

## 염분변화에 따른 멧게 *Halocynthia roretzi*의 생존과 생리적 반응

신윤경\*, 최낙중, 허영백<sup>1</sup>, 한형균<sup>1</sup>, 박정흠<sup>1</sup>, 김 윤<sup>2</sup>

국립수산과학원 남해특성화연구센터,  
<sup>1</sup>양식환경연구센터, <sup>2</sup>바다목장화사업단

### Survival and Physiological Responses of the Tunicate *Halocynthia roretzi* to Salinity Changes

Yun Kyung Shin\*, Nack Joong Choi, Young Baek Hur<sup>1</sup>, Hyoung Kyun Han<sup>1</sup>,  
Jeong Heum Park<sup>1</sup> and Yoon Kim<sup>2</sup>

South Sea Mariculture Research Center, NFRDI, Namhae 668-821, Korea

<sup>1</sup>Aquaculture environment Research Center, NFRDI, Tongyeong 650-943, Korea

<sup>2</sup>Marine Ranching Development and Management Center, Busan 619-902, Korea

We investigated survival and osmolarity, oxygen consumption, ammonia excretion and filtration rates associated with physiological responses of the tunicate *Halocynthia roretzi* salinity changes. Acclimation times for osmolarity in different salinities took 20~26 hours in 60‰ SW (19.8 psu) and 20~25 hours in 80‰ SW (26.4 psu), while their times took 7~8 hours in 110‰ SW (36.3 psu). Accordingly, acclimation times for high salinities were faster than those for low salinities. Survival (%) was more than 80% at salinity over 26.4 psu, and 6 days-LS<sub>50</sub> was 25.4 psu. Physiological responses such as oxygen consumption, ammonia excretion and filtration rates of *H. roretzi* showed more clear reactions in the longer exposure period (four days after exposure) than that in the beginning of the exposure. To sum up the results, the tunicate might be stressed from the beginning of the exposure in low salinity.

**Keywords:** *Halocynthia roretzi*, physiological response, salinity, O:N ratio

### 서 론

염분이 낮은 환경에서 생물이 견디기 위해 생체 내에서 일어나는 현상은 생리적 기작으로 물에 대한 투과성과 이온 흡수율을 높이고, 또한 혈림프에 아미노산이나 펩티드와 같은 삼투조절능력이 있는 물질을 방출시켜 환경에 견디게 한다 (Peter and Elizabeth, 1988). 일반적으로 연안에 서식하는 많은 동물들은 변삼투자(osmoconformer)이며, 피낭류도 등삼투성(isosmotic)으로 알려져 있다(Henze, 1911; Kobayashi, 1935). 저 염분에 노출되면, 패류는 패각을 닫고 수관을 수축시키며, 다모류는 구멍 속으로 들어가는 행동반응을 보이는데, 이러한 모든 행동반응은 동물들이 살아남기 위한 보호전략에 속하는 것이다 (Linda, 1984). 염분내성에 관해 보고된 것으로 패류에서는 삼투조절 및 염분감소에 따른 에너지대사 반응 등이 연구되어 있으며, 피낭류에서는 삼투 및 이온조절 (Goodbody, 1962; Miller and Packer, 1977)에 관한 연구가 있으나 매우 미흡하다.

특히, 피낭류는 정상적으로 이온이나 삼투조절과 관련된 배설기관이 부족하므로 염분에 대한 삼투조절 기능을 갖는 기관

은 일부분이다. 삼투조절을 하는 기관으로는 장(Robertson, 1954), 소화관 혹은 피낭(Miller and Packer, 1977), 그리고 branchial basket (Markus and Lambert, 1983)으로 알려져 있으나 이와 관련된 기능 및 염분 내성에 관한 보고는 찾아볼 수 없다.

