

## 멍게(*Halocynthia roretzi*)의 계절별 생리적 변화 및 에너지 수지

신윤경\* · 전제천 · 김응오 · 허영백<sup>1</sup>

국립수산과학원 전략양식연구소 양식관리과

<sup>1</sup>국립수산과학원 남동해수산연구소

### Physiological Changes and Energy Budget of the Sea Squirt *Halocynthia roretzi* from Tongyeong, South Coast of Korea

Yun Kyung Shin\*, Je Cheon Jun, Eung Oh Kim and Young Baek Hur<sup>1</sup>

Aquaculture Management Division, Aquaculture Research Institute, NFRDI, Busan 619-902, Korea

<sup>1</sup>Southeast Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Tongyeong 650-943, Korea

The sea squirt *Halocynthia roretzi* is mainly cultured in Tongyeong, Southern coastal area of Korea. This study presents the physiological rates of respiration, excretion, feeding and assimilation efficiency of the sea squirt *Halocynthia roretzi* to analyze the SFG(scope for growth) and net growth efficiency, determined during 2007. Oxygen consumption and nitrogen excretion rates increased with a rise in temperature during the summer period whereas feeding rates decreased. The O:N ratio was high during winter(October to February). Assimilation efficiency showed an annual average of 75.4% during the experimental period, except during a period of elevated temperature in July to September(average 25°C). Net growth efficiency(K<sub>2</sub>) was 8.7 to 64.2% except for May to September, when temperature increased at the aquaculture farm. SFG was negative from May to September, reflecting high temperatures and low feeding rates during this period; its highest positive values occurred during winter.

Key words: Respiration, Assimilation efficiency, *Halocynthia roretzi*, Scope for growth

## 서 론

멍게는 척삭동물문 해초강 측성해초목 멍게과에 속하는 해양고착성 종으로 수온이 낮고 조류 소동이 원활한 바위 등의 딱딱한 기질에 부착하여 살고 있다. 멍게류는 특이적으로 외관상 전체 체표면이 두꺼운 껍질(피낭)로 감싸여져 있어 피낭류라고 불리고 있다.

에너지수지에 관한 연구는 해양생물의 서식지 적응에 대한 이해를 돕는데 중요하며, 양식생물의 어장환경 적정수용력을 파악하는데 중요한 역할을 한다. 여과섭이를 하는 양식생물의 생리적 변화에 기초한 에너지수지에 관하여는 주로 패류(Bayne and Newell, 1983; Griffiths and Griffiths, 1987)에서 행해져 왔으며, 멍게와 같은 척삭동물에 대해서는 미흡한 실정이다. 생리적 반응은 환경 자극 또는 변화에 대한 세포 또는 생화학적 반응의 총체이며, 생물체의 건강도를 파악할 수 있는 지표로 활용된다(Bayne et al., 1985). 해양생물은 먹이를 섭취하고 섭취한 먹이의 일부는 소화·흡수되며, 체내 에너지로 저장된다. 저장된 에너지는 대사유지, 성장 및 생식 등으로 이용되며, 생물체의 내

적, 외적 요인에 따라 영향을 받으므로 양식장 환경을 고려하여 생산량을 산정하는데 중요하게 활용 가능하다.

에너지수지 모델은  $C=F+U+R+P$ (Bayne and Newell, 1983)이 주로 사용되고 있으며(C: 총 섭취에너지, F: 분 배출에너지, U: 배설에너지, R: 호흡에너지, P: 성장), 이 모델은  $P=C-(F+U+R)$  혹은  $P=A-(R+E)$ , 즉 SFG(Scope for growth)= $A-(R+E)$ (Warren and Davis, 1967; Bayne et al., 1985)로 변환하여 사용한다. 여기서 P는 성장, A는 동화효율, R는 호흡에너지, E는 배설에너지를 의미한다.

