

수산학석사 학위논문

해수 및 담수에서 순화사육된 감성돔
(*Acanthopagrus schlegeli*)의
산소소비 비교

지도교수 장 영 진

이 논문을 수산학석사 학위논문으로 제출함



2005 년 2 월

부경대학교 산업대학원

수 산 양 식 학 과

조 홍 제

조홍제의 수산학석사 학위논문을 인준함

2004 년 12 월

주 심 이학박사 조 재 윤



위 원 농학박사 김 창 훈



위 원 농학박사 장 영 진



목 차

Abstract	iii
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 실험어 및 실험조건	3
2. 산소소비 실험장치	5
3. 산소소비 실험방법	8
4. 혈액분석	8
5. 산소소비량 계산	9
6. 통계처리	10
III. 결 과	11
1. 산소소비 일주리듬	11
2. 최고 및 최소의 산소소비 시각	13
3. 수온별 산소소비량	15
4. 분당 호흡수와 호흡당 산소소비량	17
5. 혈액생리학적 요인	21

IV. 고 찰	23
V. 요 약	28
감사의 글	30
참고문헌	31

Comparison of Oxygen Consumption in Black Porgy Acclimated and Reared in Seawater and Freshwater

Hong Je Cho

*Department of Aquaculture, Graduate School of Industry,
Pukyong National University,
Busan 608-737, Korea*

Abstract

Comparison of oxygen consumption (OC) and blood physiological variables between black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in seawater (SW) and freshwater (FW) were performed at a closed water flowing system with a respiratory chamber.

Fish specimens acclimated and reared in separated indoor recirculation tanks with SW and FW were taken two groups of small (24.0-54.8 g in BW) and large (108.7-238.8 g in BW) fish.

OCs in both fish reared in SW and FW showed the clear circadian rhythm, that is high in day time and low in night time, in accordance

with light and dark cycle, but the OC of black porgy reared in FW increased above two times of that reared in SW with increase of water temperature. Time showing the lowest OC during a day was slightly different between the fish reared in SW and FW; one long peak time (22:00-03:00) in fish reared in SW, and two short peak time (23:00-01:00 and 07:00) in fish reared in FW, while the time showing the highest OC during a day was 10:00 in both fish reared in SW and FW. The active OCs of black porgy reared in SW and FW at 20°C were 219.8 mg O₂/kg/hr and 349.5 mg O₂/kg/hr in small group (47.6-54.8 g), and 144.7 mg O₂/kg/hr and 316.9 mg O₂/kg/hr in large group (200.0-210.0 g), respectively. The resting OCs of the fish reared in SW and FW at 20°C were 130.5 mg O₂/kg/hr and 270.6 mg O₂/kg/hr in small group, and 93.4 mg O₂/kg/hr and 224.5 mg O₂/kg/hr in large group, respectively.

Black porgy reared in SW revealed the higher ventilation rate than that in FW, inversely, the fish reared in SW showed a lower OC per breath than that in FW having a deeper breath than in reared SW. No significant difference in plasma cortisol level was found between the fish reared in SW and FW, but the plasma glucose and hemoglobin concentrations in fish reared in FW were higher than those in SW.

These results indicate that a higher OC might be required of the fish reared in FW subsequent to a higher pressure on osmoregulation compared with fish reared in SW.

I. 서론

최근, 세계적으로 상업적 생산이 가능한 새로운 양식대상 어종에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다. 특히, 국내에서는 내수면 어류양식의 대부분을 차지하고 있던 댜호의 가두리양식을 금지시켰을 뿐만 아니라, 천해양식에 비해 양식대상 어종수가 적어 경제력이 낮아지자 송어, 농어, 감성돔 등 이른 바 광염성 어류의 높은 삼투압 조절능력을 이용한 담수양식 기술개발에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위하여, 현재 이들 어종에 대한 담수양식 기법이 서서히 개발되고 있다(Chu et al., 2000; Chang et al., 2001).

광염성 어류는 광범위한 염분변화에 잘 견디며 급격한 수온 변화 등 환경변화에 강하여 사육이 쉽고, 비용이 적게 들어 내수면 양식에서 양식 대상종으로 사용하는 것이 어렵지 않다. 또한 실내에서 관리되는 밀폐수조에서도 사육하기 쉬우므로 연구용 실험어류로도 적합하다.

감성돔은 수온, 염분, 수질 등 환경변화에 적응력이 강하여 실험동물로 적합하며, 기존 연구에 의해 기수 및 담수사육이 가능한 광염성 어류로 밝혀져 있어, 해수와 담수역에서 양식생산이 가능한 새로운 양식자원으로 급부상하고 있다. 특히, 한국, 일본 등의 극동아시아 지역에서는 바다남시 어종으로 매우 중요한 위치를 차지하고 있어, 이 어종에 관한 생리생태학적 연구결과는 환경친화적인 남시기법의 개발 및 남시자원의 조성기술 개발에 도움을 줄 것이다.

그러므로 상업적 규모의 수조에서 해산어류가 고밀도로 담수사육 될 때, 염분변화에 대응하는 어체의 여러가지 생리학적 요인을 알아야 한다. 즉, 어류의 생산성 향상을 위하여 이른 바 생리양식 기법을 개발해야 하는데, 양식사업자는 이 부분의 연구결과에 대하여는 관심을 갖지 않는 것이 일반적이다. 그럼

에도 불구하고 몇몇 연구자들은 염분변화에 대응하는 어류의 산소소비 변화를 비롯한 생리적 요인에 대하여 연구한 바 있다; coho salmon (Morgan and Iwama, 1998), 틸라피아(Iwama et al., 1997), 송어류(Fanta-Feofiloff et al., 1986), 농어(Dalla Via et al., 1998). 그러나 광염성 어종이라 하더라도 어종마다 종특이성을 가지고 있으므로 더 많은 연구조사가 이루어져야 한다.

Min et al. (2003)은 광염성 해산어류인 감성돔의 우수한 삼투압 조절능력을 응용하여 담수사육에 성공한 바 있다. 그러나 담수환경에 적응하여 생존하였다 하더라도 끊임없는 삼투압 조절을 위해 요구되는 에너지 대사 즉, 산소소비 등의 생리적 요인이 어떻게 변화하는지를 파악하는 일은 감성돔의 담수양식 생산성을 높이는 데 도움을 주는 자료가 될 것이 분명하다.

그러므로 본 연구에서는 담수순화 과정을 거쳐 이미 담수에 적응되어 섭식 및 성장활성이 높은 감성돔이 해수사육 감성돔과 비교하여 어떠한 산소소비 경향을 나타내는지 알아봄으로써, 감성돔의 담수양식시 에너지 요구 및 소비와 같은 기초대사 측면에서 생리학적 반응정도를 파악하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어 및 실험조건

실험어는 부경대학교 수산과학대학 양식학과 양식생리학 연구실 실내의 지름 75 cm, 높이 75 cm의 원형 해수 및 담수 순환여과 사육수조에서 사육중인 감성돔을 사용했다. 감성돔은 실험개시 직전까지 6개월 이상 돛치어용(조단백질 44%, 조지방 7%, 조섬유 4%, 조회분 17%, 칼슘 1.2%, 인 2.7%) EP사료를 주었으며, 사료 공급량은 어체중의 3%를 계산하여 일일 2회 나누어 공급하였다.

감성돔은 Min et al. (2003)의 담수순화 방법을 이용하여 해수(35‰)에서 사육중인 감성돔을 5‰의 해수에 24시간 동안 적응·안정시킨 후 완전 담수에 사육했다. 이러한 방법으로 담수순치 시킨 감성돔을 6개월 이상 담수 순환여과 수조에서 사육하여 실험에 사용하였다.

실험어는 소어(S)와 대어(L)로 나누어 담수에서 사육중인 감성돔을 실험구로, 해수에서 사육중인 감성돔을 대조구로 사용하였으며, 실험은 비슷한 크기의 해수사육 및 담수사육 감성돔을 동시에 사용하여 서로 비교되도록 하였다.

감성돔의 산소소비에 사용한 개체는 실험 S1~S3까지는 평균전장 11.7~14.9 cm, 평균체중 24.0~54.8 g에 속하는 작은 개체(소어), 실험 L1~L3까지는 평균전장 18.8~23.5 cm, 평균체중 108.7~238.8 g에 속하는 큰 개체(대어)를 사용하였다.

