

## 수온, 염분 및 광주기에 따른 잡종 striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂)의 산소소비

임한규\* · 정민환<sup>1</sup> · 한형균<sup>2</sup> · 이종하<sup>2</sup> · 장영진<sup>1</sup>

국립수산과학원 양식과학부, <sup>1</sup>부경대학교 양식학과, <sup>2</sup>국립수산과학원 어류연구센터

## Oxygen Consumption of Hybrid Striped Bass (*Morone chrysops* ♀ *M. saxatilis* ♂) Exposed to Different Temperature, Salinity and Photoperiod

Han Kyu Lim\*, Min Han Jeong<sup>1</sup>, Hyoung-Kyun Han<sup>2</sup>, Jong Ha Lee<sup>2</sup> and Young Jin Chang<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>2</sup>Finfish Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Uljin 767-860, Korea

The Oxygen consumption of hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) was measured in relation to water temperature, salinity and photoperiod changes. Fish (574.0101.3 g) was individually exercised in a chamber for 24 h at 20°C, 24°C and 28°C with two salinity conditions (0 and 33 psu). Stepwise, the increase of water temperature induced a strong increase of the oxygen consumption. Salinity and photoperiod had an influence on the oxygen consumption of hybrid striped bass, even though there was not a consistent tendency between those.

**Keywords:** Hybrid striped bass, Oxygen consumption, Temperature, Salinity, Photoperiod

### 서 론

어류는 사육수에 녹아 있는 산소를 이용하여 섭취된 먹이를 소화시키고 이를 통해 체성분의 합성과 운동에너지를 발생시키기 때문에 용존산소(dissolved oxygen)는 어류의 대사량을 좌우하는 중요한 요인들 중 하나이다. 따라서 어류 양식에서 용존산소는 어류의 수용밀도와 먹이 공급량, 생산량 등을 결정하는 중요한 기준으로 작용하고 있지만(Erez et al., 1990; Itazawa and Hanyu, 1991; Dalla Via et al., 1998), 사육 어류의 용존산소 소비량에 관한 자료는 매우 빈약한 실정이다. 이것은 어류의 용존산소 소비량이 어체의 크기, 어종, 사육밀도 뿐만 아니라 수온이나 염분, 광주기 등과 같은 사육환경에 따라서도 큰 영향을 받기 때문이다. 사육중인 어류의 산소 소비량을 파악하기 위해서는 수온, 염분 및 광주기 등과 같은 사육환경을 우선적으로 고려해야 한다. 더욱이 최근처럼 송어, *Mugil cephalus*, 농어, *Lateolabrax japonicus*, 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli* 등 염분 내성이 강한 광염성 해산 어류를 담수에서 양식하려는 시도

나, 반대로 틸라피아, *Oreochromis* sp.나 잡종 striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂)를 해수에서 양식하려는 시도가 활발히 진행 중인 시점에서 환경 변화가 사육 어류에게 미치는 영향을 파악하는 연구는 필수적이며, 이중 어체내 대사에 가장 큰 영향을 미치는 산소소비량을 파악하는 연구는 매우 중요하다. 그러나 환경변화에 따른 사육 어류의 생리적 상태의 변화에 관한 자료는 매우 부족한 실정이며, 더욱이 염분이나 수온, 광주기와 같은 사육환경이 어류의 산소소비량 변화에 미치는 자료는 매우 빈약한 상태이다.

Striped bass는 광염성 어류이며 상업적으로 중요한 양식어종으로 세계 각지에서 활발한 양식이 이루어지고 있다. 미국에서는 1980년대 중반부터 성장이 빠르고 질병에 대한 내성이 강한 잡종 striped bass (white bass *Morone chrysops* × striped bass *M. saxatilis*)를 생산하여 대량으로 양식하고 있으며, 최근에는 국내에도 이종을 도입하여 양식 가능성을 검토하고 있다. 따라서 본 연구에서는 잡종 striped bass의 사육 환경 중 성장과 생존에 가장 영향을 미치는 요인들인 수온, 염분, 광주기 등에 따른 산소 소비량을 측정하여 잡종 striped bass의 양식을 위한 기초 자료로 사용하고자 하였다.

