

수온 및 광주조건에 따른 대왕바리 *Epinephelus lanceolatus*의 산소소비 특성

정민환 · 김상덕¹ · 임한규² · 김문진³ · 김봉석*

국립수산과학원 미래양식연구센터, ¹롯데월드 아쿠아리움, ²목포대학교 해양수산자원학과, ³씨-라이프 부산 아쿠아리움

Effects of Oxygen Consumption in the Giant Grouper *Epinephelus lanceolatus* by Water Temperature and Photoperiod by Minhwan Jeong, Sang-Duck Kim¹, Han-Kyu Lim², Moon-Jin Kim³ and Bong-Seok Kim* (Future Aquaculture Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Jeju-do 690-192, Korea; ¹Lotte World Aquarium, Seoul 138-721, Korea; ²Development of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea; ³Sea Life Busan Aquarium, Busan 612-846, Korea)

ABSTRACT This study investigated the effects of water temperature and photoperiod on oxygen consumption (OC) in the giant grouper *Epinephelus lanceolatus*. OC rate in the giant grouper at 17, 22, 27 and 32°C were 61.7 ± 0.4 , 72.2 ± 0.6 , 102.9 ± 0.8 and 141.7 ± 1.0 mg O₂/kg/h, respectively, indicating a linear increase in OC with water temperature. Photoperiod was regulated in accordance with the light (06:00~18:00 h, L) and dark (18:00~06:00 h, D) phases of the diel cycle (12L/12D), with a water temperature of at 17, 22, 27 and 32°C. OC rates during the light and dark phases were 62.7 ± 0.4 , 62.5 ± 0.3 mg O₂/kg/h, respectively, at 17°C. No significant differences were observed between the light and dark phases ($P > 0.05$). OC rates during the light and dark phases were 74.8 ± 0.7 , 69.6 ± 0.6 mg O₂/kg/h at 22°C, 107 ± 1.2 , 98.0 ± 0.7 mg O₂/kg/h at 27°C and 147.6 ± 1.1 , 135.8 ± 0.8 mg O₂/kg/h at 32°C, respectively, indicating that OC is higher during daylight than nighttime. 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 : *Epinephelus lanceolatus*, oxygen consumption, water temperature, photoperiod

서 론

전 세계적으로 기후변화로 인한 가뭄 및 홍수 등의 자연 재해가 증가하고 있으며, 이로 인한 농작물의 피해규모는 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 따라서 세계 각 국가에서는 자국의 이익과 안정적인 식량확보를 위하여 많은 연구와 투자를 아끼지 않고 있다. 더불어 건강에 대한 관심이 증가되면서 수산식품의 활용 및 소비가 증가됨에 따라 단순한 1차 산업이었던 양식업은 인간의 건강과 식량자원 확보를 위한 중요한 산업으로 자리매김 하고 있다. 이에 세계 각 국가에서는 양식생산량 확충을 위한 연구와 기술개

발에 막대한 자본과 인력을 투입하고 있을 뿐만 아니라, 기후변화에 따른 기존의 양식대상종을 대체할 새로운 어종 발굴 및 양식기술개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 한국 역시 기후변화대응과 해양식량확보를 위하여 양식산업과 관련된 연구기관, 학교 및 산업체 등에서 새로운 양식대상종 발굴 및 기술개발에 많은 투자와 연구가 진행 중에 있다. 현재 한국에서 새로운 양식대상종으로 연구되어 양식되고 있거나, 연구가 진행 중인 어종으로는 능성어 *Epinephelus septemfasciatus*, 강도다리 *Platichthys stellatus*, 참다랑어 *Thunnus orientalis*, 자바리 *Epinephelus bruneus* 등 많은 어종이 있다(김 등, 1997; 임 등, 2007; 지 등, 2008; 양 등, 2013).

새로운 어종의 양식기술을 개발하기 위해서는 대상어종의 생리, 생태 및 습성 등을 파악하는 것이 중요하며, 대상

*Corresponding author: Bong-Seok Kim Tel: 82-64-750-4390
Fax: 82-64-743-5883, E-mail: bskim2002@korea.kr

어종의 생리, 생태 및 습성에 따라 사육 적정수온, 광조건, 사육밀도, 적정 사료공급량 및 산소 공급량 등이 결정되어야 한다. 이러한 대상어종의 생리, 생태 및 습성을 알기 위해서는 양식대상종의 대사량을 파악하는 것이 중요하며, 대사량 측정은 어류의 산소소비량을 측정함으로써 직·간접적으로 추정할 수 있다(변 등, 2008). 어류의 산소소비량은 수온(변 등, 2008), 염분(임 등, 2004; 정 등, 2009), 광주기(조와 김, 1999; Chang *et al.*, 2005), 어체 크기(Burleson *et al.*, 2001; 정 등, 2007), 사료 공급량(Forsberg, 1994) 및 스트레스(Lund and Tufts, 2003) 등 여러 가지 요인에 의해 달라지는 것으로 알려져 있다.

