

Article

돌돔, *Oplegnathus fasciatus* 치어의 절식시 산소 소비율에 미치는 수온과 광주기의 영향

오승용* · 노충환 · 강래선 · 명정구

한국해양연구원 해양자원연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

Effects of Water Temperature and Photoperiod on the Oxygen Consumption Rate of Fasted Juvenile Parrot Fish, *Oplegnathus fasciatus*

Sung-Yong Oh*, Choong Hwan Noh, Rae-Seon Kang, and Jung-Goo Myoung

Marine Resources Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : The effect of water temperature and photoperiod on the oxygen consumption of the fasted juvenile parrot fish, *Oplegnathus fasciatus* was investigated to provide empirical data for the early-stage culture management and bioenergetic growth model of the species. The mean body weight of the juvenile used for the experiment was 21.5 ± 1.9 g, and the oxygen consumption rate was measured under four water temperatures (10, 15, 20 and 25°C) and three photoperiods (24L:0D, 12L:12D and 0L:24D) with an interval of 5 minutes for 24 hours using a continuous flow-through respirometer. In each treatment three replicates were set up and 15 juveniles were totally involved. The oxygen consumption rates increased with increasing water temperature under all photoperiod treatments ($P < 0.001$). Mean oxygen consumption rates at 10, 15, 20 and 25°C ranged 202.1~403.4, 306.7~502.2, 536.7~791.0 and 879.9~1,077.4 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹, respectively. Q_{10} values ranged 1.58~2.30 between 10 and 15°C, 2.44~3.06 between 15 and 20°C and 1.86~2.69 between 20 and 25°C, respectively. Mean oxygen consumption rates of *O. fasciatus* were the highest in continuous light (24L:0D) followed by 12L:12D and 0L:24D ($P < 0.001$). The oxygen consumption of fish exposed to the 12L:12D photoperiod was significantly higher during the light phase than during the dark phase under all temperature treatments ($P < 0.001$). In summary, oxygen consumption rates of the juvenile parrot fish increase with increasing water temperature and lengthening daylight period; and, thereby, changes in water quality resulted from the depletion of oxygen under high temperature and long daylight photoperiod conditions should be monitored.

Key words : *Oplegnathus fasciatus*, oxygen consumption, water temperature, photoperiod

1. 서 론

돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)은 맛과 가격 등 경제적 가치가 높은 유망한 양식 대상종이다(Wang *et al.* 2003). 대부분의 해산어 양식과 마찬가지로 돌돔 양식은 육상 배양

장에서 종묘 생산 후 해상 가두리에서 양성이 이루어진다. 하지만 겨울철 낮은 수온으로 인한 먹이 섭취 감소, 성장저하, 폐사 등 동절기 사육관리가 문제점으로 대두되고 있어, 수온 조절이 가능한 실내 순환여과식 양식장에서의 사육 가능성이 높은 어종이다.

순환여과식 양식 시스템은 해상 가두리와는 달리 좁은 면적에 고밀도로 수용하여 사육하는 방법으로 생산성에

*Corresponding author. E-mail : syoh@kordi.re.kr

영향을 미치는 가장 큰 제한요인으로 용존산소를 들 수 있다. 용존산소는 어류의 생존과 성장에 필수적이며, 시스템 내 수용밀도와 먹이 공급량 등을 결정짓는데 중요하게 작용한다(Dalla Via *et al.* 1998). 또한 산소는 생물의 생화학적 작용에 필수적인 대사 매개물로서, 산소 소비율은 대사율의 지표로 가장 널리 이용되며(Kaushik 1998), 사육 관리에 필요한 시스템 내 용수량을 결정하는데 기초자료로도 활용할 수 있다(Moore and Boyd 1984; Avnimelech *et al.* 1992).

