

장기간 담수에서 사육한 수컷 감성돔 *Acanthopagrus schlegelii*의 번식기간동안 수온별 산소소비 특성

정민환 · 민병화 · 박미선 · 임한규* · 장영진** · 명정인†
(† 국립수산과학원 · *목포대학교 · **부경대학교)

Oxygen Consumption of Long-term Cultured Male Black porgy *Acanthopagrus schlegelii* in Freshwater by Water Temperature During the Reproductive Period

Min-Hwan JEONG · Byung-Hwa MIN · Mi-Seon PARK · Han-Kyu LIM* ·
Young-Jin CHANG** · Jeong-In MYEONG†

(†National Fisheries Research and Development Institute · *Mokpo National University ·
**Pukyong National University)

Abstract

Oxygen consumption (OC) of male black porgy *Acanthopagrus schlegelii* reared in freshwater (BFW) and seawater (BSW) during the reproductive period was 165.4±11.0, 77.6±8.0 mg O₂/kg/h at 15°C, 186.2±13.1, 133.4±6.7 mg O₂/kg/h at 20°C and 267.9±19.1, 198.6±8.3 mg O₂/kg/h at 25°C, respectively. During the non-reproductive period, it was shown as 174.0±7.0, 85.6±5.5 mg O₂/kg/h at 15°C, 200.6±11.1, 119.2±8.7 mg O₂/kg/h at 20°C and 271.1±7.5, 194.7±16.7 mg O₂/kg/h at 25°C, respectively. Thus, OC of BFW was higher than BSW both for non-reproductive and reproductive period. Also, OC increased in proportion to the rise in water temperature, and there was no difference of OC between BFW and BSW at each water temperature during the reproductive or non-reproductive period. OC of BFW and BSW showed clear circadian rhythms on photic conditions of reproductive and non-reproductive period, and the fish consumed more oxygen during the dark phase than for the light phase. In particular, OC of BFW during the reproductive period increased more sharply compared to non-reproductive period when the increase of water temperature was accompanied by the shift from dark to light phase. This implies that they react to the light more sensitively for reproductive period than for non-reproductive period.

Key words : *Acanthopagrus schlegelii*, Oxygen consumption, Reproductive period, Salinity, Photoperiod

I. 서론

공기호흡을 하는 육상동물뿐만 아니라 수중에

서 아가미를 통하여 산소를 섭취하는 어패류에 있어서도 호흡 즉, 산소소비는 대사의 유용한 척도가 되고 있다. 특히, 가두어진 공간속의 어류는

† Corresponding Author : 051-720-2410, cosmo@korea.kr

* 이 논문은 국립수산과학원 수산시험연구과제인 해양특화 생태통합양식(IMTA) 기술 개발 (RP-2014-AQ-003) 사업의 지원으로 수행되었음.

빈산소 환경에서 호흡곤란을 일으키거나 죽는 경우가 발생하기 때문에 지수식은 물론, 유수식 어류양식장에서 산소공급은 중요한 관리사항 중 하나이다. 어류의 산소소비는 수온(Brett, J. R. & Glass, N. R., 1973; Wi, Jong-Hwa & Chang, Young-Jin, 1976), 염분(Rao, Madan-Mohan, 1971; Forsberg, Odd-Inge, 1994), 광주기(Withey, Kathryn-G. & Saunders, Richard-L., 1973), 어체크기(Brett, J. R. & Glass, N. R., 1973), 사료공급량(Brett, J. R. & Groves, T. D. D., 1979) 및 스트레스(Smart, G., 1981; Barton, Bruce-A. & Schreck, Carl-B., 1987) 등 여러 가지 요인에 의해 달라지는 것으로 알려져 있다.

일반적으로 어류는 번식시기에 생식소발달로 인해 에너지 소비가 많고, 이로 인해 대사량이 증가하는 것으로 알려져 있으나, 번식시기에 양식 어류의 에너지 소비 측정을 위한 산소소비 패턴이나, 산소요구량에 관한 연구는 미비한 실정이다. 또한 해수어류의 담수순화시 사육수의 염분변화는 삼투압조절에 영향을 미침으로써, 이온과 수분 평형에 혼란을 일으키며 어체의 산소소비 변화, 생리조건 악화 및 성장지연을 초래하는 것으로 알려져 있다(Singley, J. A. & Chavin, W., 1971; Jeong, Min-Hwan · Kim, Young-Soo · Min, Byung-Hwa & Chang, Young-Jin, 2007; Lim, Han-Kyu · Kim, Young-Soo · Son, Maeng-Hyun · Kim, Kyoung-Duck · Jeong, Min-Hwan & Chang Young-Jin, 2012; Son, Maeng-Hyun · Lim, Han-Kyu · Do, Youg-Hyun & Jeong, Min-Hwan, 2012).

