

Article

말쥐치, *Thamnaconus modestus*의 산소소비율과 수온의 관계

이정아¹ · 이재성^{2*} · 김지혜² · 명정구¹ · 오승용¹ · 강래선³

¹한국해양과학기술원 통영해양생물자원연구·보존센터

²한국해양과학기술원 기기검교정·분석센터

³한국해양과학기술원 해양생태계연구부
(426-744) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

Relationship between Water Temperature and Oxygen Consumption Rate of the Black Scraper *Thamnaconus modestus*

Jung-Ah Lee¹, Jae Seong Lee^{2*}, Ji-Hye Kim², Jung-Goo Myoung¹,
Sung-Yong Oh¹, and Rae-Seon Kang³

¹Tong-Yeong Marine Living Resources Research & Conservation Center, KIOST

²Oceanographic Measurement & Instrument Calibration Service Center, KIOST

³Marine Ecosystem Research Division, KIOST
Ansan 426-744, Korea

Abstract : The black scraper *Thamnaconus modestus* was a commercially important fish species in the 1980s, but suddenly its commercial significance decreased in the 1990s mainly due to continuous over-fishing. Recently, in order to reverse the depleted stocks of the black scraper and help the species recover, seed production technology has emerged. This has led to the farming of the black scraper in several parts of the southern coast of Korea. Since detailed research on its metabolism in relation to water temperature has been scanty, this was the investigative focus of the present study. The standard metabolism rates of the black scraper (9-10 months old, total length = 22.6 ± 0.8 cm, wet weight = 140.3 ± 13.9 g) were measured at seven different water temperature settings (12, 15, 17, 20, 23, 26, 28°C) to understand the relationship between metabolism and water temperature. Relationships between water temperature (WT) and oxygen consumption rate (OCR) were obtained as SOCR (weight-specific oxygen consumption rate) = $0.0117WT - 0.0135$ ($r^2 = 0.9351$) and IOCR (oxygen consumption rate per individual) = $1.8160WT - 5.4007$ ($r^2 = 0.9428$). The Q_{10} (temperature sensitivity), an indicator of the sensitivity of biological function to temperature, was analyzed. In our experiment, when the water temperature increased, the Q_{10} value decreased. The Q_{10} value was 6.27 in waters where the temperature ranged from 12-15°C and this was much higher than the values obtained in waters where temperatures ranged between (1) 15-23°C and (2) 23-28°C. Consequently, it was shown that the black scraper is a warm water species and inhabiting waters in the temperature range from 15-28°C is deemed appropriate.

Key words : black scraper, *Thamnaconus modestus*, oxygen consumption rate, water temperature, Q_{10} value

*Corresponding author. E-mail : leejs@kiost.ac

1. 서 론

어류를 포함하는 모든 해양생물은 그들이 처한 환경으로부터 자유로울 수 없다. 이는 역으로 이들 생물 각각이 그들의 환경에 대해 적절한 방식으로 적응해왔음을 의미한다. 이러한 적응들은 어종에 따라 비슷하게 또는 다양하게 이루어진다(Yamamoto et al. 1990). 우리는 생물의 대사 작용을 포함하는 다양한 생리현상과 그들이 처한 환경과의 관계 구명으로부터 그 어종의 생태적인 정보를 파악할 수 있다고 보는데, 그것은 한 예로 어류의 생태와 산소 소비량 간에 밀접한 관계가 있는 것이 연구논문에서 시사되어져 왔기 때문이다(Yamamoto et al. 1990; Lee et al. 2012). 이는 대상종이 주요 수산 어종일 경우, 수온을 위시한 환경과 관련한 대사 작용의 이해가 종의 생태 및 그에 파생된 다양한 연구 분야, 즉 이동경로, 서식지 및 자원량 파악에서 보다 심층 있게 기여할 것이며(Lee and Kim 2001; Yoon et al. 2003), 증양식 분야에서도 대상종의 수용력 파악 및 생산 기술 개발과 관련하여 중요한 기초 정보를 제공할 수 있다(Brown et al. 1984; 오 등 2007; 오 등 2009; 오 등 2012).

말쥐치 *Thamnaconus modestus*는 사질 퇴적물과 사니질 퇴적물로 이루어진 대륙붕에 주로 서식하며, 우리나라 전 연안, 동중국해, 남중국해, 일본연안 및 남부아프리카로 넓게 분포하는 것으로 조사되고 있다(김 등 2005; 김 등 2006). 이 종은 우리나라에서 상업적으로 중요한 어종으로서 1978년 이후로 연근해에서 단일어종으로는 최고의 어획량을 기록하면서 1986년에는 32만 7000톤의 최대 어획량을 기록한 바 있다(염 1986; 홍 등 2000; 새전북신문 2001). 그러나 1990년대 초부터 어획량이 감소하기 시작하여 1998년에는 9000여 톤으로 급격히 감소하였다(홍 등 2000; 이 등 2000a; 새전북신문 2001; An et al. 2011). 이러한 급격한 감소의 원인에 대해 현재까지 명확히 밝혀져 보고된 바는 없으나, 우리나라 연근해의 전체 수산자원이 1970년대 이후 어업기술 발전과 자원관리에 대한 인식 부족에서 비롯된 지속적인 남획 그리고 산업화에 따른 수질 악화와 서식지의 파괴에 의해 줄어들고 있다고 평가하고 있는 것(Kim et al. 2007)을 감안하면, 말쥐치 자원의 급격한 감소 또한 이들 원인을 크게 벗어나지는 않을 것으로 판단되는데 특히 국내 일부 수산학자들이 여러 요인 중 남획을 중요한 혹은 부분적인 원인으로 꼽은 바 있다(Kim et al. 2007). 그러나 1990년대 이후 말쥐치 자원량의 감소 원인과 관련하여 여전히 '남획' 가설로는 설명되지 않는 부분과 기후 변화로 유도된 해양학적인 변화의 가능성도 중요하게 언급되어, 현재 이 '기후 변화' 가설도 유력한 주요 원인으로 설명되어지고 있다(정 등 2013; Jung and Cha 2014). 한편 2000년대 초에 들어오면서, 국

내에서는 말쥐치 인공종묘생산이 성공하게 되고, 2000년대 중반 이후로 인공종묘의 대량생산이 가능하게 되어 종묘생산량이 매년 지속적으로 증가하는 추세에 있다. 현재 국내 연안의 자원회복 프로그램의 일환으로 자원조성을 위한 종묘 방류 사업에 말쥐치 종묘생산이 일조를 하고 있으며, 또한 종묘생산의 발판 위에 새로운 양식 대상어종으로서의 그 가능성을 타진하게 되었다(이 등 2000a, 이 등 2000b; 방 등 2005; 광과 이 2009). 최근 일본에서도 이 종은 잠재적으로 높은 시장 가치, 빠른 성장 특성, 높은 먹이 전환율, 그리고 망 가두리에서의 성장에 대한 적응 능력을 보유한 각광받는 양식어종으로 대두되고 있다(Mizuno et al. 2012).

