해수에서 많은 산소소비량을 보였다. 그리고 이러한 원인을 감성돔의 산소소비에 군집효과가 존재하며, 담수에 비해 해수에서 감성돔의 군효과가 크게 작용한 것으로 판단하였다. 이와 같이 많은 연구자들은 단일개체와 복수개체의 성장과 대사량 차이에서 군효과가 존재함을 증명하였으며, 군효과는 어류의 기초 대사량과 스트레스 반응에 의한 에너지 소비 차이에 의해 나타난다고 하였다(Parker, 1973; Umezawa et al., 1983; Ruer et al., 1987; Lucas and Priede, 1992; Ross et al., 1992). 본 연구에서 대왕바리는 담수순화동안 산소소비량이 감소하는 경향을 보였으며, 이러한 결과의 원인을 파악하기 위해서는 대왕바리를 담수 및 해수에서 장기간 사육하면서 군효과 실험이 추가적으로 실시되어야 할 것으로 판단된다.

광주기는 어류의 산소소비 일주기성에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, Spencer (1939)와 Spoor (1946)는 담수어류의 활성과 산소소비 관계를 3가지 형태(주간활동형, 야간활동형, 불규칙활동형)로 나누었다. 본 연구의 결과에서 대왕바리는 명기와 암기의 광주조건에서 암기보다 명기에 산소소비가 유의하게 높아 명기동안에 활성이 높은 주간활동형 어종으로 판단된다. 그러나 명기와 암기의 산소소비량 차이가 뚜렷하지 않아, 이 부분에 관한 연구는 좀 더 체계적으로 실시되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 대왕바리는 사육수의 염분이 35 psu에서 10 psu까지 낮아지면서 호흡수도 감소하였으나, 염분이 0 psu (담수)로 전환되자 호흡수가 증가하는 경향을 보였다. 그러나 10 psu와 0 psu의 호흡수는 차이는 보이지 않았다. Iwama et al. (1997)은 어류의 호흡수가 산소소비량에 유의

한 영향을 미치는 것이 아니라고 보고하였다. 그러나 Dalla Valle et al. (2003)은 어류의 호흡수와 산소소비의 상호관계에 있어 아가미덮개의 개폐 횟수와 폭의 통합적 압력 차이를 측정하면 단일 횟수에 따른 보다 나은 산소소비량 예측이 가능하다고 하였다. 또한 어류는 호흡활동의 증가 이외에 새변보충(lamellar recruitment)의 증가 또는 조직관류(tissues perfusion)의 향상과 같은 기구에 의해 산소흡입을 조절할 수 있는 것으로 알려져 있으며(Randall, 1982), 특히 납작한(측편형 또는 가자미류와 같이 납작한) 어류에 있어서 피부호흡은 호흡활동과 산소흡입 사이의 관계에 영향을 줄 수 있는 다른 요인으로 작용할 수 있다(Steffensen et al., 1981). 따라서 사육수 염분저하에 따른 대왕바리의 호흡수와 호흡당 산소소비량의 관계를 보다 정확히 이해하기 위해서는 혈액의 산소분압, 호흡과 관련된 아가미 새변의 조직학적 관찰 및 피부호흡에 의한 산소소비 등에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Min et al. (2003)은 감성돔을 해수에서 담수로 순화하는 방법 중 급격한 염분변화는 어체에 많은 스트레스를 주는 것으로 보고하였다. 또한 삼투압조절의 혼란, 여러 조직의 괴사 등을 유발하며 체내의 항상성 유지에 많은 에너지를 소모하게 하므로, 성장 지연이나 질병에 대한 저항력 감소를 초래하여 결국 폐사에 이르게 한다고 하였다. 그러나 단계적인 염분변화는 스트레스의 정도가 작으며, 또한 그 회복 속도가 빠른 것으로 보고하였다. 본 연구에서 대왕바리를 해수에서 담수로 순화하는 방법을 3가지로 하여 담수순화동안 산소소비 경향을 관찰하였다. 본 연구의 결과 대왕바리는 감성돔과 달리 담수순화방법에 따른 산소소비의 차이를 발견하지 못하였다. 따라서 대왕바리는 감성돔보다 염분 변화에 강한 어종으로 판단된다. 그러나 본 연구는 담수순화 과정만을 관찰한 결과로 앞으로 담수순화 이후의 생리적 반응을 조사해야 될 것으로 판단된다.

