

점농어, *Lateolabrax maculatus* 치어의 산소 소비율에 미치는 수온과 염분의 영향

오승용* · 신창훈¹ · 조재윤² · 노충환 · 명정구 · 김종만

한국해양연구원 해양생물자원연구본부

¹(주)에그리브랜드 퓨리나코리아, ²부경대학교 양식학과

Effects of Water Temperature and Salinity on the Oxygen Consumption Rate of Juvenile Spotted Sea Bass, *Lateolabrax maculatus*

Sung-Yong Oh*, Chang Hoon Shin¹, Jae-Yoon Jo²,
Choong Hwan Noh, Jung-Goo Myoung and Jong-Man Kim

Marine Resources Research Department, Korea Ocean Research &
Development Institute Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

¹Agribbrands Purina Korea Inc. Seungnam 463-808, Korea

²Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

An experiment was conducted to investigate the effects of three water temperatures (15, 20 and 25°C) in combination with three salinities (0, 15 and 30 psu) on the oxygen consumption rate of juvenile spotted sea bass, *Lateolabrax maculatus* (mean body weight 5.5 ± 0.3 g). The oxygen consumption rates of *L. maculatus* were measured in triplicate for 24 hours using a continuous flow-through respirometer. Water temperature resulted in significant differences in the mean oxygen consumption rate of *L. maculatus* ($p < 0.001$), but salinity and combinations of salinity and water temperature did not have ($p > 0.05$). The oxygen consumption increased with increasing water temperatures in all experimental salinity regimes ($p < 0.001$). Mean oxygen consumption rates at 15, 20 and 25°C ranged 328.8~342.3, 433.9~441.0 and 651.5~659.9 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹, respectively. Q₁₀ values did not vary with salinity, but varied with water temperature. Q₁₀ values ranged 1.63~1.75 between 15 and 20°C, 2.24~2.26 between 20 and 25°C, and 1.92~1.98 over the full temperature range. The energy loss by metabolic cost increased with increasing water temperatures in all experimental salinity regimes ($p < 0.001$). Mean energy loss rates at 15, 20 and 25°C ranged 224.6~233.8, 296.3~301.2 and 444.9~450.7 kJ kg⁻¹ d⁻¹, respectively. These data suggest that the culture of juvenile spotted sea bass is possible without energy loss by salinity difference in freshwater as well as seawater after salinity acclimation. Thus, this result has an application for culture management and bioenergetic model for growth of this species.

Key words : *Lateolabrax maculatus*, oxygen consumption rate, water temperature, salinity

*Corresponding author: syoh@kordi.re.kr

서 론

양식 어류의 성장은 먹이에 의한 에너지 섭취로부터 분 배출 및 체내 생화학적 대사활동 등에 사용된 물질 에너지 수지의 결과로 이루어지며, 다양한 환경 조건하에서 얻어진 에너지 수지에 의한 생체역학 (bioenergetic) 모델을 통해 어류 성장을 예측할 수 있다 (Brandt *et al.*, 1992; Brandt and Kirsch, 1993). 이 중 대사활동에 의한 에너지 소비는 에너지 수지에 있어 상당한 부분을 차지하며 (Adams and Breck, 1990), 생체역학 모델에 있어 중요한 인자로 고려된다 (Bartell *et al.*, 1986).

산소는 생물의 생화학적 작용에 필수적인 대사 매개 물로서, 산소 소비율은 대사율의 지표로 주로 이용되고 있다 (Kaushik, 1998). 어류의 산소 소비율은 수온, 염분, 먹이, 개체의 크기, 행동 등과 같은 많은 생물학적·무생물학적 요인들의 영향을 받는다 (Brett, 1987). 이 중 수온과 염분은 어류의 삼투압 조절과 모든 대사 과정에 직접적인 영향을 미치는 인자로서, 산소 소비율에 영향을 미치는 일반적인 요인으로 알려져 있다 (Brett, 1987).