연안에서 염분 변화는 계절에 따라 다르다. 비록 짧은 기간 동안 염분의 변화에 노출되었다 할지라도 반응은 생물의 종류에 따라 다르게 나타난다. 이와 같이 염분 변화는 피낭류의 경우, 개체군 역학 변화 뿐만 아니라 개체군의 대량폐사에 영향을 미칠 수 있다(Goodbody, 1962)고 보고되어 있다. 특히 여름철 집중호우 시에는 염분의 변화가 심각하므로 연안에서 양식되고 있는 양식생물의 생산량에 피해를 주고 있다. 우리나라에서 멧게 양식은 1974년 국립수산과학원에서 종묘생산 및 양식기술이 개발되면서, 경남 통영지방을 중심으로 양식이 시작되었다. 그러나 1970년대 중후반부터 대량폐사가 발생한 후 다시 1990년대 후반에 접어들면서 '물렁증' 현상으로 대량폐사가 매년 발생하여 생산량이 현저히 감소하고 있는 실정이다. 본 연구는 멧게의 폐사원인 구멍을 위한 연구의 일환으로 염분변화에 노출된 멧게의 생존과 생리적 지표의 반응을 조사하였다.

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

재료 및 방법

실험에 사용된 멧게는 경남 통영시 영운지선에 분포하고 있는 멧게양식장에서 양성중인 수하봉에서 직접 채취하여 실험실로 운반한 후 5t수조에서 일주일간 순치 시킨 후 실험에 사용하였다. 사육수온은 25°C, 염분은 33.0±0.5 psu였다. 실험에 사용된 개체의 크기는 큰 개체의 경우 평균체장 70.6±4.5 mm, 평균전중 100.5±10.4 g이었으며, 작은 개체의 경우에는 평균체장 30.6±3.7 mm, 평균전중 27.8±5.5 g이었다.

삼투조절

삼투조절능 실험을 위하여 해수의 염분을 60%, 80% 및 110%로 만들었다. 이때 100%의 염분은 33.0±0.5 psu였다. 저염분(60%와 80%) 용액은 일반해수에 증류수를 희석하여 조제하였으며, 고염분(110%)은 천일염(Instant ocean artificial salt)를 첨가하여 염분을 조정하였다. 실험방법은 각 실험용액을 채운 3 L 수조에 실험동물 1마리씩 각각 수용하여 1시간 간격으로 실험동물의 전중과 삼투농도를 측정하고 다시 실험수조에 수용하여 환원시키는 방법을 이용하였다. 전중은 전자저울(Mettler, AB204)을 사용하여 측정하였으며, 삼투질농도는 1 mL syringe를 이용하여 삼장에서 혈액을 채취하여 Osmometer (Osmomat 030; Genotec, Germany)을 이용하여 측정하였다.

내성범위

내성 실험수온은 25°C에서 실시하였다. 실험염분은 100%(일반해수), 80%, 60%, 40%, 20% 및 10% 였으며, 실험용액은 일반해수(33.0±0.5 psu)에 증류수로 희석, 조제하여 사용하였다. 실험방법은 순환여과식으로 행하였으며, 생존율은 12시간 간격으로 냄새를 맡거나 침으로 자극을 주어 반응이 없으면 죽은 것으로 간주하여 구하였다. 염분변화에 따른 멧게의 반응을 알아 보기위하여 산소소비율은 산소검량기(915PDC; Istek)를 사용하여 실험전후의 용존산소의 차이로 계산하였으며, 암모니아질소배설률은 phenolhypochlorite (Solorzano, 1969)의 방법을 이용하였다. 한편 여수율은 Cole and Hepper (1954)의 방법을 이용하여 측정하였다. 멧게의 건조중량은 실험을 마친 후 멧게의 피낭을 제거하고 육질만을 선별하여 증류수로 행군 후 동결건조기에서 48시간 건조시켜 측정하였다. 실험염분에 따른 반수치염분(Lethal Salinity: LC<sub>50</sub>)은 Probit법에 의해 분석(Finney, 1971)하였다.

결 과

염분변화에 대한 멧게의 생리적 변화를 알아보기 위하여 삼투조절능과 염분감소에 따른 생존율, 산소소비율, 암모니아질소배설률 및 여수율 등의 생리적 반응을 조사하였다.