V. 요약

대왕바리, *Epinephelus lanceolatus*의 담수순화 방법에 따른 산소소비 경향을 조사하였다. 염분 변화 조건은 대조구인 35 psu (Exp. I) 외에 단계적 염분변화 조건인 Exp. II(35→20→10→0 psu)과 Exp. III (35→10→0 psu) 그리고 급격한 염분변화 조건인 Exp. IV (35→0 psu)로 하였다.

염분 저하 방법별로 산소소비량을 측정된 결과, 수온 27°C에서 실험어의 평균 산소소비량은 Exp. I에서 106.9±0.7 mg O₂/kg/h였다. Exp. II에서는 염분이 35→20→10→0 psu로 낮아지면서 각각 108.1±2.1, 99.6±2.9, 74.6±0.9 및 62.7±1.0 mg O₂/kg/h, Exp. III에서는 각각 106.5±1.3, 77.0±1.2 및 64.7±1.2 mg O₂/kg/h로 감소하였다. Exp. IV 역시 산소소비량은 35 psu의 109.0±0.9 mg O₂/kg/h로부터 0 psu의 71.6±2.0 mg O₂/kg/h로 감소하는 경향을 보였다. 대왕바리는 모든 실험 조건에서 암기 보다 명기에 많은 산소소비량을 보여, 주행성 어종인 것으로 추정되나, 명기와 암기의 산소소비량은 큰 차이를 보이지 않았다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 대왕바리 치어는 염분 저하 방법별 산소소비량에서 서로 차이를 보이지 않아 저염분 순화에 있어 생리적 문제는 발생하지 않았으며, 실험과정 중 폐사한 개체도 없었다. 따라서 대왕바리는 염분변화에 매우 강한 광염성 어종이며, 담수환경에 쉽게 적응할 수 있을 것으로 판단된다.

References

Barton B. A. & Schreck C. B.(1987). Metabolic cost of acute physical stress in juvenile steelhead, Trans Am Fish Soc 116, 257-263.
 Boeuf G. & Payan P.(2001). How should salinity influence fish growth, Comp Biochem Physiol C 130, 411-423.
 Brett J. R. & Glass N. R.(1973). Oxygen consumption

and critical swimming speeds of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to size and temperature, J Fish Res Bd Can 30, 379-387.
 Brett J. R. & Groves TDD.(1979). Physiological energetics, Academic Press. New York. 279-352.
 Buentello J. A. · Neill WH & Gatlin D. B.(2000). Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*), Aquaculture 182, 339-352.
 Byun, S. G. · Jeong M. H. · Lee J. H. · Lee B. I. · Ku H. D. · Park S. U. · Kim Y. C. & Chang Y. J.(2008), Diel Rhythm of Oxygen Consumption of the Starry Flounder *Platichthys stellatus* by Water Temperature, J. Kor. Fish. Soc. 41(2), 113-118.
 Chang Y. J. · Jeong M. H. · Min B. H. · Neill W. H. & Fontaine L. P.(2005). Effects of photoperiod, temperature, and fish size on oxygen consumption in the black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*), J Fish Sci Tech 8, 142-150.
 Chatelier A. · McKenzie D. J. & Claireaux G.(2005). Effects of changes in water salinity upon exercise and cardiac performance in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*), Mar Biol 147, 855-862.
 Claireaux G. & Lagardere J. P.(1999). Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass, J Sea Res 42, 157-168.
 Dalla Valle A. Z. · Rivas-Diaz R. & Claireaux G.(2003). Opercular differential pressure as a predictor of metabolic oxygen demand in the starry flounder, J Fish Biol 63, 1578-1588.
 Erez J. · Krom M. D. & Neuwirth T.(1990). Daily oxygen variations in marine fish ponds, Elat, Israel, Aquaculture 84, 289-305.
 Fanta-Feofiloff E · Eiras DRB · Boscardin AT & Lacerda-Krambeck M (1986). Effect of salinity on the behavior and oxygen consumption of *Mugil curema* (Pisces, Mugilidae), Physiol and Behav 36, 1029-1034.
 FAO(1993). FAO species catalogue Vol. 16. Groupers of the world. FAO Rome, 1-10.
 Fontainhas-Fernandes A. · Russell-Pinto F. · Gomes E. · Reis-Henriques M. A. & Coimbra J.(2001). The effect of dietary sodium chloride on some osmoregulatory parameters of the teleost, *Oreochromis niloticus*, after transfer from