실험은 크게 담수와 해수, 그리고 소어와 대어로 나누어 실험을 하였으며, 수온, 광주기, 개체수를 달리하여 실험을 실시하였다(Table 1). 수온은 15, 20, 25℃로 설정하였으며, 광주기는 명기와 암기 각각 12시간씩 주었으며, 명기시 밝기는 $1,032 \pm 24$ lux였다. 암기시에는 차광막을 사용하여 빛을 완전히 차단했다.

Table 1. Experimental conditions and sizes of fish used in each experiment

Experiment No.	Reared in seawater			Reared in freshwater		
	Total length (cm)	Body weight (g)	No. of fish used	Total length (cm)	Body weight (g)	No. of fish used
S-1	14.1	54.8	1	14.9	47.6	1
S-2	13.4±0.8	34.7±6.7	3	12.3±0.9	37.7 ±15.9	3
S-3	12.4±0.4	30.1±1.9	5	11.7±0.5	24.0 ±7.2	5
L-1	22.5	210.0	1	21.5	200.0	1
L-2	23.5	238.8	1	22.8	217.0	1
L-3	19.7±1.3	108.7±7.0	3	18.8±0.3	117.0±10.4	3

유량은 실험조건과 개체수를 감안하여 분당 650~700 mL로 하였다. 실험용수의 물리·화학적 수질 분석결과 실험개시부터 실험종료까지 변화는 없었다 (Table 2).

Table 2. Water quality in each experiment

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

2. 산소소비 실험장치

담수와 해수에서 사육중인 감성돔의 산소소비를 비교하기 위하여 사용한 주요 장치는 호흡실과 유입·유출수실, 집수탱크 I·II, 컴퓨터, 온도조절 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.

감성돔의 산소소비량을 측정하기 위해 두께 8 mm의 투명 아크릴을 사용하여 호흡실과 유입·유출수실을 제작하였다. 호흡실은 200 mm (L)×300 mm (W)×200 mm (H) 크기의 직육면체로 제작하고, 유입·유출수실은 150 mm (L)×150 mm (W)×95 mm (H) 크기로 제작했다. 호흡실과 유입·유출수실의 앞과 뒤에는 지름 10 mm, 길이 30 mm의 아크릴 원형관이 부착되어 있고 비닐관으로 각각 연결하여 실험용수의 흐름을 자연스럽게 했다. 그리고 상부에는 용존산소 센서를 부착시킬 수 있도록 지름 60 mm의 구멍과 여분의 공기를 빼낼 수 있도록 6 mm의 구멍을 만들었다.

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 폭기와 에어레이션(AS)하여 실험어에 의해 소비된 용존산소를 보충하였으며, 펌프(P)에 의하여 온도조절 순환수조(WB & FU)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 호흡실 그리고 유출수실에 각각 용존산소 센서(OS)부착시켜 측정했으며, 온도조절 순환수조와 집수탱크 I·II에는 수온센서(TS)를 부착시켜 수온변화를 측정하였다. 이렇게 측정된 용존산소량과 수온은 Oxyguard 6 프로그램에 의해 10분 간격으로 컴퓨터에 자동 저장된다.

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

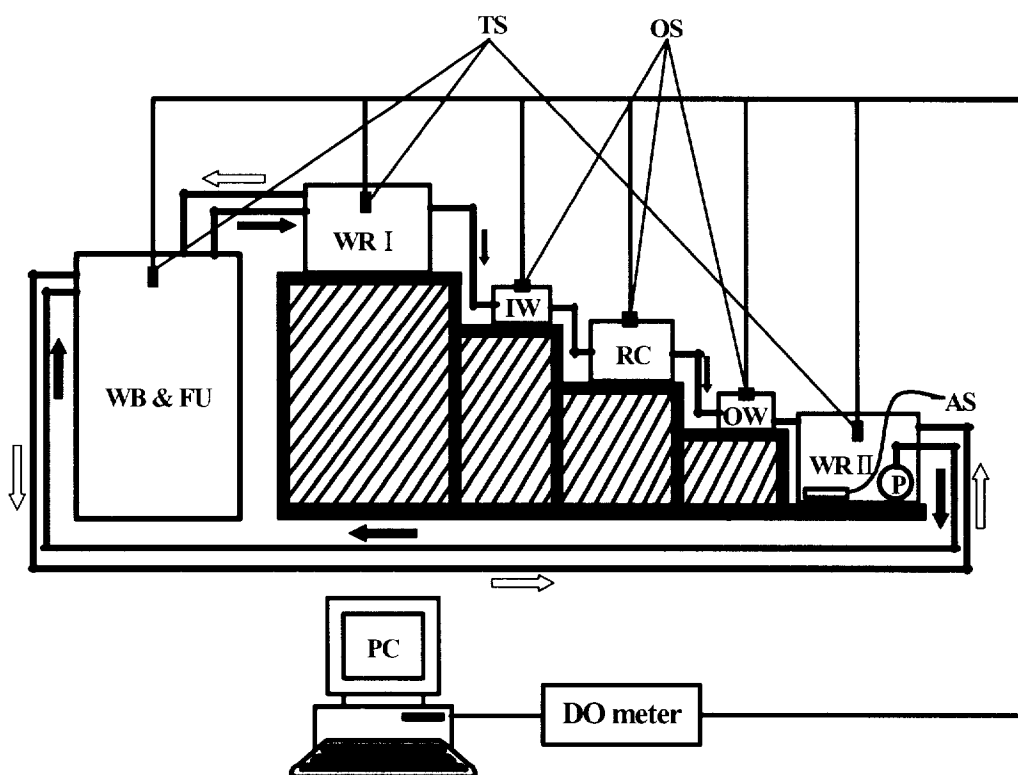


Fig. 1. Schematic diagram of oxygen consumption measuring system. Solid and open arrows indicate circulating and overflow water, expectively. AS: air supply, FU: filtering unit, IW: inlet water, OS: oxygen sensor, OW: outlet water, P: pump, PC: personal computer, RC: respiratory chamber, TS: temperature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

3. 산소소비 실험방법

실험방법은 실험개시 전에 실험어를 24시간 절식시킨 후, 스트레스를 최소화하여 호흡실로 신속히 옮겼다. 그 후, 사육용수의 수온을 15℃로 조절하여, 실험어가 15℃에 적응 할 수 있도록 24시간동안 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 조절하면서 감성돔의 산소소비량을 측정하였다. 모든 실험에서 명주기는 오전 9시부터 오후 9시까지, 암주기는 오후 9시부터 오전 9시까지 인위적으로 광주기를 조절하였으며, 수온조절은 오전 9시부터 시작하여 한 시간에 1℃씩 조절했다.

각 실험에서 어체의 호흡상태를 파악하기 위하여 분당 호흡수를 관찰하였는데, 아가미 뚜껑(aperculum)을 1회 개폐한 것을 1호흡으로 간주하여 1분 동안의 개폐횟수로 나타냈으며, 개체당 10회 측정하여 평균값으로 나타냈다.

4. 혈액분석

산소소비와 관련하여 해수와 담수에서 사육한 감성돔의 스트레스 여부 및 생리학적 차이를 나타내는지 알아보기 위하여 해수와 담수 수조에서 사육중인 감성돔, 각각 6마리(평균체중 해수 88.2±22.0 g, 담수 69.1±6.1 g)로부터 혈액을 채취하여 분석하였다.

혈액은 heparin sodium 처리 주사기(1 mL)를 사용하여 채혈 24시간 전부터 절식시킨 어류로부터 마취 없이 미부혈관에서 30초 이내에 채취하였다. 채취한 혈액의 일부를 상온에서 10분 이상 보관한 다음, 원심분리(5,600×g, 5분)하여 얻은 혈장은 분석전까지 -72℃에 보관하면서 분석시 사용하였다. 혈장의

cortisol 농도는 Donaldson (1981)의 방사면역측정법(RIA)에 따라 cortisol RIA kit (DSL, USA)로 항원과 표지항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Hewlett Packard Gamma Counter (Cobra II 5010, Packard Co., USA)로 측정하였다. 혈장 글루코스, Na^+ , K^+ 및 Cl 농도의 분석을 위하여 생화학 자동분석기(Advid 1650, JEOL Co., Japan)를 사용하였다. 혈장 삼투질 농도는 microosmometer (3MO plus, Advanced Instruments Inc., USA)로 분석하였다. 나머지 혈액에 대하여는 채혈 직후에 자동혈액분석기(Excell 500, USA)를 사용하여, 전혈에 대한 적혈구용적(hematocrit, Ht), 적혈구수(red blood cell, RBC), 혈색소농도(hemoglobin, Hb)를 분석하였다.

