

수온과 크기에 따른 멧게(*Halocynthia roretzi*)의 산소 소비

강필준 · 이근수 · 오승용^{1*}

한국해양과학기술원 해양생태연구센터, ¹한국해양과학기술원 해양생물자원연구단

Oxygen Consumption of Sea Squirt *Halocynthia roretzi* Depending on the Water Temperature and Body Size

Pil Jun Kang, Geun Su Lee and Sung-Yong Oh^{1*}

Marine Ecosystem Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Republic of Korea

¹Marine Bio-Resources Research Unit, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Republic of Korea

The oxygen consumption rate (OCR) based on the water temperature and body size of the sea squirt *Halocynthia roretzi* was examined to provide quantitative information about the metabolic response of the species. OCRs were measured using a closed flow-through respirometer at four different water temperatures (10, 15, 20 and 25°C) and two different body sizes (21.4±1.1 g and 150.5±1.3 g, wet weight) with triplicates of each treatment. OCR increased as water temperature increased at both body sizes, but decreased as body size increased regardless of the water temperature ($P < 0.001$). The effect of body size evaluated as a power function ranged from 0.8055 to 0.8884. The highest Q_{10} values in the small and large size groups ranged from 15 to 20°C and 20 to 25°C, respectively. The metabolic daily energy loss rate via respiration at all tested temperatures ranged from 56.2 to 106.1 J g⁻¹ d⁻¹ in the small-size group and from 44.5 to 92.0 J g⁻¹ d⁻¹ in the large-size group. Our results indicate that the metabolic response of *H. roretzi* highly depends on fluctuating water temperature at a given life stage.

Keywords: *Halocynthia roretzi*, Oxygen consumption, Physiology, Temperature, Body mass

서론

연안 지역은 다양한 해양생물의 서식지 일뿐 아니라 양식생물의 주요 성장이 이루어지는 생산성이 높은 해양생태계이다 (Jahromi and Barzkar, 2018). 하지만 화석연료의 사용 등으로 인한 인간의 활동은 연안 지역의 생물다양성과 생산성면에서 큰 변화를 주고 있고 (Velez et al., 2016a), 금세기 말까지 평균 해수면 수온은 1.8°C에서 4°C까지 상승이 예측되는 (Velez et al., 2016b) 등 수온 상승으로 인한 많은 영향이 해양생태계에 미칠 것으로 예상된다. 수온은 해양생물의 성장, 생존, 먹이섭취, 호흡 및 번식과 같은 생물학적 과정에 직접적인 영향을 미치는 가장 근본적인 외적 요인 중의 하나이다 (Saucedo et al., 2004; Yin et al., 2013). 해양생물은 적정 온도 범위 내에서 섭취한 먹이를 효율적으로 성장에 이용하며 에너지 소비를 최소화하지만 낮은 온도에서는 성장 비용 증가와 함께 대사에 치

명적인 영향을 미치며 높은 온도에서는 심각한 스트레스 유발과 함께 질병 발생 및 성장률 감소를 일으킬 수 있다 (Thomas et al., 2000; Wang et al., 2006; Yin et al., 2013). 호흡 대사는 일반적으로 다양한 수온 조건에서 수서생물의 생리학적 반응을 평가하는 중요한 인자로 간주되며 (Gorsky et al., 1987; Katsanevakis et al., 2005; Yin et al., 2013), 수온에 따른 산소 소비율 (oxygen consumption rate, OCR)은 성장률과 이와 연관된 에너지 대사와 유사한 경향을 보인다 (Scholnick, 1995). 또한 수온 변화로 야기된 수서생물의 항상성 조절과 연관된 에너지 비용 및 스트레스 반응을 평가하기 위한 지표로써 (Romo et al., 2010; Pérez-Robles et al., 2012; Oh et al., 2020), 그 반응 정도는 성장 단계에 따라 달라진다 (Na et al., 1991).

