

## 해수 및 담수사육 강도다리 *Platichthys stellatus*의 산소소비에 미치는 수온의 영향

정민환 · 변순규<sup>1</sup> · 임한규 · 민병화 · 김영수<sup>2</sup> · 장영진<sup>2,\*</sup>

국립수산물과학원 양식관리과, <sup>1</sup>동해특성화연구센터, <sup>2</sup>부경대학교 양식학과

### Effects of Water Temperature on Oxygen Consumption in Starry Flounder *Platichthys stellatus* Reared in Seawater and Freshwater

Min Hwan Jeong, Soon Gyu Byun<sup>1</sup>, Han Kyu Lim, Byung Hwa Min, Young Soo Kim<sup>2</sup> and Young Jin Chang<sup>2,\*</sup>

Aquaculture Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

<sup>1</sup>East Sea Mariculture Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Uljin 767-863, Korea

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

**Abstract** – The effects of water temperature on oxygen consumption (OC) of starry flounder *Platichthys stellatus* reared in seawater (SW) and freshwater (FW) was performed in closed water-recirculating system containing respiratory chamber. Fish acclimated in separate indoor tanks with SW (nine of fish used, 263.0 ± 40.4 g) or FW (nine of fish used, 265.8 ± 34.8 g) were sampled. The OC of starry flounder at 15°C, 20°C and 25°C were 74.4 ± 17.0, 85.9 ± 15.8, 98.3 ± 11.4 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup> in SW and 46.7 ± 12.0, 63.3 ± 7.5, 82.6 ± 5.3 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup> in FW, respectively, showing a linear increase in OC with water temperature. The OC of fish reared in both SW and FW clear diel rhythm, with lower values at daytime and higher values in the night, in accordance with light (09:00 ~ 21:00 hr) and dark (21:00 ~ 09:00 hr) phases of the diel cycle (12L : 12D) in water temperature at 15°C and 20°C. However OC of fish reared in both SW and FW showed unclear diel rhythm with light and dark phases of the diel cycle in water temperature at 25°C. Starry flounder reared in FW had higher ventilation rates than those in SW, but SW had higher OC per breath than those in FW.

**Key words** : starry flounder, *Platichthys stellatus*, oxygen consumption, salinity, water temperature, photoperiod

### 서 론

최근 국내에서는 상업적 생산이 가능한 새로운 양식

대상 어종에 대한 연구가 활발하게 진행중에 있으며, 송어 *Mugil cephalus*, 농어 *Lateolabrax japonicus*, 감성돔 *Acanthopagrus schlegeli*과 같은 광염성 해수어류의 우수한 삼투압조절 능력을 이용한 담수양식 기법이 개발되어 침체된 내수면 양식산업의 활성화에 기반기술로 제

\*Corresponding author: Young Jin Chang, Tel. 051-629-5915, Fax. 051-629-5908, E-mail. yjchang@pknu.ac.kr

시되고 있다(추 등 2000; 장 등 2001; 임 등 2005; 민 등 2006). 더욱이 넙치 *Paralichthys olivaceus*를 대신할 수 있는 양식대상종으로 강도다리 *Platichthys stellatus*의 양식기술이 보급되기 시작하면서 이 어종 역시 담수 및 저염분해수(지하해수)를 이용한 사육기술이 개발되고 있다.

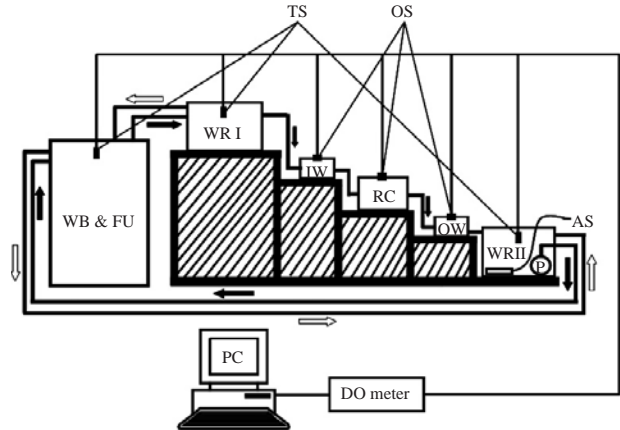
광염성 해수어류의 담수 및 저염분해수를 이용한 양식기술 개발은 매년 해상가두리 양식장에서 발생하는 적조로 인한 사육어의 대량폐사나 태풍으로 인한 해상 시설물 파손 및 기타 해상재해로부터 경제적 피해를 줄일 수 있다. 그러나 상업적 규모의 담수 및 저염분 해수를 사용하는 수조에서 광염성 어류가 고밀도로 사육되더라도 염분변화에 대응하는 어체의 다양한 생리학적 요인을 알아야 하며, 종별 특이성을 고려한 다양한 생리실험이 이루어져야 한다.