말쥐치에 대한 연구는 일본에서 1927년에 Uchida (1927)에 의해 최초로 시작된 것으로 추정되며, 그 후 1960년대부터 본격적으로 시작되어, 1980년대 초까지 난기에서 산란기까지 전 생활사에 걸친 생식 생태, 생물학적 특성, 분포, 출현 시기, 회유, 이동 등에 관한 기초 자료를 확보해 왔으며(Japan Fisheries Resource Conservation Association 1983; 이 등 2000b), 최근에도 종묘생산에 관련한 연구를 지속하고 있다(Mizuno et al. 2012). 국내에서는 1980년대에 들어와서 생식 생태 및 자원생물학적인 접근을 시작하였으나(최와 박 1982; 박 1985; 백과 박 1989), 그 후 연구가 미미하다가 어획량이 급격하게 감소하는 1990년대 후반에서 2000년대 초에 이르러 초기생활사와 생식년주기, 종묘생산과 관련한 연구가 수행되면서(이 등 2000a, 2000b, 2000c; 동우대학교 2001), 최근에 와서는 양식에 관련한 기초 연구로 자치어의 성장에 관련한 소화생리 및 서식분포와 섭식생태에 관한 연구가 이루어지고 있다(광과 이 2009; Kim 2012).

이 연구에서 다루는 산소소비는 유기 호흡하는 생물의 대사 작용 전반의 과정에서 수반되는 생리적 현상으로, 이 척도는 대사율의 지표로서 생물의 생리적 상태를 정성·정량적으로 해석하는데 이용되고 있다(신 등 2000; 오 등 2012; Kim et al. 2005; Kim et al. 2006; Lee et al. 2007). 특히, 표준대사율은(standard metabolic rate; SMR) 환경 온도에 의해 대사반응이 결정되는 외온성 동물에서 사용되어온 것으로, 내온성 동물의 기초대사율(basal metabolic rate; BMR)에 해당하는 개념이다. 이는 조절된 온도 하에서 측정된 기본대사율을 의미하는데, 일정한 체온에서 먹이를 취하지 않고 휴식상태에서 측정하여 얻어진다(강 등 1997). 그리고 생물을 둘러싼 환경요인 중 수온은 특히 어류와 같은 외온성 동물의 대사율을 결정짓는 매우 중요한 인자로서(Brett and Groves 1979), 많은 연구자들에 의해 수온에 의한 대사 생리적 반응 및 영향을 보는 다양한 연구가 이루어져 왔다(오 등 2012; Kim et al. 2003; Kim et al. 2005). 특히, 수온과 관련한 각 종의 표

준대사율은 실제 해양 환경의 다양한 영향인자에 대한 복합적인 영향 하에 놓인 생물의 생리 상태를 접근하는데 기초적인 정보를 제공할 수 있으며, 또한 양식어 관리에 필요한 적정사육 환경을 찾기 위한 에너지수지면에서의 접근을 위한 중요한 기초정보를 제시할 수 있다(Bartell et al. 1986).

앞서 언급한 말쥐치의 자원회복 필요성 그리고 향후 주요 양식어종으로서의 위치를 확고히 하기 위하여 이 종에 대한 기초 생물학적인 연구는 더 면밀히 이루어질 필요가 있다고 판단된다. 현재 이 종의 대사생리 분야에 관한 연구는 극히 미미하여 특정 수온에서 특정 체중과 관련된 산소소비량(Japan Fisheries Resource Conservation Association 1983)과, 혹은 같은 과에 속한 다른 어종인 쥐치(*Stephanolepis cirrhifer*)에 관한 표준대사율을 단편적으로 언급한 소수의 연구가 있을 뿐이다(Yamamoto et al. 1987; Yamamoto et al. 1990). 실제 같은 과에 속한 쥐치는 말쥐치와 비교해 생태적인 면에서 상당한 차이가 있음이 밝혀졌고(이 등 2000a), 성향도 양식업자의 다년간 경험한 바에 의하면 차이가 있는 것으로 판단되어, 앞으로 이들 종에 대한 생태적인 습성과 연관한 생리 연구가 더욱 절실하다 할 수 있다. 이 연구는 12~28°C 수온 범위 내에서 성어단계로 진입한 남해산 말쥐치를 이용하여 수온별 표준대사율을 측정하여 그 관련 식을 제시하고, 세부 각 수온대에서 수온민감도를 파악하여, 이 종의 수온과 관련된 대사특성을 밝히고자 하였다.

2. 재료 및 방법

실험어는 2012년 4월에 조기 산란한 개체로서, 같은 해 12월 17일 경남 거제시 법동면 개인가두리 양식장에서 한국해양과학기술원(안산 소재)의 해산어 사육실로 활어차를 이용하여 5시간 내에 수송되었다. 수송 직전 현장 수온은 12.5°C이었고, 수송 시 수온 및 염분은 11.8°C, 26.9 psu이었으며, 수송 후 12.0°C, 32.9 psu의 사육수에서 실험수온에 순치 전까지 관리되었다.