멍게에 관한 연구는 주로 양식기술개발에 관하여 보고되고 있으며, 형태변화 및 발생(Hirai, 1941, 1965), 유생의 부화율과 변태(Yoo et al., 1990), 초기성장(Jang, 1979), 성장(Yoo et al., 1988) 등이 있다. 생태생리에 관한 연구는 중금속축적(Kim et al., 2001), 염분의 영향(Shin et al., 2007), 에너지수지(Jiang et al., 2008), 일주리듬(Ryland, 1990) 및 먹이 흡수효율(Armstrong et al., 2001) 등 단편적으로 보고되고 있으며, 국내에서는 생태생리에 관한 멍게의 연구는 미흡한 실정이다. 우리나라 멍게 양식은 1974년 국립수산과학원에서 종묘생산(Pyen et al., 1977) 및 양식기술개발(Jang, 1979; Kim et al., 1979)되면서 경남 통영 지방을 중심으로 양식이 시작되어 연간

\*Corresponding author: ykshin@nfrdi.go.kr

2만 톤 이상의 생산량을 보이며 활성화 되었다. 그러나 1990년 대 후반에 접어들면서 물렁증 현상으로 양식멍게의 대량폐사가 발생하면서 생산량은 감소하고 있는 현실이다.

본 연구는 멍게의 양식순기에 따른 호흡률, 배설률, 먹이섭취율 및 동화효율 등의 분석을 기초로 하여 멍게의 에너지 분배특성 및 최적 성장 시기를 알아보기 위하여 에너지수치 및 성장효율 등을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 실험생물

실험에 사용된 멍게는 2007년 1월부터 12월 동안 경남 통영시 한산면(Fig. 1)에 분포하고 있는 멍게양식장에서 양성중인 개체를 직접 채취하여 실험실로 운반한 후 5톤 수조에서 일주일 동안 순치 시킨 후 실험에 사용하였다. 실험기간동안 먹이는 실내에서 대량 배양한 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros* sp. 등을 혼합하여 공급하였다. 실험수온과 염분은 현장의 조건에 맞추어 조정되었으며, 실험에 사용된 개체는 습전중 14.1-179.6 g 이었다.

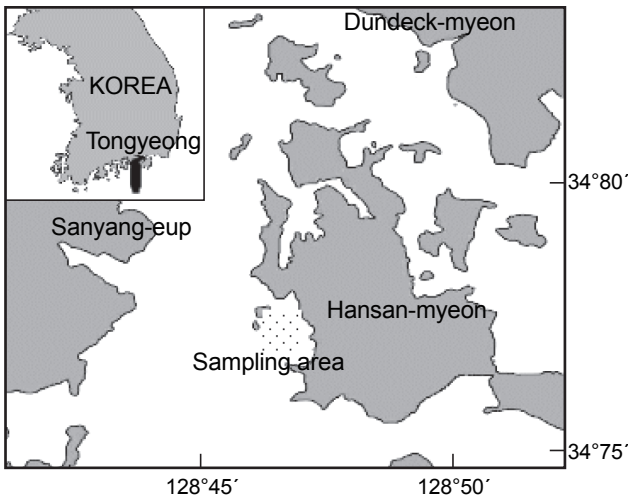


Fig. 1. Sampling area of sea squirt *Halocynthia roretzi*.

### 측정방법

멍게의 월별 산소소비율의 측정을 위하여 1.0 L volume의 호흡측정기(respirometer)를 사용하였으며, 호흡측정기내 용존산소의 농도는 용존산소측정기(Orbis, 3600 made by Switzerland)를 이용하여 실험 전·후 용존산소의 차로써 구하였다. 암모니아질소배설량은 매일 산소소비율 측정과 동시에 수행되었다. 측정은 각 산소소비율을 측정하는 호흡측정기에서 용액 2 mL을 채수하여 phenol-hypochlorite(Solorzano, 1969)의 방법을 이용하였다. 먹이섭취율을 측정하기 위하여 먹이는 *Isochrysis galbana*, *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros* sp. 등을 혼합하여 공급하였으며, 실험 전후 개체수 차이로 분석하였으며, 멍게의 단위 건중량에 대한 섭이율로 나타내었다. 동화효율(A)은

각 실험에서 배출 분을 수거하여 Conover (1966)의 방법을 이용하여 측정하였으며, 산출 방정식은 다음과 같다.

$$A(\%) = \frac{(I-F)}{(I-F)/I} \times 100$$

(A; 동화효율(%), I: 제공된 먹이의 유기물 함량, F: 배출된 분의 유기물 함량)

멍게의 순성장효율은 동화에너지 대하여 성장으로 전환시킨 양으로 나타내었으며, 산출방정식은  $(K_2) = (G/A) \times 100$ 를 이용하였다. 에너지수치는 에너지 전환계수 (Bayne et al., 1985)를 이용하여 매월 분석되었으며, 에너지 전환계수는 다음과 같으며, 아래의 방정식을 이용하여 Joule으로 나타내었다.