5. 산소소비량 계산

감성돔의 산소소비량 계산은 유입수 용존산소량과 유출수 산소소비량을 이용하여 단위체중당 산소소비량(OCw)과 호흡당 산소소비량(OCb)으로 계산하였다.

단위체중당 산소소비량 (OCw, $\text{mg O}_2/\text{kg/h}$)

$$\text{OCw} = \{(\text{Ci} - \text{Co}) \times \text{F} \times 60\} / \text{W}$$

호흡당 산소소비량 (OCb, $\text{mg O}_2/\text{breath/kg}$)

$$\text{OCb} = \{(\text{Ci} - \text{Co}) \times \text{F} \times 60\} / (\text{W} \times \text{R} \times 60)$$

Ci = 유입수 용존 산소량(mg/ℓ), Co = 유출수 용존 산소량(mg/ℓ),

F = 유량(ℓ/min), W = 어체총중량(kg), R = 호흡수(No./min)

6. 통계 처리

각 실험결과로부터 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지 (version 10.0)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple rang test로 검정하였다.

III. 결 과

1. 산소소비 일주리듬

해수와 담수에서 사육한 감성돔 소어(S1)와 대어(L1)를 사용하여 수온 15℃ 부터 1일 간격으로 5℃씩 상승하여 20℃와 25℃까지 연속적으로 산소소비를 측정한 결과, Fig. 2에서 보는 바와 같이 모든 조건의 실험에서 명기와 암기를 거치면서 뚜렷한 산소소비 일주리듬을 보였으며, 수온이 상승함에 따라 비례적으로 산소소비가 많아지는 직선회귀 경향을 나타냈다.

각 설정수온으로 5℃씩 상승시키는 시간에는 부분적으로 급격한 산소소비 속도를 나타내기는 하였지만, 명·암기별 산소소비 경향은 각 실험온도에서의 일정한 리듬을 보였다.

감성돔 소어에서의 수온에 따른 일주 산소소비 모드는 해수 및 담수 사육 모두에서 매우 흡사한 리듬을 나타냈으며, 수온 15℃에서는 1일 평균 산소소비량은 해수실험에서 139.6 ± 46.1 mg O₂/kg/h, 담수실험에서 179.1 ± 34.3 mg O₂/kg/h로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 수온이 5℃ 상승한 20℃에서는 해수실험은 175.2 ± 64.3 mg O₂/kg/h, 담수실험에서 310.0 ± 53.7 mg O₂/kg/h로 일일 평균 산소소비량의 차가 유의하게 커졌으며, 25℃에서는 해수에서 사육한 감성돔에서 일일 평균 산소소비량은 276.8 ± 65.1 mg O₂/kg/h, 담수에서 사육한 감성돔의 일일 평균 산소소비량은 416.9 ± 146.4 mg O₂/kg/h로 20℃보다 더욱 많은 산소소비 차이를 나타냈다. 이러한 경향은 감성돔 대어에서도 비슷하게 나타났지만, 소어만큼 현저한 수준은 아니었다.

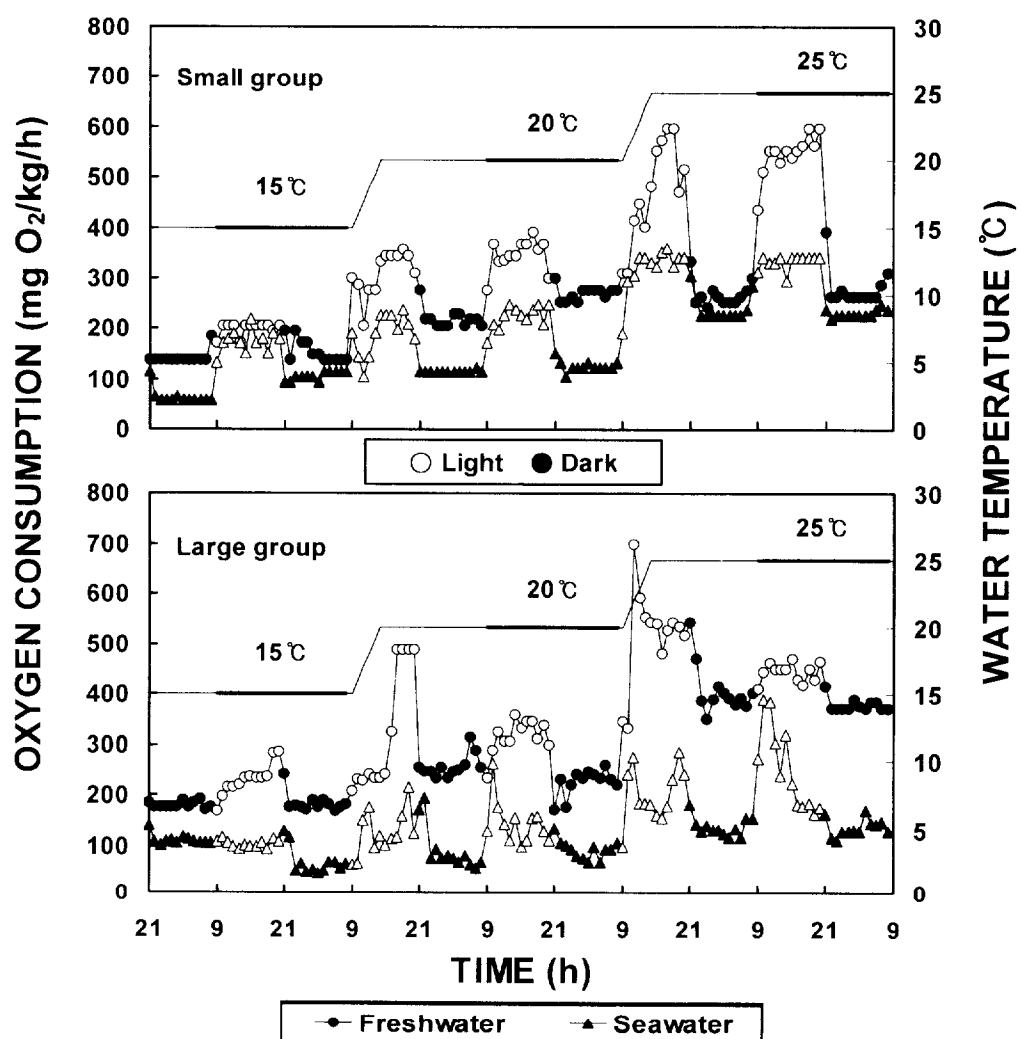


Fig. 2. Circadian change of oxygen consumption in black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in seawater and freshwater under water temperature conditions of 15°C, 20°C and 25°C. Experiment S1 and L1

2. 최고 및 최저의 산소소비 시각

해수와 담수의 모든 실험(S1~S3과 L1~L3)에서 감성돔이 주야별로 각각 가장 높은 산소소비량과 가장 낮은 산소소비량을 보였던 시간대를 구분하여 종합한 결과, Fig. 3에서와 같이 가장 높은 산소소비량을 보인 시간은 해수와 담수사육에서 모두 명기개시 1시간후인 10시에 각각 22.5%, 17.4%로 가장 많은 빈도를 나타냈으며, 1시에서 7까지는 해수와 담수 모두에서 0%의 빈도를 나타내어 감성돔이 활동을 하지 않고 깊은 수면에 들어간 것으로 판단되었다.