감성돔은 수온 및 염분 등 환경변화에 강한 어종으로 이미 담수양식기법이 개발되었을 뿐만 아니라, 염분변화에 따른 다양한 생리학적 연구가 이루어진 바 있다(Min, Byung-Hwa · Kim, Bum-Kwang · Hur, Jun-Wook · Bang, In-Chul · Byun, Sun-Kyu · Choi, Cheol Young & Chang, Young-Jin, 2003; Min, Byung-Hwa · Noh, Gyoung-Ane · Jeong Min-Hwan · Kang Duk-Young · Choi, Cheol Young · Bang, In-Chul & Chang, Young-Jin, 2006). 그러나 아직

까지 국내외적으로 담수순화 감성돔의 번식과 관련된 자료는 미비한 편이며, 번식기간에 산소소비와 같은 대사활성에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 담수순화 과정을 거쳐 담수에 잘 적응된 수컷 감성돔(담수감성돔)과 해수사육 수컷 감성돔(해수감성돔)의 번식기간과 비번식기간에 수온 변화에 따른 산소소비 경향을 측정하여, 번식기간에 수컷 감성돔의 기초대사 및 사육수의 환경변화가 대사활성에 미치는 영향을 알아보고 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어 및 실험조건

수컷 감성돔의 번식기간(reproductive period, Feb. ~ Jun.; RP) 및 비번식기간(non-reproductive period, Jul. ~ Nov.; NRP)동안 산소소비 실험에 사용한 담수감성돔의 전장은 22.2±0.7 cm, 체중 208.5±8.5 g, 해수감성돔의 전장은 23.0±0.5 cm, 체중 224.4±14.4 g이었다.

각각의 실험에서 수온은 15, 20 및 25℃, 광조건은 명기와 암기 각각 12시간씩이었다. 명기의 밝기는 1,032±24 lux, 암기에는 차광막을 사용하여 빛을 완전히 차단하였다. 유량은 분당 650 ~ 700 mL로 하였으며, 모든 실험은 3반복으로 실시하였다. 실험용수의 물리·화학적 수질을 분석한 결과, 실험개시부터 실험종료까지 안정된 조건이었다(<Table 1> 참조).

2. 산소소비 측정장치

RP 및 NRP동안 담수 및 해수감성돔의 산소소비를 비교하기 위하여 사용한 주요 장치는 호흡실과 유입·유출수실, 집수탱크 I·II, 컴퓨터, 온도 조절 순환수조(JS-WBP-170RP, Johnsam Co., Bucheon, Korea), Multichannel Monitoring Systems for Dissolved Oxygen and Other Parameters (OxyGuard

6, OxyGuard International A/S, Birkerød, Denmark) 로 구성되어 있다.

<Table 1> Results of water quality measurements in the tanks of male black porgy *Acanthopagrus schlegelii* reared in freshwater (BFW) and seawater (BSW)

Experimental fish	BFW		BSW	
	RP	NRP	RP	NRP
Ammonia (mg/L)	0.898 ±0.021	0.883 ±0.009	0.672 ±0.021	0.704 ±0.051
Nitrite (mg/L)	0.043 ±0.003	0.043 ±0.008	0.037 ±0.002	0.048 ±0.016
Nitrate (mg/L)	35.6 ±2.2	33.3 ±3.2	9.1 ±0.3	9.3 ±0.5
Hardness (mg/L)	276.7 ±2.9	240.0 ±5.0	5500.0 ±30.0	5540.0 ±17.3
Conductivity (ms/cm)	0.478 ±0.002	0.481 ±0.006	38.0 ±0.5	38.8 ±0.4

RP: Reproduction period, NRP: Non-reproduction period.

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 산소포기장치(AS)에 의하여 실험어에 의해 소비된 용존산소가 보충되며, 펌프(P)에 의하여 향온수조(WB & FU)로 보내어진다. 향온수조로 보내어진 실험용수는 수온과 수질이 조절된 후, 다시 집수탱크 I로 보내어져 순환하게 된다.

용존산소 측정은 유입수실과 호흡실 그리고 유출수실에 각각 용존산소 센서(OS)를 부착시켜 측정했으며, 온도조절 순환수조와 집수탱크 I·II에는 수온센서(TS)를 부착시켜 수온변화를 측정하였다. 이렇게 측정된 용존산소량과 수온은 Oxyguard 6 프로그램에 의해 10분 간격으로 컴퓨

터에 자동 저장된다.