$$1 \text{ mg of organic matter} = 23.50 \text{ J}$$

$$1 \text{ mL O}_2 \text{ respired} = 20.33 \text{ J}$$

$$1 \mu\text{g NH}_4\text{-N excreted} = 0.0249 \text{ J}$$

$$\text{SFG} = A - [R + U]$$

SFG: Scope for growth ( $\text{J h}^{-1} \text{g}^{-1}$ )

A: Energy absorbed (assimilation efficiency)

R: Respiration rate

U: Excretion rate

자료 분석에 사용한 통계 처리는 SPSS-통계패키지를 이용하여 ANOVA test를 실시한 후 각 값에 대한 평균값을 Duncan's multiple test를 통해 유의수준 95%로 검정하였다.

## 결 과

경남 통영시 한산면에 위치하고 있는 멍게 양식장의 수온, 염분의 월별 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 수온은 연중 8-25.2°C의 변동을 나타내었으며, 1월에 8°C로 가장 낮았으며, 8월에 25.2°C로 가장 높은 수온을 보였으며, 하계인 7-9월의 평균 수온은 25°C였다. 염분은 29.0-34.5 psu의 범위를 보였으며, 연중 평균 염분 31.7 psu를 나타내었다.

Fig. 3은 2007년 1-12월 동안 매일 통영시 한산면 주변 양식

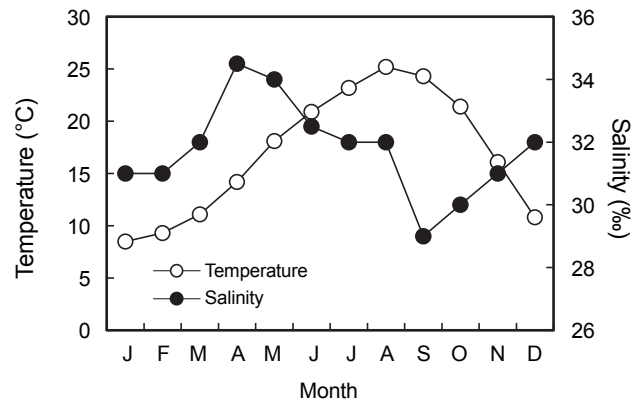


Fig. 2. Monthly variation of temperature and salinity in sample area of Hansan-myeon in Tongyeong area.

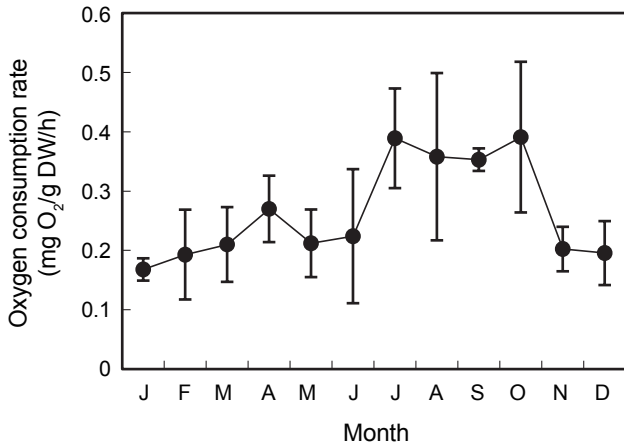


Fig. 3. Monthly variation of oxygen consumption rate of sea squirt *Halocynthia roretzi* collected from Tongyeong area. values are means  $\pm$ SD.

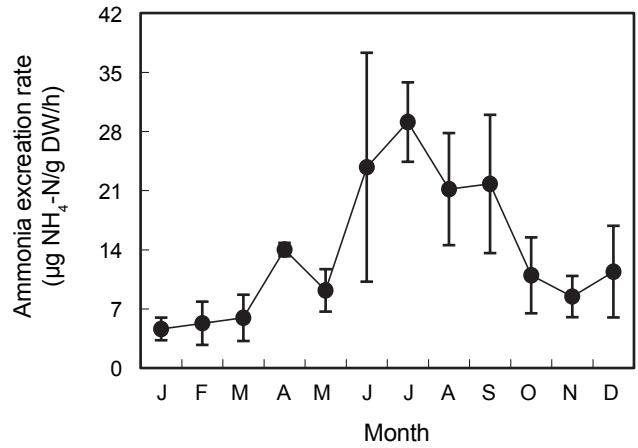


Fig. 4. Monthly variation of excretion rate of sea squirt *Halocynthia roretzi* collected from Tongyeong area. values are means  $\pm$ SD.