특히 수온과 염분 변화는 광염성 어종의 에너지 대사에 큰 영향을 미치며, 성장과 생존에 중요한 작용을 한다 (Ron *et al.*, 1995; Wuenschel *et al.*, 2004, 2005). 따라서 이들 두 요인들에 대한 대사적인 고려는 최적의 성장을 위한 광염성 어종의 환경조건뿐만 아니라 생체역학 모델을 결정하는데 활용할 수 있다.

점농어 (*Lateolabrax maculatus*)는 맛이 뛰어나며 성장이 빨라 최근 양식 대상 종으로 관심이 높아지고 있으며 (Lee and Yang, 2002), 광염성으로 담수 양식으로의 전환이 가능한 어종이다. 그러나 수온과 염분의 변화는 많은 에너지 소비를 유발하며, 성장감소 및 질병의 원인이 될 수 있다 (Boeuf and Payan, 2001). 본 연구에서는 점농어의 담수 양식 가능성 및 안정적인 사육환경 파악을 위하여 수온과 염분에 따른 산소 소비율, Q_{10} 값 그리고 대사에 의한 에너지 소비율을 조사하여 대사율 변화를 알아보았다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 순화

실험어는 전남 완도 소재 (주)원해수산에서 사육 중인 점농어 치어를 사용하였다. 산소 소비율을 측정하기 전 2주 동안 400 L FRP 수조 2개와 침지식 생물여과조 (1.0 × 1.5 × 2.0 m, 2.1 ton)로 이루어진 실내 순환여과식 시

설로 1,000마리 (평균 무게 2.5 ± 0.3 g)를 옮겨 순화시켰다. 순화기간 동안 점농어는 시판용 해산어 상품사료 (E-hwa Feed Co., Korea, 단백질 함량 46.7%)를 일간 어체중의 3~4%를 공급하였으며, 수온과 염분 그리고 광주기는 각각 $20.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 30.0 ± 0.3 psu 그리고 12L:12D 조건을 유지하였다. 사육 수조 내 용존산소는 유량 조절과 에어레이션을 통해 포화농도의 80% 이상을 유지하였으며, 순화기간 동안 사육수의 pH는 8.1 ± 0.1 이었다.

2. 실험 장치

산소 소비율을 측정하기 위해 호흡실, 산소 측정실, 저수탱크 (reservoir), 공급탱크 (head tank), 카트리지 필터, 자외선 살균기로 이루어진 Jo and Kim (1999)의 시스템을 이용하였다 (Fig. 1). 공급탱크와 저수탱크에는 자동 온도 조절 장치가 연결되어 있는 히터와 냉각기를 이용하여 실험 수온을 유지하였고, 95% 이상의 산소 포화도를 유지하기 위해 2~3개의 에어스톤을 블로워에 연결하여 사용하였다. 저수탱크에서 양수되어 공급탱크로 들어가기 전에 1 μm 의 카트리지 필터 2개를 연속적으로 거치도록 하여 입자성 부유물질의 영향을 최소화하였고, 시스템 내에 미생물에 의한 미량의 산소 소비를 줄이기 위해 유수식 자외선 살균기 (Model: P301, 처리 용량 3 ton/h, 삼지통상)를 통과하여 재순환하도록 하였다. 호흡실을 거쳐 나간 물은 산소 probe가 설치된 산소 측정실을 통과하도록 하였고, 물의 흐름은 호흡실 유입수와 배출수간 용존산소 농도 차이가 최소한 0.2 mg/L가 나도록 유지하였으며, 평균 유량은 60.3 ± 0.4 L/h이었다.