산소소비 측정은 설정 수온 12°C(I), 15°C(II), 17°C(III), 20°C(IV, 2회), 23°C(V), 26°C(VI), 28°C(VII)에서 수온별로 말쥐치 각 6~7미를 개체별로 실시하였다. 측정 전에 실험어를 수온조절장치가 설치된 직사각형의 순치 수조(500L, 150 cm × 70 cm × 80 cm(가로 × 세로 × 높이))에 수용하여 평균 1°C/일 씩 설정 수온까지 상승시킨 후, 1일간 설정 수온에서 순치시켰다. 단, 12°C는 순치 수조에서 14일간 순치된 개체를 사용하였다. 순치 및 사육 해수는 인천 연안에서 채취 판매되는 일반 해수를 사용하였는데, 염분이 대체로 낮아서 천일염(일등염업사, www.ildungsal.com)을 추가하여 32.4~32.9 psu의 수준으로 맞추어 사용

하였다. 사료로는 사육 수조 및 순치 수조에 유지 시, 조피블락 육성용 침강사료(어린 우럭용 사료 3, FP, CHUNHAJEIL FEED Co., Korea)를 사용하여 1일 1회로 충분히 공급하였으며, 측정 시 섭이에 의한 대사 작용을 엄격히 배제하기 위하여(Jobling 1981), 측정 48시간 전에는 사료 공급을 중단하였다. 측정 시, 설정 수온 유지와 실험어의 안정을 위하여 항온 BOD 인큐베이터(VS-1203P5N, Vision Scientific Co., Seoul, Korea) 안에 호일로 감싼 DO 용기를 넣어 빛이 차단된 암 상태에서 측정이 이루어지도록 하였다. 측정시간은 실험수의 용존산소량의 감소로 인해 실험어에 영향을 미치는 것을 배제하기 위하여(Yamamoto et al. 1987; Yamamoto et al. 1990), 측정 종료 시 용존산소량이 거의 70% 전, 후가 되도록 조절하였으며, 최종적으로 한 시간을 기준으로 보정하였다. 실험수는 박테리아 및 미생물의 호흡으로 인한 오차를 제거하기 위하여 두 개의 멸균 막 필터(Sartorius capsule filter, Sartobran PH, Sartorius, Göttingen, Germany input 0.2 µm and output 0.07 µm)로 여과한 해수를 사용하였다. 산소소비 측정은 용존산소측정기(YSI 5000과 YSI 5010 BOD Probe)를 이용하여 지수식으로 하였다. DO 측정용 플라스틱 용기에 준비된 여과해수를 채운 뒤, 실험어 1미를 수용하여 일정시간 전과 후의 용존산소 차로써 실험어에 의해 소비된 산소량을 계산하여 단위 체중 당 산소소비율(SOCR: m/O₂/gWW/h)과 개체 당 산소소비율(IOCR: m/O₂/fish/h)로 나타내었으며, 그 관련 식은 아래와 같이 (1)과 (2)에 제시하였다.

$$\text{SOCR}(m/O_2/gWW/h) = [(IDO-FDO)(mg/L) \times BT(L)/TWW(g)/T(h)] \times CF(m/mg) \quad (1)$$

$$\text{IOCR}(m/O_2/fish/h) = [(IDO-FDO)(mg/L) \times BT(L)/T(h)] \times CF(m/mg) \quad (2)$$

여기서, IDO는 초기 용존산소량(mg/L), FDO는 종료 시 용존산소량(mg/L), BT는 DO 측정용 플라스틱 용기의 부피에서 실험어의 부피를 제한 부피(L), WW는 실험어 습중량(g), T는 측정시간(h) 그리고 CF는 기체전환계수(m/mg)를 나타낸다.

실험은 2013년 1월부터 3월 초순까지 이루어졌으며, 실험에 사용한 개체는 총 52미로, 그 중에서 설정된 수온 및 비슷한 크기 범주에 들어가는 31미의 측정 자료를 본 실험의 결과 해석에 사용하였다. 본 실험에 사용된 대략 9~10개월 된 말쥐치의 각 수온대에 있어서 수온 민감도를 파악하기 위하여 (3)에 제시된 Q₁₀ 값을 이용하였다(Wuenschel et al. 2004). Q₁₀은 이론적인 기초 위에 정립된 식은 아니며 생물학적인 기능의 온도에 대한 감도를 나타내는 지표로, 하나의 표준으로써 온도차이 10°C를 표준으로 하여

Table 1. The mean and standard deviation of oxygen consumption rate expressed in two types by the black scraper under resting at each of seven different levels of water temperature (Group I-VII) and the mean measurement conditions

		SOCR (m/O ₂ /gWW/h)	IOCR (m/O ₂ /fish/h)	TL (cm)	WW (g)	WT (°C)	S (psu)	IDO (%)	FDO (%)	TNF
Group I	Mean	0.102	13.800	21.8	135.5	12.0	32.9	98.3	74.7	4
	S.D.	± 0.010	± 1.495	± 0.6	± 14.0	± 0.4	± 0.0	± 0.3	± 2.6	
Group II	Mean	0.177	23.747	22.3	135.5	15.1	32.7	98.5	71.5	4
	S.D.	± 0.026	± 1.713	± 0.9	± 15.3	± 0.1	± 0.0	± 0.5	± 7.9	
Group III	Mean	0.191	26.072	22.6	139.0	16.6	32.9	92.7	71.8	4
	S.D.	± 0.051	± 4.513	± 1.0	± 16.5	± 0.1	± 0.0	± 5.4	± 3.0	
Group IV	Mean	0.226	31.026	22.7	139.4	19.8	32.9	98.3	83.8	7
	S.D.	± 0.052	± 5.148	± 0.6	± 13.0	± 0.4	± 0.0	± 1.0	± 3.9	
Group V	Mean	0.273	38.490	22.8	141.0	23.0	32.9	95.5	77.8	4
	S.D.	± 0.047	± 6.271	± 0.3	± 3.8	± 0.3	± 0.0	± 0.6	± 4.8	
Group VI	Mean	0.262	36.617	22.8	141.5	25.7	32.6	93.7	75.5	4
	S.D.	± 0.047	± 6.431	± 1.1	± 23.1	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 5.9	
Group VII	Mean	0.311	46.686	23.2	151.0	27.8	32.6	92.7	77.0	4
	S.D.	± 0.045	± 5.792	± 0.5	± 10.6	± 0.0	± 0.1	± 0.5	± 3.9	
Total	Mean			22.6	140.3		32.8	95.9	76.8	31
	S.D.			± 0.8	± 13.9		± 0.2	± 3.1	± 6.1	

SOCR: weight-specific oxygen consumption rate, IOCR: oxygen consumption rate per individual, TL: total length, WW: wet weight, WT: water temperature, S: salinity, IDO: initial dissolved oxygen, FDO: final dissolved oxygen, TNF: total number of fish

van't Hoff 방정식으로부터 계산한 것이다(강 등 1997).

$$Q_{10} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{\left(\frac{10}{T_2-T_1}\right)} \quad (3)$$

여기서, R_1 과 R_2 는 수온 T_1 과 T_2 각각에서 단위 체중 당 산소소비율을 나타내며, $T_2 > T_1$ 이다.