강도다리는 연안성 어류지만 기수나 하구 근처의 호소에서 서식하고 있으며, 산란을 목적으로 하구까지 올라오는 생태적 습성을 가지고 있는 어류이다(정 등 1998; 김 등 2001; 변 등 2007). 우수한 삼투압조절 능력을 가진 강도다리가 담수환경에서 사육되더라도, 체내에서 끊임없이 이루어지는 삼투압조절 대사를 파악하는 것은 이 어종이 담수 및 저염분해수 양식 시 기초대사량 추정 및 생산성 향상을 위한 중요한 기초자료가 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 담수순화 과정을 거쳐 이미 담수에 적응되어 섭식과 성장활성이 높은 담수사육 강도다리와 해수사육 강도다리의 수온 및 광주기에 따른 산소소비 특성과 산소소비 리듬을 비교 분석하여 강도다리의 담수 및 저염분해수 양식 시 산소소비 경향에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험어 및 실험방법

실험어는 국립수산물과학원 동해특성화연구센터에서 인공부화시켜 실내수조에서 자연해수로 1년간 사육시킨 강도다리를 부경대학교 양식생리학연구실 실내 해수순환여과 사육수조로 옮겨, 1개월간 안정시킨 후 일부 개체를 담수순화시켰다. 강도다리의 담수순화는 해수순환 사육수조에서 사육중인 강도다리를 바로 담수순환여과 사육수조로 옮겨 적응시켰다. 실험에 사용한 해수사육 강도다리(개체수 9마리, 평균전장  $25.3 \pm 0.6$  cm,  $263.0 \pm 40.4$  g) 및 담수사육 강도다리(개체수 9마리, 평균전장  $25.3 \pm 0.7$  cm,  $265.8 \pm 34.8$  g)는 각각의 수조에서 6개월 이상 사육하였으며, 섭식활동이 왕성한 어류만을 실험에



**Fig. 1.** Schematic diagram of oxygen consumption measuring system. Solid and open arrows indicate circulating and over-flowing water, respectively. 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 reservoirs I and II, respectively.

사용하였다.

실험은 해수 및 담수 순환여과 사육수조에서 사육하고 있는 강도다리 3마리를 실험개시 전 24시간 동안 절식시킨 후, 밀폐순환유수식 산소소비 측정장치 내의 호흡실로 신속히 옮겼다. 호흡실에서 실험어는 12시간 이상 안정시킨 다음, 수온(15°C, 20°C, 25°C)과 광주기(12L:12D)를 조절하면서 산소소비량을 측정하였다. 수온은 자동온도조절장치를 이용하여 수온을 15°C부터 25°C까지 2일 간격으로 5°C씩 수온을 점차적으로 올렸으며, 광주기는 명기동안에는 형광등을 사용하여 조도를 1,032 lux로 유지하고 암기동안에는 차광막을 설치하여 빛을 완전히 차단하였다. 실험기간(실험 지속 시간: 156시간) 동안 호흡실로 유입되는 수량은 분당 600 mL로 일정하게 유지하였으며, 실험어의 호흡수는 각각의 실험수온에서 실험어의 분당 아가미 개폐 횟수를 10회 측정하여 평균값으로 계산하여 나타내었다.

### 2. 산소소비 측정장치 및 산소소비량 계산

산소소비 측정장치는 Fig. 1과 같으며, 호흡실(RC)은 실험중 어체의 행동과 호흡수를 측정할 수 있도록 투명 아크릴체로 하였다. 실험용수는 계속 순환하도록 하였으며, 저수조 1(WR 1)에서 순환되는 실험용수가 일정 수위에서 넘쳐 나가도록하여(흰색 화살표) 수압을 균일하게 유지함으로써, 실험기간 동안 호흡실로의 유입수량이 일정해지도록 조절하였다. 호흡실에서 유출된 실험용수는 저수조 2(WR 2)에서 에어레이션을 충분히 하여