능성어과 어류는 전 세계적으로 약 159종이 보고되고 있으며, 서식지역은 대부분 아열대와 열대지방의 산호초가 발달한 해역과 암초지역으로 알려져 있다(FAO, 1993). 대왕바리 *Epinephelus lanceolatus*는 대형 능성어과 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 전무한 실정이다(Myoung *et al.*, 2013). 대왕바리는 육질이 좋고, 대형으로 성장하기 때문에 동남아시아를 비롯해 세계 여러 국가에서 차세대 양식어종으로 각광을 받고 있으나, 양식기술개발에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

본 연구에서는 한국의 새로운 양식 대상종으로 잠재적 가능성이 있는 대왕바리의 수온 및 광조건에 따른 산소소비 특성을 파악하여, 이 어종의 양식 시 원활한 산소공급과 대사활성에 대한 자료를 얻고자 한다.

재료 및 방법

실험에 사용한 대왕바리는 평균전장 31.0 ± 0.5 cm, 평균체중 581.4 ± 28.1 g으로 씨-라이프 부산 아쿠아리움에서 사육중인 어류를 국립수산물과학원 양식관리과의 대형 수조에 수용한 후, 수온 $27 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 1달간 사육하여 실험에 사용하였다. 실험어의 수온변화에 따른 산소소비 경향을 알아보기 위하여 대조구(Exp. I)와 수온변화(Exp. II~IV)를 달리하여 실험하였다. 실험 사육수의 염분은 모두 34.0 ± 0.5 psu, 광조건은 평기(06:00~18:00)와 암기(18:00~06:00) 각각 12시간, 호흡실의 유수량은 분당 1,000 mL로 유지하였다.

실험어의 산소소비량을 측정하기 위하여 사용한 주요 장치는 호흡실과 유입·유출수실, 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 유입수실(IW)을 통과하여 실험어가 있는 호흡실(RC)로 들어간다. 호흡실에서 실험어에 의해 용존산소가 소비된 실험용수는 유출수실(OW)을 통과하여 집수탱크 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 보내어진다. 온도조절 순환수조로 보내어진 실험용수는 이곳에서 수온이 조절되며, 필터에 의해 수질을 관리했다. 온도조절 순환수조에서 수온과 수질이 조절된 실험용수는 다시 집수탱크 I로 보내어져 순환하게 된다(Fig. 1).

용존산소 측정은 유입수실과 유출수실에 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.

실험방법은 수온 27°C , 염분 34 psu의 수조에서 사육중인 실험어를 실험개시 전 24시간 동안 절식시킨 후, 스트레스를 최소화하여 사육조건과 동일한 실험용수가 순환하는 밀폐순환여과식 산소소비 측정장치의 호흡실로 신속히 옮겨 24시간 이상 산소소비 측정장치에 적응할 수 있도록 시간을 주었다. Exp. I(대조구)은 수온 27°C 의 실험용수에 실험어를 24시간 동안 안정시킨 다음, 72시간 동안(3일) 27°C 의 산소소비량을 측정하였다. Exp. II는 수온 27°C 의 실험용수에 실험어를 24시간 동안 안정시킨 다음, 시간당 1°C 씩 32°C 까지 수온을 상승시킨 후 72시간 동안 32°C 의 산소소비량을 측정하였다. Exp. III은 수온 27°C 의 실험용수에 실험어를 24시간 동안 안정시킨 다음, 시간당 1°C 씩 22°C 까지 수온을 하강시킨 후 72시간 동안 22°C 의 산소소비량을 측정하였다. Exp. IV는 수온 27°C 의 실험용수에 실험어를 24시간 동안 안정시킨 다음, 시간당 1°C 씩 17°C 까지 수온을 하강시킨 후 72시간 동안 17°C 의 산소소비량을 측정하였다. 각 실험에서 어체의 호흡상태를 파악하기 위하여 산소소비 측정기간 동안 분당 호흡수를 관찰하였는데, 아가미 덮개를 1회 개폐할 것을 1호흡으로 간주하여 1분 동안의 개폐횟수로 나타냈으며, 개체당 5회 측정하여 평균값으로 나타냈다.

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

단위체중당 산소소비량(OCW, mg O_2 /kg/h)

$$= \{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / W$$

호흡당 산소소비량(OCB, mg O_2 /breath/kg)

$$= \{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / (W \times B \times 60)$$