\*Corresponding author: limhk@nfrdi.re.kr

재료 및 방법

실험어 및 실험방법

실험어로는 국립수산과학원 어류연구센터에서 자연 해수로 사육하고 있던 잡종 striped bass와 담수에 순화시킨 개체를 이용하였다. 실험어의 전장과 체중은  $37.6 \pm 0.3$  cm와  $637.8 \pm 40.9$  g였으며, 담수 순화는 해수(33 psu)에서 사육하고 있던 개체들을 하루에 11 psu씩 3일간 단계적으로 염분을 낮추어 담수에서 90일간 사육한 후 완전히 담수에 순응시킨 다음 실험에 사용하였다.

용존산소 소비량을 측정하기 위하여 담수와 해수의 유수식 수조에 사육하던 실험어들을 산소소비량 측정 장치(Oxyguard, Aller-aqua, Denmark) 내의 호흡실로 신속히 옮겨, 20, 24 및 28°C에서 10분 간격으로 산소소비량을 측정하였다(Fig. 1). 이때 실험의 진행은 한 마리의 실험어를 단계적으로 온도를 상승시키면서 지속적으로 산소소비량의 변화를 추적하였다. 수온은 수온조절장치(circulating water bath, Johnsam, Korea)를 사용하여 조절하였으며, 호흡실의 처음 수온은  $20 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 였고, 호흡실로 옮겨진 실험어는 24시간 동안 수온 적응시간을 준 후 20°C에서 24시간동안 산소소비량을 측정하였고, 24°C로 수온을 상승시킨 후 다시 24시간 동안 적응시킨 다음 24시간동안 용존산소량을 측정하였다. 이러한 방법으로 32°C까지 수온을 높여 가며 수온에 따른 산소소비량을 측정하였다. 실험기간 동안 광주기는 명·암기를 12시간씩(명기: 09:00~21:00, 암기: 21:00~09:00)으로 조절하였으며, 암기에는 차광막을 이용하여 빛을 완전히 차단하였다. 실험기간동안 호흡실로 공급되는 물의 량은  $960 \pm 20$  ml/min로 일정하게 유지하였으며, 실험기간 동안은 절식시켰다.

산소 소비율 계산 및 호흡수 측정

산소소비측정 장치에서 10분 간격으로 측정되는 유입수와 유출수의 용존산소량은 자동으로 컴퓨터에 저장되었으며 저장된

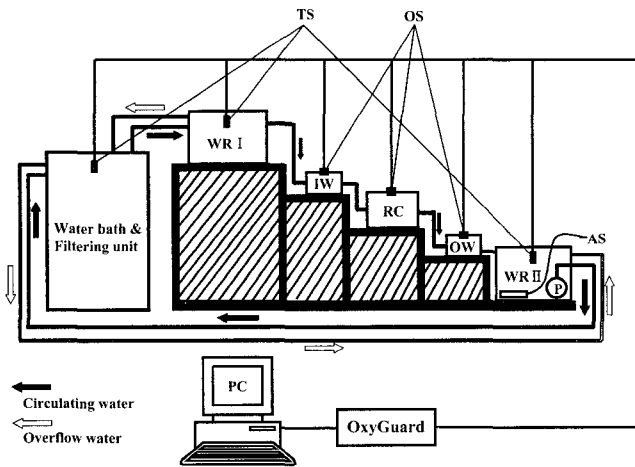


Fig. 1. Diagram of respiration chamber and experimental system used. AS: air supply, IW: inlet water, OS: DO sensor, OW: outlet water, P: pump, PC: personal computer, TS: temperature sensor, RC: respiration chamber, WR I&II: water reservoir I&II.

값을 이용하여 잡종 striped bass의 비체중 산소 소비량[단위체중당 산소소비량( $\text{VO}_2$  mg/kg/h)]= $\{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / W$ ,  $C_i$ =유입수의 용존 산소량(mg/L),  $C_o$ =유출수의 용존 산소량(mg/L),  $F$ =유량(L/min),  $W$ =어체 총 습중량(kg)]을 계산하였다. 호흡수는 매일 오전 10시와 오후 2시에 1분간 아가미 개폐 횟수를 육안으로 3회 측정 후 평균을 구하였다.

통계처리

실험은 담수와 해수 모두에서 3반복되었으며, 모든 측정값은 평균값±표준오차로 나타내었다. 유의차는 SPSS-통계 패키지(version 1.0)를 이용하여 t-test와 ANOVA-test를 실시한 후 Tukey's multiple range test를 이용하여 검증하였다( $P < 0.05$ ).