양식 어류의 산소 소비율은 수온(Lyytikäinen and Jobling 1998), 광주기(Withey and Saunders 1973), 염분(Forsberg 1994), 크기(Wuenschel *et al.* 2004), 사료 공급량(Brett and Groves 1979), 사료 조성(Roberts 1990), 행동(Brett 1964) 그리고 계절(Beamish 1964) 등과 같은 많은 생물학적·무생물학적 요인들의 영향을 받는다. 이 중 수온과 광周기는 어류의 생리적 리듬과 대사 과정에 직접적인 영향을 미치는 인자로서(Brett and Groves 1979; Biswas and Takeuchi 2002) 산소 소비율을 결정짓는다(Jo and Kim 1999; Jonassen *et al.* 2000; Oh and Noh 2006).

특히 실내조명의 조절 및 계절적 변화로 인한 수온과 광周기의 변화는 양식 어류의 생리적 반응에 큰 영향을 미친다. 따라서 이와 같은 환경인자들에 대한 산소 소비율 자료를 통해 대사율을 파악할 수 있으며, 최적의 성장을 위한 생체역학(bioenergetic) 모델을 결정하는데 활용할 수 있다(Kaushik 1998; Wuenschel *et al.* 2005).

돌돔의 성장과 생존에 영향을 미치는 주요 인자인 산소 소비율에 대해서는 밝혀진 바가 없다. 따라서 본 실험은 해상 가두리 양식뿐만 아니라 실내 순환여과식 양식 시스템 내 안정적인 사육환경 조성을 위한 자료를 수집하기

위하여 수온과 광주기에 따른 산소 소비율과 Q_{10} 값을 조사하여 환경 변화에 따른 대사를 변화 정도를 알아보았다.

2. 재료 및 방법

실험어 및 순치

실험어는 인공 종묘 생산하여 해상 가두리에서 사육 중인 돌돔 치어를 사용하였다. 산소 소비율을 측정하기 전 2주 동안 400 l FRP 수조 2개와 침지식 생물여과조(1.0×1.5×2.0 m, 3.0 ton)로 이루어진 실내 순환여과식 시설에 500마리(평균 무게 14.5±0.7 g)를 옮겨 순치시켰다. 순치 기간 동안 돌돔은 시판용 해산어 상품사료(E-hwa Feed Co., Korea, 단백질 함량 46.7%)를 일간 어체중의 2~3%를 공급하였으며, 수온은 히터와 냉각기를 이용하여 20.0±0.1°C 그리고 광周기는 32-W 형광등을 이용하여 12L:12D 조건을 유지하였다. 사육 수조 내 용존산소는 유량 조절과 에어레이션을 통해 포화농도의 80% 이상을 유지하였다. 순치기간 동안 사육수의 pH는 8.1±0.1, 염분은 33.0±0.8 psu로 유지하였다.

실험 장치

산소 소비율을 측정하기 위해 호흡실, 산소 측정실, 저수탱크(reservoir), 공급탱크(head tank), 카트리지 필터, 자외선 살균기로 이루어진 Oh and Noh(2006)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

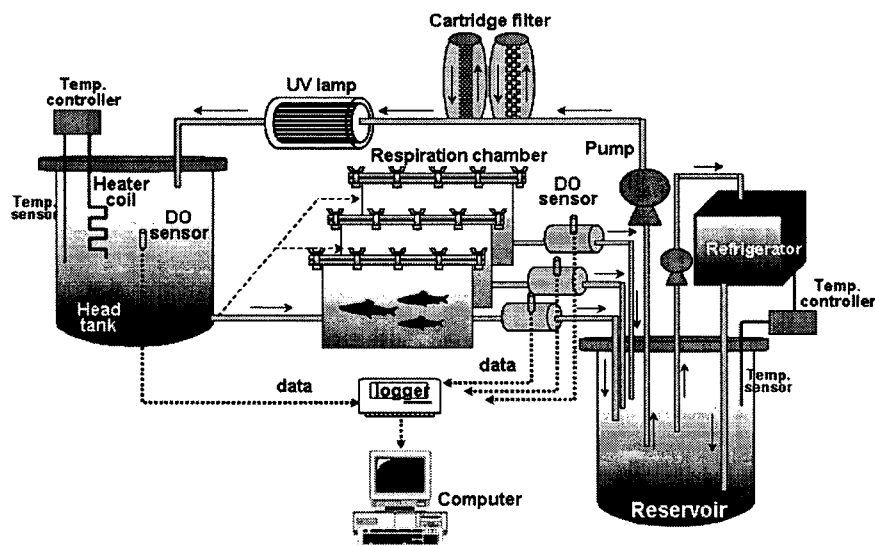


Fig. 1. Schematic diagrams of the respirometer system used in the present study.