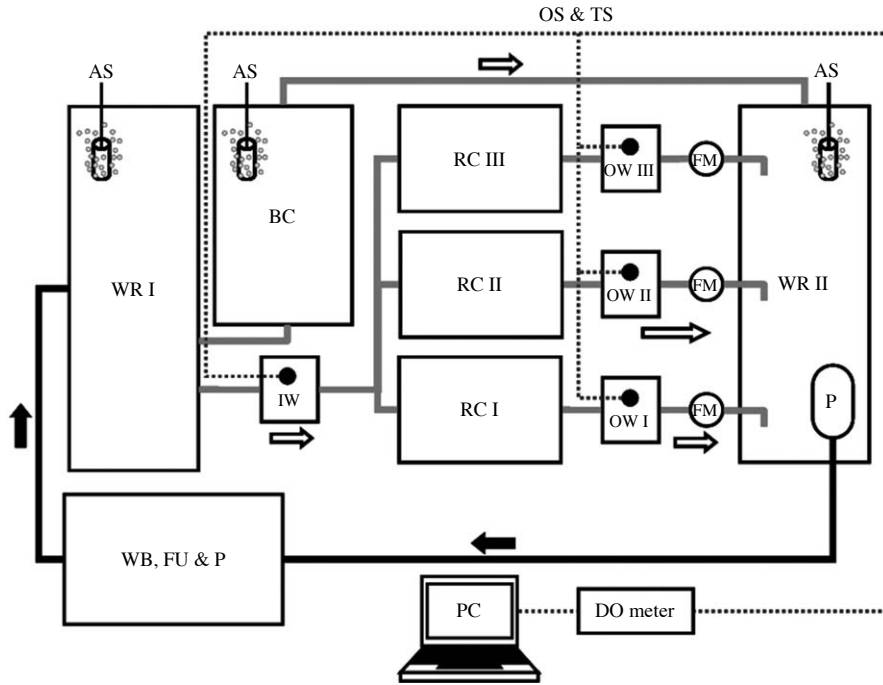


Fig. 1. Schematic diagram of oxygen consumption measuring system. Solid and open arrows indicate circulating and overflow water, respectively. AS: air supply, BC: bleeding chamber, FM: flow meter, FU: filtering unit, IW: inlet water, OS: oxygen sensor, OW: outlet water, P: pump, PC: personal computer,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

- Ci=유입수 용존 산소량(mg/L),
- Co=유출수 용존 산소량(mg/L),
- F=유량(L/min),
- W=어체총중량(kg),
- B=호흡수(No./min)

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

결 과

1. 수온변화에 따른 산소소비 경향

수온변화에 따른 실험어의 산소소비 경향은 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

실험수온이 27°C인 Exp. I(대조구)에서 실험어의 산소소비 경향은 명기에는 산소소비가 많고 암기에는 산소소비 적은 명확한 산소소비 경향을 보였다. 또한 광조건이 암기에서 명기로 바뀐 후 일시적으로 산소소비가 증가하였다가 감소하는 경향을 보였다. 수온이 27°C에서 32°C로 상승하

는 Exp. II에서 수온이 27°C일 때 산소소비 경향은 대조구와 같이 명기에 산소소비 많고 암기에 산소소비 적은 경향을 보였으며, 수온이 상승하자 산소소비도 수온상승과 비례하여 증가하였다. 수온이 32°C일 때, 실험어의 산소소비 경향은 명기에 산소소비가 많고 암기에 산소소비가 낮은 경향을 보였으며, 암기에서 명기로 바뀐 후 산소소비가 일시적으로 증가하는 경향을 보였다. 수온을 27°C에서 22°C로 하강시킨 Exp. III에서 수온이 27°C일 때 산소소비 경향은 대조구와 같은 산소소비 경향을 보였으며, 수온 낮아지자 산소소비도 감소하였다. 수온이 22°C일 때, 실험어의 산소소비 경향은 암기에서 명기로 바뀐 후 산소소비가 점차 증가하였으며, 명기에서 암기로 바뀐 후에는 산소소비가 점차 감소하는 경향을 보였다. 수온을 27°C에서 17°C로 하강시킨 Exp. IV에서 수온이 감소하는 동안 실험어의 산소소비는 감소하였으며, 수온이 17°C일 때, 명기와 암기의 산소소비는 차이를 보이지 않았다.

2. 수온별 산소소비량

수온 27°C에서 사육중인 실험어를 각각의 실험수온으로 변화 후 산소소비량을 3일간 측정된 결과는 Table 1에서 보는 바와 같다.