실험에 이용된 수온 그룹 간 개체들의 평균 크기가 측정시점의 차이에 의해 약간의 차이를 보이나(Table 1, 높은 수온 그룹으로 갈수록 크기가 큼), 그 크기가 동일한 범주에 있음을 확인하기 위하여 그룹별 개체들의 전장과 총습중 각각에 대해 95% 신뢰수준에서 one-way ANOVA를 실행하였다(SigmaStat V3.0 Computer software package; Systat Software, Inc., Chicago, Illinois). 그 결과는 유의한 차이가 없었으며(전장 $P = 0.806$, 총습중 $P = 0.467$), 따라서 동일한 크기로 볼 수 있다. 또한 수온과 산소소비 간에 관련식을 얻기 위하여 선형 회귀분석이 이용되었다(SigmaPlot 2000: 윈도우용, version 6.00, SPSS Inc.).

3. 결과 및 토의

말쥐치의 수온별 산소소비

수온 I-VII에서 말쥐치의 단위 체중 당 산소소비율 및

개체 당 산소소비율 그리고 각 수온 그룹에 이용된 개체의 크기와 측정 조건을 평균과 표준편차로 Table 1에 제시하였다. 실험 개체는 전장은 22.6 ± 0.8 cm, 총습중은 140.3 ± 13.9 g이었으며, 측정수온의 염분은 32.8 ± 0.2 psu, 용존산소 수온은 초기 $95.9 \pm 3.1\%$ 와 종료 시 $76.8 \pm 6.1\%$ 이었다. 말쥐치의 각 수온에서 단위 체중 당 산소소비율과 개체 당 산소소비율은 23~26°C를 제외하고는 수온이 높아짐에 따라 증가하는 일반적인 경향을 보였다. 23~26°C에서는 전체적인 경향과는 달리 산소소비가 증가경향을 나타내지 않았다. 즉 Group VI($25.7 \pm 0.2^\circ\text{C}$)의 단위 체중 당 산소소비율과 개체 당 산소소비율은 각각 0.262 ± 0.047 m/O₂/gWW/h와 36.617 ± 6.431 m/O₂/fish/h로, 이보다 약 3°C 낮은 수온 Group V($23.0 \pm 0.3^\circ\text{C}$)에 해당하는 0.273 ± 0.047 m/O₂/gWW/h와 38.490 ± 6.271 m/O₂/fish/h보다 평균값이 근소하게 낮았지만 유의하지 않으며, 이로부터 이 수온 범위 대(23~26°C)에서는 이 종이 수온 차에 따른 민감도를 거의 보이지 않는 것으로 판단할 수 있다. 이는 산소소비율과 온도 간에 관련성을 다룬 Lee and Kim (2001)의 연구에서 보이는, 8~13°C 수온 구간에서 다른 수온 구간과 달리 범위 내의 수온 차에도 불구하고 실뱀장어가 일정한 산소소비율을 유지하고 있는 것과 Kim et al. (2005)이 보여준 20.5~25°C 수온구간에서 넓치 *Paralichthys olivaceus* 성체가 안정적인 산소소비율을 보

이는 결과와 유사한 것으로 이해된다. 이처럼 특정 수온대에서 대사율이 수온에 무관하게 혹은 소폭의 변화 수준으로 생리적으로 조절이 가능한 수온대가 종 특이적으로 존재하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 어류를 포함하는 변온동물에서는 일반적인 현상이 아닌 특징적인 것으로, 수온 증가에도 대사의 안정을 통하여 대사소모를 줄일 수도 있다는 점에서는 이들 종이 가지는 유리한 생존 전략이 될 수 있다. 이러한 특징을 가지게 된 이유를 이해하기 위해서는 다양한 종에 있어서 그들의 환경과 관련한 자료의 축적이 필요하며, 종이 환경 적응과 생태적으로 진화해 온 과정에서 특유의 적수온 범위나 환경과 관련하여 나름대로 대사를 통한 생존전략을 가지는 것(예를 들면, 생존 저수온 한계에서 대사의 일정성)과 관련하여 심도 깊게 연구해볼 필요가 있다. 수온에 대한 종 특이적인 반응 특성의 또 한 예로 조피볼락 *Sebastes schlegeli* (Kim et al. 2003)의 연구와 앞서 언급한 넙치 *Paralichthys olivaceus* (Kim et al. 2005)의 연구에서 같은 관찰 수온대인 대략 24~30°C에서 결과들을 비교 시 수온증가에 대한 대사의 패턴이나 강도, 그리고 최대임계온도(critical thermal maximum)가 종마다 차이를 보인다는 것을 알 수 있다. 이들 각각의 수온에 대한 대사적 특성들은 각 종과 종 내의 생활사 단계에서 생존 수온 범위와 적정 수온 범위를 추정하는 데에 있어 사망, 성장은 물론 다양한 생리적 자료와 더불어 기여할 수 있다.

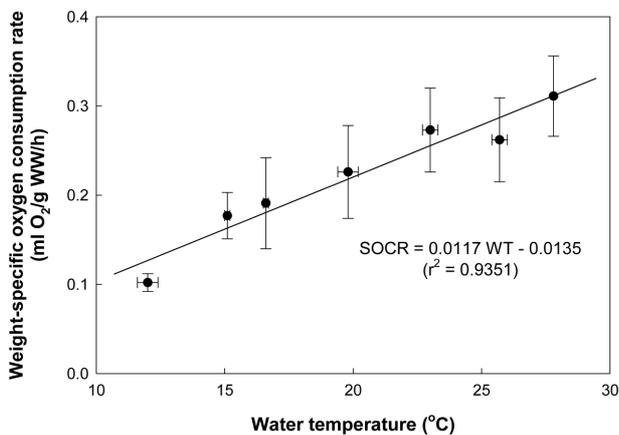


Fig. 1. Relationship between weight-specific oxygen consumption rate (SOCR, $\text{m/O}_2/\text{gWW/h}$) and water temperature (WT, $^\circ\text{C}$) of the black scrapper under resting. The line is based on linear regression equation, $\text{SOCR} = 0.0117 \text{ WT} - 0.0135$ ($r^2 = 0.9351$), which was calculated from mean SOCR and WT shown in Table 1. Solid circles show mean SOCR at each mean water temperature. The vertical and horizontal bars of each solid circle are the standard deviations of SOCR and water temperature, respectively