멧게의 염분 변화에 따른 삼투조절능은 염분 60%, 80% 및

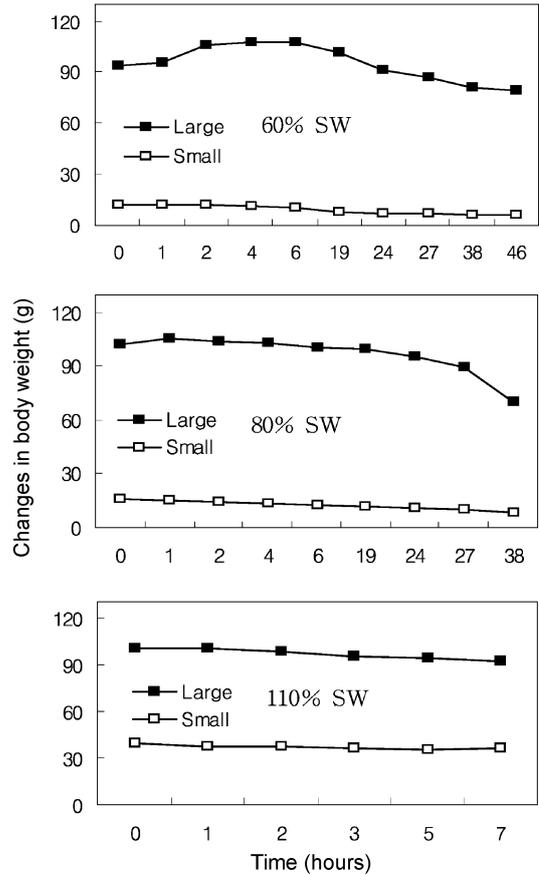


Fig. 1. Change in body weight of the tunicate *Halocynthia roretzi* with time in response to 60%, 80% and 110% sea water.

110%해수에서 무게변화와 삼투질농도(osmolality)를 측정하여 분석하였다(Fig. 1과 2). 60%로 희석된 해수에 노출된 멧게의 무게는 노출 1시간 후부터 19시간 동안 약 7.6%의 무게가 증가하였으나, 이후 무게가 감소하는 경향을 보였는데, 46시간 동안 15.5%가 감소되었다. 80% 희석해수의 경우에는 단지 3.1%의 무게가 증가하였을 뿐이며, 38시간째에는 약 11.9%의 무게 감소하였다. 그러나 작은 개체에서는 저 염분의 변화에도 유의한 무게변화를 보이지 않았다. 한편 고염분인 110%해수에서는 큰 개체와 작은 개체에서 각각 9.1%와 8.7%의 무게감소가 일어났다(Fig. 1). 염분변화에 따른 삼투질 농도의 순치시간은 60% 희석해수에서 20~46시간 소요되었으며, 80% 희석해수에서는 20~25시간, 고염분인 110%해수에서는 노출된 지 7-8시간 만에 순치되어 저 염분에 비해 빠르게 순치되었으며, 개체 크기 간에도 차이를 나타내지 않았다(Fig. 2).

Fig. 3은 염분감소에 따른 멧게의 생존율을 나타낸 것으로 염분 26.4 psu 이상에서 생존율 80% 이상을 나타내었다. 그러나 염분 13.2 psu에서는 노출 4일째 모두 사망하였으며, 염분 6.6 psu 이하에서는 노출 4일째에 50-79%의 생존율을 보인 후, 노출 6일째에 모두 사망하여, 6일 동안의 LS<sub>50</sub>은 25.4 psu였다.