Exp. I(대조구, 27°C)에서 실험어의 일일 평균 산소소비량은 1일째에 102.7±1.5 mg O₂/kg/h, 2일째에 102.9±1.3

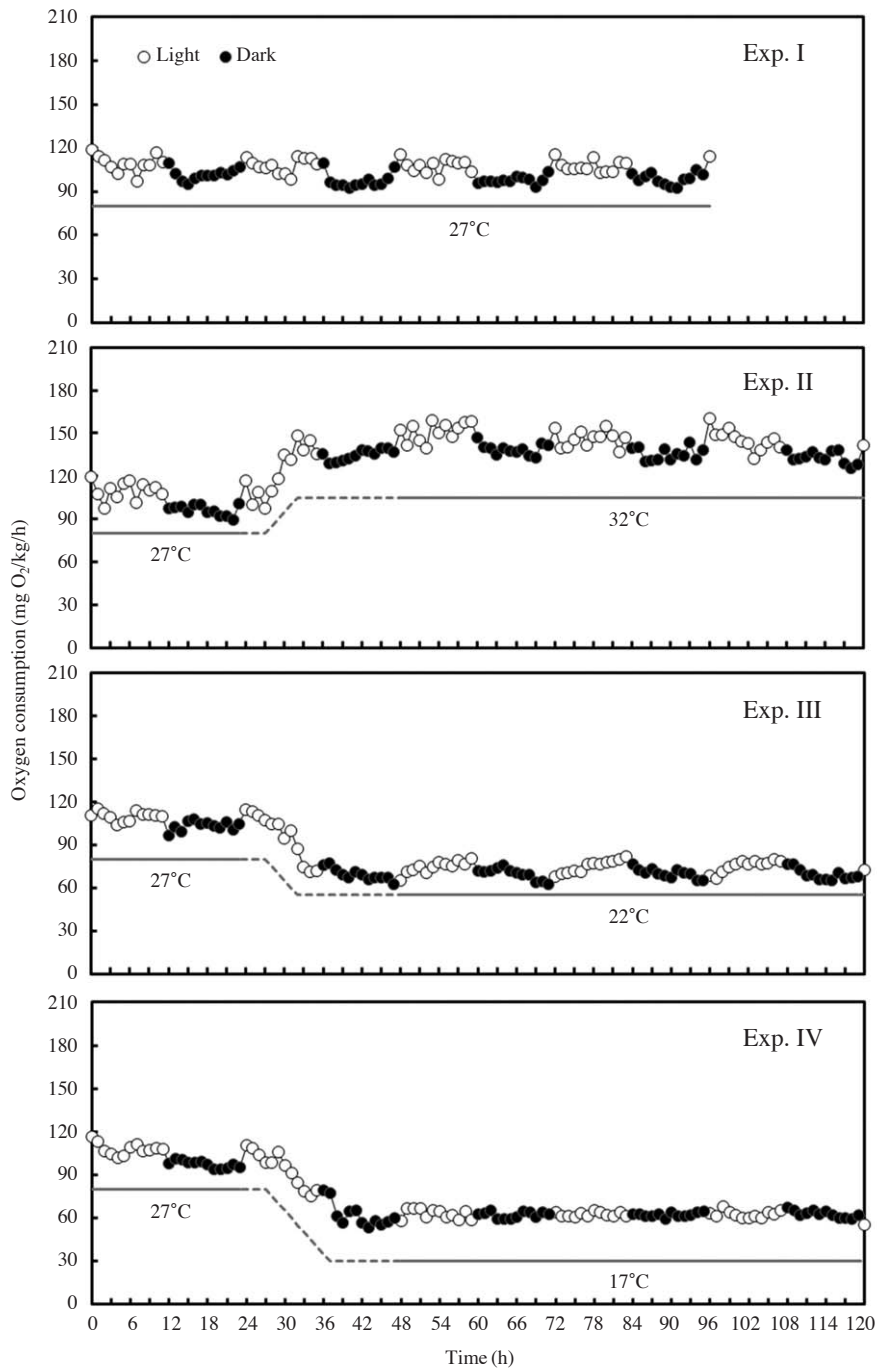


Fig. 2. Circadian change of oxygen consumption (mg O₂/kg/h) of giant grouper for the experiment I~IV. Dotted line: change/adaptation of water temperature, thick line: experiment of oxygen consumption.

mg O₂/kg/h, 3일째 103.1 ± 1.2 mg O₂/kg/h로 산소소비량은 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$). 수온을 27°C에서 32°C로 상승시킨 Exp II에서 실험어의 일일 평균 산소소비량은 1일째에 145.0 ± 1.7 mg O₂/kg/h, 2일째에 140.8 ± 1.5 mg O₂/kg/h, 3일째에 139.3 ± 1.8 mg O₂/kg/h로 시간이 지날수록 유의하게 감소하는 경향을 보였다 ($P < 0.05$). 수온을

27°C에서 22°C로 저하시킨 Exp III에서 실험어의 일일 평균 산소소비량은 1일째에 72.0 ± 1.0 mg O₂/kg/h, 2일째에 72.5 ± 0.9 mg O₂/kg/h, 3일째에 72.1 ± 1.0 mg O₂/kg/h로 산소소비량은 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$). 수온을 27°C에서 17°C로 저하시킨 Exp IV에서 실험어의 일일 평균 산소소비량은 1일째에 62.5 ± 0.6 mg O₂/kg/h, 2일째에

Table 1. Mean oxygen consumption (mg O₂/kg/h) of giant grouper for water temperature

Water temperature (°C)	Day-1	Day-2	Day-3	Mean
32 (Exp. II)	145.0 ± 1.7 ^{b,D}	140.8 ± 1.5 ^{ab,D}	139.3 ± 1.8 ^{a,D}	141.7 ± 1.0 ^D
27 (Exp. I)	102.7 ± 1.5 ^{a,C}	102.9 ± 1.3 ^{a,C}	103.1 ± 1.2 ^{a,C}	102.9 ± 0.8 ^C
22 (Exp. III)	72.0 ± 1.0 ^{a,B}	72.5 ± 0.9 ^{a,B}	72.1 ± 1.0 ^{a,B}	72.2 ± 0.6 ^B
17 (Exp. IV)	62.5 ± 0.6 ^{a,A}	62.5 ± 0.3 ^{a,A}	62.7 ± 0.5 ^{a,A}	61.7 ± 0.4 ^A
b	0.057	0.055	0.055	0.056
a	22.07	23.34	23.34	22.77
R ²	0.969	0.973	0.973	0.973
Q ₁₀	1.8	1.7	1.7	1.8