멧게 (*Halocynthia roretzi*)는 한국의 남해 및 동해 연안과 일본 북부 얕은 조하대 암반 바닥에 서식하는 자웅동체 피낭류로서 (Ikenoue and Kafuku, 1992; Lee et al., 2020), 특유의 맛, 높

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 664. 3310 Fax: +82. 51. 955. 3981

E-mail address: syoh@kiost.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0449>

Korean J Fish Aquat Sci 55(4), 449-454, August 2022

Received 18 August 2022; Revised 23 August 2022; Accepted 24 August 2022

저자 직위: 강필준(기술원), 이근수(기술원), 오승용(연구원)

은 영양가 그리고 생리활성 물질 등으로 한국과 일본에서 인기 있는 양식 품종이다(Inanami et al., 2001; Lambert et al., 2016; Lee et al., 2020). Lambert et al. (2016)은 북동아시아가 서식지인 멧게의 최적 성장 수온이 8–13°C로 보고하고 있지만, 한국의 남해 연안의 연간 수온 분포는 5–25°C (Kang, 2000; Sung et al., 2010; Lee et al., 2020)로써, 여름철의 고수온은 멧게의 대량 폐사 원인으로 보고된 바 있다(Na et al., 1991). 멧게에 관한 이전 연구는 주로 양식기술 개발에 초점을 둔 연구가 주로 이루어졌으며(Yoo et al., 1988; Yoo et al., 1990), 생리생태에 관한 연구는 일부 보고된 바 있으나(Shin et al., 2007, Lee et al., 2020), 수온에 따른 멧게의 생리학적 반응에 대한 연구(Na et al., 1991; Shin et al., 2011; Jeong and Cho, 2013)는 매우 제한적이다. 따라서 본 연구는 멧게의 크기별 대사반응에 미치는 수온의 영향 파악을 통해 생리적 반응 정도의 정량화와 양식장 사육 관리를 위한 기초 자료를 수집하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

실험생물 및 순치

실험에 이용한 멧게는 부산 소재 축양장에서 구매하여 사용하였다. 실험에 사용하기 2주 전 실내 소형 순환여과식 시스템 내 원형수조(400 L) 2개에 각 크기별로 200마리씩 수용하여 순치하였다. 실내 순치기간 동안 농축 클로렐라를 일간 체중의 1–2% 공급하였으며, 수온, pH 및 염분은 각각 15±0.2°C, 8.0±0.1 그리고 34.5±0.1 psu이었다.

실험 장치

멧게의 크기 및 수온에 따른 OCR은 Oh et al. (2020)이 사용한 폐쇄 순환형 호흡 측정 시스템을 이용하여 측정하였다. 멧게가 수용된 호흡실을 거처가는 유량은 각 크기 및 수온별 멧게 산소 소비에 따라 유입수와 배출수간 용존산소 농도 차이가 최소 0.2 mg/L 이상(Oh et al., 2020)이 되도록 조절하였고, 시스템 내 설치된 히터(용량 2 kW)와 냉각기(DA-2000B; Daeil, Busan, Korea)를 이용하여 설정된 실험 수온을 일정하게 유지하였다.

실험 방법

실험 수온은 10, 15, 20 그리고 25°C로 설정하였으며, 각 실험 수온의 순치는 실험 시작 전 순치온도인 15°C로 설정된 독립된 소형 순환여과식 시스템으로 옮겨 하루 1°C씩 서서히 낮추거나 높여 실험 수온에 최소 3일 이상 순치 후 실험에 사용하였다. 실험 수온 순치 기간 동안 체중의 1–2% 농축 클로렐라를 공급하였으며, 먹이에 의한 영향을 배제하기 위해 실험 시작 전 2일간은 절식하였다.

각 실험 수온에 순치된 멧게는 호흡 측정 시스템 내 호흡실에 수용 전 무게를 측정하였으며, 실험에 사용한 멧게의 소그룹과 대그룹의 평균 무게는 각각 21.4±1.1 g (mean±SE, 습중량)

과 150.5±1.3 g으로써 호흡실 내 각각 5마리와 3마리씩 3반복 수용하여 실험을 진행하였다. 호흡실에 수용한 후 handling에 의한 영향을 배제하기 위하여 24시간 동안 순치시킨 후, 24시간 동안 5분 간격으로 산소 소비량을 측정하였다. 산소 소비량 측정 후 멧게는 반복구별로 멧게의 피낭을 제거하고 육질만을 80°C에서 3일간 건조시킨 후 건중량을 측정하였다(Jeong and Cho, 2013). 크기와 수온에 따른 OCR은 Jobling (1982)에 의해 보고된 아래의 식을 이용하여 구하였다.

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

C_i = 호흡실 유입수의 용존산소 농도(mg/L)

C_o = 호흡실 배출수의 용존산소 농도(mg/L)

Q = 호흡실을 지나가는 시간당 유량(L/h)

W = 호흡실 수용 멧게 건중량(g)

모든 OCR은 반복구별로 각 평균값을 data unit으로 사용하였으며, 멧게 소그룹과 대그룹의 수온 변화에 따른 대사 반응율(Q_{10})은 아래의 식을 이용하여 구하였다(Bayne and Newell, 1983). 여기서, R_1 과 R_2 는 수온 T_1 과 T_2 일 때의 평균 OCR이다.