3. 실험 방법

실내 수조에 순화된 실험어를 다시 200 L 유리수조 1개와 침지식 생물여과조 (1.0 × 1.2 × 0.5 m, 0.5 ton)로 구성된 순환여과식 시스템 9 set, 총 9개의 유리수조에 100마리씩 분산 수용하였다. 실험어 수용 후 모든 수조는 20°C와 30 psu를 유지하였다. 실험 수온 (15, 20 그리고 25°C)을 맞추기 위하여 20°C 실험구 3 set를 제외하고 15°C와 25°C 실험구 각 3 set는 20°C로부터 3일간에 걸쳐 5°C씩 낮추거나 높였다. 그 후 각 실험 수온에서 실험 염분 (0, 15 그리고 30 psu)을 맞추기 위하여 30 psu 실험구 1 set씩을 제외하고 일간 5 psu씩 감소시켜 30 psu로부터 15 psu와 0 psu로 낮추었다 (Wuenschel *et al.*, 2005).

수온과 염분 조절이 이루어진 후 실험어를 10일 이상 각 실험 조건에 추가 순화시켰다. 순화 기간 중 사료는 하루에 어체중의 1~1.5% 비율로 공급하였다. 실험 시작

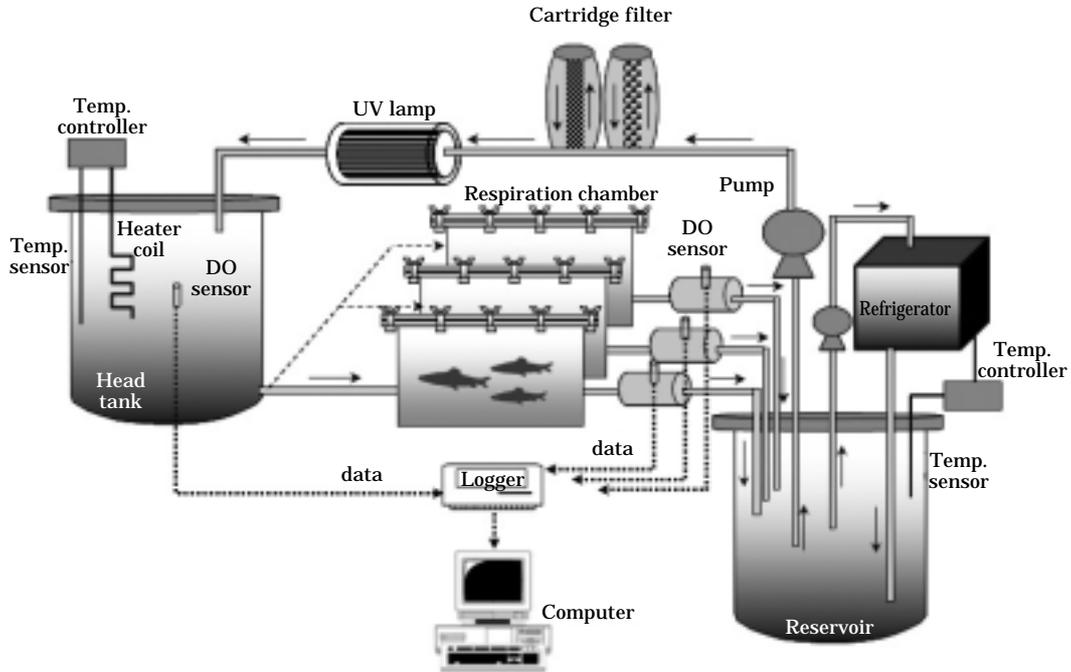


Fig. 1. Schematic diagram of the respirometer system used in the present study.

전 2일간 실험어들을 절식시킨 후 MS-222로 마취시켜 무게를 측정 후 순화된 실험 조건의 호흡실에 수용하였다. 호흡실의 광주기는 32-W 형광등을 이용하여 12L:12D 조건을 유지하였다. 실험어의 평균 체중은 5.5±0.3 g (습중량)이었으며, 호흡실에 각각 30마리씩 3반복 수용하여 실험을 실시하였다.

호흡실에 수용한 후 handling에 의한 영향을 배제하기 위하여 3시간 동안 안정시킨 후 그 후 24시간 동안 산소 소비율을 측정하였다.