1 μm 의 카트리리지 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/hr, 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/l이 되도록 유지하였으며(Oh and Noh 2006), 평균 유량은 59.5 \pm 0.4 l/h이었다.

실험 방법

실내 수조에 순치된 실험어를 다시 200 l 유리수조 3개와 침지식 생물여과조(1.2 \times 1.0 \times 1.0 m, 1.2 ton)로 구성된 순환여과식 시스템 4 set, 총 12개의 유리수조에 30마리씩 분산 수용하였다. 실험어 수용 후 모든 수조는 20°C를 유지하였다. 실험 수온(10, 15, 20 그리고 25°C)을 맞추기 위하여 20°C 실험구 1 set를 제외하고 15°C와 25°C 실험구 각 1 set는 20°C로부터 3일간에 걸쳐 5°C씩 낮추거나 높였으며, 10°C 실험구 1 set는 6일간에 걸쳐 낮추었다. 각 실험 수온에서 광주기를 24L:0D, 12L:12D 그리고 0L:24D로 달리하여 처리하였다. 광주기는 12L:12D 조건에서 set별로 실험 수온을 유지시킨 후 각 set의 세 수조 중 두 수조는 24L:0D와 0L:24D로 즉각적으로 변화시켰으며(Jonassen *et al.* 2000), 나머지 한 수조는 그대로 두었다.

수온과 광주기 조절이 이루어진 후 실험어를 10일 이상 각 실험 조건에 추가 순치시켰다. 순치 기간 중 사료는 하루에 어체중의 0.3~0.5% 비율로 공급하였다. 실험 시작 전 2일간 절식시킨 후 MS-222로 마취시켜 무게를 측정된 후 순치된 실험 조건의 호흡실에 수용하였다. 유리수조와 호흡실의 압조건은 별도로 제작된 차광막을 이용하여 빛을 차단하였고, 명조건은 32-W 형광등을 이용하여 유도하였다. 실험어의 체중은 21.5 \pm 1.9 g이었으며, 호흡실에 각각 5마리씩 3반복 수용하여 실험을 실시하였다.

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

용존산소 측정 및 자료 처리

용존산소의 측정은 산소 측정 전극과 Multi Data Logger System(Oxyguard, Denmark)을 사용하였다. 측정실의 유입수와 배출수의 용존산소량은 $\mu\text{Log VL 100 Software}$ 를 이용하여 5분마다 측정하였고, 측정된 산소량은 산소 측정 판넬을 통해 Data Logger에 저장한 후 자료를 프로그램을 통해 다운로드하여 분석에 이용하였다. 수온과 광주기에 따른 산소 소비율은 Jobling(1982)이 보고한 방법에

따라 다음과 같은 식을 이용하여 구하였다.

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

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 = 호흡실 수용 어체중(kg)

계산된 산소 소비율은 1시간 단위로 pooling하여 일간 산소 소비를 패턴과 시간당 평균 산소 소비율을 구하였다.

산소 소비율에 대한 수온 변화의 영향을 파악하기 위하여 다음 식(Wuenschel *et al.* 2005)과 같이 Q_{10} 값을 구하였다.

$$Q_{10} = \left[\frac{R_2}{R_1} \right]^{\left(\frac{10}{T_2 - T_1} \right)}$$

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

모든 자료의 통계처리는 SPSS 11.5(SPSS Inc., USA) 통계 프로그램으로 분산분석(ANOVA)를 실시하여 Tukey's multiple range test로 평균간 유의성($P < 0.001$)을 검정하였다. 각 수온과 광주기(12L:12D 조건의 명기와 암기 포함)에 따른 시간당 평균 산소 소비율과 두 인자의 복합 영향은 two-way ANOVA를 통해 검정하였다.