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

산소 소비에 따른 에너지 소비 정도는 에너지 전환 계수(1 mg $\text{O}_2 = 13.598 \text{ J} = 3.25 \text{ cal}$) (Brett and Groves, 1979)를 이용하여 멧게 크기에 따른 수온별 대사 작용에 의한 에너지 소비율을 구하였다.

자료 분석

각 자료의 통계처리는 SPSS 11.5 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 통해 Tukey's multiple range test로 평균간 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였다. 크기의 영향은 T-test를 통해, 수온과 크기의 복합 영향은 two-way ANOVA를 통해 검정하였다.

결 과

크기와 수온에 따른 멧게의 평균 OCR은 Table 1에 나타내었다. 멧게 소그룹과 대그룹 모두의 OCR은 수온 10°C에서 25°C로 상승함에 따라 유의하게 증가하였다 ($P < 0.001$). 수온 25°C의 소그룹과 대그룹의 OCR은 10°C에 비해 각각 평균 88.6%와 106.6% 증가하여 대그룹에서 더 높은 증가 비율을 보였다. 이상의 결과에서 수온(T)에 따른 멧게 소그룹과 대그룹의 평균 OCR은 각각 $\text{OCR} = 0.0591 + 0.0105T$ ($r^2 = 0.9358$, $P < 0.001$)와 $\text{OCR} = 0.033 + 0.0096T$ ($r^2 = 0.9406$, $P < 0.001$)의 회귀식을 보였다.

실험이 이루어진 각 수온 조건에서 멧게의 체중 증가는 OCR

Table 1. Oxygen consumption rate (OCR) of two different body weights (W) of sea squirt *Halocynthia roretzi* subjected to four different water temperatures (T)

Group temp. (°C)	Small group (mg O ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)	Large group (mg O ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)	Regression		
10	0.17±0.005 ^{a*(b)**}	0.14±0.006 ^{a(a)}	OCR=0.3941W ^{-0.1945} (r ² =0.9238, P<0.001)		
15	0.20±0.006 ^{b(b)}	0.17±0.003 ^{b(a)}	OCR=0.4121W ^{-0.1116} (r ² =0.8093, P<0.001)		
20	0.27±0.004 ^{c(b)}	0.21±0.003 ^{c(a)}	OCR=0.2760W ^{-0.1243} (r ² =0.8356, P<0.001)		
25	0.32±0.005 ^{d(b)}	0.28±0.004 ^{d(a)}	OCR=0.2546W ^{-0.1833} (r ² =0.9326, P<0.001)		
Regression	OCR=0.0591+0.0105T (r ² =0.9358, P<0.001)	OCR=0.033+0.0096T (r ² =0.9406, P<0.001)			
Two-way ANOVA	d.f.	SS	MS	F	P
T	3	0.075	0.025	370.713	0.000
W	1	0.01	0.01	153.605	0.000
T×W	3	0.001	0	3.014	0.061
Error	16	0.001	0		

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

이 유의한 감소를 나타내었다(P<0.001, Table 1). 수온 10, 15, 20 그리고 25°C에서 소그룹에 비해 대그룹의 OCR은 각각 평균 20.9, 15.0, 21.2 그리고 13.3% 감소하였다. 체중(W)에 따른 멧게 OCR은 10, 15, 20 그리고 25°C에서 각각 OCR=0.3941W^{-0.1945} (r²=0.9238, P<0.001), OCR=0.4121W^{-0.1116} (r²=0.8093, P<0.001), OCR=0.2760W^{-0.1243} (r²=0.8356, P<0.001) 그리고 OCR=0.2546W^{-0.1833} (r²=0.9326, P<0.001)의 회귀식을 보였으며, 각 수온 조건에서 체중의 영향은 각각 0.8055 (1-0.1945), 0.8884 (1-0.1116), 0.8757 (1-0.1243) 그리고 0.8167 (1-0.1833)의 지수로 나타났다. 이상의 결과에서 멧게의 OCR은 크기(P<0.001)와 수온(P<0.001)에 유의한 영향을 미쳤지만, 두 인자의 상호작용(P>0.05)은 영향을 미치지 않았다(Table 1).