실험 전, 산소소비 측정 시 호흡실에 존재할 가능성이 있는 세균에 의한 산소소비량을 측정하여 실험어의 산소소비량 계산 시 보정하기 위하여, 호흡실에 실험어를 넣지 않고 수온별, 광주기별로 산소소비량을 측정하였다. 그 결과 세균에 의한 산소소비는 무시해도 좋을 수준으로 나타나 보정해 줄 필요가 없었다.

3. 산소소비 실험방법

실험개시 전 실험어를 24시간동안 절식시킨 후, 스트레스를 최소화하여 호흡실로 신속히 옮겨졌다. 그 후, 사육용수의 수온을 15℃로 조절하여, 실험어가 15℃에 적응 할 수 있도록 24시간 동안 수온 적응 기간을 주고, 15℃ 수온 적응 기간 후에 24시간 동안 15℃에서 감성돔의 산소소비량을 측정하였다. 15℃의 산소소비량을 측정한 후, 수온을 20℃로 조절하였다. 이와 같은 방법으로 25℃까지 수온을 조절하면서 실험어의 산소소비량을 측정하였다. 모든 실험에서 명기는 오전 9시부터 오후 9시까지, 암기는 오후 9시부터 오전 9시까지 인위적으로 광조건을 조절하였으며, 수온조절은 오전 9시부터 시작하여 1시간에 0.5℃씩 조절하였다.

4. 산소소비 계산

실험어의 산소소비량은 실험기간동안 10분 간격으로 자동 측정된 유입수와 유출수의 용존산소량을 토대로 계산된 단위체중당 산소소비량(mg O₂/kg/h)을 평균값으로 나타냈다.

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

여기에서, C_i = 유입수의 용존산소량, mg/L; C_o = 유출수의 용존산소량, mg/L; F = 유량, L/min; W = 어체총중량, kg 이다.

5. 통계분석

모든 측정값은 평균±표준오차로 나타냈으며, 유의차는 SPSS-통계패키지(version 12.0)를 이용하여 Independent samples t-test와 one-way ANOVA -test로 검정하였으며, 집단간의 다중비교는 Duncan's multiple range test에 의해 검정하였다(P<0.05). 또한 수온, 염분 및 광주조건에 따른 수컷 감성돔의 산소소비량 변화의 상관관계를 알아보기로 two-way ANOVA-test 및 multi-way ANOVA -test를 실시하였다.

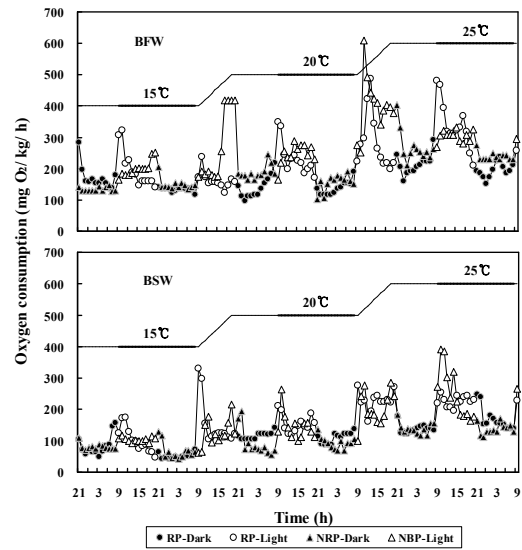
Ⅲ. 결 과

1. 산소소비 일주리듬

RP 및 NRP동안 담수 및 해수감성돔의 산소소비 패턴을 알아보기 위하여 수온 15℃부터 1일 간격으로 5℃씩 상승하여 20℃와 25℃까지 연속적으로 산소소비를 측정하는 결과, [Fig. 1]에서 보는 바와 같다.

담수감성돔의 RP 및 NRP동안 산소소비는 명·암기 모두 해수감성돔보다 높았으며, 담수 및 해수감성돔 모두 명기에 산소소비가 많고, 암기에는 산소소비가 적은 일주리듬을 보였다. 또한 담수 및 해수감성돔 모두 수온상승과 비례하여 산소소비가 증가하는 경향을 나타냈다.

RP 및 NRP동안 담수 및 해수감성돔 모두 각각의 설정수온에서는 명기에 산소소비가 많고, 암기에 산소소비가 적은 경향을 나타냈으며, 각 명·암기동안 비교적 안정된 산소소비 패턴을 보였다. 그러나 각 실험수온 사이의 수온상승 및 명·암기가 바뀌는 시간대의 모든 실험조건에서 감성돔은 일시적으로 산소소비가 증가하는 경향을 보였다. 특히 해수감성돔과 비교했을 때, RP 동안 담수감성돔은 NRP때 보다 암기에서 명기로 바뀌는 시간대에서 산소소비가 급격히 증가하는 경향을 보였다([Fig. 1] 참조).