한편, 가장 낮은 산소소비량을 보인 시간은 해수에서 암기개시 3시간후인 24시에 13.3%로 가장 많은 빈도를 보였으며 다음으로 22시, 23시, 2시와 3시는 10.0~11.7%로 빈도가 높았다. 이로써 해수사육 감성돔은 암기시작 2시간째인 22시부터 3시까지 8.3~13.3%의 빈도로 높아 안정시 산소소비량이 이 시간대에 분포함을 알 수 있었다. 그러나, 담수에서는 23~1시 및 7시에 10.6%로 가장 많은 빈도수를 보여 가장 낮은 산소소비량을 나타내는 시간대가 2원화됨을 알 수 있었다.

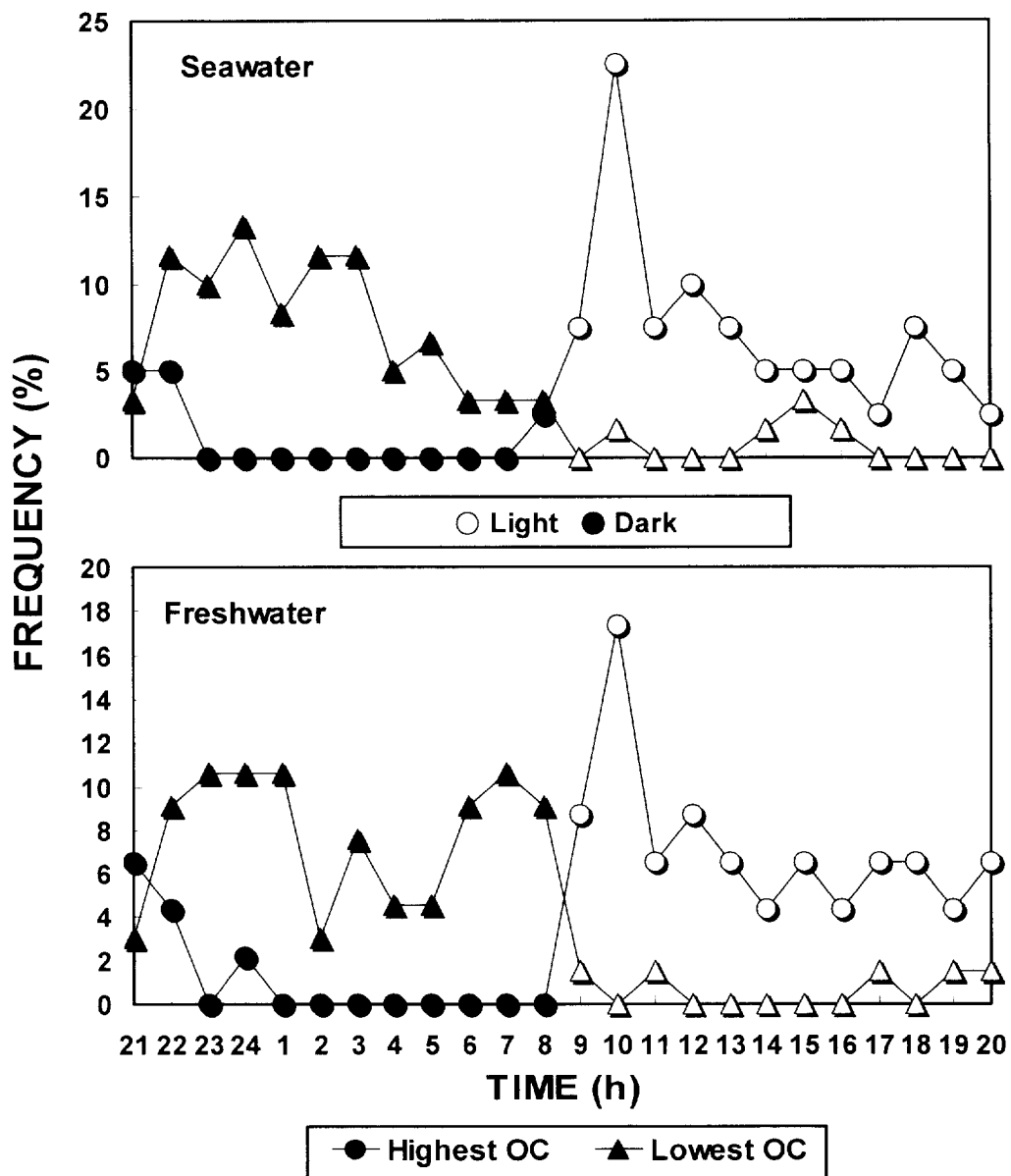


Fig. 3. Percent frequencies of time showing the highest and lowest oxygen consumption in black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in seawater and freshwater. OC: oxygen consumption.

3. 수온별 산소소비량

해수와 담수에서 사육한 감성돔 소어(S1)와 대어(L1)를 사용하여 수온 15℃ 부터 1일 간격으로 5℃씩 상승하여 20℃와 25℃까지 6일간 연속적으로 산소소비를 측정한 결과, 해수와 담수에서의 수온별 주야별 산소소비량은 Table 3에 정리한 바와 같다.

감성돔의 소어와 대어 모두에서 해수 보다는 담수에서 더 많은 산소소비량을 나타내고 있으며, 해수사육 감성돔의 산소소비량을 1로 하였을 때, 담수사육 소어에서 주야의 산소소비량은 수온 15℃에서 각각 1.17, 1.46, 20℃에서 1.59, 2.07, 25℃에서 1.64, 1.31로 담수사육 감성돔이 1.17~2.07배의 산소소비를 나타냈으며, 대어에서도 수온 15℃에서 2.21, 2.84, 20℃에서 2.19, 2.40, 25℃에서 1.75, 2.76으로 담수사육 감성돔이 1.75~2.84배의 산소소비를 보인 것은 물론, 소어에 비하여 훨씬 많은 단위체중당 에너지 소비를 나타내고 있음이 드러났다.

Table 3에서 보는 바와 같이 해수와 담수에서의 수온별 주야별 산소소비량은 각각 직선회귀적인 경향을 나타내고 있으며, 이들의 기울기를 통해 볼 때 수온이 상승함에 따른 산소소비 속도는 해수와 담수 모두 암기에 비해 명기가 빨랐으며, 명기에서 대어보다는 소어에서 더욱 빠른 산소소비 속도를 나타냈다. 담수에서의 기울기가 더 큰 것은 수온이 상승할수록 담수에서의 에너지 요구가 해수의 그것보다 더 많다는 것을 의미한다.

Table 3. Mean oxygen consumption (mg/kg/h) in black porgy, *Acanthopagrus schlegelii* reared in seawater and freshwater under water temperature conditions of 15°C, 20°C and 25°C during light and dark periods.

Water Temp. (°C)	Small fish				Large fish			
	Light period		Dark period		Light period		Dark period	
	Seawater	Freshwater	Seawater	Freshwater	Seawater	Freshwater	Seawater	Freshwater
15	171.6±38.8 ^a	201.2±20.7 ^b	107.5±26.3 ^a	157.0±30.8 ^c	103.7±12.8 ^a	229.4±35.8 ^c	64.7±25.5 ^a	183.9±29.8 ^d
20	219.8±39.8 ^b	349.5±44.2 ^c	130.5±51.8 ^b	270.6±26.4 ^e	144.7±47.3 ^b	316.9±39.5 ^d	93.4±23.7 ^b	224.5±52.5 ^e
25	333.7±27.5 ^c	546.0±68.8 ^d	219.8±34.9 ^d	287.9±68.5 ^e	253.3±86.1 ^c	442.5±28.1 ^e	138.0±21.1 ^c	380.3±22.7 ^f
b	16.21	34.47	11.23	13.10	14.96	21.32	7.33	19.64
a	-82.50	-323.85	71.96	23.43	-131.98	96.69	-47.80	129.82
r ²	0.745	0.889	0.545	0.524	0.518	0.856	0.615	0.754

Mean values of oxygen consumption having different superscript in seawater and freshwater are significantly different in each photoperiod.

4. 분당 호흡수와 호흡당 산소소비량

해수와 담수의 모든 실험(S1~S3과 L1~L3)에서 수온 15℃, 20℃ 및 25℃에서의 분당 호흡수를 측정한 결과, Fig. 4와 같이 해수와 담수의 소어, 대어 모두 수온의 상승에 비례하여 분당 호흡수가 증가하는 경향을 나타냈으며, 대어의 분당 호흡수는 소어에 비해 적어 어린 개체일수록 호흡빈도가 높았다.