멧게 소그룹과 대그룹의 수온 변화에 따른 Q₁₀ 값을 Table 2에 나타내었다. 소그룹과 대그룹의 최대 Q₁₀ 값은 각각 수온 15-20°C과 20-25°C 구간에서 나타났다.

크기와 수온에 따른 멧게의 대사반응에 의한 에너지 소비율은 Fig. 1에 나타내었다. 수온 10, 15, 20 그리고 25°C에서 일간 평균 에너지 소비율은 소그룹의 경우 각각 56.2, 65.6, 88.3 그리고 106.1 J g⁻¹ d⁻¹이었고, 대그룹 경우 각각 44.5, 55.7, 69.5 그리고 92.0 J g⁻¹ d⁻¹로 나타나, 소그룹과 대그룹 모두 수온 상승과 함께 에너지 소비율이 증가하였으며, 각 수온 조건에서 소그룹의 에

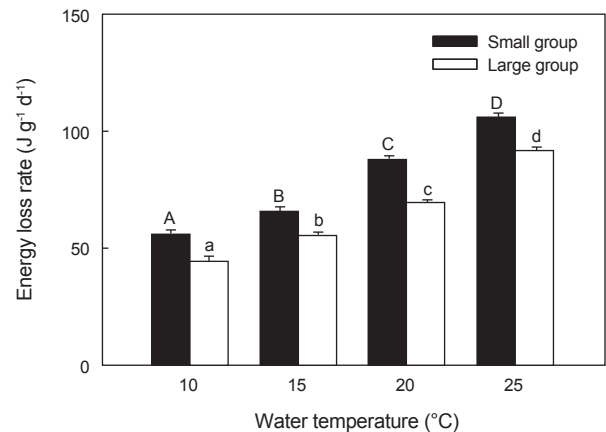


Fig. 1. Respiratory metabolic energy loss rates of sea squirt *Halocynthia roretzi* in relation to four different water temperatures and two different body sizes. Values (mean±SE, n=3) represent with different letters are indicate significant differences (P<0.001).

너지 소비율이 유의하게 높았다(P<0.001).

고 찰

여과섭이성 생물이 서식 수온 범위 내에서 수온 증가에 따라 호흡률이 증가하는 일반적인 양상이(Griffiths and Griffiths, 1987; Shin et al., 2011) 본 실험에서도 일치하였다. 본 실험 결과 수온은 멧게의 OCR에 유의한 영향을 미쳤으며, 이전의 연구 결과와 유사하였다(Na et al., 1991; Shin et al., 2011; Lee et al., 2020). Na et al. (1991)은 습증량 기준 소그룹(47-50 g)과 대그룹(104-108 g)을 대상으로 수온 20°C와 25°C에서 시간 경과에

Table 2. Q₁₀ value of sea squirt *Halocynthia roretzi* subjected to different body weight and water temperature range

Group	Temperature interval (°C)					
	10-15	10-20	10-25	15-20	15-25	20-25
Small group	1.38	1.57	1.53	1.82	1.62	1.45
Large group	1.59	1.57	1.63	1.56	1.65	1.75

따른 산소 소비량을 조사한 결과 소그룹의 경우 25°C (4.5–23.5 mL kg⁻¹ h⁻¹)가 20°C (3.7–21.0 mL kg⁻¹ h⁻¹)보다 약 11.9–21.6% 증가하였고, 대그룹의 경우 25°C (4.2–16.1 mL kg⁻¹ h⁻¹)가 20°C (2.2–13.2 mL kg⁻¹ h⁻¹)보다 약 22.0–90.9% 증가하여, 본 실험의 20°C에서 25°C로 상승할 경우 약 20.1–32.2% 증가하는 결과와 차이를 보였지만, 이것은 크기, 절식기간, OCR 측정 방법 및 호흡실 수용시간 등 실험 방법의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. Shin et al. (2011)은 멧게 양식이 이루어지고 있는 경남 통영 지역 월별 수온 범위인 8.0–25.2°C에서 14.1–179.6 g의 멧게를 대상으로 OCR을 측정할 결과 7–10월(평균 0.37 mg g⁻¹ h⁻¹)이 11–2월(평균 0.18 mg g⁻¹ h⁻¹)보다 약 105.6% 높게 나타나, 본 실험의 10°C에서 25°C로 상승할 경우 소그룹과 대그룹에서 각각 약 88.6%와 106.6%의 증가한 결과와 유사하였다. Lee et al. (2020) 역시 9.8–24.7°C 범위에서 수온은 멧게의 OCR 증가에 직접적인 영향을 미친다고 보고하였으며, 멧게와 동일한 해초강(Ascidiacea) 내 *Styela clava*의 경우 12–28°C 범위 내 수온 상승이 역시 OCR에 직접적인 영향을 미친다고 보고하였다(Jiang et al., 2008; Kang et al., 2015). 이와 더불어 멧게와 같이 여과섭식하는 *Liitorina littorea* (Zeuthen, 1953), *Ostrea edulis* (Newell et al., 1977), *Crassostrea virginica* (Shumway and Koehn, 1982)에서도 유사한 경향이 보고된 바 있다.