[Fig. 1] Circadian changes of oxygen consumption (mg O₂/kg/h) of black porgy *Acanthopagrus schlegelii* reared in freshwater (BFW) and seawater (BSW) at different water temperature in the reproductive period (RP) and non-reproductive period (NRP).

2. 수온별 산소소비량

RP 및 NRP동안 담수 및 해수감성돔을 이용하여 수온 15℃부터 1일 간격으로 5℃씩 상승하여 20℃와 25℃까지 연속적으로 산소소비를 측정하는 수온별 산소소비량은 <Table 2>에서 보는 바와 같다. RP동안 담수 및 해수감성돔의 수온별 산소소비량은 15℃에서 각각 165.4±11.0, 77.6±8.0 mg O₂/kg/h, 20℃에서 186.2±13.1, 133.4±6.7 mg O₂/kg/h, 25℃에서 267.9±19.1, 198.6±8.3 mg O₂/kg/h였으며, NRP동안 담수 및 해수감성돔의 산소소비량은 15℃에서 각각 174.0±7.0, 85.6±5.5 mg O₂/kg/h, 20℃에서 200.6±11.1, 119.2±8.7 mg O₂/kg/h, 25℃에서 271.1±7.5, 194.7±16.7 mg O₂/kg/h로 RP 및 NRP동안 담수감성돔이 해수감성돔보다 산소소비량을 유의하게 많았다(P<0.05). 또한 수온상승과 비례하여 산소소비량은 증가하였으며, RP 및 NRP동안 담수 및 해수감성돔 각

각의 산소소비량은 차이를 보이지 않았다.

각각의 수온에서 RP 및 NRP동안 해수감성돔 산소소비량을 1로 했을 때, RP 및 NRP동안 담수 감성돔 산소소비는 수온 15℃에서 각각 2.1, 2.0 배, 20℃에서는 1.4, 1.7배, 25℃에서 1.4, 1.4배로, 모두 담수감성돔의 산소소비가 많았다. RP 및

NRP동안 해수감성돔의 수온상승에 따른 산소소비량은 지수함수적인 경향을 나타내었으며, 이들의 산소소비 증가 기울기(b) 값은 각각 0.102, 0.081, Q10 값은 2.77, 2.24로 담수감성돔보다 수온상승에 따른 산소소비 증가량이 높았다.

<Table 2> Oxygen consumption (mg O₂/kg/h) of male black porgy *Acanthopagrus schlegelii* reared in freshwater (BFW) and seawater (BSW) at different water temperature in the reproductive period (RP) and non-reproductive period (NRP)

WT (°C)	BFW		BSW	
	BP	NBP	BP	NBP
15	165.4±11.0 ^{a*}	174.0±7.0 ^{a*}	77.6±8.0 ^a	85.6±5.5 ^a
20	186.2±13.1 ^{a*}	200.6±11.1 ^{b*}	133.4±6.7 ^b	119.2±8.7 ^b
25	267.9±19.1 ^{b*}	271.1±7.5 ^{c*}	198.6±8.3 ^c	194.7±16.7 ^c
b	0.047	0.045	0.102	0.081
a	75.62	83.78	15.79	23.69
R ²	0.277	0.422	0.642	0.482
Q ₁₀	1.60	1.57	2.77	2.24

Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between water temperature within RP and NRP ($P < 0.05$). Asterisk indicates significant differences of oxygen consumption between BFW and BSW within RP and NRP ($P < 0.05$).

3. 광조건별 산소소비량

RP 및 NRP동안 담수 및 해수감성돔을 수온 15, 20 그리고 25℃까지 연속적으로 상승시키면

서 광조건별로 산소소비량을 측정 한 결과는 <Table 3>에서 보는 바와 같다.

<Table 3> Oxygen consumption (mg O₂/kg/h) of male black porgy *Acanthopagrus schlegelii* reared in freshwater (BFW) and seawater (BSW) at different photic conditions in the reproductive period (RP) and non-reproductive period (NRP)