해수에서 사육한 감성돔의 소어에서는 낮은 수온조건인 15℃에서 분당 평균 77회의 호흡수를 나타내다가, 20℃에서는 98회, 25℃에서는 120회로 호흡이 빨라졌으며, 담수에서 사육한 감성돔 소어는 각각 63회, 93회, 110회로 해수에서 사육한 감성돔과 같이 호흡이 빨라졌으나, 해수에서 사육한 감성돔의 비하여 분당 호흡수는 모든 수온에서 적었다. 또한, 해수에서 사육한 감성돔 소어에 있어서 수온에 따른 호흡수의 증가에 대한 기울기는 4.30으로 담수에서 사육한 감성돔 소어의 수온에 따른 호흡수의 증가에 대한 기울기 4.70에 비해 유의하게 작아서 수온의 상승시 호흡수의 증가속도는 담수에서 사육한 감성돔이 더 빠른 것을 알 수 있었다.

한편, 해수에서 사육한 감성돔 대어에서 분당 평균 호흡수는 15℃에서 63회 이었다가, 20℃에서는 79회, 30℃에서는 93회로 호흡이 빨라졌으며, 담수에서 사육한 감성돔은 각각 52회, 61회, 78회로 호흡이 빨라졌으나 해수에서 사육한 감성돔에 비하여 분당 호흡수는 모든 수온에서 적었다. 또한, 해수에서 사육한 감성돔 대어에 있어서 수온에 따른 호흡수의 증가에 대한 기울기는 3.00으로 담수에서 사육한 감성돔 대어의 2.60에 비해 유의하게 커서 수온의 상승시 호흡수의 증가속도는 해수에서 사육한 감성돔이 더 빠른 것을 알 수 있었다.

수온별 산소소비량 실험에서 이미 제시하였던 해수와 담수에서 사육한 감성돔의 소어와 대어의 산소소비량을 분당 호흡수로 나누어 계산한 호흡당 산소소비량은 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 해수에서 사육한 감성돔 소어의 경우,

낮은 수온조건인 15℃에서는 0.0480 mg O₂/kg/breath 이었는데, 20℃에서는 0.0558 mg O₂/kg/breath로 높아졌다가, 25℃에서는 0.0541 mg O₂/kg/breath로 오히려 낮아져 분당 호흡수와 같은 직선회귀 관계를 나타내지 않았다. 그러나 담수에서 사육한 감성돔의 경우, 15℃에서 0.0497 mg O₂/kg/breath, 20℃ 0.0504 mg O₂/kg/breath, 25℃ 0.0558 mg O₂/kg/breath로 높아져 분당 호흡수와 유사한 직선회귀 관계를 나타냈다.

한편, 해수에서 사육한 감성돔 대어에서는 15℃에서는 0.0280 mg O₂/kg/breath, 20℃에서는 0.0320 mg O₂/kg/breath, 25℃에서는 0.0438 mg O₂/kg/breath로 수온이 상승과 함께 호흡당 산소소비량이 높아져 분당 호흡수와 같은 직선회귀 관계를 나타냈다. 그러나 담수에서 사육한 감성돔 대어는 15℃에서는 0.0905 mg O₂/kg/breath였는데, 20℃에서는 오히려 0.0796 mg O₂/kg/breath로 낮아졌다가, 25℃에서는 다시 0.0902 mg O₂/kg/breath로 높아져 직선회귀 관계는 나타나지 않았다.

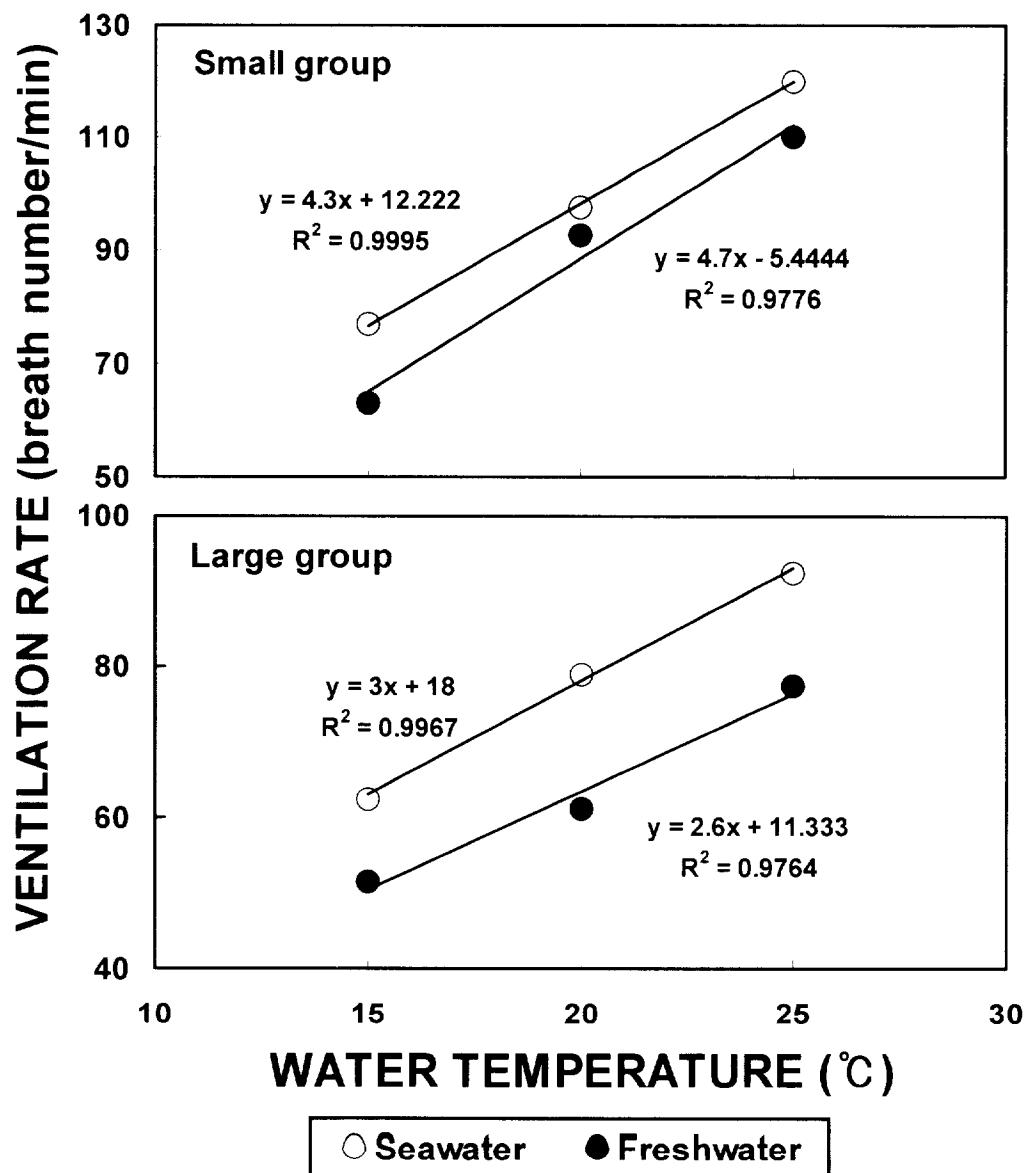


Fig. 5. Ventilation rate in black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in seawater and freshwater under water temperature conditions of 15°C, 20°C and 25°C. Numerals in the figure indicate the slope and value of R^2 , respectively.