- freshwater to seawater, *Fish Physiol Biochem* 23, 307~316.
- Forsberg O. I.(1994). Modelling oxygen consumption rates of post-smolt atlantic salmon in commercial-scale land-based farms, *Aquacult Int* 2, 180~196.
- Froese, R. & D. Pauly(2014). FishBase. World Wide Web electronic publication, (version 09/2014).
- Itazawa Y. & Hanyu I.(1991). *Fish Physiology*. Koseisha-Koseikaku, Tokyo, Japan. 621.
- Iwama G. K. · Takemura A. & Takano K.(1997). Oxygen consumption rates of tilapia in fresh water, sea water and hypersaline sea water, *J Fish Biol* 51, 886~894.
- Jeong M. H. · Byun S. G. · Lim H. K. · Min B. H. · Kim Y. S. & Chang Y. J.(2009). Effects of water temperature on oxygen consumption in starry flounder *Platichthys stellatus* reared in seawater and freshwater, *Korean J Environ Biol* 27, 285~291.
- Jeong M. H. · Kim Y. S. · Min B. H. & Chang Y. J.(2007). Effect of fish number in respiratory chamber on routine oxygen consumption of black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in seawater or freshwater, *J Aquacult* 20, 121~126.
- Jorgensen E. H. · Jobling M. & Christiansen J.(1991). Metabolic requirements of arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L), under hatchery conditions, *Aquacult Fish Manag* 22, 377~378.
- Kang J. C. · Chin P. · Lee J. S. · Shin Y. K. & Cho K. S.(2000). Effects of salinity on survival, growth and oxygen consumption rates of the juvenile gobiid, *Favonigobius gymnachon*, *J Korean Fish Soc* 33, 408~412.
- Kawamoto N.(1977). *Fish Physiology*. Koseisha-Koseikaku, Tokyo, Japan. 605.
- Kim W. S. · Huh H. T. · Lee J. H. & Koh C. H.(1998). Effects of sudden changes on salinity on endogenous rhythm of the spotted sea bass *Lateolabrax* sp, *Mar Biol* 131, 219~225.
- Konstantinov A. S & Martynova V. V.(1993). Effect of salinity fluctuations on energetics of juvenile fish, *J Ichthyol* 33, 161~166.
- Lasserre P. · Boeuf G. & Harache Y.(1978). Osmotic adaptation of *Oncorhynchus kisutch* Walbaum. I. Seasonal variations of gill Na⁺-K⁺ ATPase activity in coho salmon, 0+age and yearling, reared in freshwater, *Aquaculture* 14, 365~382.
- Lucas M. C. & Priede I. G.(1992). Utilization of metabolic scope in relation to feeding and activity by individual and grouped zebrafish, *Brachydanio rerio* (Hamilton-Buchanan), *J Fish Biol* 41, 175~190.
- Martin T. J.(1990). Osmoregulatory in three species of Ambassidae (Osteichthyes: Perciformes) from estuaries in Natal, *S Afr J Zool* 25, 229~234.
- Min B. H. · Kim B. K. · Hur J. W. · Bang I. C. · Byun S. K. · Choi C. Y. & Chang Y. J.(2003). Physiological responses during freshwater acclimation of seawater-cultured black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*), *Korean J Ichthyol* 15, 265~275.
- Morgan J. D. & Iwama G. K.(1991). Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*), *Can J Fish Aquat Sci* 48, 2083~2094.
- Morgan J. D. & Iwama G. K.(1998). Salinity effects on oxygen consumption, gill Na⁺/K⁺-ATPase and ion regulation in juvenile coho salmon, *J Fish Biol* 53, 1110~1119.
- Myoung, J. G. · Kang, C. B. · Yoo, J. M. · Lee, E. K. · Kim, S. · Jeong, C. H. & Kim, B. I.(2013). First record of the giant grouper *Epinephelus lanceolatus* (Perciformes: Serranidae: Epinephelinae) from Jeju Island, South Korea. *Fish. Aquat. Sci.* 16; 49~52.
- Parker F. R.(1973). Reduced metabolic rates in fishes as a result of induced schooling, *Trans Am Fish Soc* 102, 125~130.
- Randall D. J.(1982). The control of respiration and circulation in fish during exercise and hypoxia, *J Exp Biol* 100, 275~285.
- Rao M. M.(1971). Influence of activity and salinity on the weight dependent oxygen consumption of the rainbow trout *Salmo gairdneri*, *Mar Biol* 8, 205~212.
- Ross R. M. · Backman T. W. H. & Limburg K. E.(1992). Group-size-mediated metabolic rate reduction in American shad, *Trans Am Fish Soc* 121, 385~390.