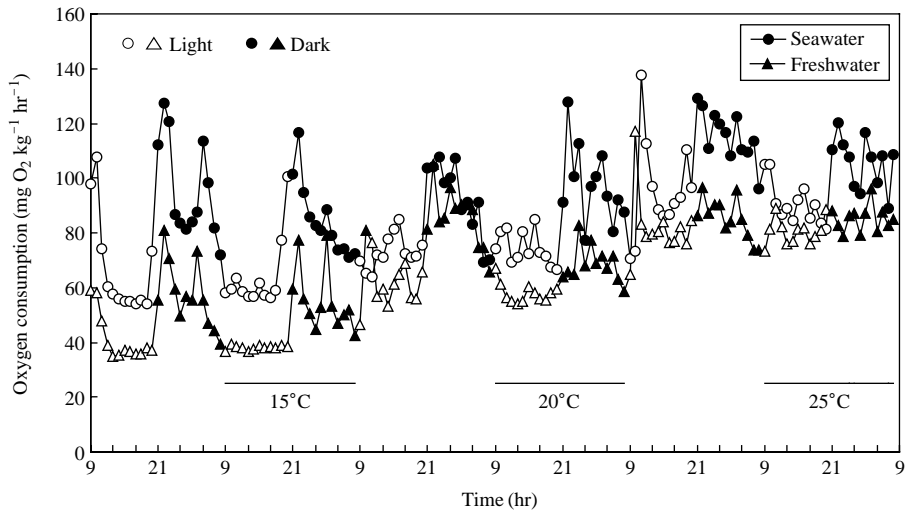


Fig. 2. Changes of oxygen consumption of starry flounder reared in seawater and freshwater in light and dark phases.

실험어에 의해 소비된 용존산소를 보충해 준 후, 항온수조(WR & FU)에서 정밀여과와 수온조절을 하여 다시 호흡실에 유입되도록 하였다. 산소소비량 측정에는 다채널 용존산소 측정시스템인 Oxyguard 6 프로그램(Oxyguard International A/S, Birkerød, Denmark)을 사용하였으며, 용존산소량은 유입수(IW)와 유출수(OW)실에 각각 부착되어 있는 용존산소 센서(OS)에서 10분 간격으로 자동 측정된 유입수와 유출수의 용존산소량을 토대로 계산된 단위체중당 산소소비량( $\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ )과 호흡당 산소소비량( $\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ breath}^{-1}$ )의 평균값으로 나타냈다. 호흡당 산소소비량은 각각의 실험에서 실험어의 호흡수를 측정할 수 있었던 명기동안에만 계산하였다. 각 실험에서 산소소비량은 다음 식으로 산정하였다.

$$\begin{aligned} \text{단위체중당 산소소비량}(\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}) &= \{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / W \\ \text{호흡당 산소소비량}(\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ breath}^{-1}) &= \{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / (W \times R \times 60) \end{aligned}$$

여기에서,  $C_i$ =유입수의 용존산소량( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $C_o$ =유출수의 용존산소량( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $F$ =유입수량( $\text{L min}^{-1}$ ),  $W$ =어체 총중량(kg),  $R$ =호흡수( $\text{breath number min}^{-1}$ )이다.

### 3. 통계처리

모든 측정값은 평균값±표준편차로 나타냈으며, 유의차는 SPSS-통계패키지(version 12.0)를 이용하여  $t$ -test와 one-way ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 검정하였다( $P < 0.05$ ).

## 결 과

### 1. 산소소비 리듬

해수 및 담수사육 강도다리의 산소소비 리듬은 Fig. 2와 같다. 광주기에 따른 해수 및 담수사육 강도다리의 산소소비는 15°C와 20°C에서 명기동안에는 산소소비량이 적고 일정한 반면, 암기동안에는 산소소비가 많고 일정하지 않은 뚜렷한 산소소비 리듬을 보였다. 하지만 수온이 25°C로 상승하면서 일정한 산소소비량을 보이던 해수 및 담수사육 강도다리 모두 명기동안에도 일정하지 않은 산소소비량을 보였다. 특히 담수사육 강도다리에서는 뚜렷했던 명암기의 산소소비 리듬이 사라지는 경향을 보였다.

해수 및 담수사육 강도다리의 1일 평균 단위체중당 산소소비량은 15°C에서 각각  $74.4 \pm 17.0$ ,  $46.7 \pm 12.0 \text{ mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ , 20°C에서는 각각  $85.9 \pm 15.8$ ,  $63.3 \pm 7.5 \text{ mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ , 25°C에서 각각  $98.3 \pm 11.4$ ,  $82.8 \pm 5.3 \text{ mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ 로 해수 및 담수사육 강도다리의 산소소비량은 수온상승과 비례하여 증가하였다. 또한 각각의 수온에서 담수사육 강도다리에 비해 해수사육 강도다리의 산소소비량이 유의하게 많았다( $P < 0.05$ ).

