

Note

넙치 *Paralichthys olivaceus* 대사율에 미치는 수온과 체중의 영향

오승용^{1*} · 장요순² · 박흥식³ · 최영웅³ · 김종관¹

¹한국해양연구원 해양생물자원연구부
(426-744) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

²한국해양연구원 동해분원
(767-813) 경북 울진군 죽변면 해양바이오길 48

³한국해양연구원 한·남태평양해양연구센터
(426-744) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

The Influence of Water Temperature and Body Weight on Metabolic Rate of Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*

Sung-Yong Oh^{1*}, Yo-Soon Jang², Heung-Sik Park³, Young Ung Choi³, and Chong-Kwan Kim¹

¹Marine Biology and Resources Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

²East Sea Branch, KORDI
Uljin 767-813, Korea

³Korea-South Pacific Ocean Research Center, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : The effect of water temperature and body weight on oxygen consumption by the fasted olive flounder *Paralichthys olivaceus* was investigated in order to assess the metabolic rate of this species under different conditions. The oxygen consumption rate (OCR) was measured at three different water temperatures (15, 20 and 25°C) and two different body weights [9.1±1.2 g (mean±SD) for the juvenile group and 266.4±29.3 g for the immature group] at an interval of 5 minutes for 24 hours using a closed flow-through respirometer. For each treatment condition, three replicates were set up and 135 fish in the juvenile group and 18 fish in the immature group were used. The OCRs exhibited a linear increase described by $OCR = -82.06 + 28.30T$ ($r^2 = 0.96$, $p < 0.001$) in the juvenile group and $OCR = -52.52 + 14.73T$ ($r^2 = 0.97$, $p < 0.001$) in the immature group. The OCRs decreased with increasing body weights at a given water temperature ($p < 0.001$). The metabolic rate was related to the body weight of the fish as a power function with a weight exponent of between 0.77 and 0.82. Q_{10} values ranged 1.67~2.28 when the temperature was between 15 and 20°C, 1.57~1.93 when the temperature was between 20 and 25°C, and 1.79~1.89 when the temperature was between 15 and 25°C. The energy expenditure by respiration increased with increasing water temperature and decreasing body weight ($p < 0.001$). The mean energy loss rates at 15, 20 and 25°C were 115.9, 149.8 and 208.2 kJ kg⁻¹d⁻¹ in the juvenile groups and 53.8, 81.2 and 101.9 kJ kg⁻¹d⁻¹ in the immature groups.

Key words : *Paralichthys olivaceus*, metabolic rate, oxygen consumption, water temperature, body weight

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

1. 서 론

산소 소비율로 측정되는 어류 대사율에 관한 정보는 암모니아와 이산화탄소 발생과 더불어 사육 시스템의 유지 관리 즉, 유량 및 수온 밀도를 결정하기 위한 기본적인 전제조건 중의 하나로 사용된다(Brown et al. 1984). 또한 어류 대사율은 어류가 성장하기 위해 가장 의존하는 먹이(Brett and Groves 1979) 내 에너지 함량을 산정하는데 중요한 정보를 제공한다(Degani et al. 1989). 이와 아울러 어류의 대사율은 다양한 환경 변화의 적응 및 먹이 섭취 등 생명 활동 중 발생하는 에너지 수치 정보를 제공함으로써 실제 직접적인 먹이 공급에 따른 성장 측정 대신에 어류의 성장률을 추정할 수 있는 모델의 자료로 활용할 수 있어, 개체군 변동의 예측에 활용할 수 있다(Fonds et al. 1992).

수온은 어류의 성장과 생존에 영향을 미치는 가장 중요한 환경인자들 중의 하나로서(Peck et al. 2005), 체내 반응률의 조절인자로 간주되고 있다(Brett and Groves 1979). 이러한 중요성 때문에 어류의 대사 반응에 미치는 수온의 영향을 평가하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다(Lankin et al. 2008; Peck et al. 2005; Pirozzi and Booth 2009). 어류는 성장함에 따라 환경 적응과 성장 및 생존에 필요로 하는 대사 에너지양은 달라지며, 각 단계별 균형이 이루어져야 한다(Wuenschel et al. 2004). 따라서 어류 크기별 필요로 하는 산소 소비율, 즉 대사율에 대한 정보는 필수적이며, 이를 통해 사육 시스템 내 적정 사육 밀도 유지와 산소 보충을 위한 유량 및 에어레이션을 조절하는데 있어 기초 자료로 이용할 수 있다(Moore and Boyd 1984; Avnimelech et al. 1992).