해양생물의 단위 체중 당 OCR은 체중 증가에 따라 일반적으로 감소하며, 본 실험에서도 동일한 경향이 나타났으며 이전의 연구 결과와 일치하였다(Na et al., 1991; Kang et al., 2012). Na et al. (1991)은 습중량 기준 47–50 g 범위의 멧게가 보다 큰 104–108 g 범위의 개체보다 수온 20°C와 25°C에서 약 6.7–40.5% OCR이 감소하다고 보고하여 본 실험의 동일 수온 범위에서 나타난 13.3–21.2%의 감소 비율과 유사하였다. Kang et al. (2012)은 평균 무게 47, 56.7 그리고 68.7 g의 세가지 크기 그룹의 멧게를 대상으로 수온 20°C에서 OCR을 측정할 결과 크기에 반비례하였으며 크기별 OCR은 각각 약 0.1–0.3 mg g⁻¹ h⁻¹ 나타나 본 실험 20°C 실험구의 0.21–0.27 mg g⁻¹ h⁻¹와 유사한 결과를 보였다. 하지만 *Brachidontes striatulus* (Gunasingh Masilamoni et al., 2002)와 *Mytilus edulis* (Sukhotin et al., 2003)의 경우 수온 및 크기 증가에 따라 OCR이 증가하는 보고도 있어 생물에 따라 상이한 결과가 나타남을 알 수 있었다.

일반적으로 멧게와 같은 이매패류의 크기에 따른 산소 소비(oxygen consumption, OC; mg O₂ h⁻¹)는 지수식[OC = aW^b (a, b는 상수)]으로써, 체중(weight, W)으로 양변을 나누면 OCR [(mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹) = aW^{b-1}]을 의미하며, 이 때 크기의 영향인 지수(b)를 통해 알 수 있다(Shumway and Koehn, 1982; Oh et al., 2007; Kang et al., 2015; Lee et al., 2020). Lee et al. (2020)은 2013년 7월부터 2015년 1월까지 거제와 강릉 지역 멧게를 채집하여 호흡률을 측정할 결과 이 때 나타난 지수(b)는 0.841–1.117로 나타나 본 실험의 0.8055–0.8884와 유사한 범위를 보였으며, Bayne and Newell (1983)과 Gosling (2015)이 보고한

여러 부유 연체동물의 지수(b)의 상한선(upper limit)과 겹치는 것으로 볼 때 다른 연체동물의 소형 개체보다 멧게 소형 개체의 온도 변동에 민감하다고 보고하였다. 동일한 해초강 내 *S. clava*의 경우 Jiang et al. (2008)와 Kang et al. (2015)은 각각 0.4755–0.6988와 0.441–0.869의 지수(b)를 보고하였고, *Styela plicata* (Fisher, 1976), *Ciona interstitialis* (Shumuag, 1978) 그리고 *Styela sinensis* (Zhang et al., 2000)에서 각각 0.81, 0.7 그리고 0.6463이 보고되었다. 다른 이매패류인 *M. edulis*, *Chalamys forreri*, *Pecten irradians*, *O. edulis* 그리고 *Cardium edulis*의 경우 각각 0.555, 0.597, 0.820, 0.480 그리고 0.560이 보고되어 (Winter, 1978; Newell and Bayne, 1980) 생물에 따라 크기 영향 지수는 다양하게 나타남을 알 수 있다(Jiang et al., 2008). 이와 같은 차이는 각 생물의 다양한 생리적 상태와 실험 방법 및 환경 조건에서 기인하는 것으로 생각된다(Jiang et al., 2008).