### 2. 산소소비량

수온을 15°C에서 25°C까지 5°C 간격으로 연속 상승시키면서 해수 및 담수사육 강도다리의 산소소비량을 측정된 결과를 광주기별로 Table 1에 나타내었다. 해수 및

**Table 1.** Mean oxygen consumption in starry flounder reared in seawater and freshwater at water temperatures conditions of 15, 20 and 25°C during light and dark phases

Water temp. (°C)	Seawater		Freshwater	
	Light	Dark	Light	Dark
15	63.7 ± 12.9 <sup>a</sup>	85.1 ± 13.7 <sup>c</sup>	38.1 ± 0.8 <sup>a</sup>	55.4 ± 11.6 <sup>b</sup>
20	74.4 ± 6.1 <sup>b</sup>	97.5 ± 14.1 <sup>de</sup>	58.0 ± 3.6 <sup>b</sup>	68.6 ± 6.5 <sup>c</sup>
25	90.8 ± 7.8 <sup>cd</sup>	105.9 ± 9.7 <sup>ef</sup>	80.5 ± 4.8 <sup>d</sup>	85.1 ± 4.8 <sup>d</sup>
b	0.034	0.023	0.075	0.045
a	36.07	60.57	12.62	27.90
r <sup>2</sup>	0.637	0.351	0.971	0.689
Q <sub>10</sub>	1.40	1.25	2.11	1.56

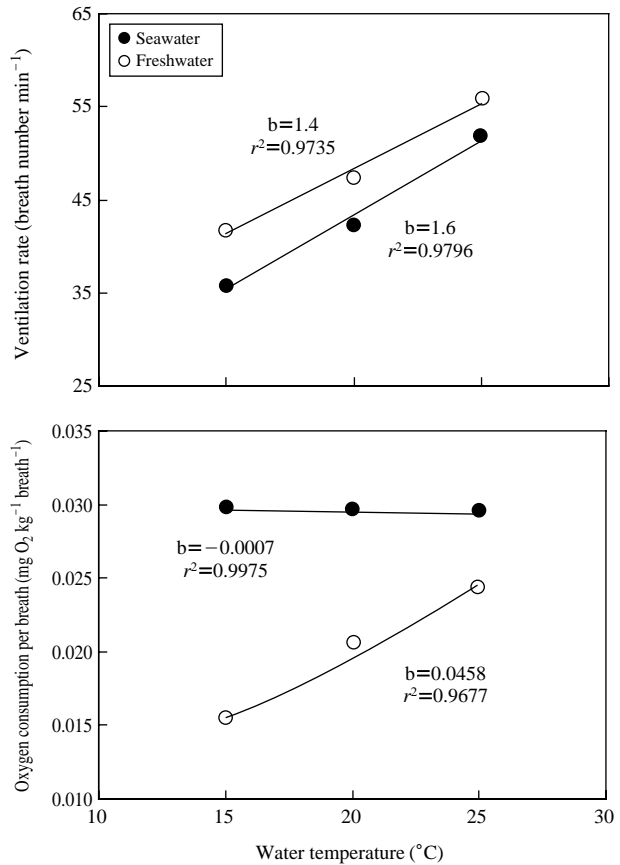
Mean values of the oxygen consumption with different superscripts the light and dark phases in each group are significantly different ( $P < 0.05$ , one-way ANOVA). Parameters “b” and “a” are for the exponential model,  $OC = a \times \text{EXP}(bT)$ ;  $r^2$  is for the linearized transform of the exponential model,  $\ln(OC) = \ln(a) + bT$ .

담수사육 강도다리 모두 각각의 수온에서 명기보다 암기의 산소소비가 유의하게 많았으며 ( $P < 0.05$ ), 명기와 암기 모두 수온상승과 비례하여 산소소비량이 증가하였다. 수온이 15°C에서 25°C로 상승했을 때, 해수사육 강도다리의 산소소비 증가량은 명기동안에는 1.4배, 암기 동안에는 1.2배로 증가하였으며, 담수사육 강도다리는 각각 2.1배, 1.5배 증가하여 해수 및 담수사육 강도다리 모두 암기보다 명기동안에 수온상승에 따른 산소소비 증가량이 높았다. 또한 명기와 암기 모두 해수사육 강도다리보다 담수사육 강도다리의 산소소비 증가량이 높았다.

명기 및 암기조건에서 해수사육 강도다리의 산소소비 지수함수식 기울기 (b)값은 각각 0.034, 0.023이었으며, 담수사육 강도다리는 각각 0.075, 0.045로 암기조건 보다 명기조건에서 수온상승에 따른 강도다리의 산소소비 증가량이 많았다. 또한 해수사육 강도다리보다 담수사육 강도다리가 산소소비 증가량이 많았다. 수온이 10°C 상승했을 때 명기조건에서 담수사육 강도다리의 Q<sub>10</sub>값이 2.11로 가장 높았으며, 암기조건에서 해수사육 강도다리의 Q<sub>10</sub>값이 1.25로 가장 낮았다 (Table 1).