실험어의 각 수온에 대한 전반적인 산소소비 값의 관련성을 더욱 쉽게 이해하기 위하여 Table 1에 제시된 수온별 말쥐치의 단위 체중 당 산소소비율을 그림으로 나타내고 그 관련 식을 회귀분석을 통하여 제시하였다(Fig. 1). 수온에 대한 단위 체중 당 산소소비율($\text{m/O}_2/\text{gWW/h}$)은 $\text{SOCR} = 0.0117\text{WT} - 0.0135$ ($r^2 = 0.9351$)였으며, 수온 상승에 따라 직선함수로 증가하는 경향을 알 수 있다. 또한, Table 1 자료에 의해서, 수온에 대한 개체 당 산소소비율($\text{m/O}_2/\text{fish/h}$)이 $\text{IOCR} = 1.8160\text{WT} - 5.4007$ ($r^2 = 0.9428$)로 제시되었다. 이들 말쥐치의 산소소비와 다른 연구자에 의한 산소소비 결과와의 비교를 위하여 Ecological Resources of Aquatic Life (second volume) (Japan Fisheries Resource Conservation Association 1983)의 말쥐치 자료를 이용하였다. 이 자료는 우리의 연구에 이용된 개체의 중량(140.3 g)과 크기 차이가 있는 개체를 이용한 특정 수온(25°C와 20.8°C)에서의 자료로써, 체중 187 g 개체가 25°C에서 148 $\text{m/O}_2/\text{kg/h}$ (27.676 $\text{m/O}_2/\text{fish/h}$), 체중 465 g 개체가 20.8°C에서 99 $\text{m/O}_2/\text{kg/h}$ (46.035 $\text{m/O}_2/\text{fish/h}$)로 제시되고 있다. 현재 연구에서는 말쥐치 총중량 평균이 140.3 g으로써 앞서 제시한 값들과 비교를 위하여 같은 수온에서의 개체당 산소소비율($\text{m/O}_2/\text{fish/h}$)을 얻고자 우리가 얻은 관련 식 $\text{IOCR} = 1.8160\text{WT} - 5.4007$ 에 각 수온 25°C와 20.8°C에서의 IOCR을 추정했다. 그 결과 25°C에서는 39.999 $\text{m/O}_2/\text{fish/h}$, 20.8°C에서는 32.372 $\text{O}_2/\text{fish/h}$ 로써, 25°C의 경우는 이 실험에서의 개체가 다소 체중이 적게 나가나 1.9배 정도 높게, 20.8°C의 경우는 이 실험개체에 비해 비교 개체의 중량이 3.3배로 월등히 크나 IOCR은 1.4배로 체중 차이에 비해 IOCR의 차이가 두드러지지 않아 전반적으로 Japan Fisheries Resource Conservation Association (1983)의 말쥐치 자료에 비해 현재 실험어의 산소소비가 높은 것으로 판단된다. 현재 실험종인 말쥐치를 포함하지 않으나, Yamamoto et al. (1990)이 그들의 연구에서 36종의 해산경골어류의 안정 상태에서의 산소소비량과 체중의 관계를 두 수온에서 보여주고 있는데, 이들 연구자들은 같은 종에서 뿐만 아니라 다른 종간에도 표준 대사량(M, $\text{m/O}_2/\text{min}/\text{fish}$)과 체중(W, g) 간에 $M = aW^k$ 의 식이 성립한다고 보고하며, $21.4 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 에서 31종에 대하여 $M = 0.00401W^{0.786}$, $26.2 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 에서 17종에 대하여 $M = 0.00534W^{0.811}$ 의 식을 제시하였다. 이들 식에 현재 실험어(평균 체중 140.3 g)를 대입하여 두 수온에서 대사량을 추정해서 개체 당 산소소비율로 나타내어 보면, $21.4 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 에서는 11.719 $\text{m/O}_2/\text{fish/h}$, $26.2 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 에서는 17.659 $\text{m/O}_2/\text{fish/h}$ 이다. 동시에, 현재 연구에서 얻어진 관계식 $\text{IOCR} = 1.8160\text{T} - 5.4007$ 로부터 각 수온 $21.4 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 와 $26.2 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 에서의 IOCR을 추정해 보면, $21.4 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 에서는 33.462 $\text{m/O}_2/\text{fish/h}$, $26.2 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 에서는 42.179

m/O₂/fish/h로 Yamamoto et al. (1990)이 제시한 식으로부터의 추정된 값보다 2~3배 높은 값을 보인다. 전반적으로, 우리가 얻은 말쥐치의 표준대사율이 다소 과대평가되었는지, 아니면 비교 제시된 자료들이 과소평가되었는지에 대해서는 현재로서는 확실히 알 수 없다. 다만, 전자의 비교 자료들은 단편적 것에서 비롯되었고 후자의 자료는 다양한 종을 일반화한 것으로써, 비교 시 이를 참고하여 이해되어야 할 것이며, 우리의 결과 또한 측정법에 있어서 지수식으로 진행된 만큼 실험어의 취급에 있어서 발생할 수 있는 측정 오차의 가능성도 배제할 수 없다. 지수식 측정법은 실험생물이 위치할 호흡측정 용기 내에 실험수가 최초 한번 채워진 후 흐름이 정지된 상태에서 생물 투입 전 측정과, 투입 후 일정시간이 경과한 후의 종료 측정으로 이루어진다. 따라서 지속적으로 새로운 실험수가 호흡측정 용기 내로 공급되는 형태의 유수식 측정(Yamamoto et al. 1987; Yamamoto et al. 1990)이나 간헐적으로 적정한 실험수가 준비되어 호흡측정 용기 내로 공급되는 순환식 측정(Kim et al. 1996)과 비교해서 실험 생물의 취급 및 측정 조건으로부터 오차가 발생할 수 있다. 특히, 지수식은 유수식 및 순환식 보다는 측정 시간경과에 따른 용기 내의 산소 수준에 주의를 기울여야 하며, 호흡측정 용기 내로 측정 생물을 옮긴 후 공간변화나 취급에 의해서 비롯되는 측정 초의 대사량의 증가 부분에 대한 배제가 용이하지 않다는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고, 이 실험은 취급에서 오는 오차를 최대한 줄이기 위하여 순치되어 이미 안정화 된 실험어의 취급에 각별히 주의를 기울였고, 측정 시수의 시간경과에 따른 산소 수준의 변화에도 주의를 기울여서 앞서 언급한 종료 시 각 수온대에서 DO 포화수준이 평균 $76.8 \pm 6.1\%$ (DO 농도 $3.92 \sim 6.57$ m//l, $27.8 \sim 12.0^\circ\text{C}$)로 유지되도록 하였으며, 이는 Yamamoto et al. (1987)이 본 실험종과 같은 쥐치과(Family Monacanthidae)에 속한 쥐치, *Stephanolepis cirrhifer*를 대상으로 저산소 영향을 조사한 실험에서 얻어진 대체로 정상상태의 대사량을 보이는 경계 부근인 DO 포화수준 $42.1 \pm 2.9\%$ (DO 농도 2.04 ± 0.14 m//l, $27.7 \pm 0.3^\circ\text{C}$)보다는 훨씬 높은 안전한 수준에서 이루어졌다. 이와 같이, 말쥐치에 대한 수온과 관련한 현재 연구에서 얻어진 결과는 넓은 수온 범위에서 체계적으로 측정되어진 결과인 만큼 이후 말쥐치 전 생활사 대사율 연구에 기초가 될 것이라 판단된다. 또한, 추후에 지수식 측정법의 한계가 완전히 배제된 연속 및 순환식 측정으로 재검증하여 이 결과값과 비교해 볼 필요가 있다고 생각된다.