3. 결 과

수온과 광주기에 따른 돌돔 치어의 시간당 평균 산소 소비율 조사 결과는 Table 1에 나타내었다. 동일 광주기에 수온에 따른 시간당 평균 산소 소비율은 24시간 연속 명기 조건(24L:0D)의 경우 10, 15, 20 그리고 25°C에서 각각 403.4, 502.2, 791.0 그리고 1,077.4 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹였고, 12시간 명기와 12시간 암기 조건(12L:12D)의 경우 각각 325.6, 412.5, 651.9 그리고 937.2 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹였고, 24시간 암기 조건(0L:24D)의 경우 각각 202.1, 306.7, 536.7 그리고 879.9 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹였다. 따라서 동일한 광주기 조건에서 수온이 높아질수록 시간당 평균 산소 소비율은 유의하게 증가하였으며($P < 0.001$), 그 상관관계를 Table 1에 나타내었다.

동일 수온에서 광주기에 따른 시간당 평균 산소 소비율은 24L:0D 조건이 가장 높았으며, 0L:24D 조건이 가장 낮았다($P < 0.001$). 따라서 동일한 수온 조건에서 시간당 평균 산소 소비율은 연속 명기일 때 유의하게 높았으며, 다음으로 명기와 암기가 반복될 때, 그리고 연속 암기순으로

Table 1. The effect of water temperature (T) and photoperiod on oxygen consumption rate (OCR) of the cultured parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*.

Photoperiod Water temp. (°C)	24L:0D	12L:12D	0L:24D		
	mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹				
10	403.4 ± 3.85 ^{a*(a)**}	325.6 ± 3.97 ^{a(b)}	202.1 ± 3.39 ^{a(c)}		
15	502.2 ± 3.04 ^{b(a)}	412.5 ± 3.99 ^{b(b)}	306.7 ± 3.04 ^{b(c)}		
20	791.0 ± 4.98 ^{c(a)}	651.9 ± 6.29 ^{c(b)}	536.7 ± 3.91 ^{c(c)}		
25	1,077.4 ± 4.89 ^{d(a)}	937.2 ± 6.67 ^{d(b)}	879.9 ± 4.22 ^{d(c)}		
Regression	OCR = -115.26 + 46.22T (r ² = 0.96, P < 0.001)	OCR = -144.20 + 41.49T (r ² = 0.94, P < 0.001)	OCR = -310.81 + 45.27T (r ² = 0.94, P < 0.001)		
Two-way ANOVA					
	d.f.	SS	MS	F	P
Water temperature	3	18499387	6166462	13000	0.000
Photoperiod	2	2162238	1081119	2230.58	0.000
Water temperature × Photoperiod	6	65803	10967	22.63	0.000
Error	276	133772	485		

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

**Values (mean ± SE) with different superscripts in parenthesis within the same row are significantly different (n=3, P<0.001).

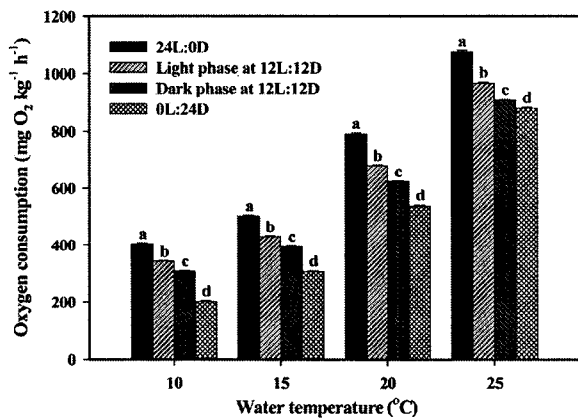


Fig. 2. Oxygen consumption rates of the cultured parrot fish, *Oplegnathus fasciatus* at different water temperatures and photoperiods. Values represent mean ± SE (n=3). Different letters at same water temperature indicate statistical differences (P < 0.001).

나타났다(P<0.001).