염분감소에 따른 멧게의 산소소비율의 반응은 Fig. 4에 나타

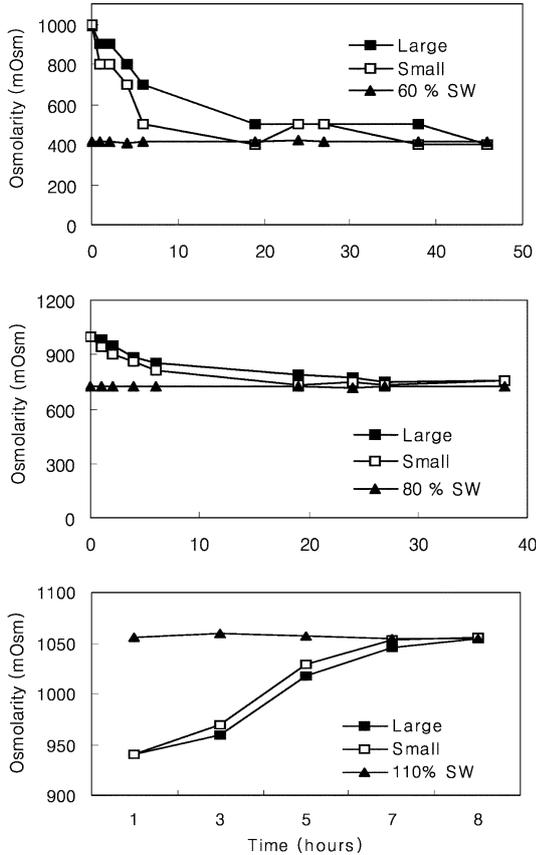


Fig. 2. Change in osmolarity of the tunicate *Halocynthia roretzi* with time in response to 60%, 80% and 110% sea water.

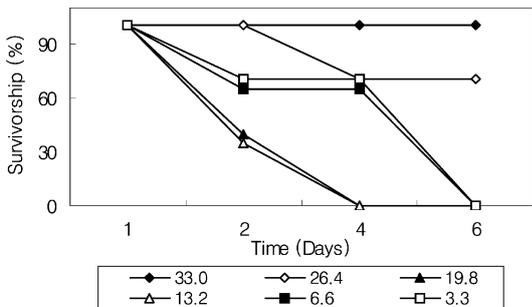


Fig. 3. Survival with decreasing salinity in large tunicate *Halocynthia roretzi*.

내었다. 노출 2일째에는 염분 26.4 psu에서 다소 상승하는 경향을 보였으나, 염분 감소에 따라 산소소비율이 서서히 감소되는 것으로 나타났다. 그러나 노출 4일째의 경우에는 염분 20 psu에서 최대를 나타내었으며, 약 50~60%의 산소소비율이 상승된 후 급격히 감소하는 경향을 나타내어 저 염분에 의한 산소소비율의 저해 작용이 있는 것으로 나타났다.

염분 감소에 따른 암모니아 질소배설물의 변화는 Fig. 5에 나타내었다. 노출 2일 째에는 염분의 감소에도 불구하고 암모니아 질소배설물은 유의한 변화를 나타내지 않았다( $p < 0.05$ ). 그러나 노출 4일째에는 산소소비율의 경우와 마찬가지로 염분 20

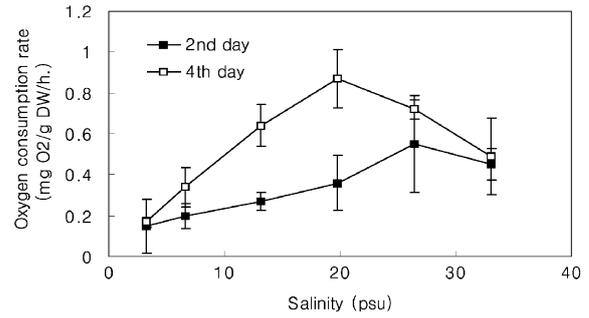


Fig. 4. Changes in the oxygen consumption rate with decreasing salinity in large tunicate, *Halocynthia roretzi*.

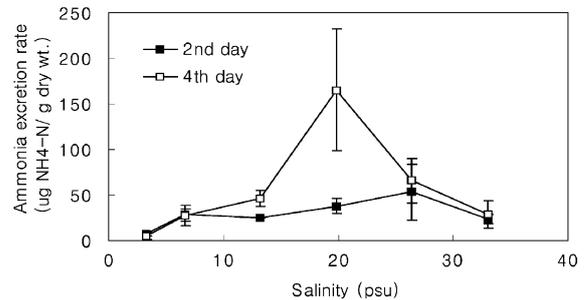


Fig. 5. Changes in the ammonia excretion rate with decreasing salinity in large tunicate *Halocynthia roretzi*.

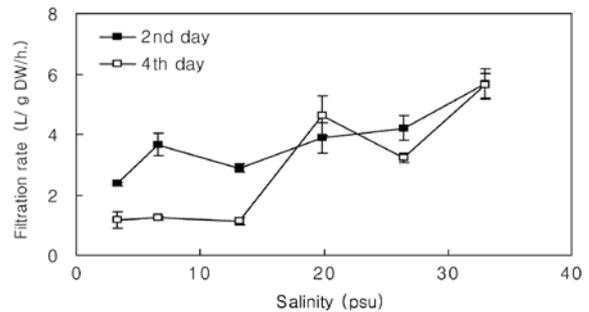


Fig. 6. Changes in the filtration rate with decreasing salinity in large tunicate *Halocynthia roretzi*.

psu에서 현저한 증가를 나타낸 이후, 감소하는 경향을 보였다. 따라서 이 시기에 상당한 스트레스를 받는 것으로 여겨진다.