Data are the mean ± S.E. (n=24) of oxygen consumption (OC) in mg O₂/kg/h. Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between days at each water temperature ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of oxygen consumption between water temperature at each days ($P < 0.05$). Parameters “b” and “a” are for the exponential model, $OC = a \times \text{EXP}(bT)$; R² is for the liberalized transform of the exponential model, $\ln(OC) = \ln(a) + bT$.

Table 2. Mean oxygen consumption (mg O₂/kg/h) of giant grouper for water temperature during light and dark period

Water temperature (°C)	Light period				Dark period			
	Day-1	Day-2	Day-3	Mean	Day-1	Day-2	Day-3	Mean
32 (Exp II)	151.2 ± 1.9 ^{a*}	146.2 ± 1.7 ^{a*}	145.5 ± 2.1 ^{a*}	147.6 ± 2.1 [*]	138.8 ± 1.1 ^b	135.5 ± 1.3 ^{ab}	133.0 ± 1.2 ^a	135.8 ± 0.8
27 (Exp I)	108.0 ± 1.4 ^{a*}	107.8 ± 1.4 ^{a*}	107.5 ± 1.2 ^{a*}	107.7 ± 1.2 [*]	97.5 ± 1.5 ^a	97.9 ± 0.8 ^a	98.7 ± 1.1 ^a	98.0 ± 0.7
22 (Exp III)	74.4 ± 1.2 ^{a*}	74.9 ± 1.3 ^{a*}	75.0 ± 1.2 ^{a*}	74.8 ± 0.7 [*]	69.6 ± 1.2 ^a	70.0 ± 1.0 ^a	69.2 ± 1.1 ^a	69.6 ± 0.6
17 (Exp IV)	62.8 ± 1.0 ^a	62.5 ± 0.5 ^a	62.7 ± 0.7 ^a	62.7 ± 0.4	62.2 ± 0.6 ^a	62.4 ± 0.5 ^a	62.8 ± 0.7 ^a	62.5 ± 0.3
b	0.060	0.058	0.057	0.058	0.054	0.053	0.052	0.053
a	21.41	22.26	22.53	22.06	22.79	23.68	24.20	23.54
R ²	0.978	0.984	0.983	0.982	0.957	0.963	0.957	0.959
Q ₁₀	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7

Data are the mean ± S.E. (n=12) of oxygen consumption (OC) in mg O₂/kg/h. Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between days at each water temperature ($P < 0.05$). Asterisk indicates significant differences of oxygen consumption between light and dark period at within each days and water temperature ($P < 0.05$). Parameters “b” and “a” are for the exponential model, $OC = a \times \text{EXP}(bT)$; R² is for the liberalized transform of the exponential model, $\ln(OC) = \ln(a) + bT$.

62.5 ± 0.3 mg O₂/kg/h, 3일째에 62.7 ± 0.5 mg O₂/kg/h로 산소소비량은 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$).

수온별 일일 평균 산소소비량은 수온이 17°C일 때, 평균 61.7 ± 0.4 mg O₂/kg/h, 22°C일 때, 72.2 ± 0.6 mg O₂/kg/h, 27°C일 때, 102.9 ± 0.8 mg O₂/kg/h, 32°C일 때, 141.7 ± 1.0 mg O₂/kg/h로 수온이 높을수록 산소소비량은 유의하게 증가하였다 ($P < 0.05$). 또한 수온별 일일평균 산소소비량 평균값들의 지수함수식 증가 기울기 값 (b)은 0.056, R²값은 0.973로 높은 상관관계를 보였으며, Q₁₀값은 평균 1.8로 나타났다.

3. 수온별 광조건에 따른 산소소비량

수온 27°C에서 사육중인 실험어를 각각의 실험수온으로 변화 후 광조건에 따른 산소소비량을 측정한 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다.

Exp. I(대조구, 27°C)에서 3일간 측정된 실험어의 명기동안 평균 산소소비량은 107.7 ± 1.2 mg O₂/kg/h, 암기동안 평균 산소소비량은 98.0 ± 0.7 mg O₂/kg/h로 암기 보다 명기에 산소소비량이 유의하게 높았다 ($P < 0.05$). 수온을 27°C에서 32°C로 상승시킨 Exp II에서 명기와 암기동안 평균 산소소

비량은 각각 147.6 ± 2.1, 135.8 ± 0.8 mg O₂/kg/h로 암기 보다 명기에 산소소비량이 유의하게 높았다 ($P < 0.05$). 수온을 27°C에서 22°C로 저하시킨 Exp III에서 명기와 암기동안 평균 산소소비량은 각각 75.0 ± 0.7, 69.6 ± 0.6 mg O₂/kg/h로 명기에 산소소비량이 유의하게 높았다 ($P < 0.05$). 수온을 27°C에서 17°C로 저하시킨 Exp IV에서 3일간 측정된 실험어의 명기와 암기동안 평균 산소소비량은 62.7 ± 0.4, 62.5 ± 0.3 mg O₂/kg/h로 명암기의 산소소비량은 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$).