암기와 명기시 돌돔 치어의 시간당 평균 산소 소비율을 비교한 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 10, 15, 20 그리고 25°C에서 12L:12D의 시간당 평균 산소 소비율은 명기시 각각 342.7, 430.0, 679.9 그리고 966.3 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹로써 암기시(각각 308.4, 395.1, 623.8 그리고 908.1 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹)보다 유의하게 높았다(P<0.001). 따라서 명기와 암기가 반복될 때, 시간당 평균 산소 소비율은 암기시에 비해 명기시 높은 경향을 보였다.

이상의 결과에서 돌돔 치어의 시간당 평균 산소 소비율

Table 2. Q₁₀ value of the parrot fish, *Oplegnathus fasciatus* for different water temperature ranges and photoperiods.

Photoperiod	Temperature interval (°C)			
	10~15	15~20	20~25	10~25
24L:0D	1.58	2.44	1.86	1.93
12L:12D	1.61	2.50	2.07	2.02
0L:24D	2.30	3.06	2.69	2.67

은 수온과 광주기, 그리고 수온과 광주기 상호작용에도 유의한 영향을 받는 것으로 조사되었다(Table 1). 수온이 높아지거나 명기가 지속될 때 시간당 평균 산소 소비율이 높아지는 경향을 보였으며, 명기와 암기가 반복될 경우 암기 조건보다 명기 조건에서 더 높은 경향을 보였다.

수온과 광주기에 따른 Q₁₀ 값은 Table 2에 나타내었다. 10~15°C 구간의 Q₁₀ 값은 24L:0D, 12L:12D 그리고 0L:24D에서 각각 1.58, 1.61 그리고 2.30이었으며, 15~20°C 구간에서 각각 2.44, 2.50 그리고 3.06이었고, 20~25°C에서 각각 1.86, 2.07 그리고 2.69로서 15~20°C에서 가장 높았다. 각 수온 범위에서 광주기에 따른 Q₁₀ 값은 0L:24D에서 가장 높은 반면, 24L:0D에서 가장 낮은 값을 보였다. 전 수온 범위(10~25°C)의 Q₁₀ 값 역시 0L:24D가 2.67로 24L:0D(1.93)와 12L:12D(2.02)에 비해 높은 값을 보였다.

4. 고 찰

수온은 돌돔 치어의 대사에 직접적인 영향을 미치는

대사 조절인자로 작용했으며, 수온 상승에 따른 산소 소비율을 증가하는 타 연구 결과들과 일치하였다(Cai and Summerfelt 1992; Fonds *et al.* 1992; Imsland *et al.* 1995; Lyytikäinen and Jobling 1998; Mitsunaga *et al.* 1999). 일반적으로 어류의 산소 소비율은 서식 수온 범위 내에서 온도 상승에 따라 직선적으로 증가하며(Kim *et al.* 1995; Tytler and Calow 1985), 본 실험 결과도 일치하였다.

Q_{10} 값은 온도 변화에 적응하기 위한 수생 생물의 대사량으로, 온도 상승으로 인한 체내 효소 반응 등과 같은 생화학적 작용으로 유발된 에너지 요구량을 나타낸다(Spanopoulos-Hernández *et al.* 2005). 이 실험 결과 10~15°C(1.58~2.30)와 20~25°C(1.86~2.69) 구간에 비해 15~20°C에서 가장 높은 Q_{10} 값(2.44~3.06)을 보였지만, 다른 어종에서 일반적으로 알려져 있는 2~3범위(Fry 1971; Bridges 1988)와 일치하였다. Carp(*Labeo rohita*)의 경우 수온 변화에 따른 Q_{10} 값은 26~31°C, 31~33°C 그리고 33~36°C 구간에서 각각 1.29, 2.05 그리고 1.95로 나타났으며(Das *et al.* 2005), gray snapper(*Lutjanus griseus*)의 경우 18~23°C, 23~28°C 그리고 28~33°C 구간에서 각각 4.48, 2.05 그리고 2.17으로 나타나(Wuenschel *et al.* 2005), 수온에 따른 대사를 변화는 각 어종의 생리적 특성에 따라 다르게 나타났다. 본 실험 결과 수온 변화 구간에 상관없이 0L:24D의 조건이 가장 높은 Q_{10} 값을 보였지만, 볼락(*Sebastes inermis*)의 경우 수온 변화 구간에 따라 광주기의 영향이 다른 보고도 있었다(Oh and Noh 2006). 이상의 결과에서 돌돔 치어의 경우 수온 상승과 먹이 공급이 증가하기 시작하는 봄부터 초여름 사이에 높은 대사율 증가가 예상되며, 이에 따른 적절한 용존산소의 유지 및 사육관리가 있어야 할 것으로 생각된다.