WT (°C)	BFW				BSW			
	Light period		Dark period		Light period		Dark period	
	RP	NRP	RP	NRP	RP	NRP	RP	NRP
15	198.1±17.6 ^{a*}	199.4±7.5 ^{a*}	132.8±2.0 ^a	148.6±5.4 ^{a†}	102.8±11.9 ^{a*}	103.7±2.2 ^{a*}	52.3±2.7 ^a	67.6±8.0 ^a
20	234.7±15.8 ^{a*}	245.5±9.6 ^{b*}	137.6±6.6 ^a	155.6±7.6 ^a	156.1±8.4 ^{b*}	145.2±12.7 ^{a*}	110.7±5.0 ^{b†}	93.1±5.5 ^b
25	340.6±22.7 ^{b*}	303.6±5.4 ^{c*}	195.2±6.8 ^b	238.6±3.9 ^{b†}	227.4±5.0 ^{c*}	251.6±23.5 ^{b*}	169.8±10.7 ^{c†}	137.7±5.0 ^c
b	0.06	0.04	0.04	0.08	0.09	0.08	0.12	0.08
a	80.47	104.18	71.05	28.08	26.57	28.07	9.38	19.99
R ²	0.48	0.703	0.56	0.679	0.67	0.68	0.87	0.64
Q ₁₀	1.73	1.53	1.46	2.32	2.37	2.23	3.23	2.15

Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between water temperature within RP and NRP ($P < 0.05$). Asterisk indicates significant differences of oxygen consumption between BFW and BSW within RP and NRP ($P < 0.05$). † indicates significant differences of oxygen consumption between RP and NRP within BFW and BSW ($P < 0.05$).

RP 및 NRP동안 각 수온에서 광조건에 따른 담수감성돔의 산소소비량은 암기 보다 명기에 많았다. 수온 15°C와 20°C에서 RP동안 담수감성돔의 명기와 암기 산소소비량은 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). NRP동안 명기에서 담수감성돔의 산소소비량은 수온상승에 비례하여 증가하였으나, 암기 15°C와 20°C의 산소소비량은 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 각 수온에서 RP 및 NRP동안 담수감성돔에 대한 암기 산소소비량을 1로 했을 때, RP 명기에서 각각 1.5, 1.7 및 1.7배, NRP 명기에서 산소소비량은 각각 1.3, 1.6 및 1.3배로, NRP 명기 보다 RP 명기에서 산소소비량이 많았다. 또한 NRP동안 담수감성돔 명기와 암기의 수온상승에 따른 산소소비 증가 기울기(b) 값은 각각 0.04, 0.08, Q_{10} 값은 1.53, 2.32로 명기 보다 암기에서 산소소비량이 많았다. 그러나 RP동안 담수감성돔 명기와 암기의 수온상승에 따른 산소소비 증가 기울기(b) 값은 각각 0.06, 0.04, Q_{10} 값은 1.73, 1.46으로 암기 보다 명기에서 산소소비량이 많았다.

RP 및 NRP동안 해수감성돔의 산소소비량은 담수감성돔과 마찬가지로 암기 보다 명기에서 많았다. 각각의 수온에서 RP 및 NRP동안 해수감성돔 암기에 대한 산소소비량을 1로 했을 때, NRP 명기의 산소소비량은 각각 1.5, 1.6 및 1.8배로 수온상승과 비례하여 명기의 산소소비량은 증가하였으나, RP 명기의 산소소비량은 각각 2.0, 1.4 및 1.3배로 수온상승과 비례하여 명기의 산소소비량은 감소하는 경향을 보였다. 또한 NRP동안 해수감성돔 명기와 암기의 수온상승에 따른 산소소비 증가 기울기(b) 값은 각각 0.08, 0.08, Q_{10} 값은 2.23, 2.15로 비슷하게 산소소비량이 증가하였으나, RP동안 명기와 암기의 수온상승에 따른 산소소비 증가 기울기(b) 값은 각각 0.09, 0.12, Q_{10} 값은 2.37, 3.23으로 명기 보다 암기에서 산소소비량이 많았다.

4. 산소소비량에 영향을 미치는 수온, 염분 및 광조건의 상관관계

RP 및 NRP 동안 감성돔의 산소소비량에 영향을 미치는 수온과 염분, 수온과 광조건 및 염분과 광조건 그리고 수온, 염분 및 광조건의 상관관계를 알아보기 위해 multi-way ANOVA test를 실시한 결과, <Table 4>에서 보는 바와 같다.

RP동안 감성돔의 산소소비량에 미치는 수온과 염분은 상관관계를 없었으나, 수온과 광조건, 염분과 광조건은 상관관계가 있었다($P<0.05$). NRP동안 감성돔의 산소소비량에 미치는 수온과 염분, 염분과 광조건은 상관관계가 없었으나, 수온과 광조건은 상관관계가 있었다($P<0.05$). 또한 RP동안 수온, 염분 및 광조건의 상호 상관관계는 없었으나, NRP동안에는 상관관계가 있었다($P<0.05$).