4. 용존산소 측정 및 자료 처리

용존산소의 측정은 산소 측정 전극과 Multi Data Logger System (Oxyguard, Denmark)을 사용하였다. 호흡실의 유입수와 배출수의 용존산소량은 µLog VL 100 Software를 이용하여 5분마다 측정하였고, 측정된 산소량은 산소 측정 판넬을 통해 Data Logger에 저장한 후 자료를 프로그램을 통해 다운로드하여 분석에 이용하였다. 산소 소비율은 Jobling (1982)이 보고한 방법에 따라 다음과 같은 식을 이용하여 구하였다.

$$\text{산소 소비율 (mg O}_2\text{ kg}^{-1}\text{ h}^{-1}) = (C_i - C_o) \times Q / W$$

여기서, C_i =어류 호흡실 유입수의 용존산소 농도 (mg/L)
 C_o =어류 호흡실 배출수의 용존산소 농도 (mg/L)
 Q =어류 호흡실을 지나가는 시간당 유량 (L/h)

$$W = \text{어체중 (kg)}$$

계산된 산소 소비율은 1시간 단위로 pooling하여 시간당 평균 산소 소비율로 나타내었다.

수온에 따른 대사율의 변화를 알아보기 위해 다음 식과 같이 Q_{10} 값을 구하였다.

$$Q_{10} = (R_2 / R_1)^{(10 / (T_2 - T_1))}$$

여기서, R_1 와 R_2 는 수온 T_1 과 T_2 일 때의 평균 산소 소비율

대사에 의한 에너지 소비를 알아보기 위해 Elliot and Davison (1975)이 보고한 산소 소모에 따른 에너지 전환 계수 ($1 \text{ mL O}_2 = 19.9 \text{ J} = 4.776 \text{ cal}$)를 이용하여 구하였다.

모든 자료의 통계처리는 SPSS 11.5 (SPSS Inc., USA) 통계 프로그램으로 분산분석 (ANOVA)를 실시하여 Tukey's multiple range test로 평균간 유의성 ($p < 0.001, 0.05$)을 검정하였다. 각 수온과 염분에 대한 시간당 평균 산소 소비율과 에너지 소비율 및 수온과 염분에 따른 복합 영향은 two-way ANOVA를 통해 검정하였다.

결 과

수온과 염분에 따른 점농어 치어의 시간당 평균 산소 소비율은 Table 1에 나타내었다. 동일 염분에서 수온에

Table 1. Effects of water temperature and salinity on oxygen consumption rates of *Lateolabrax maculatus*

Water temperature (°C)	Salinity (psu)		
	0	15	30
	mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹		
15	328.8 ± 5.4 ^{a+(a)**}	333.6 ± 2.7 ^{a(a)}	342.3 ± 3.6 ^{a(a)}
20	433.9 ± 3.7 ^{b(a)}	441.0 ± 4.3 ^{b(a)}	436.8 ± 4.5 ^{b(a)}
25	651.5 ± 2.7 ^{c(a)}	659.9 ± 3.7 ^{c(a)}	656.5 ± 3.0 ^{c(a)}
Two-way ANOVA			
Water temperature	$p < 0.001$		
Salinity	$p > 0.05$		
Water temperature × Salinity	$p > 0.05$		

*Values (mean ± SE) with different superscripts within the same column are significantly different (n=3, $p < 0.001$).

**Values (mean ± SE) with same superscripts in parenthesis within the same row are not significantly different (n=3, $p > 0.05$).

Table 2. Q₁₀ value of *Lateolabrax maculatus* for different water temperature ranges and salinities

Salinity (psu)	Temperature interval (°C)		
	15~20	20~25	15~25
0	1.74	2.25	1.98
15	1.75	2.24	1.98
30	1.63	2.26	1.92

따른 시간당 평균 산소 소비율은 0 psu의 경우 15, 20 그리고 25°C에서 각각 328.8, 433.9 그리고 651.5 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹였고, 15 psu의 경우 각각 333.6, 441.0 그리고 659.9 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹였으며, 30 psu의 경우 각각 342.3, 436.8 그리고 656.5 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹였다. 따라서 동일한 염분 조건에서 수온이 높아질수록 시간당 평균 산소 소비율은 유의하게 증가하는 경향을 보였다 ($p < 0.001$).