광주기 변화 역시 돌돔 치어의 산소 소비율에 영향을 미쳤다. 모든 수온에서 명기시의 산소 소비율이 암기시 보다 높은 경향을 보이며, 이 결과는 타 연구자들과 일치하였다(Nagarajan and Gopal 1983; Jo and Kim 1999; Biswas *et al.* 2002; Biswas and Takeuchi 2002; Oh and Noh 2006). 12L:12D 경우 명기에서 산소 소비율이 증가하고 암기에서 감소하는 일주기리듬을 보였다(Fig. 2). 이것은 연속적인 명기 또는 암기조건이 어체의 안정적인 상태를 유지한 반면, 12L:12D와 같은 광주기 변화가 어류의 생리적 반응에 영향을 미쳐 나타난 것으로 생각된다(Jo and Kim 1999). Oh and Noh(2006)는 볼락을 대상으로 12L:12D에서 본 실험과 동일한 일주기리듬을 보고하였으며, Biswas and Takeuchi(2002)는 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*)를 대상으로 3L:3D, 6L:6D, 12L:12D 그리고 24L:24D의 광주기 변화에 따라 산소 소비율은 3L:3D 조건을 제외한 모든 광주기 조건에서 일주기리듬을 보이며, 12L:12D에서 가장 뚜렷한 일주기리듬

을 나타낸다고 보고하였다. 이들은 광주기와 같은 외부 환경인자들이 생체 리듬을 설정하는 자극제 역할을 한다고 고찰하였다. Ross and McKinney(1988) 역시 나일틸라피아를 대상으로 광주기 변화가 어류 생체 리듬에 영향을 준다고 하였으며, 광주기 변화를 경험한 황복(*Takifugu obscurus*)을 지속적인 암기조건에 수용한 후에도 이전에 내재된 광주기 조건 등에 따라 내인성 생체 리듬을 보일 수 있다는 보고도 있었다(Kim *et al.* 1997).

본 실험 결과 모든 수온 조건에서 12L:12D의 명기와 암기일 때의 산소 소비율은 유의적인 차이를 보였으며($P < 0.001$, Fig. 2), 이와 같은 결과는 타 연구자들의 결과와 유사하였다(Biswas and Takeuchi 2002; Jonassen *et al.* 2000; Oh and Noh 2006). Jonassen *et al.*(2000)은 Atlantic halibut(*Hippoglossus hippoglossus*)를 대상으로 자연 광주기 조건 하에서, Oh and Noh(2006)은 볼락을 대상으로 12L:12D 조건 하에서 산소 소비율을 조사한 결과 명기와 암기 조건에서 유의적인 차이를 보고하였다. Oh and Noh(2006)는 수온 상승과 더불어 광주기 변화는 어류 생체 반응에 더 큰 영향을 미칠 수 있으며, 이로 인해 명기가 지속된 조건보다(24L:0D) 높은 산소 소비율을 보인다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 12L:12D 조건보다 24L:0D 조건에서 항상 높은 산소 소비율을 보이는 것으로 나타났다(Table 1, Fig. 2). 이것은 환경 변화에 따른 반응 정도가 각 종마다 다르다는 것을 나타낸다. Björnsson(1997)은 광주기 변화로 유발된 호르몬의 분비가 연어의 신진대사 활동을 증가시켜 산소 소비율 증가를 유발할 수 있다고 보고한 바 있어, 이에 대한 연구가 앞으로 필요하다.