수온상승에 따른 명기와 암기의 산소소비량은 지수함수식 증가 기울기 값 (b)은 각각 0.058, 0.053, R²값은 각각 0.982, 0.959로 암기보다 명기에 수온상승에 따른 산소소비량이 크게 증가하였으며 상관관계도 높았다. 명기와 암기의 수온상승에 따른 산소소소비량의 Q₁₀값은 각각 1.8, 1.7로 암기보다 명기가 높게 나타났다.

4. 수온별 호흡수 및 호흡당 산소소비량

수온별 실험어의 명기동안에 분당 호흡수 및 호흡당 산소소비량 변화는 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

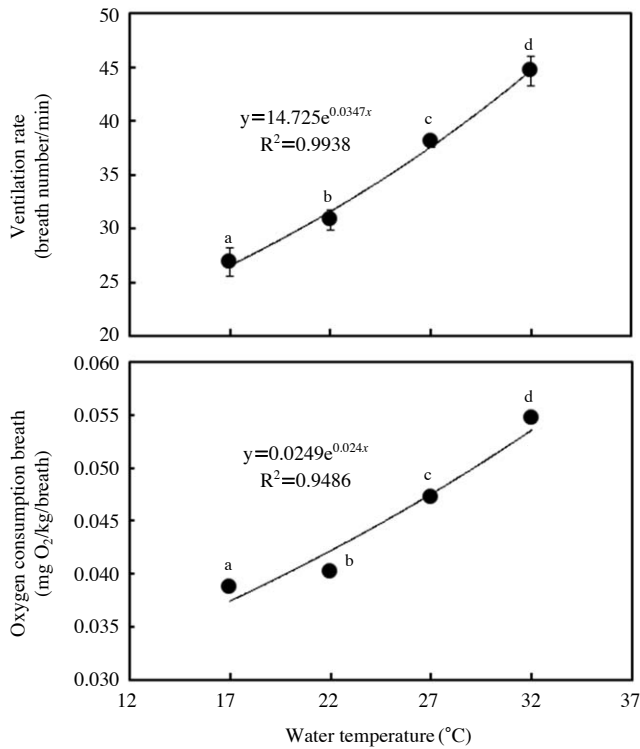


Fig. 3. Ventilation rate and oxygen consumption per breath of giant grouper for water temperature. Different small letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

수온 17, 22, 27 및 32°C에서 실험어의 분당 호흡수는 각각 27 ± 1.3 , 31 ± 0.9 , 38 ± 0.6 및 45 ± 1.4 회로 수온이 증가할수록 호흡수도 유의하게 증가 하였으며 ($P < 0.05$), 수온상승에 따른 호흡수의 지수함수식 증가 기울기 값(b)은 0.034, R^2 값은 0.993으로 높은 상관관계를 보였다. 또한 수온이 10°C 상승했을 때 호흡수는 약 1.4배 증가하는 것으로 나타났다.

수온 17, 22, 27 및 32°C에서 명기동안 실험어의 호흡당 산소소비량은 각각 0.0387 ± 0.0003 , 0.0402 ± 0.0004 , 0.0473 ± 0.0003 및 0.0547 ± 0.0004 mg O₂/kg/breath로 수온상승과 비례하여 호흡당 산소소비량도 유의하게 증가 하였다 ($P < 0.05$). 수온상승에 따른 호흡당 산소소비량의 지수함수식 증가 기울기 값(b)은 0.024, R^2 값은 0.948로 수온상승에 따른 호흡수의 상관관계 보다는 낮지만 비교적 높은 상관관계를 보였다. 또한 수온상승에 따른 호흡당 산소소비량의 Q_{10} 값은 1.3으로 나타났다.