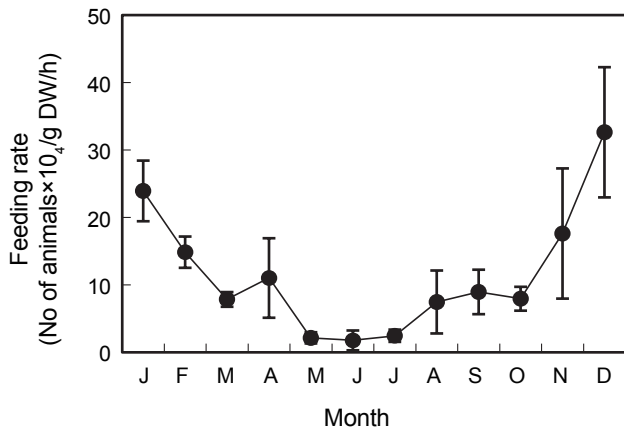


Fig. 5. Monthly variation of feeding rate of sea squirt *Halocynthia roretzi* collected from Tongyeong area. Values are means  $\pm$ SD.

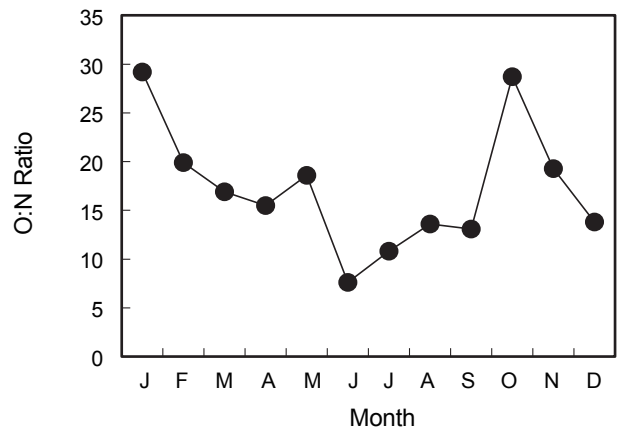


Fig. 6. Monthly variation of O:N ratio of sea squirt *Halocynthia roretzi* collected from Tongyeong area.

장에서 양식되고 있는 멧게의 산소소비율의 변화를 나타낸 것이다. 산소소비율은 수온이 높은 시기인 7-10월 동안 평균 0.37 mg O<sub>2</sub>/g DW/h 으로 높았으며, 11-2월 동안 평균 0.18 mgO<sub>2</sub>/g DW/h 으로 낮은 값을 나타내었다.

멧게의 먹이섭취율은 수온이 상승하는 시기인 5-7월 동안 가장 낮았으며(2.10  $\times$  10<sup>4</sup> cells/g DW/h), 반면 11-2월 동안 22.3  $\times$  10<sup>4</sup> cells/g DW/h으로 겨울 동안 높은 먹이섭취율을 나타내었다(Fig. 3).

멧게의 월별 O:N 원자비는 10-2월동안 O:N원자비가 20이상으로 높은 값을 보였으며, 수온이 상승하는 여름동안(6-9월)에는 10이하의 낮은 값을 나타내었다(Fig. 4).

멧게의 동화효율(Fig. 7)은 연중 평균 62.2%를 나타내었다. 고수온기였던 8-월(평균 25°C) 동안에 6.2-15.54%으로 가장 낮았으며, 3-4월 동안 90.7-94.1%으로 높게 나타나 연중 유의한 변화를 나타내었다(P<0.05)

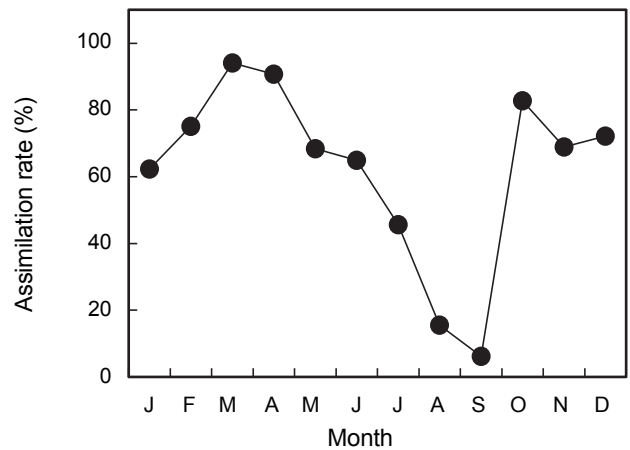


Fig. 7. Monthly variation of assimilation rate of sea squirt *Halocynthia roretzi* collected from Tongyeong area.