**3. 호흡수와 호흡당 산소소비량**

해수 및 담수사육 강도다리를 수온 15°C부터 25°C까지 2일 간격으로 5°C씩 연속 상승시키며 명기동안 측정 한 분당 평균 호흡수는 Fig. 3과 같다. 15°C, 20°C 그리고 25°C의 수온에서 해수사육 강도다리의 호흡수는 각각  $35.8 \pm 5.4$ 회,  $41.8 \pm 4.6$ 회,  $51.6 \pm 7.0$ 회, 담수사육 강도다리는 각각  $42.2 \pm 4.8$ 회,  $47.0 \pm 3.4$ 회,  $55.8 \pm 4.6$ 회로 수온상승과 비례해서 증가하였으며, 담수사육 강도다리가 해



**Fig. 3.** Ventilation rate and oxygen consumption per breath of starry flounder reared in seawater and freshwater at water temperatures at 15, 20 and 25°C. The numbers in the figure are the slope (b) and value of  $r^2$ , respectively.

수사육 강도다리보다 각각의 수온에서 호흡수가 유의하게 많았다 ( $P < 0.05$ ). 수온이 15°C에서 25°C로 상승했을 때 해수 및 담수사육 강도다리의 평균 호흡수 증가기울기 (b) 값은 각각 1.6, 1.4로 나타나 각각의 수온에서 호흡수는 담수사육 강도다리보다 해수사육 강도다리가 적었으나 호흡수 증가속도는 빨랐다.

호흡당 산소소비량은 Fig. 3과 같이 수온 15°C, 20°C 그리고 25°C에서 해수사육 강도다리는 각각  $0.0296 \pm 0.0058$ ,  $0.0295 \pm 0.0030$ ,  $0.0294 \pm 0.0025$  mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> breath<sup>-1</sup>, 담수사육 강도다리는  $0.0152 \pm 0.0003$ ,  $0.0206 \pm 0.0013$ ,  $0.0241 \pm 0.0014$  mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> breath<sup>-1</sup>로 각각의 수온에서 담수사육 강도다리에 비해 해수사육 강도다리의 호흡당 산소소비량이 많았다 ( $P < 0.05$ ). 담수사육 강도다리의 호흡당 산소소비량의 b값은 0.0458,  $r^2$ 값은 0.9677로 수온 및 호흡수 증가와 비례하여 유의하게 증가하였으나, 해수사육 강도다리의 b값은 -0.0007,  $r^2$ 값은 0.0587로 수온 및 호흡수 증가와 상관없이 유의한 차이



를 보이지 않았다( $P > 0.05$ ).

## 고 찰

수중에서 서식하는 어류는 수온, 염분, 광주기 등 환경 변화에 매우 민감하게 반응하며, 이는 스트레스로 작용하여 생리활성을 변화시키는 것으로 알려져 있다(Claireaux and Lagardère 1999; Chang *et al.* 2005; Chatelier *et al.* 2005; 정 등 2007). 본 연구에서는 장기간 담수환경에 적응한 강도다리의 환경변화(수온 15°C, 20°C, 25°C; 광주기 12L:12D)에 따른 산소소비 영향을 알아보기 위하여 일반 해수에서 사육한 강도다리와 비교·분석하였다. 변 등(2008)은 해수에서 사육한 강도다리는 수온상승과 비례해서 산소소비가 증가하였으며, 암기동안 산소소비가 많고 명기동안에는 산소소비가 적은 야간활동형 어류임을 밝힌 바 있다. 담수에서 사육한 강도다리를 사용한 본 연구의 결과 역시 수온상승과 비례해서 산소소비량이 증가하였으며, 암기동안에는 산소소비가 많고 명기동안에는 산소소비가 적은 경향을 보였다. 하지만 수온이 25°C로 상승하면서 일정한 산소소비량을 보이던 해수 및 담수도다리 모두 명기동안에도 일정하지 않은 산소소비량을 보였다. 특히 담수에서 사육한 강도다리에서는 뚜렷했던 명암기의 산소소비 리듬이 사라지는 경향을 보였다. Horning and Pearson(1973)은 어체가 수온변화에 적응할 때 중요한 요인은 광주기와 적응온도로서, 고수온에 적응된 어류는 저수온에 약하고, 저수온에 적응된 어류는 고수온에 약하다고 보고하였다. 소(2007)는 냉수성 어류인 무지개송어를 사용하여 수온변화에 따른 산소소비량을 측정할 결과, 23°C 이상의 수온에서 산소소비량 및 헤모글로빈량이 감소하는 등 어체의 대사리듬이 흐트러지고, 28°C 이상에서는 모두 폐사하여, 높은 수온은 정상적인 대사활동에 악영향을 미친다고 하였다. 또한 사육수의 염분변화는 산소소비 리듬을 변화시키며, 산소소비량의 증가와 감소를 일으킨다는 보고가 있는데, 이는 삼투압 스트레스에 의한 것으로 추정하고 있다(Morgan and Iwama 1991, 1998; Swanson 1998; McKenzie *et al.* 2001a, b; Sardella *et al.* 2004). 본 연구결과에서 수온이 20°C에서 25°C로 상승하면서 담수에서 사육한 강도다리의 뚜렷했던 명암기의 산소소비 리듬이 사라진 것은 담수에서 사육한 강도다리가 담수환경에 장기간 적응하였다 하더라도, 끊임없는 삼투압조절로 인한 스트레스와 더불어 적정 서식수온보다 높은 수온 조건에 의해 대사활동 불균형이 복합적으로 작용한 것으로 판단된다.