우리나라의 가장 중요한 상업 어종 중 하나인 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 경우 번식 및 먹이 이용성에 관한 많은 연구가 이루어졌지만, 대사율에 관한 자세한 정보는 여전히 부족한 실정이다. 예를 들어, Kim et al. (1995)은 수온과 크기에 따른 넙치의 산소 소비 패턴을 보고한 바 있으나, 온도 변화에 따른 크기별 대사율과 반응 정도 그리고 에너지 소비율 등에 관한 정보는 제시하고 있지 않다. 따라서 본 연구는 수온과 넙치의 체중에 따른 산소 소비율, 즉 대사율과 온도 변화에 따른 넙치의 Q_{10} 값 변화 그리고 대사 작용에 의한 에너지 소비율을 조사함으로써, 인위적인 사육 시스템 내 안정적인 사육 환경 제공 및 생체역학 모델 개발을 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

실험어 및 순치

실험어는 거제도에 소재하는 개인 양어장에서 사육 중

인 넙치 치어와 미성어를 구매하여 사용하였다. 실험에 이용한 치어[초기 무게: 8.1 ± 3.9 g(mean \pm SD, 습중량)]와 미성어(256.8 ± 9.1 g)는 산소 소비율을 측정하기 전 400 l FRP 수조 2개와 침지식 생물여과조($1 \times 1.5 \times 2$ m, 3.0 ton)로 이루어진 실내 소형 순환여과식 시설(오 등 2007) 2 set에 각각 400마리와 100마리씩 옮겨 2주 동안 $20.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 조건에서 순치시켰다. 순치기간 동안 실험어는 시판용 해산어 사료(E-hwa Feed Co., Korea, 단백질 함량 46.7%)를 일간 어체중의 2~3% 비율로 공급하였으며, 히터와 냉각기를 이용하여 수온을 조절하였다. 사육수 내 용존산소 농도는 유량 조절과 에어레이션을 통해 80% 이상의 포화상태를 유지하였다. 순치 기간 동안 사육수의 pH는 8.1 ± 0.2 , 염분은 33.0 ± 1.2 psu를 유지하였다.

실험 장치

실험 장치는 오와 노 (2006)의 폐쇄형 순환 호흡 측정 시스템을 이용하였다. 시스템은 호흡실, 산소 측정실, 저수탱크, 공급탱크, 카트리지 필터 그리고 자외선 살균기로 이루어졌으며, 실험어를 수용하는 호흡실의 경우 직육면체($0.2 \times 0.3 \times 0.2$ m, 12 l) 형태의 아크릴로 제작하였다. 호흡실의 윗부분은 공기가 새어 들어가지거나 누수를 막기 위해 고무 밴드를 삽입한 후 뚜껑을 덮어 밀봉하였다. 그리고 호흡실 내에 물과 함께 들어간 공기를 빼내기 위해 직경 0.6 cm의 구멍을 한쪽 부분에 뚫고 투명 비닐관에 소형 밸브를 연결하여 사용하였다. 호흡실로 들어간 유입수는 직경 1 cm 아크릴 관으로 산소 측정실과 연결시켜 순환시켰다. 산소 측정실($10 \times 10 \times 6$ cm)의 경우 측정실의 위쪽 부분에는 지름 6.7 cm의 구멍을 뚫어 산소 probe를 연결하였고, 산소 probe 연결 부위에 누수 및 공기가 새어 들어가는 것을 방지하기 위해 고무링을 밀착시켜 밀봉하였다. 그리고 측정실내에 유입된 공기 방울은 호흡실과 동일한 방법으로 제거하였다. 실험 수온을 유지하기 위해 공급탱크와 저수탱크 내에 히터와 냉각기를 설치하였고, 동시에 2~3개의 에어스톤을 설치해 95% 이상의 산소 포화도를 유지하였다. 순환수는 저수탱크에서 양수되어 공급탱크로 들어가기 전에 $1 \mu\text{m}$ 의 카트리지 필터 2개와 유식 자외선 살균기(Model: P301, 처리 용량 3 ton/hr, 삼지통상)를 연속적으로 거치도록 하여 입자성 부유물질의 영향을 최소화하였고, 미생물에 의한 미량의 산소 소비를 방지하였다. 유량은 호흡실 유입수와 배출수간 용존산소 농도 차이가 최소한 0.2 mg/l 이 되도록 유지하였으며(오와 노 2006), 평균 유량은 35.8 ± 0.5 l/h이었다.