Fig. 6은 염분 감소에 따른 명계의 여수율 반응을 나타낸 것으로, 노출기간동안 염분감소에 따라 여수율이 감소하는 경향을 보여, 저염분에 노출될수록 여수작용이 감소하며, 특히 노출 4일째 132. psu 이하에서는 여수작용이 80% 이상 감소하는 것으로 나타났다.

### 고찰

일반적으로 염분은 해양 및 연안생물의 생리적 과정에 영향을 미친다. 특히, 낮은 염분에서 나타나는 전형적인 반응은 먹이섭취와 성장률의 감소(Bohle, 1972; Widdows, 1985)와 폐각의 개폐 (Hand and Stickle, 1977; Shumway, 1977) 등이다. 특

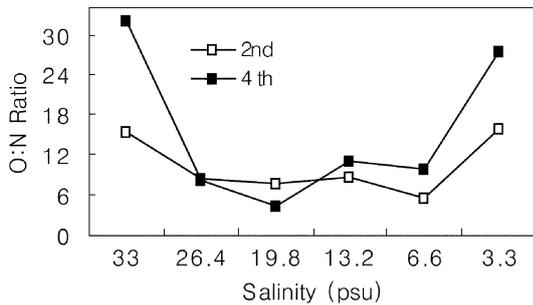


Fig. 7. O:N ratio with decreasing salinity in large tunicate *Halocynthia roretzi*.

히 연안에서 양식되고 있는 양식생물에게는 여름철 강우기에 저염분에 노출되어 있는 기간동안 생존하기 위한 생리적 조정의 결과로서 성장을 감소, 호흡률 및 배설률의 증가 등 다양한 생리적 변화를 겪게 된다. 멍게의 염분에 대한 내성을 알아보기 위하여 삼투조절, 생존율 및 대사반응 등의 생리적 지표를 측정하였다. 일반해수(33 psu)를 60%와 80%로 희석시킨 해수에서 멍게의 육중은 각각 7.6%와 3.1%의 증가를 보였으며, 순치 후에는 원래의 무게를 회복하거나 다소 감소하는 경향을 보였다. Linda (1984)에 의하면, 희석해수에서 피낭류인 *Styela clava*와 *Styela plicata*를 50% 해수에 순치시킨 경우, 각각 19.7%와 18.4%가 증가하였다고 보고되어 있다. 불가사리류인 *Asteries ruben* (Dybern, 1969)에서는 55% 해수에 노출시 26~34% 증가하였다고 보고되어 있어 이들과 비교하여보면 다소 낮았다. 본 실험에서 60% 및 80% 해수에서 멍게의 삼투질 농도가 순치하는 데는 각각 20~46시간과 20~25시간이 소요되어 염분이 감소할수록 순치소요시간이 길어지는 경향을 보였다. 또한 염분 감소에 따른 생존율은 6일째 26.4 psu (80% 해수) 이하에서 모두 폐사하여  $LS_{50}$ 은 25.4 psu로 나타났다. 많은 수서동물에서 체적은 세포내 삼투질 농도의 양을 외부 삼투농도변화에 맞추기 위하여 적절한 비율로 변화시키며 순응기간동안 조절된다. 그러므로 세포막을 통해서 삼투에 의해 물의수송을 최소화하며, 세포내 삼투질의 농도는 방출에 의해 낮아지거나 또는 분해에 의해 제거되거나 합성 또는 흡수에 의해 증가된다. 그러나 외적 삼투조절에 대하여 제한된 능력을 가지는 일부 수서 종들은 체액의 volume을 조절하기 위하여 기관의 한부분이 큰 변화를 견뎌내야 한다. 그래서 외부환경에 대한 순응기간이 길어지면 그들의 원래 volume을 다시 되찾기는 어려울 것이며 체적조절이 불가능할 것으로 여겨진다. 멍게의 피낭은 희석된 해수에서 딱딱해지고 무게증가 및 삼투조절로 인해 팽팽해지는 현상을 관찰할 수 있었는데, 이러한 현상은 저 염분으로 인해 피낭이 성장하고 신장되는 것을 저해하는 것으로 보이며, 이는 피낭의 불투과성이 멍게의 체적조절을 억제하므로(Linda, 1984) 낮은 생존율에 영향을 미칠 것으로 추정된다.