동일 수온에서 염분에 따른 시간당 평균 산소 소비율은 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$).

이상의 결과에서 점농어 치어의 시간당 평균 산소 소비율은 수온에 직접적인 영향 ($p < 0.001$)을 받는 반면 염분의 영향은 나타나지 않았으며, 두 인자의 상호작용 또한 나타나지 않았다 ($p > 0.05$, Table 1).

수온과 염분에 따른 Q₁₀ 값은 Table 2에 나타내었다. 15~20°C 구간의 Q₁₀ 값은 0, 15 그리고 30 psu에서 각각 1.74, 1.75 그리고 1.63이었으며, 20~25°C 구간에서 각각 2.25, 2.24 그리고 2.26로서 염분에 상관없이 거의 유사한 값을 보였다. 전 수온 범위 (15~25°C)의 Q₁₀ 값

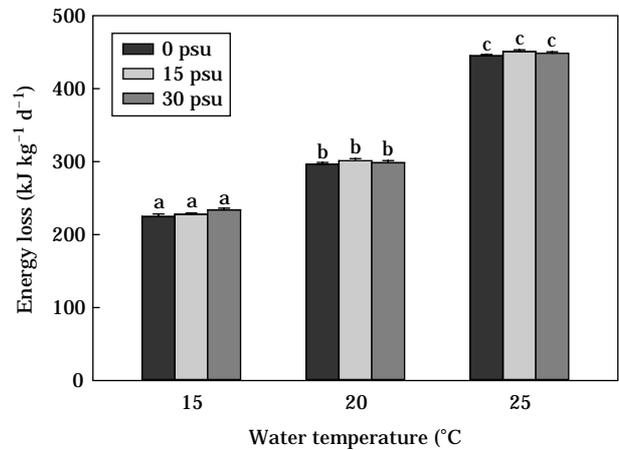


Fig. 2. Metabolic energy loss by different water temperatures and salinities in *Lateolabrax maculatus*. Values indicate mean ± SE (n=3). Significant differences between groups are indicated with different letters ($p < 0.001$). Groups sharing the same letter are not significantly different ($p > 0.05$).

역시 0, 15 그리고 30 psu에서 각각 1.98, 1.98 그리고 1.92로 거의 유사한 값을 보였다.

수온과 염분에 따른 대사에 사용된 에너지 소비율을 Fig. 2에 나타내었다. 동일 수온에서 염분에 따른 평균 일간 에너지 소비율은 15, 20 그리고 25°C에서 각각 224.6 ~ 233.8, 296.3 ~ 301.2 그리고 444.9 ~ 450.7 kJ kg⁻¹ d⁻¹로 나타나, 수온 증가에 따라 유의하게 증가하였으며 ($p < 0.001$), 염분의 영향은 없었다 ($p > 0.05$).

고 찰

환경인자들의 변화에 따른 생물의 적응은 각기 다른 생화학적, 생리학적 그리고 행동 정도에 따라 다르게 나타나는 종 특이적 항상성 (homeostasis) 조절 기작에 의한 복합적인 반응을 말한다 (Spanopoulos-Hernández *et al.*, 2005). 따라서 이 실험 결과에 나타난 점농어 치어의 산소 소비율은 수온과 염분의 복합적인 반응을 보여 준다. 실험 결과 수온은 점농어 치어의 대사에 직접적인 영향을 미치는 대사 조절인자로 작용한 반면, 염분과 수온 · 염분의 상호작용은 영향을 보이지 않았다. 이것은 수온만이 점농어 치어의 항상성 유지에 영향을 미치는 인자로 작용했음을 알 수 있다.