실험 방법

실험 수온의 순치는 200 l 유리수조 2개와 침지식 생물여과조($1.0 \times 1.2 \times 0.5$ m, 0.6 ton)로 구성된 소형 순환여과

식 시스템 6 set에서 이루어졌다. 초기 실내 수조(20°C)에 순치된 치어와 미성어는 각 3 set의 순환여과식 시스템 내 총 12개의 유리수조에 60마리와 10마리씩 각각 분산 수용하였다. 분산 수용된 실험어는 지속적으로 20°C로 유지되어진 후, 각 실험 수온(15, 20 그리고 25°C)으로 조절하기 위해 20°C 실험구 2 set(치어와 미성어 각 1 set씩)를 제외하고 15°C와 25°C 실험구 각 2 set는 20°C로부터 3일간에 걸쳐 서서히 5°C를 낮추거나 높였다(오와 노 2006).

수온 조절이 이루어진 후 넙치 치어와 미성어는 10일 이상 각 실험 조건에 추가 순치시켰다. 순치 기간 중 사료는 하루에 어체중의 2~3% 비율로 공급하였다. 실험 시작 전 2일간 실험어는 절식시킨 후 MS-222로 마취시켜 무게를 측정 한 후 순치된 실험 조건의 호흡실에 수용하였다. 치어와 미성어의 평균 체중은 각각 9.1±1.2 g과 266.4±29.3 g이었으며, 호흡실에 각각 15마리와 2마리씩 3반복 수용하여 실험을 실시하였다. 호흡실에 수용한 후 handling에 의한 영향을 배제하기 위하여 3시간 동안 안정시킨 후 그 후 24시간 동안 산소 소비율을 측정하였다(오와 노 2006).

용존산소량 측정 및 자료 처리

용존산소량의 측정은 산소 측정 전극과 Multi Data Logger System(Oxyguard, Denmark)을 사용하였다. 측정실의 유입수와 배출수의 용존산소량은 µLog VL 100 Software를 이용하여 5분마다 측정하였고, 측정된 산소량은 산소 측정 판넬을 통해 Data Logger에 저장한 후 분석에 이용하였다. 수온과 크기에 따른 넙치의 산소 소비율(oxygen consumption rate, OCR)은 아래와 같은 방법에

따라 구하였다(Jobling 1982).

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

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 소비율 패턴과 시간당 평균 산소 소비율을 구하였으며, 수온 변화에 따른 넙치 치어와 미성어의 대사 반응률(Q_{10})은 아래의 식을 이용하여 구하였다(Wuenschel et al. 2005).

$$Q_{10} = \left[\frac{R_2}{R_1} \right]^{(10/T_2 - T_1)} \quad (2)$$

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

위 식 (1)을 통해 계산된 산소 소비율(mg O₂ kg fish⁻¹ h⁻¹)은 시간에 대한 소비율로 도식화하여 곡선 아래 면적의 적분을 통해 일간 산소 소비율(mg O₂ kg fish⁻¹ d⁻¹)을 추정 한 뒤, Brett and Groves (1979)이 보고한 산소 소모에 따른 에너지 전환 계수(1 mg O₂=13.598 J=3.25 cal)를 이용하여 각 수온별 대사 작용에 의한 에너지 소비율을 구하였다.