염분에 따른 어류의 저항성은 서식환경에 따라 다양한 내성을 가지고 있으며, 기수지역에 서식하는 어류는 담수 혹은 해수지역에 한정되어 서식하는 어류보다 넓은 범위의 염분에서도 강한 내성을 나타내며, 삼투압조절이 가능하다(Martin 1990; 강 등 2000). 어류의 성장에 있어 염분의 영향은 흔히 삼투압 및 이온조절에 소비되는 에너지가 적게 소비되는 염분범위에서 가장 좋은 성장을 기대할 수 있다. 즉, 등장액의 환경조건에서 삼투압조절에 필요한 에너지가 가장 적게 소비되는 염분범위가 성장에 최적 조건이라는 것을 의미한다(Morgan and Iwama 1991). 또한 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 *et al.* 1998). 이와 반대로, white mullet *Mugil curema*는 수온이 20°C일 때 해수에서 산소소비량은 119.8 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>, 담수에서는 136.7 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>로 해수보다 담수에서 산소소비량이 더 많았다(Fanta-Feofiloff *et al.* 1986). 정 등(2007)의 감성돔을 이용한 호흡실내 수용체별 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 군효과가 존재하며, 담수에 비해 해수에서 감성돔의 군효과가 크게 작용한 것으로 판단하였다. 이와 같이 많은 연구자들은 단일개체와 복수개체의 성장과 대사량 차이에서 군효과(group effect)가 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 연구의 결과에서는 각각의 수온조건에서 해수에서 사육한 강도다리가 담수에서 사육한 강도다리보다 많은 산소소비량을 보였으며, 이러한 결과의 원인을 파악하기 위해서는 담수 및 해수사육 강도다리의 군효과 실험이 추가적으로 실시되어야 할 것으로 판단된다.

많은 연구자들은 경골어류에 있어 호흡수와 산소소비의 상호관계를 보고하였다(Smart 1978; Perry and McDonald 1993; van Rooij and Videler 1996; Adams *et al.* 2001). 변 등(2008)은 해수에서 사육한 강도다리의 호흡수는 수온상승과 비례해서 증가하였으나 호흡당 산소소비는 감소하는 경향을 보였으며, 이러한 결과의 원인을 냉수성 어류인 강도다리는 20°C 이상의 수온에서는 체내·외 산소결합 및 체내 산소운반 능력이 감소하여 활