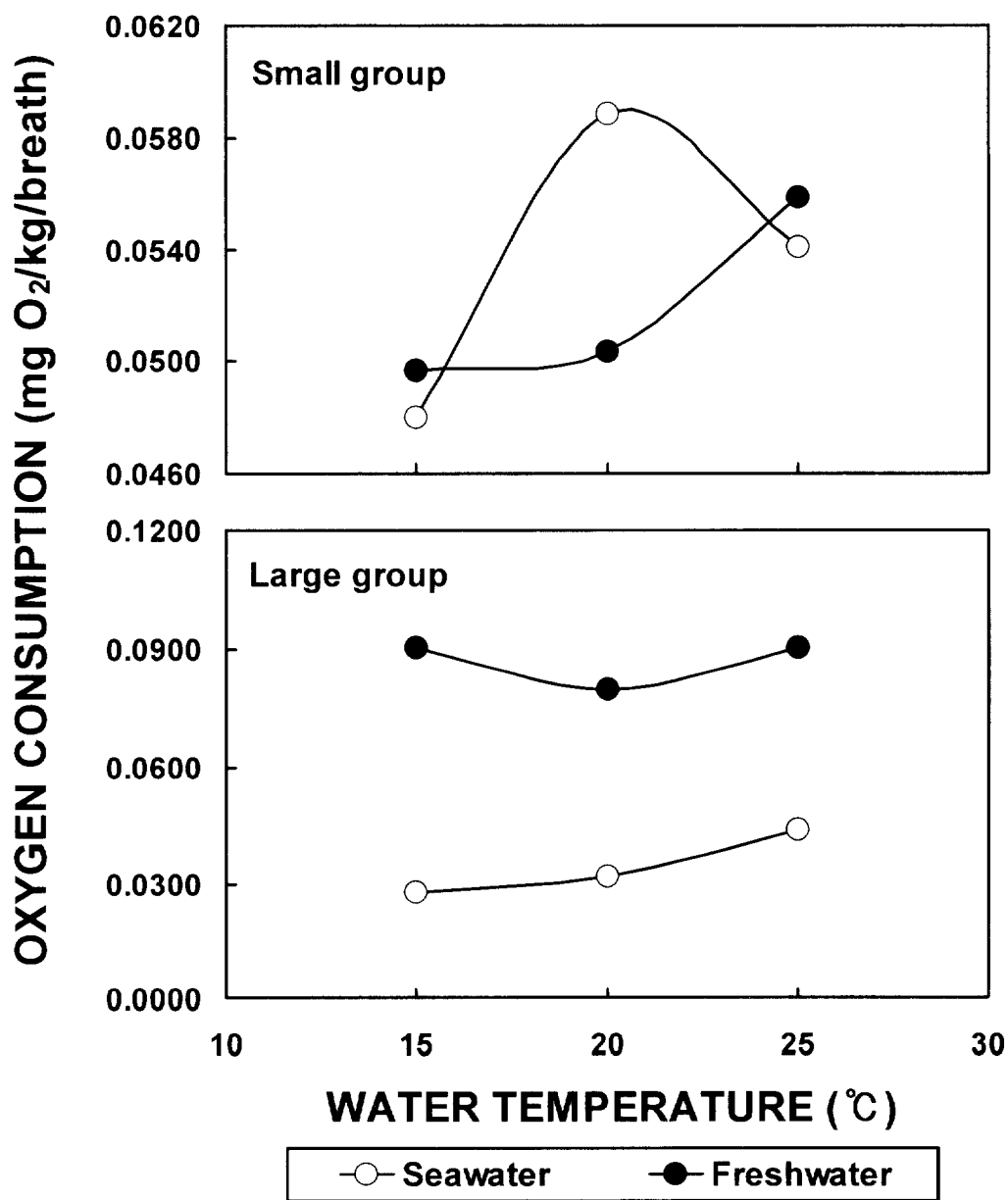


Fig. 5. Oxygen consumption per breath in black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in seawater and freshwater under water temperature conditions of 15°C, 20°C and 25°C

5. 혈액생리학적 요인

해수와 담수에서 사육한 감성돔으로부터 채취한 혈액의 분석결과는 Table 4에서 보는 바와 같다.

해수에서 사육한 감성돔의 혈장 cortisol 농도를 평균값으로 볼 때, 담수에서 사육한 감성돔의 혈장 cortisol 농도는 높았지만 유의한 차이는 보이지 않았다. 그러나 혈장 글루코스 농도는 해수에서 사육한 감성돔 보다 담수에서 사육한 감성돔이 유의하게 높았다. 한편, 해수와 담수에서 사육한 감성돔의 혈장 삼투질 농도는 서로 차이를 보이지 않아 담수에서 사육한 감성돔에서도 삼투압 조절이 원활하게 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

해수와 담수에서 사육한 감성돔의 이온 농도를 비교해 보면, 혈장 Na^+ 는 해수에서 사육한 감성돔이 담수에서 사육한 감성돔에 비해 높게 나타났고, 혈장 K^+ 는 해수에서 사육한 감성돔 보다 담수에서 사육한 감성돔이 더 많은 이온 농도를 나타내어 유의한 차이를 보였다. 하지만 혈장 Cl^- 은 해수와 담수에서 모두 비슷하게 나타나 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

혈액의 일반적 성상에서 Ht 값과, RBC에서는 유의한 차이를 나타내지 않았으나, Hb는 담수에서 사육한 감성돔이 해수에서 사육한 감성돔에 비해 유의하게 높은 값을 보였다($P<0.05$).

Table 4. Blood variables measured in black porgy reared in seawater and freshwater

Variable	Black porgy reared in	
	Seawater (6)	Freshwater (6)
Plasma cortisol (ng/mL)	3.4±1.3	10.5±9.9
Plasma glucose (mg/dL)	64.8±11.4 ^b	89.7±10.8 ^a
Plasma osmolality (mOsm/kg)	354.0±5.3	356.5±2.1
Plasma Na ⁺ concentration (mEq/L)	176.8±2.1 ^a	171.5±3.0 ^b
Plasma K ⁺ concentration (mEq/L)	4.3±0.4 ^a	5.3±0.9 ^b
Plasma Cl ⁻ concentration (mEq/L)	165.2±5.8	164.8±5.0
Hematocrit (%)	23.7±1.5	21.2±3.1
Red blood cell ($\times 10^6$ cell/ μ l)	2.6±0.1	2.9±0.3
Hemoglobin (g/dL)	15.7±3.3 ^a	19.6±1.2 ^b

Different superscripts indicate significantly different between means, within each variable ($P < 0.05$); n given in parentheses.

IV. 고 찰

감성돔의 먹이 섭취후 장이 비워지는 시간(gastric evacuation time) 즉, 소화종료 시간은 밝혀져 있지 않으나, 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 장이 비워지는 시간이 21시간(Myong, 1999)임을 고려해 볼 때, 감성돔은 조피볼락에 비해 더 많은 산소를 소비하는 활동성이 강한 어류이므로(Kim et al., 1995) 장이 비워지는 시간이 더욱 짧을 것으로 추정된다. 그러므로 본 연구의 모든 실험에서 실험어를 24시간 굶긴 다음 산소소비 경향을 측정하였으므로, 사료의 섭취 및 소화로 소요되는 산소량은 거의 제외된 것으로 보아야 할 것이다.

Gardner and King (1923)은 어류는 일반적으로 적정 온도범위에서 수온의 상승에 비례하여 산소소비량이 증가한다고 하였다. 이후 많은 연구에서 같은 결과가 도출되었으며, Wi and Chang (1976) 역시 붕장어의 수온(WT)과 산소소비량(OC)의 관계는 $OC = 6.831WT - 56.208$ 의 직선회귀 경향을 나타낸다고 하였다. 본 연구에서도 해수와 담수에서 사육한 감성돔 모두, 수온이 상승함에 따라 산소소비량이 비례적으로 증가하는 직선회귀 관계를 나타냈으며, Q_{10} 의 법칙과도 잘 일치하였다.

Bœuf and Payan (2001)은 많은 연구자들의 연구결과를 종합한 결과, 어류가 발생이나 성장하는 데에 있어 환경수 염분변화의 영향을 받지 않는 어종은 거의 없음을 밝혔다. 또, Konstantinov and Martynova (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 담수사육에서도 산소소비량이 이 어종의

대사와 성장에 영향을 분명히 미치고 있다고 할 수 있다. 그러므로 담수에서 사육한 감성돔은 해수에서 사육한 감성돔에 비해 산소소비량이 많은 것은 아마도 저염분 환경에서 삼투압 조절에 대한 스트레스를 받는 데에 기인하는 것으로 추정된다.