Q₁₀ 값은 수온 변화에 따른 생물의 민감도를 나타내는 지표로서(Jiang et al., 2008), 본 실험 결과 10–25°C 사이의 수온 변화에 따라 멧게의 소그룹과 대그룹은 각각 1.38–1.82과 1.56–1.75 범위를 보였으며(Table 2), 소그룹과 대그룹의 경우 각각 15–20°C구간과 20–25°C 구간에서 가장 높게 나타나, 이 수온 구간에서 체내 항상성 유지를 위해 많은 에너지 소비를 한다는 것을 알 수 있다. 이 결과에서 유추해 볼 때 양식 현장에서 소그룹은 봄에서 여름 구간, 대그룹은 여름철에 높은 대사율 증가에 따른 용존산소 관리와 더불어 성장에 필요한 먹이 공급 관리가 필요한 것으로 생각된다. Lee et al. (2020) 역시 여름철 고수온에 따른 대사 요구량과 필요한 가용 에너지가 일치하지 않아 체내 에너지가 고갈되고 무게가 감소한다고 보고하고 있어, 여름철 먹이 관리의 중요성을 언급하고 있다. 호흡은 변온동물의 발생, 성장, 생존 및 유지 등을 위해 필요한 에너지의 주요 요구 과정 중의 하나로서(Kern et al., 2014; Lee et al., 2020), 멧게의 호흡대사로 인한 에너지 소비의 경우 Lee et al. (2020)은 멧게의 호흡대사로 인한 에너지 소비가 여름철과 겨울철 각각 272.4 J d⁻¹와 186.5–201.3 J d⁻¹을 보고하였고, Shin et al. (2011) 역시 7–10월과 11–2월의 평균 에너지 소비율이 각각 120.8 J g⁻¹ d⁻¹ (산소 소비율 0.37 mg g⁻¹ h⁻¹의 단위 환산)와 58.7 J g⁻¹ d⁻¹ (0.18 mg g⁻¹ h⁻¹의 단위 환산)에 이른다고 보고하고 있어, 본 실험의 44.5–106.1 J g⁻¹ d⁻¹와 유사한 결과를 보였다. 이와 같은 에너지 소비율은 멧게의 성장 단계별 및 수온에 따른 먹이 공급 전략, 환경 관리 방안 및 성장 모델 구축을 위한 기초 자료로 양식 현장의 사양관리 및 생산성 향상을 위해 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 수온과 크기는 멧게의 OCR에 유의한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었으며, 멧게 양식 현장의 수온 변동에 따른 크기별 사육 관리 및 에너지 수치뿐만 아니라 생태계 내 멧게 자원 변동 파악 및 예측을 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다. Kim (1980)은 26.5°C 이상에서 멧게는 입수관과 출수관을 닫고 폐사한다고 보고하고 있고 근래 나타나

는 연안 지역의 고수온 현상을 볼 때, 향후 본 실험에서보다 더 높은 고수온 조건에서 멧게의 대사반응 연구를 통해 성장, 생존 및 에너지 수치 예측 연구가 요구된다.