- Ruer P. M. · Cech J. J. & Doroshov S. I.(1987). Routine metabolism of the white sturgeon, *Acipenser transmontanus*: effect of population density and hypoxia, *Aquaculture* 62, 45~52.
- Singley J. A. & Chavin W.(1971). Cortisol levels of normal goldfish, *Carassius auratus* L., and response to osmotic change, *Am Zool* 11, 653.
- Smart G.(1981). Aspects of water quality producing stress in intensive fish farming. In: *Stress and Fish* (ed. by A.D. Pickering), Academic Press. London. 277~293.
- Spencer W. P.(1939). Diurnal activity rhythms in freshwater fishes, *Ohio T Sci* 39, 119~132.
- Spoor W. A.(1946). A quantitative study of the relationship between the activity and oxygen consumption of the goldfish, and its application to the measurement of respiratory metabolism in fishes, *Biol Bull* 91, 312~325.
- Steffensen J. F. · Lomholt P. L. & Johansen K.(1981). The relative importance of skin oxygen uptake in the naturally buried plaice, *Pleuronectes platessa*, exposed to graded hypoxia, *Respir Physiol* 44, 268~275.
- Umezawa S. I. · Adachi S. & Taneda K.(1983). Group effect on oxygen consumption of the ayu (*Plecoglossus altivelis*) in relation to growth stage, *Japan J Ichthyol* 30, 261~267.
- Wi J. H. & Chang Y. J.(1976). A basic study on transport of live fish (I), *Bull Fish Res Dev Agency Korea* 15, 91~108.
- Withey K. G. & Saunders R. L.(1973). Effect of reciprocal photoperiod regime on standard rate of oxygen consumption of postsmolt atlantic salmon (*Salmo salar*), *J Fish Res Bd Can* 30, 1898~1900.
- Yang, S. G. · Ji S. C. · Moon T. S. · Kim K. M. & Jeong MH (2013), Effects of Water Temperature, Photoperiod and Population Density on Oxygen Consumption in the Longtooth Groper *Epinephelus bruneus*, *J. Kor. Fish. Sci.* 46(2), 195~200.
-
- Recieved : 02 February, 2015
 - Revised : 23 March, 2015
 - Accepted : 27 March, 2015