결과 및 고찰

24시간동안 관찰된 잡종 striped bass의 산소소비량의 변화는 Fig. 2와 같다. 해수에서 잡종 striped bass의 비체중 산소소비량은 20, 24, 28°C일 때 각각 163.1, 181.5, 253 mg/kg/h로서 유의적인 차이를 보였고, 담수에서의 비체중 산소소비량은 20, 24°C일 때 각각 114.2, 239.2 mg/kg/h로 해수에서처럼 유의적으로 증가하였다. 담수에서는 수온을 24°C에서 28°C로 올

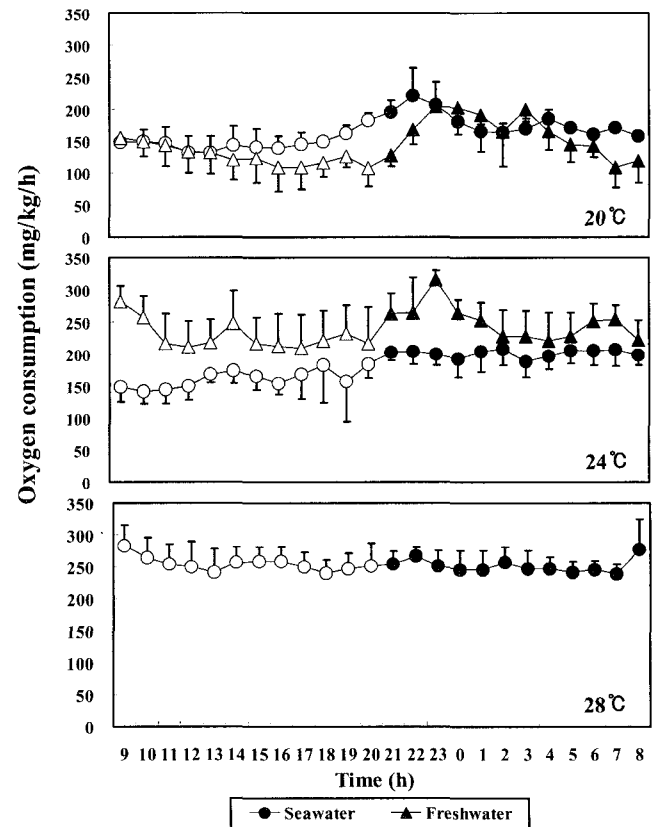


Fig. 2. Oxygen consumption rate of hybrid striped bass in fresh water and sea water exposed to acute temperatures change.

리자 실험어가 폐사하였으며, 해수에서는 28°C에서 32°C로 올리자 폐사하였다. 수온에 따른 비체중 산소소비량의 변화는 수온이 증가할수록 산소소비량도 유의적으로 증가하는 경향이었으며 염분과 광주기에 따라서도 비체중 산소소비량은 영향을 받았다(Fig. 2).

사육중인 어류의 산소소비량은 먹이공급(Alsop and Wood, 1997; Gandara et al., 2002), 사육 밀도(Kawamoto, 1977) 및 환경변화(Dalla Via et al. 1998) 등과 같은 외부요인에 의해 영향을 받기도 하고, 나이나 성숙(Fidhiany and Winckler, 1998) 및 크기(Yamamoto, 1991)와 같은 내부 요인과의 밀접한 연관성을 가지고 있다.

이처럼 많은 요인들 중 수온은 사육중인 어류의 대사에 가장 큰 영향을 미치는 요인중 하나이며 대부분  $Q_{10}$ 의 법칙을 따르고 있다. 특히 급격한 수온의 변화는 사육중인 어류에게 스트레스 요인으로 작용하고 있으며 이러한 스트레스는 대사율을 증가시킨다(Brick and Cech, Jr, 2002). 본 연구에서 산소소비량은 다른 연구들(Founds and Veldhuis, 1973; Kim et al., 1995)에서와 같이 수온 상승과 정비례관계를 가지고 있었기 때문에 수온이 산소소비에 영향을 미쳤다는 사실은 의심할 여지가 없었다. 그러나 본 연구에서 수온 상승에 따른 수온 스트레스를 고려해야 한다. 비록 24시간의 적응기를 주었지만 4°C의 상승은 실험어에게 스트레스 요인으로 작용했을 수 있으며, 이것은 수온 상승과 함께 실험어의 산소소비량을 더욱 증가시켰을 것이다. 따라서 본 연구 결과에서 증가된 산소소비량 중 수온 상승의 영향만을 구분하여 정량화할 수는 없을 것으로 판단된다.