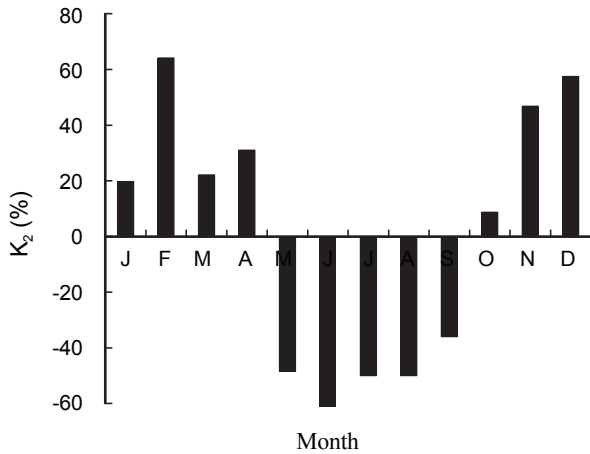


Fig. 8. Monthly variation of net growth efficiency(K<sub>2</sub>, %) of sea squirt *Halocynthia roretzi* collected from Tongyeong area.

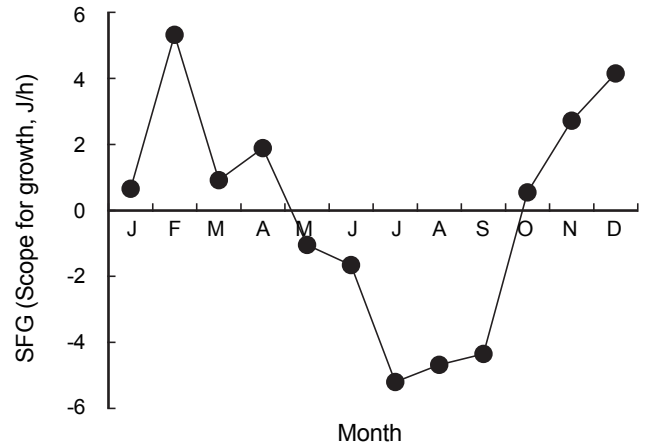


Fig. 9. Monthly variation of SFG(Scope for growth) of sea squirt *Halocynthia roretzi* collected from Tongyeong area.

### 고찰

양식멍게의 대량폐사는 주로 저수온기인 12월에서 이듬해 6월까지 고수온기 이전에 폐사되고 있는 실정이며, 주로 폐사원인은 여름철 고수온과 먹이생물 부족(Chang et al., 1982; Hong et al., 2000), 고수온에 의한 대사장애(Na et al., 1991) 및 급격한 수온 변동에 따른 생리적 스트레스(Hong et al., 2000)등으로 보고되고 있다. 환경요인 중 수온과 염분은 생존, 호흡 및 배설 등 생리적 변화(Day et al., 1982; Magnuson et al., 1979)에 영향을 미친다. 본 실험기간 동안 멍게 양식장의 연중 수온은 8-25.2℃였으며, 염분은 29.0-34.5 psu을 나타내었다. 멍게는 고수온, 저비중에 약하여(Kim, 1980) 수온이 24-25℃ 이상 될 때 대사기능에 장애를 가져오고(Conover, 1966), 26.5℃이상일 때는 입수관이나 출수관을 닫고 죽는다(Kim, 1980)는 보고에 따르면 실험기간 동안 25℃ 이상의 고수온기는 8월을 제외하고는 관찰되지 않았으나 7-9월 동안 평균 수온이 25℃로 유지되어 하계동안 고수온으로 인한 멍게의 호흡, 배설 및 먹이섭취율 등 생리적 변화가 발생할 수 있을 것으로 여겨진다. 한편 염분은 본 실험기간동안 29-34.5 psu으로 염분변화가 미미하여 폐사 발생과는 무관한 것으로 보인다.