성이 낮아지는 것에 기인한 결과라고 추정 보고한 바 있다. 본 연구에서도 해수에서 사육한 강도다리의 호흡수와 호흡당 산소소비량은 변 등(2008)의 연구와 같은 결과를 얻었으나, 담수에서 사육한 강도다리는 수온상승과 비례해서 호흡수 및 호흡당 산소소비량이 증가하는 경향을 보였다. 또한 각각의 수온에서 담수에서 사육한 강도다리의 호흡수가 해수에서 사육한 강도다리의 호흡수보다 많았으나, 호흡당 산소소비량은 담수에서 사육한 강도다리보다 해수에서 사육한 강도다리가 높게 나타났다. 이는 담수에서 사육한 강도다리가 해수에서 사육한 강도다리에 비해 수온상승에 따른 체내 산소결합 및 운반능력이 높지는 않으나 안정적으로 이루어지는 것으로 판단된다. Iwama *et al.* (1997)은 어류의 호흡수가 산소소비량에 유의한 영향을 미치는 것이 아니라고 하였으며, Dalla Valle *et al.* (2003)은 어류의 호흡수와 산소소비의 상호관계에 있어 아가미덮개의 개폐횟수와 폭의 통합적 압력 차이를 측정하면 단일 횟수에 따른 보다 나은 산소소비량 예측이 가능하다고 하였다. 또한 어류는 호흡활동의 증가 이외에 세번보충(lamellar recruitment)의 증가 또는 조직관류(tissues perfusion)의 향상과 같은 기구에 의해 산소흡입을 조절할 수 있는 것으로 알려져 있으며(Randall 1982), 특히 측편형 또는 도다리류와 같이 납작한 어류에 있어서 피부호흡은 호흡활동과 산소흡입 사이의 관계에 영향을 줄 수 있는 다른 요인으로 작용할 수 있다(Steffensen *et al.* 1981). 따라서 사육수 염분에 따른 강도다리의 호흡수와 호흡당 산소소비량의 관계를 보다 정확히 이해하기 위해서는 혈액의 산소분압, 호흡과 관련된 아가미 세번의 조직학적 관찰 및 피부호흡에 의한 산소소비 등에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구는 밀폐식 순환여과 시스템의 호흡측정실내에서 해수 및 담수사육 강도다리의 산소소비에 미치는 수온 영향을 조사하였다. 실험에 사용한 어류는 해수 및 담수에 각각 순화시킨 해수사육 강도다리(9마리, 평균체중  $263.0 \pm 40.4$  g)와 담수사육 강도다리(9마리, 평균체중  $265.8 \pm 34.8$  g)를 사용하였다. 수온 15, 20, 25°C에서 해수사육 강도다리의 산소소비량은 각각  $74.4 \pm 17.0$ ,  $85.9 \pm 15.8$ ,  $98.3 \pm 11.4$  mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>, 담수사육 강도다리는  $46.7 \pm 12.0$ ,  $63.3 \pm 7.5$ ,  $82.6 \pm 5.3$  mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>로 수온상승 비례하여 증가하였다. 또한 수온 15°C와 20°C에서는 명기(09:00~21:00 hr)와 암기(21:00~09:00 hr)로 나누어진 광주기(12L:12D)의 조건에서 해수 및 담수사육

강도다리 모두 명기에는 산소소비가 적고, 암기에는 산소소비가 많은 뚜렷한 일주기성을 보였다. 하지만 수온 25°C에서는 해수 및 담수사육 강도다리 모두 명기와 암기의 뚜렷하지 않은 산소소비 일주기성을 보였으며, 수온 20°C 이상에서는 대사리듬이 흐트러지는 것으로 판단된다. 해수 및 담수사육 강도다리의 호흡률을 비교했을 때 담수사육 강도다리가 해수사육 강도다리보다 높았으나, 산소소비량은 해수사육 강도다리가 많았다.

## 사 사

본 연구는 한국해양수산기술진흥원의 수산특정연구개발과제(F106018-06A2200-00110, RP-2009-AQ-021)로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 강주찬, 진 평, 이정식, 신윤경, 조규석. 2000. 날개망둑 *Favonigobius gymnauchen* 치어의 생존, 성장 및 산소소비율에 미치는 염분의 영향. 한국수산학회지. 33:408-412.
- 김용역, 명정구, 김영섭, 한경호, 강충배, 김진구. 2001. 한국해산어류도감. 도서출판한글. 288pp.
- 민병화, 노경연, 정민환, 강덕영, 최철영, 방인철, 장영진. 2006. 담수 및 해수사육 감성돔 *Acanthopagrus schlegeli*의 생리활성과 성장에 미치는 갑상선 호르몬의 효과. 한국양식학회지. 19:149-156.
- 변순규, 이백익, 이종화, 구학동, 박상언, 윤성민, 황선영, 김이청, 한형균. 2007. 강도다리 *Platichthys stellatus*의 난발생과 자치어의 형태발달. 한국어류학회지. 19:350-359.
- 변순규, 정민환, 이종하, 이백익, 구학동, 박상언, 김이청, 장영진. 2008. 수온에 따른 강도다리 *Platichthys stellatus*의 산소소비 리듬. 한국수산학회지. 41:113-118.
- 소상영. 2007. 수온변화와 순화에 따른 무지개송어 *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)의 산소소비량. 군산대학교 석사학위논문. 한국. 45pp.
- 임한규, 한형균, 이종하, 정민환, 허준욱. 2005. 단계적 염분변화가 striped bass 잡종 (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)의 생리적 반응에 미치는 영향. 한국어류학회지. 17:46-48.
- 장영진, 허준욱, 임한규. 2001. 순환여과 사육시스템에서 해수와 담수에 사육한 송어 (*Mugil cephalus*) 치어의 성장과 생존율. 한국양식학회지. 14:29-33.
- 정문기. 1998. 한국어류도감. 일지사. 570pp.
- 정민환, 김영수, 민병화, 장영진. 2007. 해수 및 담수사육 감성돔 *Acanthopagrus schlegeli*의 호흡측정 실내 수용개체수에 따른 산소소비 비교. 한국양식학회지. 20:121-126.
- 추정, 장영진, 허준욱. 2000. 어린 송어 (*Mugil cephalus*)의 담