수온 상승에 따른 산소 소비율 증가는 일반적인 경향을 나타내었다 (Dalla Via *et al.*, 1998; Lyttikäinen and Jobling, 1998; Mitsunaga *et al.*, 1999; Wuenschel *et al.*,

2005). Kim *et al.* (1995)은 이 실험에 사용한 점농어와 같은 속(屬) 어류인 농어 (*Lateolabrax japonicus*, 평균 무게 7.4 g)를 대상으로 수온 15.2와 24°C에서 24시간 절식 후 각각 59.7과 309.6 mL O₂ kg⁻¹ h⁻¹ (단위 환산 85.4와 442.7 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹)의 산소 소비율을 보고하였다. Kim *et al.* (1998)은 평균 무게 1.6 g의 점농어 (*Lateolabrax sp.*)를 대상으로 수온 13.8~14.6°C에서 48시간 절식 후 0.74~0.99 mL O₂ g⁻¹ h⁻¹ (단위 환산 1,058.2와 1,415.7 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹)의 산소 소비율을 보고하였다. 이 실험에서 점농어 치어의 산소 소비율은 수온 15°C와 25°C에서 각각 328.8~342.3 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹와 651.5~659.9 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹ 범위의 산소 소비율을 보여 이전의 결과와는 차이를 보였다. 이것은 어종, 크기, 수온, 광주기, 절식기간 그리고 산소 소비율의 측정 방법 및 시스템 등의 차이에 의한 것으로 생각된다.

Q₁₀ 값은 온도 변화에 적응하기 위한 수서 생물의 대사량으로, 온도 상승으로 인한 체내 효소 반응과 생리학적 작용으로 유발된 에너지 요구량을 나타낸다 (Spanopoulos-Hernández *et al.*, 2005). 본 실험 결과 15~20°C에서보다 20~25°C에서 높은 Q₁₀ 값을 보여 높은 온도 범위에서 대사량의 변화폭이 크게 증가한 것으로 나타났다. 그리고 20~25°C 범위에서 Q₁₀ 값은 2.24~2.26로 (Table 2), 다른 어종에서 일반적으로 알려져 있는 2~3 범위 (Fry, 1971; Bridges, 1988)와 일치하였다. 이상의 결과에서 수온의 상승과 먹이 공급이 증가하기 시작하는 여름철에 대사율 증가가 예상되며, 이에 따른 적절한 용존산소의 유지 및 사육관리가 있어야 할 것으로 사료된다.

본 실험 결과 점농어 치어의 대사율에 대한 염분의 영향은 없었다. 이것은 평균 무게 1.6 g의 점농어 (*Lateolabrax sp.*)를 대상으로 31.5 psu에서 15.0과 0.0 psu로 20초 동안 급격하게 변화시켜 측정된 경우 평균 산소 소비율이 각각 13.5~16.0과 25.3~36.4%만큼 감소한다고 보고한 Kim *et al.* (1998)의 결과와 차이를 보였다. 하지만 Kim *et al.* (1998)의 결과는 급격한 염분 변화가 스트레스 요인으로 작용하여 (Andre and Adalto, 2002) 대사활동을 줄인 것으로 생각된다. 광염성 어류의 염분 변화의 적응은 어종에 따라 5~12시간 (Oertzen, 1984) 그리고 수일 (Parry, 1966)이 소요될 수 있다. Wuenschel *et al.* (2004)은 광염성 종인 spotted seatrout (*Cynoscion nebulosus*)를 대상으로 수온 (24, 28, 30 그리고 32°C)과 염분 (5, 10, 20, 35 그리고 45 psu)의 변화를 주었을 때 0.48 g까지는 수온만이 유의한 영향을 보이고 그 이상의 체중에서는 수온, 염분 그리고 두 인자의 상호작용 모두가 유의한 영향이 있다고 보고하였다. 따라서 앞으로 점

농어의 크기별 그리고 염분 적응기간에 따른 연구가 필요하다.