여과섭이를 하는 해산 동물의 대부분의 생리적 변수들은 수온과 밀접하게 관련되어 있으며, 생리적 범위내에서 수온의 증가에 따라 섭이량이 증가한다(Griffiths and Griffiths, 1987). 멍게(*Halocynthia roretzi*)는 여과섭이를 하는 척삭동물로서 호흡률은 수온이 상승하는 시기인 여름동안 높았으며, 수온이 하강하는 시기에 감소하여 해산동물의 일반적인 양상을 나타내었다. 암모니아는 수서동물에서 단백질 이화작용의 결과 배설되는 주요 최종종산물이며, 질소배설률은 수온, 먹이농도, 영양상태 및 생식 등과 관련되어 계절적 변화를 나타낸다(Bayne and Newell, 1983). 멍게의 암모니아질소배설률은 수온이 상승하는 시기인 6-9월 동안(19-25.2℃) 증가하였으며, 이는 하계동안 많은 양의 단백질이 대사되고 있음을 의미한다. 25℃이상의 고수온에서 멍게류, *Styela clava*는 대사활성이 제한되어 암모니아 질소배설률을 감소시킨다(Jiang et al., 2008). 그러나 본 실험에서 멍게는 8월동안(25.2℃)유지되었으며, 이 기간 동안 먹이섭취율의 감소현상은 25℃이상 고수온기 동안 멍게류에서 대사활성이 감소된다는 보고와 일치한다. 이는 고수온기 동안 고수온에 의한 먹이섭취율의 감소에 따라 체내 보유하고 있던 단백질 성 에너지원의 이용으로 인해 질소배설률이 증가하였던 것으로 여겨진다.

Table 1. SFG(Scope for growth) of *Halocynthia roretzi* from Tongyeong area

Month	CR	POM ×23.5 (mg/L)(J/mg)	Energy consumed(C) (J/h)	AE (%)	Energy absorbed(A) (J/h)	R (J)	U(J)	SFG (J/h)
Dec./Feb.	1.68	× 5.08	8.56	69.85	6.28	2.64	0.25	3.39
Mar./ May	0.99	× 5.08	5.04	79.52	4.14	3.28	0.27	0.59
Jun./ Sep.	0.85	× 5.08	4.34	36.7	1.32	4.71	0.59	-3.98
Oct./ Nov.	1.59	× 5.08	8.07	75.87	6.1	4.22	0.24	1.64

Note : C=CR(L/h)×POM(mg/L)×energy content of POM(J/mg)(Widdows et al., 1981); A, Energy absorbed(J/h); SFG=A-(R+U).

산소소비율과 암모니아질소배설률로부터 산출되는 O:N원자비는 에너지 대사에서 단백질 이용지표로 이용되고 있으며 (Corner and Cowey, 1968; Widdow, 1978), 생물이 극단 환경에 부딪혔을 때 대사요구의 증가에 따라 다량의 체내 보유물의 이용이 요구되므로 극단적인 환경에 반응하여 나타나는 스트레스의 지표로서 이용되고 있다 (Bayne et al., 1976; Widdow, 1978). 높은 O:N원자비는 탄수화물과 지방이 이화되는 것을 의미하며, O:N원자비가 7의 경우에는 주로 단백질 대사가 이루어지는 것으로 보고하고 있으며, *Mytilus*의 경우 30이하일 때 스트레스를 받고 있다고 보고하고 있다 (Mayzaud, 1973). 본 연구에서 멍게의 O:N원자비는 6월-9월 동안 6-13을 나타내었으며, 이 기간 동안 암모니아질소배설률의 증가가 있었다. 고수온기의 질소배설률의 증가 및 O:N원자비가 낮은 것은 이 기간 동안 먹이섭취율이 감소하여 섭취한 먹이의 에너지부족으로 인해 이미 체내 저장되어 있던 단백질성 보유물이 생존을 위한 에너지로 이용된 것으로 여겨진다.

동화효율은 먹이의 양과 질에 따라 유효한 영향을 받는 생리적 과정으로 (Bayne and Newell, 1983) 본 실험에서 멍게의 동화효율은 6.2-94.1%를 나타내어 연중 유의한 차이를 보였다 ( $P < 0.005$ ). 이는 제공된 먹이가 현장에서 멍게가 섭취했던 먹이의 종류와 차이가 있거나 고수온에 의한 대사활성 저하에 기인한 것으로 보인다.

온도에 대한 대사반응율의 변화가 스트레스 지표로 이용된다 (Schatzlein and Lostlow, 1978) 하더라도 생물체의 생리변수의 측정만으로 생물의 생존과 성장을 감소시킨다는 뚜렷한 증거는 없다. 따라서 SFG가 동물의 성장을 나타내기 위해 생리적 지표로서 광범위하게 적용되고 있다 (Newell and Branch, 1980). 그러므로 SFG는 일시적인 환경의 영향과 생물체의 성장을 나타낼 수 있으며 (Bayne and Newell, 1983), 동물의 대사조절을 추정하기 위한 유효한 지표로서 사용가능하다 (Jiang et al., 2008).