수온민감도(Q₁₀)

수온 12~28°C 범위내의 7개 수온 점에서 측정된 말쥐치의 단위 체중 당 산소소비율을 통해 수온민감도(Q₁₀)를

Table 2. Q₁₀ values of the black scraper in water temperatures of three different ranges within 12~28°C

	Temperature interval (°C)		
	12-15	15-23	23-28
Q ₁₀ value	6.27	1.72	1.30

계산하였다. 계산에 이용된 수치는 Table 1 및 Fig. 1에 제시된 평균 SOCR로 실제 측정값을 반영하여 각 수온대에서 보이는 수온 특성을 최대한 반영하도록 하였다. 실험 수온 범위 내에서 다양한 구간들에 대해 얻어진 Q₁₀ 값들을 비교한 결과 Q₁₀ 값은 대체적으로 수온이 높을수록 낮아지는 경향을 보였으며, 12~15°C, 15~23°C, 23~28°C의 세 수온 범위대로 크게 구분되었다. 특히, 12~15°C에서 Q₁₀ 값은 6.27로 15°C 이상의 수온대에 비해 매우 높은 값을 보인 반면, 15~23°C와 23~28°C에서 Q₁₀ 값은 각각 1.72와 1.30으로 12~15°C보다 월등히 낮으며 일반적인 외온성 동물의 Q₁₀ 값인 2~3의 수준(Fry 1971; Bridges 1988)에 가깝거나 다소 낮아서, 이 종의 대사가 저수온에 매우 민감한 경향을 보이고 고수온으로 갈수록 완만한 경향을 보이는 것으로 나타났다(Table 2). 이로부터, 말쥐치는 난류성 어종의 수온 특성에 보다 가깝고, 월령 9~10개월 된 말쥐치의 경우 높은 수온민감도를 보인 수온대인 12~15°C를 제외한 15~28°C는 그 적수온대에 속하는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 이 종을 포함하는 쥐치과의 종들이 열대와 아열대 해양의 넓은 지역에 분포하고 있다는 것(Kim 2012)과 연관이 있어 보인다. 향후, 이 종의 계절별 수온과 분포 범위를 자세히 파악하고, 열 내성과 관련한 생리반응을 심도 깊게 다룸으로써 서식 가능한 수온 범위 그리고 저온 및 고온 한계에 관련한 연구 자료를 제시할 필요가 있다고 생각된다.

4. 요약

말쥐치, *Thamnaconus modestus*는 우리 연근해에서 1970년대 말부터 1980년대에 걸쳐 대표적인 어획종이었으나 지속적인 남획으로 인해 현재 자원이 급격히 감소한 상황이다. 2000년대에 들어오면서 인공종묘생산이 성공하게 되고 현재에는 새로운 양식 대상어종으로서 그 가능성을 타진하고 있다. 이 연구에서는 성체에 진입하는 단계에 있는 말쥐치(전장 22.6 ± 0.8 cm, 총중량 140.3 ± 13.9 g)의 수온(12~28°C)에 대한 표준대사율을 측정하여 이들 종이 가지는 수온 특성을 파악하고자 하였으며, 각 측정치로부터 그 관련 식을 얻었다. 표준대사율은 수온 23~26°C 부근에서는 수온 상승에 대해 증가 경향이 나타나지 않았으나, 12~28°C의 수온 범위 전반에서 단위 체중 당 산소소

비율(SOCR, $mO_2/gWW/h$)의 경우, $SOCR = 0.0117WT - 0.0135$ ($r^2 = 0.9351$), 개체 당 산소소비율(IOC, $mO_2/fish/h$)의 경우는, $IOC = 1.8160WT - 5.4007$ ($r^2 = 0.9428$)로 수온 상승에 따라 직선함수로 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 단위 체중 당 산소소비율을 통해 수온민감도(Q_{10})를 계산하여 비교한 결과, 수온이 높을수록 낮아지는 경향을 보였는데 외온성 동물의 일반적인 Q_{10} 값인 2~3보다 12~15°C에서는 Q_{10} 값이 6.27로 매우 높았고 23~28°C에서 Q_{10} 값은 1.30으로 다소 낮아서 난류성 어종의 수온 특성을 보였으며, 이로부터 성체에 진입하는 말쥐치에 있어서 15~28°C는 그 적수온대에 속하는 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 한국해양과학기술원의 2013년도 통영 MRC 운영사업(PO00110)과 저서생태계 모니터링을 위한 연안 해저면 플릭스 관측기법 개발(PE98914), 그리고 2013년도 해양수산부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 CO₂ 해양지중저장 기술개발사업(PMS246B)의 연구비로 수행되었습니다. 그리고 주 저자는 기초기술 연구회에서 주관하는 ‘Research Fellowship for Young Scientists’ 프로그램의 지원을 받았으며 이에 대하여 감사드립니다. 본 연구를 수행하는 과정에서 전기 시설에서 특별히 도움을 주신 한국해양과학기술원의 백승일 선생님과 실험어 관리에 도움을 준 이창화 군에게 감사드립니다. 영문 교정에 도움을 주신 한국해양과학기술원의 B. A. Venmathi Maran 박사에게 감사드립니다. 또한 이 논문이 잘 마무리 되도록 세심한 검토와 조언을 아끼지 않으신 심사위원님들께 감사드립니다.