<Table 4> P-values form multi-way ANOVAs of oxygen consumption (mg O₂/kg/h) of male black porgy *Acanthopagrus schlegelii* by water temperature, salinity and photic conditions in the reproductive period (RP) and non-reproductive period (NRP)

Parameter	RP	NRP
Water temperature	<0.001	<0.001
Salinity	<0.001	<0.001
Photic conditions	<0.001	<0.001
Water temperature × Salinity	0.096	0.681
Water temperature × Photic condition	0.023	0.004
Salinity × Photic condition	<0.001	0.915
Water temperature × Salinity × Photic condition	0.079	0.006

IV. 고찰

사육수의 염분변화는 어체의 스트레스로 작용하며, 스트레스에 노출된 어체는 일반적으로 3가지의 반응이 나타나는 것으로 알려져 있다. 이중 2차적 반응으로 혈액과 조직에서 카테콜아민과 cortisol의 작용으로 인해 심장박동, 산소소비, 에너지 동원의 증가, 물-이온의 평형이 깨지게 된다 (Tomasso, J. R. · Davis, Kenneth-B. & Parker, Nick-C., 1980; Eddy, F. B., 1981; Carmichael, G. J. · Tomasso, J. R. · Simco, B. S. & Davis, K. B., 1984; McDonald, G. & Milligan, L., 1997).

Bœuf, Gilles & Payan, Patrick(2001)은 많은 연구자들의 연구결과를 종합한 결과, 어류가 발생이나 성장하는 데에 있어 환경수의 염분변화에 영향을 받지 않는 어종은 거의 없음을 밝혔다. 또, Konstantinov, A. S. & Martynova, V. V.(1993)은 담수어인 잉어 *Cyprinus carpio*와 어린 러시아 철갑상어 *Acipenser guldenstaedti*의 경우, 2 psu의 염분상승은 성장률, 먹이효율을 상당량 끌어 올리며, 호흡률과 산소소비량의 감소를 초래한다고 하였다. 이와 같이 염분의 변화는 어류의 성장과 산소소비량에 영향을 미치므로 감성돔의 담수 사육에서도 산소소비량이 이 어종의 대사과 성장에 영향을 분명히 미치고 있다고 할 수 있다. 염분은 어류의 산소소비 변화에 영향을 주는 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, W. S.·Huh, H. T. · Lee, J. H. & Koh, C. H., 1998). 이와 반대로, white mullet *Mugil curema*는 수온이 20℃일 때 해수보다 담수에서 산소소비량이 더 많았다 (Fanta-Feofiloff, Edith · Eiras, Daura-Regina de-Brito-Boscardim, Ana-Teresa & Lacerda-Krambeck, Marcia, 1986). 또한 Gardner, John-Addyman & King George(1922)은 어류는 일반적으로 적정 온도범위에서 수온상승과 비례하여 산소소비량이 증가한

다고 하였다. 이후 많은 연구에서 같은 결과도 출되었으며, Wi, Jong-Hwan & Chang, Young-Jin (1976) 역시 붕장어 *Conger myriaster*의 수온(WT)과 산소소비량(OC)의 관계는 $OC = 6.831WT - 56.208$ 의 직선회귀 경향을 나타낸다고 하였다. 본 연구에서 RP 및 NRP동안 담수감성돔이 해수감성돔보다 산소소비량이 많은 반면, 수온상승에 따른 산소소비 증가 기울기가 해수감성돔이 높았던 것은 해수감성돔의 수온상승에 따른 대사속도가 담수감성돔에 비해 빠르다는 것을 의미한다. 하지만 그 이유에 대해서는 아직 밝혀진바 없으며, 앞으로 이에 대한 심도 있는 연구가 필요하겠다.

수온과 광주기는 어류의 생식소 발달, 성 성숙, 성호르몬 분비 및 방란·방정 등에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Lim, Sang-Gu & Han, Chang-Hee(2012)은 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*의 생식소 성숙은 수온상승에 의해 개시되며, 광주기는 보조적으로 작용하여 생식소 성숙을 촉진시킨다고 하였다. 특히 광주기는 어류에 있어서 방란·방정에 큰 영향을 미치는데, 일반적으로 어류의 방란·방정이 일몰 전·후 일어나는 것을 보면 알 수 있다. 또한 광주기는 어류의 산소소비 일주기듬에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, Spencer, Warren-P.(1939)와 Spoor, W. A.(1946)는 담수어류의 활성과 산소소비 관계를 3가지 형태(주간활동형, 야간활동형, 불규칙활동형)로 나누었다. 본 연구의 결과에서 RP 및 NRP동안 담수 및 해수감성돔은 명기와 암기의 광조건에서 명기에 산소소비가 많고, 암기에 산소소비가 적은 뚜렷한 일주기듬을 보임으로, 명기에 활성이 높은 주간활동형 어종으로 판단된다. 이와 같은 결과는 다른 경골어류에서도 보였다(Hettler, W. F., 1976; Guinea, J. & Fernández, F., 1991; Requena, A. · Fernández-Borrás, J. & Planas, J., 1997). Love, R.-Malcolm(1980)는 gulf killifish *Fundulus grandis*의 경우, 혈관 수축제인 세로토닌의 함량이 암기보다 명기동안에 높았으며, 금붕어의 혈중 부신피질자극호르몬의 경우 해가 뜨고 난 후 4시간과