본 연구에서 멍게의 산소소비율과 암모니아질소배설률은 수온이 증가했던 하절기동안 (평균 25°C) 높았으며, 반면 섭취한 먹이에 대한 체내 흡수율은 감소하여 호흡으로 소비되는 에너지가 섭취한 에너지 가운데 가장 많은 양을 차지하여 수온이 상승하는 하절기동안 SFG의 감소 (Fig. 9, Table 1)가 발생하는 것으로 추정된다. 특히 24°C 이상의 7-9월 동안 호흡률은 수온상승에 따라 증가하고 먹이섭취율은 감소하여, 호흡으로 소비되는 에너지는 섭취한 전체에너지 가운데 59.4-72.9%를 차지하였으며, 이로 인해 -SFG가 유도된 것으로 사료된다.

또한 SFG의 계절별 변화를 알아보기 위하여 겨울(12-2월), 봄(3-5월), 여름(6-9월) 및 가을(10-11월)로 구분하여 멍게의 생리적 변수들의 값을 분석한 결과 (Table 1), 수온이 높은 여름(6-9월)시기에 -SFG를 나타내었으며, 가을부터 SFG가 차츰 증가하기 시작하여 겨울에 3.39 J/h으로 가장 높았으며, 봄에 다시 0.59 J/h으로 감소하였다. 이는 멍게의 산란시기가 겨울인 점을 감안하면 산란 후 봄에 에너지효율이 감소하는 것은 일반적인 현상일 것으로 판단된다.

순성장효율( $K_2$ )은 섭취한 먹이가 체조직으로 전환된 효율을 의미하는 것으로 패류에서는 8-63%를 차지하며 (Chang et al., 1996), 멍게류 *Styela clava* (Jiang et al., 2008)에서는 30-70%를 보고하였다. 본 연구에서 수온이 증가하는 시기(5-9월)를 제외하고 멍게의 순성장효율은 8.7-64.2%으로 패류와 매우 유사하였으나, 멍게류 *Styela clava* (Jiang et al., 2008)보다 다소 낮았는데 이는 현장에서 섭취되는 자연적인 먹이가 아니라 실내실험을 통한 인위적이고 제한된 먹이의 공급에 기인된 것으로 여겨진다.

저수온에서 낮은 대사율은 월동시 축적된 에너지의 소비를 감소시킬 수 있기 때문에 에너지수지 측면에서 잇점이 있다. 따라서 본 연구에서 멍게는 고수온기동안 낮은 먹이 섭취율과 높은 산소소비율로 인해 많은 대사비용을 소비하지만, 월동기의 저수온기동안 높은 먹이섭취율과 낮은 대사율로 인해 에너지 소모가 적어 성장률을 증가시키는 전략을 가지고 있다.

## 사 사

이 연구는 국립수산과학원 수산시험연구사업 양식생물 환경내성 범위 구명 및 폐사메커니즘 구명 연구의 지원(RP-2011-AQ-025)에 의해 운영되었습니다.

## 참고문헌

- Armsworthy SL, MacDonald BA, and Ward JE. 2001. Feeding activity, absorption efficiency and suspension feeding processes in the ascidian, *Halocynthia pyriformis* (Stolidobranchia: Ascidiacea): responses to variations in diet quantity and quality. *J Exp Mar Biol Ecol* 260, 41-69.
- Bayne BL, Livingstone DR, Moore MN and Widdows J. 1976. A cytochemical and biochemical index of stress in *Mytilus edulis*. *L Mar Poll Bull* 7, 221-224.
- Bayne BL and Newell RC. 1983. Physiological energetics of marine mollusca. In: Saleuddin, ASM. and Wilbur, KM (Eds.). *The Mollusca* 4, Academic press, New York, U.S.A., 407-515.
- Bayne BL, Brown DA, Burns K, Dixon DR, Ivanovici A, Livingstone DR, Lowe DM, Moore MN, Stebbing ARD and Widdows J. 1985. The effects of stress and pollution on marine animals (Praeger special studies). Praeger Scientific, Westport, C.T., U.S.A., 3-45.
- Chang DS, Chun SK, Cheong SC and Seo HL. 1982. A study on the Mortality of sea squirt, *Halocynthia roretzi* (Drasche). *Bull Nat'l Fish Res Dev Inst Korea*, 29, 7-27.
- Chang YQ, Wang ZK and Dong HY. 1996. Bioenergetics of bivalves. *Mar Sci* 37, 17-20.
- Conover RJ. 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnol Oceanogr*. 22, 338-354.