수온은 점농어 치어의 대사 에너지 소비율에 주된 영향을 미치며, Wuenschel *et al.* (2005)의 결과와 일치하였다. 본 실험에서 염분의 영향은 보이지 않았지만 (Fig. 2), Ron *et al.* (1995)은 tilapia (*Oreochromis mossambicus*)를 대상으로 한 실험에서 담수보다는 해수에서 낮은 대사율을, Wuenschel *et al.* (2005)은 gray snapper (*Lutjanus griseus*)를 대상으로 한 실험결과는 고염분 (45 psu)보다는 저염분 (5 psu)에서 낮은 대사율을 보여 염분의 영향이 어종마다 다르게 나타났다. Kim *et al.* (1998)은 점농어는 급격한 염분 변화에도 생체 리듬을 유지하며 견딜 수 있다고 고찰하고 있어 염분 변화에 대한 적응력이 높은 종임을 알 수 있다. 그러나 점농어의 성장 및 생존에 미치는 다양한 생물학적·무생물학적 요인들에 대한 검토가 더 요구된다.

이상의 결과에서 점농어 치어의 산소 소비율은 수온에 따라 달라지며, 염분은 영향을 미치지 않았다. 이것은 염분 적응 후 염분 차이에 의한 에너지 손실없이 해수 뿐만 아니라 담수에서 사육이 가능하다는 것을 나타낸다. 이 실험 결과는 다양한 환경요인 하에서 점농어의 생리적 반응을 정량화 할 수 있는 생체역학 모델을 결정하는데 활용할 수 있을 것이다.

적 요

점농어 치어의 수온과 염분에 따른 대사율 변화를 조사하기 위해 평균 무게 5.5±0.3 g인 개체를 대상으로 수온 (15, 20, 25°C)과 염분 (0, 15, 30 psu)에 따른 산소 소비율을 측정하였다. 9가지 실험 조합의 산소 소비율은 유수식 형태의 호흡실을 이용하여 24시간 동안, 3반복 측정하였다. 수온은 점농어 치어의 산소 소비율에 유의한 영향을 미쳤지만 ($p < 0.001$), 염분과 수온·염분의 상호작용은 영향을 미치지 않았다 ($p > 0.05$). 각 염분 조건에서 수온 상승에 따라 산소 소비율은 유의적으로 증가하였다 ($p < 0.001$). 15, 20 그리고 25°C에서의 시간당 평균 산소 소비율은 각각 328.8~342.3, 433.9~441.0 그리고 651.5~659.9 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹이었다. Q₁₀ 값은 염분의 영향은 받지 않았으며, 수온에 따라 변화였다. 15~20, 20~25°C 그리고 전 수온 범위에서의 Q₁₀ 값은 각각 1.63~1.75, 2.24~2.26 그리고 1.92~1.98이었다. 대사에 의한 에너지 손실은 수온의 증가에 따라 유의하게 증가하였다 ($p < 0.001$). 15, 20 그리고 25°C에서의 호흡 대사로 인한 일간 평균 에너지 손실은 각각 224.6~233.8,

296.3~301.2 그리고 444.9~450.7 kJ kg⁻¹ d⁻¹이었다. 이 실험 결과는 점농어 치어를 염분 적응 후 염분 차이에 의한 에너지 손실 없이 해수뿐만 아니라 담수에서 사육이 가능하다는 것을 나타내며, 사육관리 및 성장을 위한 생체역학 모델 결정에 활용할 수 있다.