7~9시간에서 정점을 나타내어, 분명하진 않지만 빛은 호르몬 분비의 기폭제 역할을 한다고 보고 하였다. 본 연구에서 RP동안 담수감성돔이 암기에서 명기로 바뀌는 시간대에서 일시적으로 산소 소비량이 급격히 증가하는 경향을 보여, 담수감성돔이 해수감성돔보다 번식시기에 빛에 대해 민감하게 반응하는 것으로 판단된다.

V. 요약 및 결론

담수에서 사육한 수컷 감성돔(담수감성돔)과 해수에서 사육한 수컷 감성돔(해수감성돔)의 번식기간 동안 산소소비량은 15°C에서 각각 165.4±11.0, 77.6±8.0 mg O₂/kg/h, 20°C에서 186.2±13.1, 133.4±6.7 mg O₂/kg/h, 25°C에서 267.9±19.1, 198.6±8.3 mg O₂/kg/h였다. 비번식기간에 담수 및 해수감성돔의 산소소비량은 15°C에서 각각 174.0±7.0, 85.6±5.5 mg O₂/kg/h, 20°C에서 200.6±11.1, 119.2±8.7 mg O₂/kg/h, 25°C에서 271.1±7.5, 194.7±16.7 mg O₂/kg/h로 번식 및 비번식기간 모두 담수감성돔이 해수감성돔보다 산소소비량을 많았다. 또한 수온상승과 비례하여 산소소비량은 증가하였으며, 각각의 수온에서 번식 및 비번식기간에 따른 담수 및 해수감성돔 산소소비량은 차이가 없었다. 번식 및 비번식기간의 담수 및 해수감성돔은 광조건에 따른 뚜렷한 산소소비 일주기성 보였으며, 암기보다 명기에서 산소소비량이 많았다. 특히 담수감성돔은 번식기간의 명기에서 수온을 상승시키는 시간뿐만 아니라 암기에서 명기로 전환 후 산소소비량이 급격히 증가하였다.

Reference

Barton, Bruce-A. & Schreck, Carl-B.(1987). Metabolic Cost of Acute Physical Stress in Juvenile Steelhead, Transactions of the American Fisheries Society 116(2), 257~263.
Bœuf, Gilles & Payan, Patrick(2001). How should

salinity influence fish growth?, Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology 130(4), 411~423.
Brett, J. R. & Glass, N. R.(1973). Metabolic Rates and Critical Swimming Speeds of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) in Relation to Size and Temperature, Journal of the Fisheries Research Board of Canada 30(3), 379~387.
Brett, J. R. & Groves, T. D. D.(1979). Physiological energetics, In: Fish Physiology Vol. VIII (ed. by W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett). pp. 279~352. Academic Press. New York.
Carmichael, G. J. · Tomasso, J. R. · Simco, B. S. & Davis, K. B.(1984). Characterization and alleviation of stress associated with hauling largemouth bass, Transactions of the American Fisheries Society 113(6), 778~785.
Eddy, F. B.(1981). Effects of stress on osmotic and ionic regulation in fish. (in) A.D. Pickering (ed.), Stress and Fish. Academic Press, London, pp. 77~102.
Fanta-Feofiloff, Edith · Eiras, Daura-Regina de-Brito · Boscardim, Ana-Teresa & Lacerda-Krambeck, Marcia(1986). Effect of salinity on the behavior and oxygen consumption of *Mugil curema* (Pisces, Mugilidae), Physiology & Behavior 36(6), 1029~1034.
Forsberg, Odd-Inge(1994). Modelling oxygen consumption rates of post-smolt atlantic salmon in commercial-scale land-based farms, Aquaculture International 2, 180~196.
Gardner, John-Addyman & King George(1922). Respiratory exchange in fresh-water fish. Part IV, Biochemical Journal 16(6), 729~735.
Guinea, J. & Fernández, F.(1991). The effect of SDA, temperature and daily rhythm on the energy metabolism of the mullet *Mugil saliens*, Aquaculture 97, 353~364.
Hettler, W. F.(1976). Influence of temperature and salinity on routine metabolic rate and growth of young Atlantic menhaden, Journal of Fish Biology 8(1), 55~65.
Jeong, Min-Hwan · Kim, Young-Soo · Min, Byung-Hwa & Chang, Young-Jin(2007). Effect of fish number in respiratory chamber on routine oxygen consumption of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii* reared in