모든 자료의 통계처리는 SPSS 11.5(SPSS Inc., USA)를 이용하여 two-way ANOVA를 실시하고 Tukey's multiple range test로 평균간 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

Table 1. The effect of water temperature (T) and mean body weight (W) on the oxygen consumption rate (OCR) of the olive flounder *Paralichthys olivaceus*

Group ¹ T (°C)	Juvenile	Immature	Regression
	mg O ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹ *		
15	355.0±2.00 ^a	164.9±1.59 ^A	OCR = 585.99W ^{-0.23} (r ² =0.98, p<0.001)
20	458.9±2.21 ^b	248.9±1.23 ^B	OCR = 684.45W ^{-0.18} (r ² =0.98, p<0.001)
25	638.0±2.00 ^c	312.2±0.56 ^C	OCR = 1018.04W ^{-0.21} (r ² =0.99, p<0.001)
Regression	OCR = -82.06 + 28.30T (r ² =0.96, p<0.001)	OCR = -52.52 + 14.73T (r ² =0.97, p<0.001)	
Two-way ANOVA			
T			p=0.000
W			p=0.000
T×W			p=0.000

*Values (mean±SE) with different superscripts are significantly different (n=72, p<0.001).

¹Juvenile: 9.1±1.2 g (mean±SD), Immature: 266.4±29.3 g

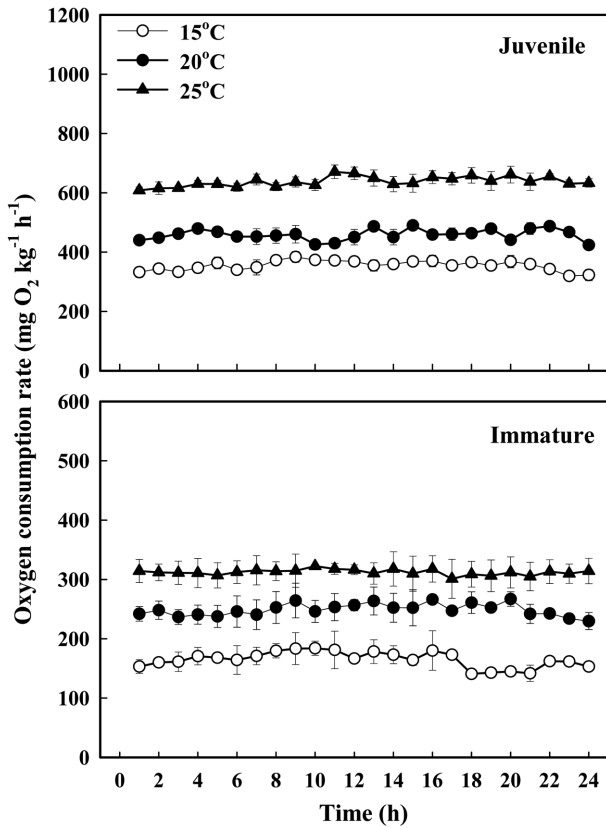


Fig. 1. Changes in the oxygen consumption rate in fasted juvenile (mean body weight of 9.1 g) and immature (266.4 g) olive flounder *Paralichthys olivaceus* at three different water temperatures (15, 20 and 25°C). Values represent mean±SE (n=3)

3. 결 과

넙치 체중과 수온에 따른 시간당 평균 산소 소비율 (oxygen consumption rate, OCR, mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹)의 결과와 일간 변화 패턴은 각각 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. 수온에 따른 시간당 평균 산소 소비율은 넙치 치어의 경우, 수온 15, 20 그리고 25°C에서 각각 355.0, 458.9 그리고 638.0 mg O₂ kg fish⁻¹ h⁻¹이었고, 미성어의 경우 각각 164.9, 248.9 그리고 312.2 mg O₂ kg fish⁻¹ h⁻¹을 보였다. 수온(T)에 따른 넙치 치어와 미성어의 시간당 평균 산소 소비율은 각각 OCR=-82.06+28.30T (r²=0.96, p<0.001)와 OCR=-52.52+14.73T (r²=0.97, p<0.001)의 회귀식을 보였다.