광주기에 의한 평균 산소소비량은 해수의 경우 20°C와 24°C에서는 암기가 높았으며 담수의 경우 24°C에서는 명기에 산소소비량이 많았으나 24°C에서는 암기에 높았다(Table 1). 비록 본 실험에서 염분에 따라 경향은 달랐지만 광주기는 명확히 산소소비량의 변화에 영향을 미치고 있었으며, 이것은 어류의 활동성과 같이 검토할 수 있다. 일반적으로 야행성 어류들은 야간에 활동이 활발하기 때문에 밤에 산소소비가 많고, 반대로 주행성 어류는 낮 시간에 산소소비가 많을 것이다. 본 실험에서 striped bass 잡종은 주간보다 야간에 산소소비량이 높아 야간

에도 활발하게 활동하는 어류라고 생각되어진다.

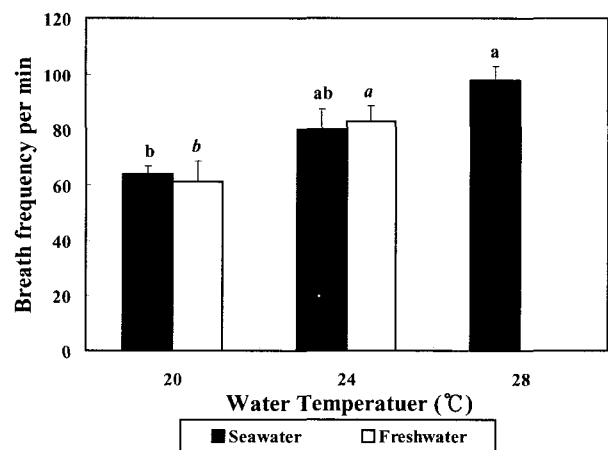
본 연구에서 염분에 따른 산소소비량은 20°C에서는 해수에서 많았지만 24°C에서는 담수에서 높아 일관된 결과를 얻을 수 없었기 때문에 명확히 염분이 잡종 striped bass의 산소소비에 미치는 영향을 알 수는 없었다. 그러나 sea bass, *Dicentrarchus labrax* 치어를 이용한 실험에서 갑작스런 염분변화는 산소소비량의 증가와 함께 대사율을 80%까지 증가시켰다(Dalla Via et al., 1998)는 연구결과와 striped bass 치어를 이용한 실험 결과(Brick and Cech, Jr, 2002)를 근거로 유추해볼 때 잡종 striped bass에서도 염분은 산소소비량의 변화에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 비록 sea bass나 잡종 striped bass 모두 광염성 어류지만 사육수의 염분이 최적 생존 범위를 벗어났을 경우 그것은 만성적인 스트레스 요인으로 작용할 수 있으며 이것은 대사율의 변화에도 영향을 미쳤을 것이다. 그러나 Iwama et al. (1997)은 틸라피아, *Oreochromis mossambicus*를 이용한 실험에서 일반적인 틸라피아의 서식범위를 벗어난 염분에서 산소소비량이 증가하였다고 하였으나, coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* 치어를 이용한 실험에서는 산소의 소비에 차이를 보이지 않았다(Morgan and Iwama, 1998). 이것은 어종마다 염분에 대한 적응능력이 다르고, 또 염분의 변화 폭이나 적응기간 등이 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다.

수온에 따른 호흡수의 변화는 해수에서 실험한 경우 20°C에서 분당 평균 64회, 24°C에서 80회, 28°C에서 98회로 수온이 증가할수록 유의적으로 증가하였으며, 담수에서는 20°C에서 분당 평균 61회였던 것이 24°C에서는 82회로 증가하였다(Fig. 3). 호흡수의 증가는 수온에 정비례하여 증가하였으며 이것은 수온에 따른 산소소비량의 증가 경향과 일치하는 것이었다. 본 연구의 모든 실험에서 실험어들은 실험 시작 24시간 전부터 절식시킨 상태였기 때문에 사료 공급이나 소화를 위한 산소소비는 최소화 되었을 것이다. 따라서 수온에 따른 산소소비량과 호흡수의 증가는 대부분 수온 상승에 영향을 받았을 것이고 실험과

**Table 1.** Oxygen consumption at different temperatures, salinity and photoperiod in hybrid striped bass

Temperature (°C)	Photoperiod	Salinity	
		Seawater (mg/kg/h)	Freshwater (mg/kg/h)
20	Light	146.57±1.92	177.84±2.00*
	Dark	179.43±2.63	162.68±4.86*
24	Light	161.03±2.31	195.11±3.03*
	Dark	200.00±1.60	238.60±2.56*
28	Light	253.69±1.57	-
	Dark	252.83±2.08	-

Asterisks show significant differences between seawater and freshwater ( $P < 0.05$ ).