- seawater or freshwater, *Journal of Aquaculture* 20(2), 121~126.
- 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, *Marine Biology* 131, 219~225.
- Konstantinov, A. S. & Martynova, V. V.(1993). Effect of salinity fluctuations on energetics of juvenile fish, *Journal of Ichthyology* 33, 161~166.
- Lim, Han-Kyu · Kim, Young-Soo · Son, Maeng-Hyun · Kim, Kyoung-Duck · Jeong, Min-Hwan & Chang Young-Jin(2012). Quality characteristics of starry flounder *Platichthys stellatus* meat reared in different salinity, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education* 24(2), 324~332
- Lim, Sang-Gu & Han, Chang-Hee(2012). Effect of water temperature and photoperiods on gonadal development in banded catfish *Pseudobagrus fulvidraco*, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education* 24(6), 854~861.
- Love, R-Malcolm(1980). The chemical biology of fishes. Vol. II. *Advances* 1968-1977, (p. 943) Academic Press, New York.
- McDonald, G. & Milligan, L.(1997). Ionic, osmotic and acid base regulation in stress. In: Iwama, G. W. · Pickering, A. D. · Sumpter, J. P. · Schreck, C.B. (Eds.), *Fish stress and Health in Aquaculture*. University Press, Cambridge, pp. 119~144.
- Min, Byung-Hwa · Kim, Bum-Kwang · Hur, Jun-Wook · Bang, In-Chul · Byun, Sun-Kyu · Choi, Cheol Young & Chang, Young-Jin(2003). Physiological responses during freshwater acclimation of seawater-cultured black porgy (*Acanthopagrus schlegelii*). *Korean Journal of Ichthyology* 15, 265~275.
- Min, Byung-Hwa · Noh, Gyoung-Ane · Jeong Min-Hwan · Kang Duk-Young · Choi, Cheol Young · Bang, In-Chul & Chang, Young-Jin(2006). Effects of oral administration of thyroid hormone on physiological activity and growth of black porgy reared in freshwater or seawater. *Journal of Aquaculture* 19, 149~156.
- Rao, Madan-Mohan(1971). Influence of activity and salinity on the weight dependent oxygen consumption of the rainbow trout *Salmo gairdneri*, *Marine Biology* 8(3), 205~212.
- Requena, A. · Fernández-Borrás, J. & Planas, J.(1997). The effects of a temperature rise on oxygen consumption and energy budget in gilthead sea bream, *Aquaculture International* 5(5), 415~426.
- Singley, J. A. & Chavin, W.(1971). Cortisol levels of normal goldfish, *Carassius auratus* L. and response to osmotic change, *American Zoologist* 11, 653.
- Smart, G.(1981). Aspects of water quality producing stress in intensive fish farming. In: *Stress and Fish* (ed. by A.D. Pickering). 277~293. Academic Press. London.
- Son, Maeng-Hyun · Lim, Han-Kyu · Do, Youg-Hyun & Jeong, Min-Hwan(2012). Fertilization ability of cryoperserved sperms of black porgy *Acanthopagrus schlegelii* acclimated in freshwater, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education* 24(3), 389~394.
- Spencer, Warren-P.(1939). Diurnal activity rhythms in freshwater fishes, *The Ohio Journal Science* 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, *Biology Bulletin* 91(3), 312~325.
- Tomasso, J. R. · Davis, Kenneth-B. & Parker, Nick-C.(1980). Plasma corticosteroid and electrolyte dynamics of hybrid striped bass (white bass×striped bass) during netting and hauling stress, *Proceedings of the World Mariculture Society* 11, 303~310.
- Wi, Jong-Hwan & Chang, Young-Jin(1976). A basic study on transport of live fish (I), *Bulletin of Fisheries Research and Development Agency, Korea* 15, 91~108.
- Withey, Kathryn-G. & Saunders, Richard-L.(1973). Effect of reciprocal photoperiod regime on standard rate of oxygen consumption of postsmolt atlantic salmon (*Salmo salar*), *Journal of the Fisheries Reserch Board Canada* 30(12), 1898~1900.

-
- 논문접수일 : 2013년 11월 01일
 - 심사완료일 : 1차 - 2013년 12월 09일
 - 게재확정일 : 2013년 12월 30일