고염분에서 멍게의 무게는 감소하였는데 이에 관한 다른 피낭류에서는 보고된 바 없다. 패류 *Modiolus squamomus* (Pierce,

1971)의 경우 133% 해수에 노출시켰을 경우, 원래 무게의 7% 무게 감소가 일어났다는 보고가 있다. 다모류인 *Nereis vexillosa* (Oglesby, 1965)의 경우에는 116% 해수에서 약 2%의 체중 손실이 일어났다고 보고되어 있으며, 이는 많은 패류에서도 보고 (Shumway, 1977)되어 있다. 순치시간이 7~8시간 이내이며 사망이 일어나지 않는 것으로 보아 생존에는 영향을 미치지 않을 것으로 여겨진다.

생물체의 대사지표로서 이용되는 산소소비율은 생리적으로 스트레스를 겪고 있는 생물에서 여러 가지 형태로 변화하는데 (Sastry and Vargo, 1977), Almada-Villea (1984)는 염분 변화와 같은 다양한 환경변화로 산소소비율이 증가하거나 감소하는 것으로 보고하였다. 본 조사에서 멍게의 산소소비율, 암모니아 질소배설률 및 여수율 등의 대사 반응은 노출초기에 비해 노출 4일째 증가 혹은 감소의 현저한 반응을 보이고 있다. 특히 노출 4일째 염분 19.8 psu에서 산소소비율은 55% 증가하였으며, 암모니아 질소배설률은 85.2%의 현저한 증가를 나타내었다. 이는 피조개 *Scapharca broughtonii*의 경우 저염분에서 노출 4일째 19.3~33.2% 증가하였고 (Shin et al., 2006), Chilean scallop *Argopecten purpuratus* (Navarro and Gonzalez, 1998)의 경우에는 산소소비율과 암모니아 질소배설률이 염분감소에 따라 증가하는 유사한 경향을 보였다고 하였다. 그러나 피낭류에 관해서는 보고가 없어 비교할 수는 없지만 멍게의 경우도 염분의 생리적 범위 내에서 생존을 유지하기 위하여 대사조절을 하는 것으로 보이며, 생리적 내성범위를 벗어나면 조절능력이 떨어져서 사망할 것으로 추정된다. 또한 여수율의 변화는 노출기간 동안 감소하는 경향이 뚜렷하였는데 특히, 노출 4일째 13.2 psu 이하에서는 여수작용이 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 극단적인 염분변화에 의해 대사작용이 억제된 것으로 보인다.

O:N비는 에너지 대사에서 단백질 이용지표로서 이용되고 있다 (Corner and Cowey, 1968; Bayne et al., 1976; Widdow, 1978). 또한 생물이 극단적인 환경에 부딪혔을 때 대사의 요구의 증가에 따라 다량의 체내보유물의 이용이 요구되므로 극단적인 환경에 반응하여 나타나는 스트레스의 지표로서 이용되고 있다(Bayne et al., 1976; Widdow, 1978). 그러므로 높은 O:N비는 탄수화물과 지방이 이화되는 것을 의미하며, O:N비가 7의 경우에는 주로 단백질대사가 이루어지는 것으로 보고하고 있으며, *Mytilus*의 경우 30이하일 때 스트레스를 받고 있다고 보고하고 있다 (Mayzaud, 1973). 본 조사에서 멍게의 경우는 노출 2일째와 4일째에 모두 염분 26.4~6.6 psu에서 15 이하의 낮은 값을 보이고 있는 것으로 보아 노출 초기부터 염분에 대한 스트레스가 극심하게 받는 것으로 보인다. 그러나 극단적 저염분인 3.3 psu에서는 노출초기부터 삼투조절 및 대사작용을 정지시키고 외부 환경에 대한 반응을 전혀 나타내지 않았기 때문에 나타난 결과라고 여겨진다.