체중에 따른 시간당 평균 산소 소비율은 15°C의 경우 넙치 치어에 비해 미성어는 약 53.5% 감소하였으며, 20°C와 25°C에서는 각각 45.7%와 51.1% 감소하였다. 산소 소비율에 대한 크기의 영향은 15, 20 그리고 25°C에서 각각 0.77(=1-0.23), 0.82(=1-0.18) 그리고 0.79(=1-0.21)의 지

Table 2. Q₁₀ value of the olive flounder *Paralichthys olivaceus* at different water temperatures and body weights under fasted conditions

Group*	Temperature interval (°C)		
	15~20	20~25	15~25
Juvenile	1.67	1.93	1.80
Immature	2.28	1.57	1.89

*Juvenile: 9.1±1.2 g (mean±SD), Immature: 266.4±29.3 g

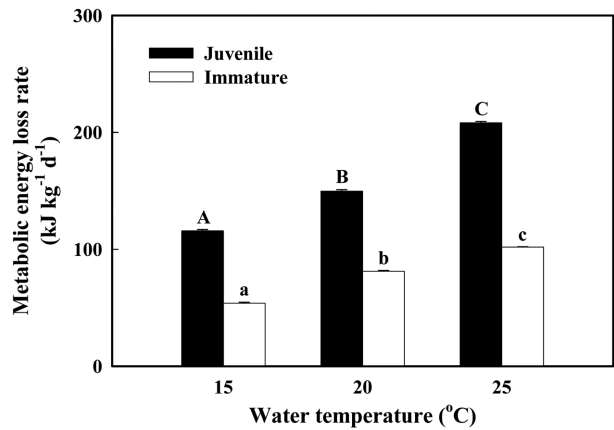


Fig. 2. Metabolic energy loss rates in fasted juvenile (mean body weight of 9.1 g) and immature (266.4 g) olive flounder *Paralichthys olivaceus* at three different water temperatures (15, 20 and 25°C). Values indicate mean±SE (n=3). Significant differences between groups are indicated with different letters (p<0.001)

수(power)로 나타났다(Table 1). 이상의 결과에서 넙치의 시간당 산소 소비율은 수온 상승과 체중 감소에 따라 증가하는 상관관계를 보였으며, 크기(p<0.001), 수온(p<0.001), 그리고 두 인자의 상호작용(p<0.001) 모두 산소 소비율에 유의한 영향을 미쳤다(Table 1).

수온 변화에 따른 넙치 치어와 미성어의 Q₁₀ 값을 Table 2에 나타내었다. 치어의 경우 수온 15~20°C, 20~25°C 그리고 15~25°C 구간의 Q₁₀ 값은 각각 1.67, 1.93 그리고 1.80으로 나타나, 20~25°C 범위가 15~20°C 범위보다 높은 대사 반응을 보였다. 미성어의 경우 수온 15~20°C, 20~25°C 그리고 15~25°C 구간에서 각각 2.28, 1.57 그리고 1.89의 Q₁₀ 값을 보여, 치어와는 달리 20~25°C 범위보다 15~20°C 범위에서 더 높은 대사 반응을 보였다. 실험이 이루어진 15~25°C 범위의 경우 넙치 치어와 미성어의 Q₁₀ 값은 각각 1.80과 1.89로 미성어에서 높게 나타났다.

넙치 크기와 수온에 따른 대사 에너지 소비율을 Fig. 2에 나타내었다. 일간 평균 대사 에너지 소비율은 수온 15, 20 그리고 25°C에서 치어의 경우 각각 115.9, 149.8 그리

고 208.2 kJ kg⁻¹ d⁻¹이었고, 미성어의 경우 각각 53.8, 81.2 그리고 101.9 kJ kg⁻¹ d⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였으며, 미성어보다 치어에서 높은 대사 에너지 소비율을 보였다(p<0.001).