환경인자들의 변화에 따른 생물의 적응은 각기 다른 생화학적, 생리학적 그리고 행동 정도에 따라 다르게 나타나는 종 특이적 항상성(homeostasis) 조절 메커니즘에 의한 복합적인 반응을 말한다(Spanopoulos-Hernández *et al.* 2005). 이 실험 결과에서 수온과 광주기 그리고 수온·광주기의 상호작용은 돌돔 치어의 대사율에 영향을 미치는 조절인자로 작용하였다(Table 1). 즉, 수온, 광주기 각각뿐만 아니라 두 인자의 상호작용 모두가 돌돔 치어의 항상성 유지를 위한 조절인자로 작용했음을 나타낸다. 그러나 실제 양식 현장에서는 이들 요인 이외에 사료 공급, 선별 등과 같은 여러 요인들이 산소 소비율에 영향을 미치며, 특히 공간과 사육수의 이용이 제한적으로 이루어지는 실내 순환여과식 시설에서는 더욱 많은 요인들이 어류의 대사작용에 영향을 미칠 수 있어 다양한 요인들의 검토가 요구된다. 이 실험 결과는 돌돔 사육에 필요한 가장 기초적인 대사율 자료를 제공하며, 다양한 생물·물리·화학적 조건 하에서 어류의 생리적 반응을 정량화할 수 있는 생체역학 모델을 결정하는 데 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 요약

돌돔 치어의 사육 관리 및 생체역학 모델 결정을 위한 기초자료를 수집하기 위해 수온과 광주기에 따른 산소 소비율을 조사하였다. 절식한 돌돔(평균 무게 21.5 ± 1.9 g, 총 180마리)의 치어를 대상으로 네 가지 수온(10, 15, 20, 25°C)과 세 가지 광주기(24L:0D, 12L:12D, 0L:24D)에 따라 유수식 형태의 호흡실을 이용하여 24시간 동안 5분 간격으로(3반복) 산소 소비율을 측정하였다. 수온과 광주기 그리고 두 인자의 상호작용 모두가 돌돔 치어의 산소 소비율에 유의한 영향을 미쳤다($P < 0.001$). 각 광주기 조건에서 수온 상승에 따라 산소 소비율은 유의적으로 증가하였다($P < 0.001$). 10, 15, 20 그리고 25°C에서의 시간당 평균 산소 소비율은 각각 202.1~403.4, 306.7~502.2, 536.7~791.0 그리고 879.9~1,077.4 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹였으며, Q₁₀ 값은 10~15, 15~20, 20~25°C에서 각각 1.58~2.30, 2.44~3.06, 1.86~2.69이었다. 모든 수온 조건에서 연속 명기(24L:0D)일 때 산소 소비율은 연속 암기(0L:24D)일 때보다 유의하게 높았다($P < 0.001$). 12L:12D의 명기에서의 산소 소비율은 같은 조건의 암기 때보다 유의하게 높은 산소 소비율을 보였다($P < 0.001$). 결론적으로, 돌돔 치어 사육시 고수온 및 긴 낮 시간이 유지될 때 사육수의 산소 결핍 현상에 주의를 기울여야 한다.