어류는 환경수의 염분변화에 대처하기 위해 삼투압 조절로 체내의 항상성을 유지하려고 한다(Morgan and Iwama, 1991). 어류의 삼투압 조절과 관련하여 틸라피아(Iwama et al., 1997; Fontainhas-Fernandes et al., 2001)와 연어과 어류에서 염분변화에 따른 산소소비량, 아가미 염류세포의 구조, Na^+, K^+ -ATPase 활성과 삼투질 농도의 변화 및 삼투압 스트레스에 대한 cortisol의 조절 등의 내분비학적 연구가 이루어진 바 있다(Lasserre et al., 1978; Morgan and Iwama, 1998). 어류의 혈장내 글루코스는 일반적으로 스트레스에 의해 증가되는 것이 정설이며, Barton and Iwama (1991)는 혈중 글루코스 농도의 증가는 cortisol 농도의 상승에 이어 일어나는 스트레스에 대한 2차 반응이라고 하였다. 이와 같은 결과는 송어, *Mugil cephalus* (Chang and Hur, 1999), pejerrey, *Odontesthes bonariensis* (Tsuzuki et al., 2001) 등에서도 보고된 바 있다. 본 연구에서는 해수와 담수에서 사육한 감성돔 사이에 cortisol 농도의 차이는 인정되지 않는 반면, 글루코스의 농도가 담수에서 사육한 감성돔에서 높았는데, 이는 삼투압 조절을 원활하게 하기 위한 기초대사 즉, 산소소비량의 증가에 관련된다고 봐도 좋을 것이다. Ht 값, RBC 및 Hb 등은 아가미에서의 가스교환과 생체내 산소운반 능력을 나타낸다. Davis and Parker (1990)는 해산어류에 있어 스트레스는 일반적으로 Ht, RBC 및 Hb 등을 증가시킨다고 하였다. 본 연구에서는 담수에서 사육한 감성돔에서 Hb가 유의하게 높은 것은 삼투압 조절 압박에서 비롯된 것으로 여겨지며, 그 결과로 체내로의 산소 흡입이 증대되어 해수에서 사육한 감성돔 보다 산소소비량이 많아지는 것으로 판단된다.

Iwama et al. (1997)은 틸라피아, *Oreochromis mossambicus*의 염분별 산소소비 연구에서 실험어류의 성(性)역시 산소소비에 영향을 미치는 요인이라 하면서도, 성 구분을 하지 않아서 요인분석을 하지 못했다고 하였다. 여기에다 실험어종이 성숙하여 산란기에 임박한 상태라면 미성숙 시기에 비해 현격히 산소소비량이 달라질 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 성별 산소소비 차이를 구분할 필요는 없을 것으로 보인다. 왜냐하면, 감성돔은 양성선속형 자웅동체(protandric hermaphrodite) 어류이므로 실험에 사용한 220 g 이하의 감성돔은 모두 성적으로 분화되지 않거나 수컷이기 때문이다. 따라서 본 연구에서 성 구분을 하지 않음에 따른 암수 실험어의 잠재적 산소소비량 차이는 배제될 수 있다.

본 연구에서 산소소비량은 담수에서 사육한 감성돔이 월등히 높았으며, 호흡수는 해수에서 사육한 감성돔이 유의하게 많아 역설적인 결과가 도출되었는데, 이와 같은 역설적인 연구결과는 Iwama et al. (1997)가 1개월간 담수와 해수에서 적응한 틸라피아를 재료로 하여 연구한 결과에서도 나타나, 해수에서 사육한 틸라피아는 담수에서 사육한 틸라피아에 비하여 호흡수는 많은 반면, 산소소비량은 낮았다고 하였다. 그러나 틸라피아는 담수에서 서식하고, 감성돔은 해수에서 주로 서식하는 종임을 고려해 볼 때, 산소소비량과 호흡수의 결과를 따로 떼어 비교하여 보면, 본 연구의 결과는 Iwama et al. (1997)의 결과와 상반된 경향을 나타내고 있다. Iwama et al. (1997)은 높은 호흡수가 오히려 낮은 산소소비와 관련된다는 결과에 대하여 그리 높지 않는 호흡수이며, 호흡수가 산소소비율에 유의하게 영향을 미치는 것이 아니며, 혈액의 산소분압을 함께 측정하지 않으면 해명하기 어렵다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 담수에서 사육한 감성돔의 산소소비량이 많은 데다 호흡수가 적었으므로 호흡당 산소소비량은 유의하게 높았다. 게다가 체외산소의 결합 및 체내운반 능력

을 나타내는 헤모글로빈 량도 담수에서 사육한 감성돔이 유의하게 높았다. 그러므로 해수에서보다 담수에서 산소소비량이 높아질 수 있다고 보인다. 그러나 산소소비가 더 많은 담수에서 호흡수가 왜 적은지에 대하여는 밝혀지지 않았다.

Morgan and Iwama (1998)는 0, 10, 28 psu에서 6주간 적응한 뒤 측정한 어린 coho salmon의 산소소비량은 세 염분에서 유의하게 변화하지 않았으며, 이것은 어린 연어의 염분변화에 대한 대사반응은 생활사 단계에 의존한 것으로, 삼투압 조절대가를 치루기 위한 산소소비량이 변화할 필요가 없음을 반영하고 있다고 하였다. 생활사중 담수와 해수에서 생활하는 시기나 단계가 정해져있는 연어류에서는 Morgan and Iwama (1991)가 언급한 소위 “정상염분”의 상태에서는 삼투압 조절 비용이 들 필요가 없다는 점이 이해된다. 그러나 전생활사를 연안역에서 보내는 광염성 어류인 감성돔의 경우에는 틸라피아를 재료로 연구한 Iwama et al. (1997)의 언급처럼, “정상염분”이 어느 범위인지 규정짓기 어렵다. 따라서 본 연구의 감성돔은 cortisol 의 농도나 나머지 삼투질 농도 및 이온농도가 안정적인 수준을 유지하는 점으로 보아 아마도 해수 및 담수사육 모두에서 안정된 산소소비를 하는 것으로 보이며, 산소소비의 차이는 이온이나 삼투압 조절을 위한 에너지 소비과정과 관련이 되지 않나 추측이 된다. 그러나 담수에서 사육한 감성돔에서 보이는 많은 산소소비량이 모두 삼투압 조절에 이용되는 것은 아니라고 생각된다. 최근 해수와 담수에 적응한 감성돔을 120일간 사육한 Min et al. (2003)의 연구결과에서 볼 수 있듯이, 해수에서는 48.6 g의 감성돔이 83.5 g으로 성장하고, 담수에서는 51.0 g의 감성돔이 102.7 g으로 성장하여, 담수에서의 사육이 유의하게 빠른 성장을 보임으로써, 산소소비의 어느 정도 부분은 성장을 위한 에너지 대사에 이용되지 않았는가 추정이 된다.

본 연구에서는 장기간 담수에서 사육한 감성돔의 소어와 대어에서 산소소비량이 많았다. 이러한 감성돔의 염분변화에 대한 반응이 전적으로 삼투압 조절을 위한 것인지, 성장과 생존 등 그 외의 대사기구에 따른 것인지는 아직 이해되지 못하고 있다.

본 연구는 담수에서 장기간 사육한 감성돔의 산소소비량과 혈액생리학적 견해에서 본 첫 번째 연구이다. 따라서 이 연구의 결과는 감성돔의 담수양식에서 사료공급과 성장관리와 관련하여 생산성을 증가시키는데 도움이 될 것이다. 더욱이 송어, 농어, 민어(*Sciaenops ocellatus*), 연어과 어류 그리고 틸라피아 등과 같은 자연계 또는 인위적으로 조절한 광범위한 염분 범위에서 적응하여 서식하는 다른 광염성 어류의 산소소비 변화에 대해서 적게나마 이해할 수 있을 것이다.

V. 요약

해수와 담수에서 사육해 온 감성돔 소어(24.0~54.8 g)와 대어(108.7~238.8 g)를 사용하여 산소소비 경향을 파악하고 혈액생리학적 요인을 분석하여 비교하였다.

수온에 따른 감성돔의 산소소비 모드는 해수 및 담수사육 모두에서 명기와 암기에 따라 매우 비슷한 일주기들을 나타냈으나, 수온이 상승함에 따라 담수에서 사육한 감성돔의 산소소비량이 해수에서 사육한 감성돔에 비해 월등히 많았다.

1일중 산소소비율이 가장 높은 시간대는 해수와 담수사육에서 모두 명기개시 1시간후인 아침 10시였으며, 가장 낮은 산소소비율을 나타낸 시간은 해수에서 사육한 감성돔에서는 22시부터 3시까지인 반면, 담수에서는 23시부터 1시 및 7시로 피크타임이 2원화되었다.