사 사

본 연구는 해양수산부의 연구 용역 과제인 “통영해역의 바다목장화 개발 연구”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- Adams, S.M. and J.E. Breck. 1990. Bioenergetics. In: Schreck, C.B. and P.B. Moyle (eds.), *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society, Bethesda, MA, pp. 389~415.
- André, S. and B. Adalto. 2002. Salinity effects of on osmoregulation and growth of euryhaline flounder, *Paralichthys orbignyanus*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 269 : 187~196.
- Bartell, S.M., J.E. Breck, R.H. Gardner and A.L. Brenket. 1986. Individual parameter perturbation and error analysis of fish bioenergetics models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43 : 160~168.
- Boeuf, G. and P. Payan. 2001. How should salinity influence fish growth?. *Comp. Biochem. Physiol.*, 130 : 411~423.
- Brandt, S.B. and J. Kirsch. 1993. Spatially explicit models of striped bass growth rate potential in Chesapeake Bay. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 122 : 845~869.
- Brandt, S.B., D.M. Mason and E.V. Patrick. 1992. Spatially -explicit models of fish growth rate. *Fisheries*, 17 : 23~35.
- Brett, J. 1987. Environmental factors affecting growth. In: Hoare, W.H., D.J. Randall and S.R. Brett (eds.), *Fish Physiology*, vol. 8. Academic Press, pp. 252~259.
- Bridges, C.R. 1988. Respiratory adaptations in intertidal fish. *Am. Zool.*, 28 : 79~96.
- 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.
- Elliot, J.M. and W. Davison. 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Oecologia*, 19 : 195~201.
- Fry, F.E.J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: W.S. Hoar and D.J. Randall. (eds.), *Fish Physiology*. Academic Press, New York, pp. 1~98.
- Jo, J.Y. and Y.H. Kim. 1999. Oxygen consumption of far eastern catfish, *Silurus asotus*, on the different water temperatures and photoperiods. *J. Kor. Fish. Soc.*, 32 : 56~61.
- Jobling, M. 1982. A study of some factors affecting rates of oxygen consumption of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish Biol.*, 20 : 501~516.
- Kaushik, S.J. 1998. Nutritional bioenergetics and estimation of waste production in non-salmonids. *Aqua. Liv. Res.*, 11 : 211~217.
- 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.
- Kim, W.S., J.M. Kim, M.S. Kim, C.W. Park and H.T. Huh. 1998. Effects of sudden changes in salinity on endogenous rhythms of the spotted sea bass *Lateolabrax* sp. *Mar. Biol.*, 131 : 219~225.
- Lee, W.-K. and S.-W. Yang. 2002. Relationship between ovarian development and serum levels of gonadal steroid hormones, and induction of oocyte maturation and ovulation in the cultured female Korean spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* (Jeom-nong-eo). *Aquaculture*, 207 : 169~183.
- Lyytikäinen, T. and M. Jobling. 1998. The effects of temperature fluctuations on oxygen consumption and ammonia excretion of underyearling Lake Inari Arctic charr. *J. Fish Biol.*, 52 : 1186~1198.
- Mitsunaga, Y., W. Sakamoto, N. Arai and A. Kasai. 1999. Estimation of the metabolic rate of wild red sea bream *Pagrus major* in different water temperatures. *Nippon Suisan Gakk.*, 65 : 48~54.
- Oertzen, J.A. von. 1984. Influence of steady-state and fluctuating salinities on the oxygen consumption and activity of some brackish water shrimps and fishes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 80 : 29~46.
- Parry, G. 1966. Osmotic adaptation in fishes. *Biol. Rev.*, 41 : 392~444.
- Ron, B., S.K. Shimoda, G.K. Iwama and E.G. Garu. 1995. Relationships among ration, salinity, 17 α -methyltestosterone and growth in the euryhaline tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture*, 135 : 185~193.
- Spanopoulos-Hernández, M., C.A. Martínez-Palacios, R.C. Vanegas-Pérez, C. Rosas and L.G. Ross. 2005. The combined effects of salinity and temperature on the

- oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874). *Aquaculture*, 244 : 341 ~ 348.
- Wuenschel, M.J., A.R. Jugovich and J.A. Hare. 2005. Metabolic response of juvenile gray snapper (*Lutjanus griseus*) to temperature and salinity: Physiological cost of different environments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 321 : 145 ~ 154.
- Wuenschel, M.J., R.G. Werner and D.E. Hoss. 2004. Effect of body size, temperature, and salinity on the routine metabolism of larval and juvenile spotted seatrout. *J. Fish Biol.*, 64 : 1088 ~ 1102.

Received: June 12, 2006
Accepted: August 4, 2006