4. 고찰

수온은 어류의 체내 생리학적 반응에 직접적인 영향을 미치는 대사 조절인자로서, 체내 반응률을 결정짓는 가장 중요한 외부 환경인자로 간주되고 있다(Brett and Groves 1979). 즉, 어류는 수온 변화에 따른 체내 항상성 유지를 위해 생화학적 반응을 유발함으로써 이에 따른 대사 반응이 일어난다(Spanopoulos-Hernández et al. 2005). 본 실험 결과 수온은 넙치 치어와 미성어의 대사율에 직접적인 영향을 미쳤으며, 이전의 연구 결과들과 일치하였다(Cai and Summerfelt 1992; Fonds et al. 1992; Wuenschel et al. 2004; 오 등 2007; 오 등 2009). 일반적으로 어류의 대사율은 서식 수온 범위 내에서 수온 상승에 따라 직선적으로 증가하며(Kim et al. 1995; Tytler and Calow 1985; Paul 1986), 본 실험 결과도 일치하였다. Kim et al. (1995)은 동일 어종인 넙치 치어(평균 3.3 g)를 대상으로 24시간 절식 후 수온(T) 15.2°C에서 24.2°C로 상승할 경우 대사율은 54.1에서 286.0 ml O₂ kg⁻¹ h⁻¹(단위 환산 77.4와 409.0 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹)로 직선적으로(OCR = -339.60 + 34.05T) 증가하는 결과를 보고하였다. 이 외에도 pollock(*Theragra chalcogramma*)(Paul 1986), 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)(오 등 2007) 그리고 강도다리(*Platichthys stellatus*)(오 등 2009) 등 많은 어류에서 수온 상승에 따른 대사율 증가가 보고되었지만, 온도 상승에 따른 대사율 증가 비율은 차이를 보였다. Kim et al. (1995)의 결과는 15.2°C에서 24.2°C로 상승할 경우 넙치 치어의 대사율은 약 5.3배 증가하였지만, 본 실험의 경우 15°C에서 25°C로 상승할 경우 치어와 미성어에서 각각 약 1.8배와 1.9배 증가하는 것으로 나타났다. 조피볼락은 수온 15°C에서 25°C로 상승할 경우 치어(12.9 g)와 미성어(351.1 g)에서 약 1.8~2.0배 증가하였고(오 등 2007), 강도다리는 수온 4°C에서 19°C로 상승할 경우 자어(1.5 g)와 치어(37.4 g)에서 약 1.8~2.6배 증가하는(오 등 2009) 것으로 나타나 실험어의 종류, 크기, 절식기간, 순치조건 및 분석방법 등에 따라 상이한 결과를 보였다.

일반적으로 어류는 성장함에 따라 단위 체중당 대사율은 감소한다(Beamish 1964; Fry 1971; Degani et al. 1989; Cai and Summerfelt 1992; 오 등 2007; 오 등 2009). 본 실험의 경우 수온 15~25°C 범위에서 미성어의 대사율은 치어에 비해 약 45.7~53.5% 감소하였다. Kim et al. (1995) 역시 5~398 g의 넙치를 대상으로 조사한 결과