고 찰

수중에서 서식하는 어류는 수온, 염분, 광주기 등 환경변화에 민감하게 반응하며, 이는 스트레스로 작용하여 생리활

성을 변화시키는 것으로 알려져 있다. 또한 양식에 있어서 수중에 녹아있는 용존산소의 양은 양식동물의 생존과 밀접한 관계가 있다 (Chatelier *et al.*, 2005; 변 등, 2008; 양 등, 2013). Spencer (1939)와 Spoor (1946)는 어류의 산소소비 관계를 주간활동형, 야간활동형, 불규칙활동형의 3가지 형태로 구분한 바가 있으며, 많은 연구자들은 어류의 산소소비에 결정적인 영향을 주는 요인으로 수온을 대표적인 예로 들었다 (Xie and Sum, 1990; 장 등, 2005). 또한 Horning and Pearson (1973)은 어체가 수온변화에 적응할 때 중요한 요인은 광주기와 적응온도로서, 고수온에 적응된 어류는 저수온에 약하고, 저수온에 적응된 어류는 고수온에 약하다고 보고하였다. 변 등 (2008)은 강도다리를 대상으로 수온에 따른 산소소비를 측정된 결과, 수온상승과 비례하여 산소소비량은 증가하였으며, 암기에는 산소소비가 많고 명기에는 산소소비가 적은 야간활동형 어류임을 밝힌 바 있다. 또한 정 등 (2009)은 수온 20°C 이하에서 강도다리는 명암기의 산소소비 리듬이 명확했으나, 수온이 25°C로 상승하자 명암기의 산소소비 리듬이 사라지는 경향을 보여 강도다리는 저수온에 적응된 냉수성 어류라고 보고하였다. 대왕바리와 비슷한 능성어과 어류인 자바리의 산소소비는 수온상승과 비례하여 증가하였으며, 수온 25°C에서는 명기에 산소소비가 많고, 암기에 산소소비가 적은 명확한 산소소비 리듬을 보였다. 그러나 수온 20°C 이하에서는 명암기의 산소소비량은 유의한 차이를 보이지 않아, 자바리는 고수온 적응된 아열대 및 열대성 어류라고 보고하였다 (양 등, 2013). 본 연구에서 대왕바리의 산소소비는 수온상승과 비례하여 증가하였으며, 22°C 이상에서는 명기에 산소소비가 많고 암기에 산소소비가 적은 명확한 산소소비 경향을 보여 주간활동형 어종으로 판단된다. 또한 수온 22°C 이하인 17°C에서는 명확했던 명암기의 산소소비 리듬이 사라지는 경향을 보여, 대왕바리는 고수온에 적응된 아열대 및 열대성 어종을 확인했다.

Dalla Valle *et al.* (2003)은 어류의 호흡수와 산소소비는 상호관계에 있어 아가미 덮개의 개폐횟수와 폭의 통합적 압력 차이를 측정하면 단일 횟수에 따른 보다 정확한 산소소비량 예측이 가능하다고 하였다. 변 등 (2008)은 수온이 20°C일 때 강도다리의 분당 호흡수는 41회라고 보고하였으며, 감성돔 *Acanthopagrus schlegeli*는 100회 이상 (정 등, 2007), 자바리는 15회라고 보고하였다 (양 등, 2013). 본 연구에서 대왕바리의 분당 호흡수는 수온 22°C일 때 31회로 감성돔과 강도다리 보다는 적고 자바리 보다는 많은 호흡수를 보였다. 저자는 이러한 어종별 호흡수의 차이를 환경 및 종 특이성에 따른 원인도 있겠지만, 어류의 행동특성과 많은 연관이 있는 것으로 추측하고 있다. 변 등 (2008)은 활발한 유영활동을 하는 감성돔의 경우 유영을 하는데 많은 에너지가 필요하며, 에너지 생산을 위해서는 산소가 많이

필요하게 된다. 따라서 감성돔은 충분한 호흡을 하기 위해서 아가미 개폐운동이 많아지는 반면, 강도다리는 유영활동이 적은 저서정착성 어류로 에너지 소비가 적으므로 많은 양의 산소공급이 불필요하며, 이로 인해 호흡을 위한 아가미 개폐운동이 적은 것으로 판단된다고 하였다. 저자가 실험을 통해 대왕바리의 행동특성을 관찰한 결과 사육수조 내에서 대왕바리는 섭식활동을 위한 유영 외에는 거의 움직임 없었으며, 움직이는 속도 역시 느렸다. 따라서 대왕바리는 강도다리와 같이 유영하는데 필요한 에너지 소비가 적고, 이로 인해 호흡을 위한 아가미 개폐운동이 적었던 것으로 추측된다. 그러나 어류의 호흡수와 행동특성에 관한 명확한 연구결과가 아직 없기 때문에 이 부분에 관한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합하여 보면 대왕바리는 명기에 산소소비가 많고 암기에 산소소비가 적은 주간활동형 어종이며, 수온 22°C 이하에서는 생체리듬이 흐트러지는 고수온에 적응된 아열대 및 열대성 어종임을 확인하였다. 따라서 대왕바리의 양식 시, 야간보다는 주간에 사료공급 및 수중에 산소를 더 공급하여야 하며, 사육수온을 22°C 이상으로 유지하는 것이 대왕바리를 건강하게 양식하는 방법이라고 판단된다.