**Fig. 3.** Breath frequency of hybrid striped bass at different water temperatures and salinity.

정에서 발생할 수 있는 수온 변화나 기타 실험 스트레스도 산소 소비량을 높이는 원인이 되었을 것이다.

용존산소량은 우리나라와 같이 고밀도로 어류를 양식하는 시스템에서는 가장 중요한 제한 요인으로 작용한다. 따라서 어류 양식시 수용밀도를 결정할 때는 수온이나 염분과 같은 환경요인들을 충분히 고려하여 예상 산소소비량을 먼저 계산하여야 한다. 즉 사육 기간 중 도달할 수 있는 최고 수온을 고려하는 것은 물론 사료 섭취 등이 고수온과 같이 일어난 경우 수온 상승과 소화의 공동작용도 예상해야 할 것이다. 또한 선별이나 수조 이동과 같은 사육과정 중 발생할 수 있는 스트레스의 증가에 따른 산소소비의 증가와 갑작스럽게 발생하는 적조 등과 같은 요인에 의한 산소소비 증가도 염두해 두어야 한다. 이처럼 사육과정 중 어류의 성장과 생존을 좌우할 수 있는 산소소비에 영향을 미치는 다양한 요인들에 관한 검토가 필요하며 나아가 이들 요인들의 복합적 작용에 관한 심도 있는 연구가 요구된다.

### 참고문헌

- Alsop, D. H. and C. M. Wood, 1997. The interactive effects of feeding and exercise on oxygen consumption, swimming performance and protein usage in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The Journal of Experimental Biology, **200**: 2337-2346.
- Brick, M. E. and J. J. Cech Jr., 2002. Metabolic responses of juvenile striped bass to exercise and handling stress with various recovery environments. Transaction of the American Fisheries Society, **131**: 855-864.
- Dalla Via, J., P. Villani, E. Gasteiger and H. Niederstätter, 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.
- Fidhiany, L. and K. Winckler, 1998. Influence of body mass, age, and maturation on specific oxygen consumption in a freshwater cichlid fish, *Cichlasoma nigrofasciatum* (Günther, 1869). Comp. Biochem. Physiol., **119A**: 613-619.
- Founds, M. and C. Veldhuis, 1973. The oxygen consumption of four pomatoschistus species (Pisces, Gobiidae) in relation to water temperature. Netherlands Journal of Sea Research, **7**: 376-386.
- De la Gándara, F., A. García-Gómez and M. Jover, 2002. Effect of feeding frequency on the daily oxygen consumption rhythms in young mediterranean yellowtails (*Seriola dumerili*). Aquaculture Engineering, **26**: 27-39.
- Erez, J., M. D. Krom and T. Neuwirth, 1990. Daily oxygen variations in marine fish ponds, elat, Israel. Aquaculture, **84**: 289-305.
- 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. Journal of Fish Biology, **51**: 886-894.
- Kawamoto, N., 1977. Fish physiology. Koseisha-Koseikaku, Tokyo, Japan, 605 pp.
- Kim, I. N., Y. J. Chang and J. Y. Kwon. 1995. The patterns of oxygen consumption in six species of marine fish. J. Korean Fish. Soc., **28**: 373-381.
- Morgan, J. D. and G. K. Iwama. 1998. Salinity effects on oxygen consumption, gill Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase and ion regulation in juvenile coho salmon. Journal of Fish Biology, **53**: 1110-1119.
- Yamamoto, K. I., 1991. Relationship of respiration to body weight in the carp *Cyprinus carpio* under resting and normoxic condition. Comp. Biochem. Physiol., **100A**: 113-116.

원고접수 : 2004년 8월 7일

수정본 수리 : 2004년 10월 25일

책임편집위원: 권혁추