어체 크기가 클수록 대사율은 감소하였고, 소형어(5 g)에 비해 대형어(398 g)는 약 92.4% 대사율이 감소하였다. 체중 12.9~351.1 g의 조피볼락을 대상으로 15~25°C 범위에서 시간당 평균 산소 소비율은 체중 증가에 따라 평균 56.1~63.7% 감소하였고(오 등 2007), 넙치와 같은 저서어류이지만 냉수성 어종인 강도다리의 경우 4~19°C 범위에서 치어(37.4 g)의 대사율이 자어(1.5 g) 대사율보다 약 91.2~93.0% 감소하는 결과(오 등 2009)를 보여 실험어와 수온 범위 그리고 크기에 따라 다양한 결과를 보였다. 체중에 따른 산소 소비[Oxygen consumption(OC), mg O₂ h⁻¹]는 일반적으로 지수식[OC = aW^b(a, b는 상수)]의 형태로서, 양변을 체중(weight, W)으로 나누면 바로 산소 소비율[OCR(mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹) = aW^{b-1}]을 의미한다. 이때 체중의 영향인 지수(b)는 0.5~1.0 범위이며, 일반적으로는 0.7~0.9 사이이다(Fry 1971; Paul 1986; Paul et al. 1988). Fonds et al. (1992)는 plaice(*Pleuronectes platessa*)와 flounder(*Platichthys flesus*)를 대상으로 0.71~0.85의 지수 값(b)을 보고하였고, Cai and Summerfelt (1992)는 4~133 g의 walleye(*Stizostedion vitreum*)를 대상으로 0.78~0.86의 b 값을, Pirozzi and Booth (2009)는 mulloay(*Argyrosomus japonicus*)을 대상으로 0.80을, 그리고 오 등 (2007)은 조피볼락을 대상으로 0.69~0.75의 지수 값을 보고하였다. 본 실험 결과 역시 0.77~0.82 범위의 지수 값을 보여 이전의 실험 결과와 유사하였다.

Q₁₀ 값은 수서 동물이 온도 변화에 적응하기 위한 체내 효소 반응과 생리학적 작용으로 유발된 에너지 요구량을 나타내며(Spanopoulos-Hernández et al. 2005), 일반적으로 2~3 범위를 보인다(Fry 1971; Bridges 1988). 본 실험 결과 넙치 치어와 미성어 모두 1.57~2.28 범위를 보여 이전의 결과와 유사하였지만, 크기에 따라 온도 민감성은 다르게 나타났다. 즉, 치어에서는 20~25°C 구간, 미성어에서는 15~20°C 구간에서 더 높은 Q₁₀ 값을 보여 크기에 따른 차이를 보였다. 하지만 조피볼락의 경우 치어와 미성어에 상관없이 15~20°C 보다 20~25°C에서 높은 온도 민감성을 나타내는 보고도 있다(오 등 2007). 또한 pollock의 경우 1.0~7.5°C 구간에서 6.04 그리고 1.0~12.0 구간에서 2.54로 나타나(Paul 1986) 수온 범위에 따라 다른 결과를 보여 어종, 크기 및 수온에 따라 차이를 보였다. 본 실험 결과 치어는 봄철에서 여름철 기간, 그리고 미성어는 수온 상승이 시작하는 봄철에 높은 대사율 증가가 예상되며, 적절한 먹이 공급 및 산소 유지 등 사육관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

어류는 생존과 성장을 위해 많은 에너지를 획득하고 소비하며, 이 중 대사활동에 의한 에너지 소비는 총에너지 수지에 있어 중요한 부분을 차지한다(Adams and Breck 1990). 본 실험 결과 수온과 체중의 변화는 넙치의 대사