- Corner EDS and Cowey CB. 1968. Biochemical studies on the production of marine zooplankton. Biol Bull, 43, 393-426.
- Day JW, Hopkinson CS and Corner WH. 1982. An analysis of environmental factors regulating community metabolism and fisheries production in a Louisiana estuary. In: Kennedy, V.S.(Ed), Estuarine Comparisons. Academic Press, New York, U.S.A., 121-164.
- Griffiths CL and Griffiths RJ. 1987. Bivalvia. In: Pandian TL, Verberg, EJ, Animal Energetics 2, Academic Press, New York, U.S.A., 1-88.
- Hirai E. 1941. An outline of the development of *Halocynthia roretzi* Drasche. Sci Rep Tohoku Imp Univ Biol 16, 217-232
- Hirai E. 1965. On the changes of the adhesive papillae of the larvae of an ascidian, *Halocynthia roretzi*. Bull Mar Biol St Asmushim 13, 1-11.
- Hong JP, Kim YS and Hur SB. 2000. Effect of temperature fluctuation and different stocking densities on mortality of sea squirt, *Halocynthia roretzi*(von Drasche). J Aquacult 13, 285-293.
- Jang YJ. 1979. Studies in the early growth of the sea squirt, *Halocynthia roretzi*(Drasche). Bull Fish Res Dev Agency 21, 69-75.
- Jiang AL, Lin J and Wang CH. 2008. Physiological energetics of the ascidian *Styela clava* in relation to body size and temperature. Comp Biochem Physiol part A 149, 129-136.
- Kim JD, Cheong SC and Kang HW. 1979. Studies on the culture and air exposure and air exposure experiments of sea squirt, *Halocynthia roretzi*(Drasche). Bull Fish Res Dev Agency 22, 71-80.
- Kim SG, Kwak HS, Choi CI and Kang JC. 2001. Accumulation of heavy metals by sea squirt, *Halocynthia roretzi*. J Korean Fish Soc 34, 125-130.
- 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.
- Magnuson JJ, Crowder LB and Medwick PA. 1979. Temperature as an ecological resource. Am Zoo 19, 331-343.
- Mayzaud P. 1973. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton. II. Studies of the metabolic characteristics of starved animals. Mar Biol 21, 19-28.
- 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 and Branch BL. 1980. The influence of temperature on the maintenance of metabolic energy balance in marine invertebrates. Adv Mar Biol 17, 329-396.
- Pyen CK, Rho YG and Chang YJ. 1977. Studies on the early development and seed collection of the sea squirt, *Cynthia roretzi*. Bull Nat'l Fish Res Dev Inst Korea 18, 113-122.
- Ryland JS. 1990. A circadian rhythm in the tropical ascidian *Diplosoma virens*(Ascidiacea : Didemnidae). J Exp Mar Biol Ecol 138, 217-225.
- Schatzlein FC, Lostlow JrJD. 1978. Oxygen consumption of the larvae of the decapod crustaceans, *Emertia talpoida*(Say) and *Libinia emarginata* Leach. Comp Biochem Physiol A 61, 441-450.
- 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.
- Solorzano L. 1969. Determination of ammonia natural waters by the phenolhypochlorite method. Limnol Oceanogr 14, 799-801.
- Warren CE and Davis GE. 1967. Laboratory studies on the feeding bioenergetics and growth of fish. In: Gerking, S.D.(Ed.). "The biological basis of fresh fish production" Blackwell scientific publications. Oxford, U.K., 175-214.
- Widdows J. 1978. Physiological indices of stress in *Mytilus edulis*. J Mar Biol Ass UK 58, 125-142.
- Widdows J, Bayne BL, Donkin P, Livingstone DR, Lowe DM, Moore MN and Salkeld PN. 1981. Measurement of the responses of mussels to environmental stress and pollution in Sullom Voe: A baseline study. Proc Roy Soc Edin B 80, 323-338
- 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.
- Yoo S K, 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.

2011년 4월 26일 접수

2011년 7월 5일 수정

2011년 7월 22일 수리