사 사

본 연구는 한국해양과학기술원의 연구비(과제 번호, PG51030) 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Bayne BL and Newell RC. 1983. Physiological Energetics of Marine Mollusks. Academic Press, New York, NY, U.S.A., 407-515.
- Brett JR and Groves TDD. 1979. Physiological energetics. In: Bioenergetics and Growth. Fish Physiology. Vol. 8. Hoar WH, Randall DJ and Brett JR, eds. Academic Press, New York, NY, U.S.A., 279-352.
- Fisher TR. 1976. Oxygen uptake of the solitary tunicate *Styela plicata*. Biol Bull 151, 297-305. <https://doi.org/10.2307/1540662>.
- Gorsky G, Palazzoli I and Fenaux R. 1987. Influence of temperature changes on oxygen uptake and ammonia and phosphate excretion, in relation to body size and weight, in *Oikopleura dioica* (Appendicularia). Mar Biol 94, 191-201. <https://doi.org/10.1007/BF00392931>.
- Gosling E. 2015. Marine Bivalve Molluscs, 2nd Edition. Wiley Blackwell, West Sussex, U.K.
- Griffiths CL and Griffiths RJ. 1987. Bivalvia. In: Animal Energetics 2. Pandian TL and Vernberg EJ, eds. Academic Press, New York, NY, U.S.A., 1-88.
- Gunasingh Masilamoni J, Nandakumar K, Jesudoss KS, Azariah J, Stapathy KK and Nair KVK. 2002. Influence of temperature on the physiological response of the bivalve *Brachidontes striatulus* and its significance in fouling control. Mar Environ Res 53, 51-63. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(01\)00109-X](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(01)00109-X).
- Ikenoue H and Kafuku T. 1992. Sea squirt (*Halocynthia roretzi*). In: Modern Methods of Aquaculture in Japan. Elsevier, Tokyo, Japan, 217-223.
- Inanami O, Yamamori T, Shionoya H and Kuwabara M. 2001. Antioxidant activity of quinone-derivatives from freeze-dried powder of the Ascidians. In: The Biology of Ascidians. Sawada H, Yokosawa H and Lambert CC, eds. Springer-Verlag, Tokyo, Japan, 457-462.
- Jahromi ST and Barzkar N. 2018. Marine bacterial chitinase as sources of energy, eco-friendly agent, and industrial biocatalyst. Int J Biol Macromol 120, 2147-2154. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.083>.
- Jeong WG and Cho SM. 2013. Effect of water temperature and body weight on the filtration rate of sea squirt *Halocynthia roretzi*. Korean J Fish Aquat Sci 46, 813-818. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0813>.
- Jiang AL, Guo JL, Cai WG and Wang CH. 2008. Oxygen consumption of the ascidian *Styela clava* in relation to body mass, temperature and salinity. Aquac Res 39, 1562-1568. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02040.x>.
- Jobling M. 1982. A study of some factors affecting rates of oxygen consumption of plaice, *Pleuronectes platessa* L. J Fish Biol 20, 501-516. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1982.tb03951.x>.
- Kang CK, Lee YJ, Han E, Park HY, Yun SG and Lee WC. 2015. Effects of temperature and body size on the physiological energetics of the stalked sea squirt *Styela clava*. J Exp Mar Biol Ecol 462, 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.10.026>.
- Kang KH and Hur JW. 2012. Effects of heavy metals on clearance and oxygen consumption rates of the sea squirt *Halocynthia roretzi* according to various body sizes. Korean J Environ Biol 30, 349-354. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2012.30.4.349>.
- Kang YQ. 2000. Warming trend of coastal waters of Korea during recent 60 years (1936-1995). Fish Aquat Sci 3, 173-179.
- Katsanevakis S, Stephanopoulou S, Miliou H, Moraitou-Apostolopoulou M and Verriopoulos G. 2005. Oxygen consumption and ammonia excretion of *Octopus vulgaris* (Cephalopoda) in relation to body mass and temperature. Mar Biol 146, 725-732. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1473-9>.
- Kern P, Cramp RL and Franklin CE. 2014. Temperature and UV-B-insensitive performance in tadpoles of the ornate burrowing frog: an ephemeral pond specialist. J Exp Biol 217, 1246-1252. <https://doi.org/10.1242/jeb.097006>.
- Kim YG. 1980. Ecological study on the transplantation of the sea squirt, *Halocynthia roretzi* (v. Drasche) to gogunsan Islands. Bull Korean Fish Soc 13, 57-64.
- Lambert G, Karney RC, Rhee WY and Carman MR. 2016. Wild and cultured edible tunicates: a review. Manag Biol Invasion 7, 59-66. <http://dx.doi.org/10.3391/mbi.2016.7.1.08>.
- Lee YJ, Wilberg MJ, Han E, Choi KS, Lee WC and Kang CK. 2020. Growth of the longline-cultured sea squirt *Halocynthia roretzi* in a temperate bay of Korea: Biochemical composition and physiological energetics. Aquaculture 516, 734526. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734526>.
- Na GH, Lee CS and Choi WJ. 1991. The effect of dissolved oxygen on the estival mass mortality of sea squirt, *Halocynthia roretzi* (Drasche). Bull Korean Fish Soc 24, 52-58.
- Newell RC, Johnson LG and Kofoed LH. 1977. Adjustment of the components of energy balance in response to temperature change in *Ostrea edulis*. Oecologia 30, 97-110. <https://doi.org/10.1007/BF00345414>.
- Newell RIE and Bayne BL. 1980. Seasonal changes in the physiology, reproductive condition and carbohydrate content of the cockle *Cardium* (Cerastoderma) *edule*. Mar Biol 56, 11-19. <https://doi.org/10.1007/BF00390589>.