에너지 소비율에 영향을 미쳤으며, 특히, 수온은 각 체중별 넙치의 에너지 소비에 주된 원인으로 작용하였고, 이전의 연구 결과와 일치하였다(오 등 2007; 오 등 2009). 이와 같은 에너지 수지에 대한 정보는 각 체중별 적정 사료 개발(Degani et al. 1989) 및 성장 예측을 위한 생체역학 모델 구축(Bartell et al. 1986)을 위한 자료로 활용이 가능해 인위적 사육 관리를 위한 정보뿐만 아니라 생태계 내 개체군의 자원 변동 파악을 위한 중요한 기초자료로 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 수온과 체중 그리고 두 인자의 상호작용은 넙치의 대사율에 유의한 영향을 미쳤으며, 각 크기별 사육 관리, 에너지 수지 및 생태계 내 자원 변동 예측을 위한 중요한 정보를 제공할 것이다. 이를 바탕으로 향후 보다 넓은 범위의 생활사 단계와 수온 범위에서 넙치의 성장과 생존 예측을 위한 대사 반응 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원의 연구비(과제 번호: PK07920, PE98811, PE98747) 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 오승용, 노충환 (2006) 수온과 광주기에 따른 볼락, *Sebastes inermis* 치어의 산소 소비율. 한국양식학회지 **19**:210-215
- 오승용, 노충환, 명정구, 조재윤 (2007) 조피볼락, *Sebastes schlegelii*의 산소 소비율에 미치는 수온과 체중의 영향. 한국어류학회지 **19**:1-7
- 오승용, 장요순, 노충환, 최희정, 명정구, 김종관 (2009) 강도다리 *Platichthys stellatus*의 산소 소비율에 미치는 수온과 체중의 영향. 한국어류학회지 **21**:7-14
- Adams SM, Breck JE (1990) Bioenergetics. In: Schreck CB, Moyle PB (eds) Methods for fish biology, American Fisheries Society, Bethesda MA, pp 389-415
- Avnimelech Y, Mozes N, Weber B (1992) Effects of aeration and mixing on nitrogen and organic matter transformations in simulated fish ponds. Aquacul Eng **11**:157-169
- Bartell SM, Breck JE, Gardner RH, Brenket AL (1986) Individual parameter perturbation and error analysis of fish bioenergetics models. Can J Fish Aquat Sci **43**:160-168
- Beamish FWH (1964) Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen consumption. II. Influence of weight and temperature on respiration of several species. Can J Zool **42**:177-188
- Brett JR, Groves TDD (1979) Physiological energetics. In: Hoar WH, Randall DJ, Brett JR (eds) Bioenergetics and growth. Fish Physiology, vol. 8. Academic Press, New York, pp 279-352
- Bridges CR (1988) Respiratory adaptations in intertidal fish. Am Zool **28**:79-96
- Brown JAG, Jones A, Matty AJ (1984) Oxygen metabolism of farmed turbot (*Scophthalmus maximus*): I. the influence of fish size and water temperature on metabolic rate. Aquaculture **36**:273-281
- Cai Y, Summerfelt RC (1992) Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. Aquaculture **104**:127-138
- Degani G, Gallagher ML, Meltzer A (1989) The influence of body size and temperature on oxygen consumption of the European eel, *Anguilla anguilla*. J Fish Biol **34**:19-24
- Fonds M, Cronie R, Vethaak AD, Van Der Puly P (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
- Fry FEJ (1971) The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: WS Hoar, DJ Randall (eds) Fish physiology. Academic Press, New York, pp 1-98
- Jobling M (1982) A study of some factors affecting rates of oxygen consumption of plaice, *Pleuronectes platessa* L. J Fish Biol **20**:501-516
- Kim IN, Chang YJ, Kwon JY (1995) The patterns of oxygen consumption in six species of marine fish. J Kor Fish Soc **28**:373-381
- Lankin KF, Peck MA, Buckley LJ, Bengtson DA (2008) The effects of temperature, body size and growth rate on energy losses due to metabolism in early life stages of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Mar Biol **155**:461-472
- Moore JM, Boyd CE (1984) Comparisons of devices for aerating inflow pipes. Aquaculture **38**:89-96
- Paul AJ (1986) Respiration of juvenile pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), relative to body size and temperature. J Exp Mar Biol Ecol **97**:287-293
- Paul AJ, Paul JM, Smith RL (1988) Respiratory energy growth requirements of the cod *Gadus macrocephalus* Tilesius relative to body size, food intake, and temperature. J Exp Mar Biol Ecol **122**:83-89
- Peck MA, Buckley LJ, Bengtson DA (2005) Effects of temperature, body size and feeding on rates of metabolism in young-of-the-year haddock. J Fish Biol **66**:911-923

- Pirozzi I, Booth MA (2009) The effect of temperature and body weight on the routine metabolic rate and postprandial metabolic response in mullet, *Argyrosomus japonicus*. *Comp Biochem Physiol A* **154**:110-118
- Spanopoulos-Hernández M, Martínez-Palacios CA, Vanegas-Pérez RC, Rosas C, Ross LG (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, Calow P (1985) *Fish energetics: new perspectives*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 349 p
- Wuenschel MJ, Jugovich AR, Hare JA (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 MJ, Werner RG, Hoss DE (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 Nov. 17, 2011

Revised Dec. 29, 2011

Accepted Jan. 30, 2012