참고문헌

- 강만식, 남상렬, 이양림, 박영철, 안태인 (1997) 동물생리학 (개정판). 교학연구사, 서울, 580 p
- 곽우석, 이소광 (2009) 말쥐치 *Thamnaconus modestus* 자치어의 성장에 따른 소화기관 및 소화효소 발달. *Korean J Ichthyol* **21**(3):149-157
- 김용익, 명정구, 김영섭, 한경호, 강충배, 김진구, 유정화 (2006) 한국해산 어류도감 (제2판). 도서출판 한글, 부산, 397 p
- 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현 (2005) 원색 한국어류도감. 교학사, 서울, 616 p
- 해양수산부 (2001) 귀치종묘 대량생산 기술개발. 해양수산부, 62 p
- 박병하 (1985) 한국 근해 말쥐치의 자원생물학적 연구. 수진 연구보고 **34**:1-64
- 방인철, 이일로, 권성민, 박상용 (2005) 말쥐치, *Thamnaconus modestus*의 양식 가능성 평가. In: 한국양식학회 2005년도 춘계학술발표대회 논문요약집, 국립수산물과학원, 부산, 2005년 5월 20일, pp 193
- 백철인, 박종화 (1989) 말쥐치의 어황변동과 해양특성. 수진 연구보고 **43**:91-104
- 새전북신문 (2001) [군산] 말쥐치 인공종묘 생산 성공. <http://www.sjbnews.com/news/articleView.html?idxno=27554> Accessed 19 Sep 2012
- 신윤경, 이정아, 진평 (2000) 곤쟁이 (*Neomysis awatschensis*)의 산소소비와 질소배설에 미치는 염분 및 용존산소의 영향. *한수지* **33**(2):110-114
- 염말구 (1986) 여름철 거문도 남해해역에서 어획된 말쥐치의 체장과 체중조성. *어업기술* **22**(4):71-74
- 오승용, 노충환, 명정구, 조재윤 (2007) 조피블락, *Sebastes schlegeli*의 산소 소비율에 미치는 수온과 체중의 영향. *Korean J Ichthyol* **19**(1):1-7
- 오승용, 장요순, 노충환, 최희정, 명정구, 김종관 (2009) 강도다리 *Platichthys stellatus*의 산소 소비율에 미치는 수온과 체중의 영향. *Korean J Ichthyol* **21**(1):7-14
- 오승용, 장요순, 박홍식, 최영용, 김종관 (2012) 넙치 *Paralichthys olivaceus* 대사율에 미치는 수온과 체중의 영향. *Ocean and Polar Res* **34**(1):93-99
- 이승중, 고유봉, 이영돈, 정지현, 한창희 (2000a) 제주 남부 연안 말쥐치, *Thamnaconus modestus*의 생식년주기. *Korean J Ichthyol* **12**(1):71-84
- 이승중, 고유봉, 최영찬 (2000b) 말쥐치, *Thamnaconus modestus*의 난발생과정과 부화자어의 형태발달. *Korean J Ichthyol* **12**(3):208-214
- 이승주, 구학동, 이병철, 이종문 (2000c) 말쥐치 종묘생산기술개발시험. 국립수산물과학원, 1999년도 동해수산연구소사업보고서, pp 292-294
- 정석근, 하승목, 나한나 (2013) 기후변화에 따른 제주도 주변해역 수산 어종 변화(1981-2010). *한수지* **46**(2):186-194
- 최수하, 박차수 (1982) 한국 남해산 말쥐치의 성숙과 산란. 수진연구보고 **30**:73-80
- 홍성걸, 신영태, 류정근, 김선표, 김성귀, 정명생, 강중호, 마임영 (2000) 수산정책 집행의 실효성에 관한 연구. 한국해양수산개발원, 기본연구 2000-09, pp 58-62
- An HS, Lee JW, Dong CM, Noh JK, Myeong J-I (2011) Development and characterization of microsatellite markers for genetic analysis of the Korean black scrapper, *Thamnaconus modestus*. *Genes Genom* **33**:499-504
- 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.
- 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
- 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
- Japan Fisheries Resource Conservation Association (1983) Ecological Resources of Aquatic Life (second volume). pp 50-53 (In Japanese)
- Jobling M (1981) The influences of feeding on the metabolic rate of fishes: a short review. J Fish Biol **18**:385-400
- Jung S, Cha HK (2014) Fishing vs. Climate Change: an example of filefish (*Thamnaconus modestus*) in the northern East China Sea. J Mar Sci Technol (in press)
- Kim H-R (2012) Distribution and feeding ecology of the file fish, *Thamnaconus modestus* in the southern sea of Korea. M.S. Thesis, Pukyong National University, 72 p
- Kim S, Zhang C-I, Kim J-Y, Oh J-H, Kang S, Lee JB (2007) Climate variability and its effects on major fisheries in Korea. Ocean Sci J **42**(3):179-192
- Kim WS, Jeon JK, Lee SH, Huh HT (1996) Effects of pentachlorophenol (PCP) on the oxygen consumption rate of the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Mar Ecol Prog Ser **143**:9-14
- Kim WS, Yoon S-J, Gil J-W (2003) Critical thermal maximum (CTM) of cultured black rockfish, *Sebastes schlegeli*. J Fish Sci Tech **6**(2):59-65
- Kim WS, Yoon S-J, Kim JM, Gil JW, Lee TW (2005) Effects of temperature changes on the endogenous rhythm of oxygen consumption in the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Fish Sci **71**:471-478
- Kim WS, Yoon SJ, Kim JW, Lee JA, Lee TW (2006) Metabolic response under different salinity and temperature conditions for glass eel *Anguilla japonica*. Mar Biol **149**:1209-1215
- Lee JA, Kim JW, Kim WS (2007) Effect of tremata closures on the oxygen consumption rhythm of ezo abalone *Haliotis discus hannai*. Aquaculture **270**: 312-320
- Lee J-A, Kim J-W, Oh S-Y, Yi S-K, Noh I, Ishimatsu A, Kim W-S (2012) Effect of low dissolved oxygen on the oxygen consumption rate and rhythm of the mudskipper *Scartelaos gigas* (Pisces, Gobiidae). Fish Sci **78**:1013-1022
- Lee TW, Kim WS (2001) Thermal effects on respiratory activities of glass eels at different developmental stages. J Taiwan Fish Res **9**:129-136
- Mizuno K, Shimizu-Yamaguchi S, Miura C, Miura T (2012) Method for efficiently obtaining fertilized eggs from the black scraper *Thamnaconus modestus* by natural spawning in captivity. Fish Sci **78**:1059-1064
- Uchida G (1927) On fingerlings of Monacanthidae several species and their habit. Doujachu **39**(462):161-178 (In Japanese)
- Wuenschel MJ, Wemer 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
- Yamamoto K, Hosomoto M, Kamimura T (1987) Changes of Oxygen Consumption in the Red Sea Bream, Banded Grouper, File Fish, Multicolorfin Rainbowfish and Frogfish under Progressive Hypoxia. Suisanzoshoku **35**(3):143-146 (in Japanese)
- Yamamoto K, Shima T, Yamashita H, Wataishi K (1990) Relationship between Oxygen Consumption and Body Weight in 36 Marine Teleost Fish under Resting and Normoxic Condition. Suisanzoshoku **38**(1):41-45 (in Japanese)
- Yoon S-J, Kim C-K, Myoung J-G, Kim W-S (2003) Comparison of oxygen consumption patterns between wild and cultured black rockfish *Sebastes schlegeli*. Fish Sci **69**:43-49