- 수사육에서 염분흡착 사료가 성장, 생존율 및 체액의 조성에 미치는 영향. 한국양식학회지. 13:317-323.
- Adams MB, MD Powell and GJ Purser. 2001. Effect of acute and chronic ammonia and nitrite exposure on oxygen consumption and growth of juvenile big bellied seahorse. *J. Fish Biol.* 58:848-860.
- Chang YJ, MH Jeong, BH Min, WH Neill and LP 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, DJ 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.
- Claireaux G and J-P. Lagardère. 1999. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass. *J. Sea Res.* 42:157-168.
- Dalla Valla AZ, 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.
- Fanta-Feofiloff E, DRB Eiras, AT Boscardim and M Lacerda-Krambeck. 1986. Effect of salinity on the behavior and oxygen consumption of mugil curema (*Pisces, Mugilidae*). *Physiol. Behav.* 36:1029-1034.
- Horning WBI and RE Pearson. 1973. Growth temperature requirement and lower lethal temperature for juvenile small-mouth bass (*Micropterus dolomieu*). *J. Fish. Res. Bd. Can.* 30:1226-1230.
- Iwama GK, 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 WS, HT Huh, JH Lee and CH Koh. 1998. Effects of sudden changes on salinity on endogenous rhythm of the spotted sea bass *Lateolabrax* sp. *Mar. Biol.* 131:219-225.
- Lucas MC and IG Priede. 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 TJ 1990. Osmoregulatory in three species of Ambassidae (Osteichthyes: Perciformes) from estuaries in Natal. *S. Afr. J. Zool.* 25:229-234.
- McKenzie DJ, E Cataldi, EW Taylor, S Cataudella and P Bronzi. 2001b. Effects of acclimation to brackish water on tolerance of salinity challenge by Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58:1113-1120.
- McKenzie DJ, E Cataldi, S Owen, EW Taylor and P Bronzi. 2001a. Effects of acclimation to brackish water on the growth, respiratory metabolism and exercise performance of Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58:1104-1112.
- Morgan JD and GK Iwama. 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 JD and GK Iwama. 1998. Salinity effects on oxygen consumption, gill  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase activity and ion regulation in juvenile coho salmon. *J. Fish Biol.* 53:1110-1119.
- Parker FR 1973. Reduced metabolic rates in fishes as a result of induced schooling. *Trans. Am. Fish. Soc.* 102:125-130.
- Perry SF and G McDonald. 1993. Gas exchanges. pp.329-425 In *The Physiology of Fishes* (Evans DH ed.). Boca Raton. FL: CRC Press.
- Randall DJ 1982. The control of respiration and circulation in fish during exercise and hypoxia. *J. Exp. Biol.* 100:275-285.
- Ross RM, TWH Backman and KE Limburg. 1992. Group-size-mediated metabolic rate reduction in American shad. *Trans. Am. Fish. Soc.* 121:385-390.
- Ruer PM, JJ Cech and SI Doroshov. 1987. Routine metabolism of the white sturgeon, *Acipenser transmontanus*: effect of population density and hypoxia. *Aquaculture* 62:45-52.
- Sardella BA, V Matey, J Cooper, RJ Gonzalez and CJ Brauner. 2004. Physiological, biochemical and morphological indicators of osmoregulatory stress in 'California' Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. urolepis hornorum*) exposed to hypersaline water. *J. Exp. Biol.* 207:1399-1413.
- Smart G. 1978. Investigation of the toxic mechanisms of ammonia to fish-gas exchange in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) exposed to acutely lethal concentrations. *J. Fish Biol.* 12:93-104.
- Steffensen JF, PL Lomholt and K Johansen. 1981. The relative importance of skin oxygen uptake in the naturally buried plaice, *Pleuronectes platessa*, exposed to graded hypoxia. *Respir. Physiol.* 44:268-275.
- Swanson C. 1998. Interactive effects of salinity on metabolic rate, activity, growth and osmoregulation in the euryhaline milkfish (*Chanos chanos*). *J. Exp. Biol.* 201:3355-3366.
- Umezawa SI, S Adachi and K Taneda. 1983. Group effect on oxygen consumption of the ayu (*Plecoglossus altivelis*) in relation to growth stage. *Jap. J. Ichthyol.* 30:261-267.
- van Rooij JM and JJ Videler. 1996. Estimating oxygen uptake rate from ventilation frequency in the reef fish *Sparisoma viride*. *Mar. Eco. Prog. Ser.* 132:31-41.