- Oh SY, Jeong YK, Lee GS, Kang PJ and Park HM. 2020. Oxygen consumption and blood physiology of olive flounder *Paralichthys olivaceus* subjected to salinity changes. Korean J Fish Aquat Sci 53, 620-627. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0620>.
- Oh SY, Noh CH, Myoung JG and Jo JY. 2007. Effects of water temperature and body weight on oxygen consumption rate of black rockfish, *Sebastes schlegeli*. Korean J Ichthyol 19, 1-7.
- Pérez-Robles J, Re AD, Giffard-Mena I and Díaz F. 2012. Interactive effects of salinity on oxygen consumption, ammonium excretion, osmoregulation and Na⁺/K⁺-ATPase expression in the bullseye puffer (*Sphoeroides annulatus*, Jenyns 1842). Aquac Res 43, 1372-1383. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02940.x>.
- Romo ZM, Re AD, Díaz F and Mena A. 2010. Physiological responses of pink abalone *Haliotis corrugata* (Gray, 1828) exposed to different combinations of temperature and salinity. Aquac Res 41, 953-960. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02377.x>.
- Saucedo PE, Ocampo LA, Monteforte M and Bervera H. 2004. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-peral oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856). Aquaculture 229, 377-387. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00327-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00327-2).
- Scholnick DA. 1995. Sensitivity of metabolic rate growth and fecundity of tadpole shrimp *Triops longicaudatus* to environmental variation. Biol Bull 189, 22-28. <https://doi.org/10.2307/1542197>.
- Shin YK, Choi NJ, Hur YB, Han HK, Park JH and Kim Y. 2007. Survival and physiological responses of the tunicate *Halocynthia roretzi* to salinity changes. J Aquaculture 20, 226-231.
- Shin YK, Jun JC, Kim EO and Hur YB. 2011. Physiological changes and energy budget of the sea squirt *Halocynthia roretzi* from Tongyeong, south coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 44, 366-371. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2011.0366>.
- Shumuag SE. 1978. Respiration, pumping activity and heart rate in *Ciona intesinalis* exposed to fluctuating salinities. Mar Biol 48, 235-242. <https://doi.org/10.1007/BF00397150>.
- Shumway SE and Koehn RK. 1982. Oxygen consumption in the American oyster *Crassostrea virginica*. Mar Ecol Prog Ser 9, 59-68. <https://doi.org/10.3354/meps009059>.
- Sukhotin AA, Lajus DL and Lesin PA. 2003. Influence of age and size on pumping activity and stress resistance on the marine bivalve *Mytilus edulis* L. J Exp Mar Biol Ecol 284, 129-144. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(02\)00497-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(02)00497-5).
- Sung KT, Hwang JD, Han IS, Go WJ, Suh YS and Lee JY. 2010. Characteristic for long-term trends of temperature in the Korean waters. J Korean Soc Mar Environ Saf 16, 353-360.
- Thomas CW, Crear BJ and Hart PR. 2000. The effect of temperature on survival, growth, feeding and metabolic activity of the southern rock lobster, *Jasus edwardsii*. Aquaculture 185, 73-84. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00341-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00341-5).
- Velez C, Figueira E, Soares AMVM and Freitas R. 2016a. Combined effects of seawater acidification and salinity changes in Rudi- tapes philippinarum. Aquat Toxicol 176, 141-150. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.04.016>.
- Velez C, Figueira E, Soares AMVM and Freitas R. 2016b. Native and introduced clams biochemical responses to salinity and pH changes. Sci Total Environ 566-567, 260-268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.019>.
- Wang WN, Wang AL, Liu Y, Xiu J, Liu ZB and Sun RY. 2006. Effects of temperature on growth, adenosine phosphates, ATPase and cellular defense response of juvenile shrimp *Macrobrachium nipponense*. Aquaculture 256, 624-630. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.009>.
- Winter JE. 1978. A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture system. Aquaculture 13, 1-33. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(78\)90124-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(78)90124-2).
- Yin F, Sun P, Peng S, Tang B, Zhang D, Wang C, Mu C and Shi Z. 2013. The respiration, excretion and biochemical response of the juvenile common Chinese cuttlefish, *Sepiella maindroni* at different temperatures. Aquaculture 402-403, 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.03.018>.
- Yoo SK, Kang H and Chang YH. 1990. Influence of water temperature on spawning induction, egg development and seed collection of sea squirt, *Halocynthia roretzi*. J Aquaculture 3, 79-88.
- Yoo SK, Lim HS and Lim DT. 1988. On the growth of the sea squirt (*Halocynthia roretzi*) from artificial seeds. J Aquaculture 1, 75-84.
- Zeuthen E. 1953. Oxygen uptake and body size in organisms. Q Rev Biol 28, 1-12.
- Zhang JH, Fang JG and Dong SL. 2000. Study on the ammonia excretion rate of four species ascidian. Mar Fish Res 21, 31-36.