국문 참고자료의 영어 표기

English translation / romanization of references originally written in Korean

- Baik CI, Park JH (1989) Fluctuation of Fishing Conditions of Filefish *Navodon modestus* (GÜNTHER) in relation to Oceanographic Characteristics in Korean waters. Bull Nat Fish Res Dev Agency **43**:91-104 (in Korean)
- Bang IC, Lee IR, Kwon SM, Park SY (2005) Review on the possibility of aquaculture of Filefish, *Thamnaconus modestus*. In: Abstracts of the 2005 Spring Meeting of the Korean Aquaculture Society, National Fisheries Research & Development Institute, Busan, 20 May 2005, pp 193 (in Korean)
- Choi S-H, Park C-S (1982) Maturity and Spawning of File Fish, *Navodon modestus* (Günther), in the southern Waters of Korea. Bull Nat Fish Res Dev Agency **30**:73-80 (in Korean)
- MOMAF (2001) Development on Mass Culture of File-Fish Seed. Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 62 p (in Korean)

- Gwak W-S, Lee S-G (2009) Developmental Changes in Digestive Organ and Digestive Enzyme Activity of Filefish *Thamnaconus modestus*. Korean J Ichthyol **21**(3):149-157 (in Korean)
- Hong SG, Shin Y-T, Ryu JG, Kim SP, Kim S-G, Joung MS, Kang J-H, Ma YY (2000) The Study on Effectiveness of Fisheries Policy Enforcement. Korea Maritime Institute, Basic research 2000-09, pp 58-62 (in Korean)
- Jung S, Ha S, Na H (2013) Multi-decadal Changes in Fish Communities Jeju Island in Relation to Climate Change. Kor J Fish Aquat Sci **46**(2):186-194 (in Korean)
- Kang MS, Nam SR, Lee YL, Park YC, Ahn TI (1997) Animal Physiology. 2nd ed. Kyohakyongusa Press, Seoul, 580 p (in Korean)
- Kim YU, Myoung J-G, Kim YS, Han K-H, Kang C-B, Kim JK, Ryu JH (2006) Marine Fishes of Korea. 2nd ed. Doseochulpan Hangeul Press, Busan, 397 p (in Korean)
- Kim I-S, Choi Y, Lee C-L, Lee Y-J, Kim B-J, Kim J-H (2005) Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-Hak Press, Seoul, 616 p (in Korean)
- Lee SJ, Go YB, Lee YD, Jung JH, Han CH (2000a) Annual Reproductive cycle of the File Fish, *Thamnaconus modestus*, on the Southern Coast of Cheju Island. Korean J Ichthyol **12**(1):71-84 (in Korean)
- Lee SJ, Go YB, Choi YC (2000b) Egg Development and Morphological changes of Larvae of the File Fish, *Thamnaconus modestus*. Korean J Ichthyol **12**(3):208-214 (in Korean)
- Lee S-J, Ku HD, Lee B-C, Lee J-M (2000c) Technical development on seed production of filefish. National Fisheries Research and Development Agency, 1999 Technical Report of East Sea Regional Fisheries Research Agency, pp 292-294 (in Korean)
- Oh S-Y, Noh CH, Myoung J-G, Jo J-Y (2007) Effects of Water Temperature and Body Weight on Oxygen Consumption Rate of Black Rockfish, *Sebastes schlegeli*. Korean J Ichthyol **19**(1):1-7 (in Korean)
- Oh S-Y, Jang Y-S, Noh CH, Choi HJ, Myoung J-G, Kim C-K (2009) Effect of water temperature and body weight on oxygen consumption rate of starry flounder *Platichthys stellatus*. Korean J Ichthyol **21**(1):7-14 (in Korean)
- Oh S-Y, Jang Y-S, Park H-S, Choi Y-U, Kim C-K (2012) The influence of water temperature and body weight on metabolic rate of olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Ocean and Polar Res **34**(1):93-99 (in Korean)
- Park B-H (1985) Studies on the fishery biology of filefish, *navodon modestus* (Günther) in the Korean waters. Bull Nat Fish Res Dev Agency **34**:1-64 (in Korean)
- Sjb news.com (2001) The success of artificial seed production of filefish in Gunsan. <http://www.sjbnews.com/news/articleView.html?idxno=27554> Accessed 19 Sep 2012 (in Korean)
- Shin YK, Lee JA, Chin P (2000) The Effect of Dissolved Oxygen and Salinity on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion in the Mysid, *Neomysis awatschensis*. J Korean Fish Soc **33**(2):110-114 (in Korean)
- Youm MG (1986) On the Total Length and Body Weight of the File Fish, *Navodos modestus*, Caught in the southern Sea Area of Komundo Is. during Summer. Bull Korean Fish Soc **22**(4):71-74 (in Korean)

Received Oct. 7, 2013

Revised Nov. 18, 2014

Accepted Feb. 11, 2014