요 약

본 연구에서는 수온 및 광조건에 따른 대왕바리 *Epinephelus lanceolatus*의 산소소비 특성을 조사하였다. 수온 17, 22, 27 및 32°C에서 대왕바리의 산소소비량은 각각 61.7 ± 0.4 , 72.2 ± 0.6 , 102.9 ± 0.8 및 141.7 ± 1.0 mg O₂/kg/h으로 수온 상승과 비례하여 증가하였다. 광조건은 명기(06:00~18:00 h)와 암기(18:00~06:00 h)는 각각 12시간씩 주었으며, 수온 17°C에서 명기와 암기의 산소소비량은 각각 62.7 ± 0.4 , 62.5 ± 0.3 mg O₂/kg/h로 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$). 수온 22°C에서 명기와 암기의 산소소비량은 각각 74.8 ± 0.7 , 69.6 ± 0.6 mg O₂/kg/h, 수온 27°C에서는 107 ± 1.2 , 98.0 ± 0.7 mg O₂/kg/h, 그리고 수온 32°C에서는 147.6 ± 1.1 , 135.8 ± 0.8 mg O₂/kg/h로 암기보다 명기에 산소소비가 많은 경향을 보였다.

사 사

본 연구는 국립수산물연구원 수산시험연구과제인 수산생물 종보존 및 복원 연구(RP-2014-AQ-133)의 일부로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- 김병호 · 김경민 · 이영돈 · 송춘복 · 노섭. 1997. 능성어, *Epinephelus septemfasciatus*의 번식생물학적 연구 I. HCG 처리에 의한 배란유도. 한국양식학회지, 10: 55-61.
- 변순규 · 정민환 · 이종하 · 이배익 · 구학동 · 박성언 · 김이청 · 장영진. 수온에 따른 강도다리 *Platichthys stellatus*의 산소소비 리듬. 한국수산과학회지, 41: 113-118.
- 양상근 · 지승철 · 문태석 · 김경민 · 정민환. 2013. 수온, 광조건 및 밀도에 따른 자바리(*Epinephelus bruneus*)의 산소소비 특성. 한국수산과학회지, 46: 195-200.
- 임한규 · 변순규 · 이종하 · 박상언 · 김이청 · 한형균 · 민병화 · 이배익. 2007. 실내 사육한 강도다리 *Platichthys stellatus*의 성성숙과 생식주기. 한국양식학회지, 20: 212-218.
- 임한규 · 정민환 · 한형균 · 이종하 · 장영진. 수온, 염분 및 광주기에 따른 잡종 striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂)의 산소소비. 한국양식학회지, 17: 258-261.
- 정민환 · 김영수 · 민병화 · 장영진. 해수 및 담수사육 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*의 호흡측정실내 수용개체수에 따른 산소소비 비교. 한국양식학회지, 20: 121-126.
- 정민환 · 변순규 · 임한규 · 민병화 · 김영수 · 장영진. 2009. 해수 및 담수사육 강도다리 *Platichthys stellatus*의 산소소비에 미치는 수온의 영향. 환경생물, 27: 285-291.
- 조재윤 · 김유희. 1999. 참메기, *Silurus asotus*의 수온과 광주기 변화에 따른 산소 소비량. 한국수산과학회지, 32: 56-61.
- 지승철 · 타카오카 오사무 · 타키이 켄지 · 정관식 · 한석중. 2008. 참다랑어 *Thunnus orientalis*의 종묘생산과 치어의 적정 사육수조 및 단백질 검토. 한국양식학회지, 21: 289-284.
- Burleson, M.L., D.R. Wilhelm and N.J. Smatresk. 2001. The influence of fish size on the avoidance of hypoxia and oxygen selection by largemouth bass. J. Fish. Biol., 59: 1336-1349.
- Chang, Y.J., M.H. Jeong, B.H. Min, W.H. Neill and L.P. Fontaine. 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., D.J. Mckenzie and G. Claireaux. 2005. Effects of changes in water salinity upon exercise and cardiac performance in the European seabass (*Dicentrarchus labrax*). Mar. Biol., 147: 855-862.
- Dalla Valla, A.Z., R. Rivas-Diaz and G. Claireaux. 2003. Opercular differential pressure as a predictor of metabolic oxygen demand in the starry flounder. J. Fish. Biol., 63: 1578-1588.
- FAO. 1993. FAO species catalogue Vol. 16. Groupers of the world. FAO Rome, pp. 1-10.
- 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. and D. Pauly (eds). 2014. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org (version 09/2014).
- Horning, W.B.I. and R.E. Pearson. 1973. Growth temperature requirement and lower lethal temperature for juvenile smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*). J. Fish. Res. Bd. Can.,

30: 1226-1230.

- Lund, S.G. and B.L. Tufts. 2003. The physiological effects of heat stress and the role of heat shock proteins in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) red blood cells. *Fish. Physiol. Biochem.*, 20: 279-292.
- Myoung, J.G., C.B. Kang, J.M. Yoo, E.K. Lee, S. Kim, C.H. Jeong and B.I. Kim. 2013. First record of the giant grouper *Epinephelus lanceolatus* (Perciformes: Serranidae: Epinephelinae) from Jeju Island, South Korea. *Fish. Aquat. Sci.*, 16: 49-52.

- 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.
- Xie, X. and R. Sun. 1990. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalia* Chen): I. Resting metabolic rate as a function of body weight and temperature. *Physiol. Zool.*, 63: 1181-1195.