수온 20℃를 기준으로 할 때, 해수와 담수에서 사육한 감성돔의 활동시 산소소비량은 소어(47.6~54.8 g)에서 각각 219.8 mg O₂/kg/h, 349.5 mg O₂/kg/h였으며, 대어(200.0~210.0 g)에서는 각각 144.7 mg O₂/kg/h, 316.9 mg O₂/kg/h였다. 그리고 안정시 산소소비량은 소어에서 각각 130.5 mg O₂/kg/h, 270.6 mg O₂/kg/h, 대어에서 각각 93.4 mg O₂/kg/h, 224.5 mg O₂/kg/h였다.

감성돔의 분당 호흡수는 담수에서 사육한 감성돔에 비해 해수에서 사육한 감성돔에서 유의하게 많았으나, 호흡당 산소소비량은 오히려 담수에서 사육한 감성돔에서 많아서 해수에서 사육한 감성돔에 비해 보다 깊은 호흡을 하고 있었다.

담수에서 사육한 감성돔은 해수에서 사육한 감성돔에 비해 혈중 cortisol 농

도의 차이는 인정되지 않는 반면, 혈중 글루코스와 Hb가 유의하게 높아서 계속되는 삼투압 조절 압박에 의해 산소소비량이 많아지는 것으로 추측된다.

감사의 글

논문을 완성하기까지 끊임없이 가르쳐 주시고 학문에 대한 열의를 심어주셨으며, 교육자로서 열정을 심어주신 장영진 교수님께 깊은 감사의 말씀을 올립니다. 그리고 부족한 논문의 심사를 맡아주신 조재운 교수님과 김창훈 교수님께 감사드리며, 배움의 시야를 더 넓혀 주신 허성범 교수님, 박수일 교수님, 배승철 교수님, 손철현 교수님, 김동수 교수님께 진심으로 감사드립니다.

대학 생활, 사회 생활에 이어 실험실까지 인연을 이어주시고, 항상 배려하고 이해하며 도와주신 해양 수산부에 근무하는 김성희 선배님, 그리고 자기 일처럼 매사 도와준 실험실의 민병화 후배님, 정민환 후배님을 비롯한 생리학 실험실 모든 식구들에게도 감사드립니다. 국립수산물과학원의 손맹현, 명정인 연구관님과 그리고 지금은 고인이 되신 박승렬님께도 감사드립니다.

항상 격려해주시고 이끌어 주시며 든든한 후원자가 되어주신 포항해양과학고등학교 예병욱 교장선생님과 손철원 교감선생님 그리고 자영수산과 선후배 선생님들을 비롯한 학교 선배 동료 후배선생님과 직원님들께도 감사의 마음을 전합니다. 동생을 아끼고 걱정해주시는 형님과 형수님, 조카 형래, 진영, 우영이 그리고 어릴때부터 키워주시고 돌보아준 큰누나, 큰자형 그리고 조카 주만, 지만이와 작은 누나, 자형 내외분, 조카 서영, 원상(원송이가 더 정겨움)이, 처형과 조카 혜인, 효인이와 이제 사회생활을 시작하는 처남께도 감사의 마음을 전합니다.

부족한 자식이지만 항상 사랑과 인자함으로 대해주시고 너무나 열심히들 살아오신 열정가인 아버님과 어머님께 감사드립니다. 가까이서 심려만 끼치고 부탁만 하는 사위지만 항상 도와주시고 배려해주시는 너무 멋진 장인, 장모님께도 감사의 마음을 전합니다.

정신없이 바쁘게 살아가는 남편이지만 믿어주고 인내하며 함께 기뻐하며 살아가는 사랑스런 삶의 동반자인 아내 이성진과 자랑스럽고 귀여운 나의 분신인 아들 조동수, 조남수의 건강하고 해맑게 자라나는 모습에 감사의 마음을 전하며, 항상 감사하고 즐겁게 살아가는 나의 삶을 행복으로 채워주는 저를 아는 친지, 친구들에게도 감사의 마음을 전합니다.

참 고 문 헌

- Barton, B.A. and G.K. Iwama. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annu. Rev. Fish Dis.* 1, 3~26.
- Bœuf, G. and P. Payan. 2001. How should salinity influence fish growth? *Comp. Biochem. Physiol. C* 130, 411~423.
- Chang, Y.J. and J.W. Hur. 1999. Physiological responses of grey mullet (*Mugil cephalus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by rapid changes in salinity of rearing water. *J. Korean Fish. Soc.* 32, 310~316.
- Chang, Y.J., J.W. Hur and H.K. Lim. 2001. Growth and survival of juvenile grey mullet (*Mugil cephalus*) in rearing system with recirculated seawater and freshwater. *J. Aquaculture* 14, 29~33.
- Chu, C., Y.J. Chang and J.W. Hur. 2000. Effects of supplemented salt in the diet on survival, growth and body fluid composition of juvenile grey mullet (*Mugil cephalus*) reared in freshwater. *J. Aquaculture* 13, 317~323.
- Dalla Via, J., P. Villani, E. Gasteiger and H. Niederstatter. 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.

- Davis, K.B and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. *Aquaculture* 91, 349~358.
- Donaldson, E.M. 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. Academic Press, London, 11 pp.
- Erez, J., M.D. Krom and T. Neuwirth. 1990. Daily oxygen variations in marine fish ponds, Elat, Israel. *Aquaculture* 84, 289~305.
- Fanta-Feofiloff, E., D.R.B. Eiras, A.T. Boscardim and M. Lacerda-Krambeck. 1986. Effect of salinity on the behavior and oxygen consumption of *Mugil curema* (Pisces, Mugilidae). *Physiology & Behavior* 36, 1029~1034.
- Fontainhas-Fernandes A., F. Russell-Pinto, E. Gomes, M.A. Reis-Henriques and J. Coimbra. 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.
- Gardner, J.A. and G. King. 1923. Respiratory exchange in freshwater fish. Part VI. On pike (*Esox lucius*). *Biochem. J.* 17.
- Itazawa, Y. and I. Hanyu. 1991. *Fish Physiology*. Koseisha-Koseikaku, Tokyo, Japan. 621 pp.
- Iwama, G.K., A. Takemura and K. Takano. 1997. Oxygen consumption rates of tilapia in fresh water, sea water, and hypersaline sea water. *J. Fish Biol.* 51, 886~894.
- Kim, I.N., Y.J. Chang and J.Y. Kwon. 1995. The patterns of oxygen consumption in six species of marine fish. *J. Kor. Fish. Soc.* 28, 373~

381.

- Konstantinov, A.S. and V.V. Martynova. 1993. Effect of salinity fluctuations on energetics of juvenile fish. *J. Ichthyol.* 33, 161~166.
- Lasserre, P., G. Boeuf and Y. Harache. 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.
- Merriman, D. 1970. The califaction of a river. *Scient. Am.* 222, 42~52.
- Min, B.H., B.K. Kim, J.W. Hur, I.C. Bang, S.K. Byun, C.Y. Choi and Y.J. Chang. 2003. Physiological responses during freshwater acclimation of seawater-cultured black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*). *J. Kor. Ichtiol.* 15, 224~231.
- Morgan, J.D. and G.K. Iwama. 1991. Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow and steelhead trout (*Oncorhynchus mikiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 2083~2094.
- Morgan, J.D. and G.K. Iwama. 1998. Salinity effects on oxygen consumption, gill Na^+, K^+ -ATPase and ion regulation in juvenile coho salmon. *J. Fish Biol.* 53, 1110~1119.
- Myeong, J.I. 1999. Differentiation of digestive tract and digestive ability in black rockfish, *Sebastes schlegeli*. PhD Thesis, Pukyong National University. 109 pp.
- Tsuzuki, M.Y., K. Ogawa, C.A. Strussmann, M. Maita and F. Takashima. 2001. Physiological responses during stress and subsequent recovery at

different salinities in adult pejerrey *Odontesthes bonariensis*.
Aquaculture 200, 349~362.

Wi, J.H. and Y.J. Chang. 1976. A basic study on transport of live fish (I).
Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea 15, 91~108.