사 사

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

참고문헌

- Avnimelech, Y., N. Mozes, and B. Weber. 1992. Effects of aeration and mixing on nitrogen and organic matter transformations in simulated fish ponds. *Aquacult. Eng.*, 11, 157-169.
- Beamish, F.W.H. 1964. Seasonal changes in the standard rate of oxygen consumption of fishes. *Can. J. Zool.*, 42, 189-194.
- Biswas, A.K., M. Endo, and T. Takeuchi. 2002. Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed young tilapia *Oreochromis niloticus*: Part I. *Fish. Sci.*, 68, 465-477.
- Biswas, A.K. and T. Takeuchi. 2002. Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed adult tilapia *Oreochromis niloticus*: Part II. *Fish. Sci.*, 68, 543-553.
- Björnsson, B.T. 1997. The biology of salmon growth hormone: from daylight to dominance. *Fish Physiol. Biochem.*, 17, 9-24.
- Brett, J.R. 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 21, 1183-1226.
- Brett, J.R. and T.D.D. Groves. 1979. Physiological energetics. p. 279-352. In: *Fish Physiology*. eds. by W.H. Hoar, D.J. Randall, and J.R. Brett. Academic Press, New York.
- Bridges, C.R. 1988. Respiratory adaptations in intertidal fish. *Am. Zool.*, 28, 79-96.
- Cai, Y. and R.C. Summerfelt. 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. *Aquaculture*, 104, 127-138.
- 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.
- Das, T., A.K. Pal, S.K. Chakraborty, S.M. Manush, N.P. Sahu, and S.C. Mukherjee. 2005. Thermal tolerance, growth and oxygen consumption of *Libeo rohita* fry (Hamilton, 1822) acclimated to four temperatures. *J. Therm. Biol.*, 30, 378-383.
- Fonds, M., R. Cronie, A.D. Vethaak, and P. Van Der Puly. 1992. Metabolism, food consumption and growth of plaice (*Pleuronectes platessa*) and flounder (*Platichthys flesus*) in relation to fish size and temperature. *Neth. J. Sea Res.*, 29, 127-143.
- Forsberg, O.L. 1994. Modeling oxygen consumption rates of post-smolt Atlantic salmon in commercial-scale landbased farms. *Aquacult. Int.*, 2, 180-196.
- Fry, F.E.J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. p. 1-98. In: *Fish Physiology*. eds. by W.S. Hoar and D.J. Randall. Academic Press, New York.
- Imsland, A.K., A. Folkvor, and S.O. Stefansson. 1995. Growth, oxygen consumption and activity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) reared under different temperatures and photoperiods. *Neth. J. Sea Res.*, 34, 149-159.
- 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. (In Korean)
- Jobling, M. 1982. A study of some factors affecting rates of oxygen consumption of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish Biol.*, 20, 501-516.
- Jonassen, T.M., A.K. Imsland, S. Kadowaki, and S.O.

- Stefansson. 2000. Interaction of temperature and photoperiod on growth of Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* L. *Aquac. Res.*, 31, 219-227.
- Kaushik, S.J. 1998. Nutritional bioenergetics and estimation of waste production in non-salmonids. *Aquat. Living Resour.*, 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, S.K. Yi, and H.T. Huh. 1997. Endogenous circadian rhythm in the river puffer fish *Takifugu obscurus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 153, 293-298.
- 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 Gakkaishi*, 65, 48-54.
- Moore, J.M. and C.E. Boyd. 1984. Comparisons of devices for aerating inflow pipes. *Aquaculture*, 38, 89-96.
- Nagarajan, K. and V. Gopal. 1983. Effect of photoperiod on oxygen consumption and food utilization in *Tilapia mossambica* Peters. *Proc. Nat. Acad. Sci. India*, 53B, 217-225.
- Oh, S.Y. and C.H. Noh. 2006. Effects of water temperature and photoperiod on the oxygen consumption rate of juvenile dark-banded rockfish, *Sebastes inermis*. *J. Aquacult.*, 19, 210-215. (In Korean)
- Roberts, J.P. 1990. Energy-dense feeds help the environment. *Fish Farmer*, 7, 50-51.
- Ross, L.G. and R.W. McKinney. 1988. Respiratory cycles in *Oreochromis niloticus* (L.) measured using a six-channel microcomputer-operated respirometer. *Comp. Biochem. Physiol.*, 89, 637-643.
- 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.
- Tytler, P. and P. Calow. 1985. *Fish Energetics: New Perspectives*. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, MD. 349 p.
- Wang, X., K. Kim, S.C. Bai, M. Huh, and B. Cho. 2003. Effects of the different levels of dietary vitamin C on growth and tissue ascorbic acid changes in parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). *Aquaculture*, 215, 203-211.
- Withey, K.G. and R.L. Saunders. 1973. Effect of reciprocal photoperiod regime on standard rate of oxygen consumption of postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30, 1898-1900.
- 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 Sep. 25, 2006
Accepted Oct. 31, 2006