종합하여 보면 멍게의 6일 동안의  $LS_{50}$ 은 25.4 psu이었으며, 염분 26.4 psu 이하에서는 순치시간이 길어지며, 대사의 요구량이 극

단적으로 상승하거나 대사를 최저로 감소시켜 순치시키는 생리적반응을 보이고 있다. 이러한 결과로부터 염분 내성범위 이하에서는 다시 정상으로 회복될 수 없을 것으로 여겨진다.

남해안에 분포하고 있는 멍게의 양식장은 주로 내만에 분포하고 있으며, 멍게가 주로 수하양식되고 있는 수심 4~12 m층의 평균 연중 수온 변화는 9.6~27.7°C이며, 염분은 26.4~34.5 psu로 조사되고 있으며, 주로 7~8월 여름철 강우시기에는 고수온-저염분의 해양환경을 나타내고 있다. 이러한 멍게 양식장의 환경을 고려해보면 강우가 지속되는 시기동안에는 염분의 지속적인 측정과 관리가 필요할 것으로 여겨진다.

## 요 약

염분변화에 대한 양식 멍게 *Halocynthia roretzi*의 생리적 변화를 알아보기 위하여 생존율과 염분감소에 따른 삼투조절능, 산소소비율, 암모니아질소배설률 및 여수율 등의 생리적 반응을 조사하였다. 염분변화에 따른 삼투조절능의 순치시간은 60% 희석해수에서 20~46시간 소요되었으며, 80% 희석해수에서는 20~25시간, 고염분인 110% 해수에서는 노출된 지 7~8시간 만에 순치하여 저염분에 비해 빠르게 순치하였다. 생존율은 염분 26.4 psu 이상에서 생존율 80% 이상을 나타내었으며, 6일 동안의  $LS_{50}$ 은 25.4 psu이었다. 멍게의 산소소비율, 암모니아질소배설률 및 여수율 등의 대사반응은 노출초기에 비해 노출 4일째 증가 혹은 감소의 뚜렷한 반응을 보였으며, O:N비는 노출기간 동안 염분 26.4~6.6 psu에서 15 이하의 낮은 값을 보이고 있는 것으로 보아 노출초기부터 염분에 대한 스트레스를 심하게 받는 것으로 여겨진다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산물품질관리원 멍게 양식산업 안정화연구 (RP-2007-AQ-027)의 지원에 의해 운영되었습니다.

## 참고문헌

- Almada-villela, P.C., 1984. The effects of reduced salinity on the growth of small *Mytilus edulis*. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 64, 171-182.
- Bayne, B.L., D.R. Livingstone, M.N. Moore and J. Widdows, 1976. A cytochemical and biochemical index of stress in *Mytilus edulis* L. Mar. Poll. Bull. 7, 221-224.
- Bohle, B., 1972. Effects of adaptation to reduced salinity on filtration activity and growth of mussels (*Mytilus edulis*). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 10, 41-49.
- Cole, H.A. and B.T. Hepper, 1954. The use of neutral red solution for the comparative study of filtration rate of *Lamelli branches*. J. Cons Int. Explor. Mer., 20, 197-203.
- Corner, E.D.S. and C.B. Cowey, 1968. Biochemical studies on the production of marine zooplankton. Biol. Bull., 43, 393-426.
- Dybern, B. I., 1969. Distribution and ecology of the tunicate *Ascidia sacbra* (Muller) in Scagerak-Kattegaat of the Baltic proper. Distribution and ecology. Limnologica, 7, pp. 27-36.
- Finney, D.J., 1971. Probit Analysis. 3rd ed. London: Cambridge University press.
- Goodbody, I., 1962. The biology of *Ascidia nigra*(Savigny) I. Survival and mortality in an adult population. Biol. Bull. (Woods Hole, Mass.), 122, pp. 299-305.
- Hand S.C. and W.B. Stickle. 1977. Effects of tidal fluctuations of salinity on pericardial fluid composition of the American *Crassostrea virginica*. Mar. Biol., 42, 259-271.
- Henze, M., 1911. Untersuchungen ber das bult der Ascidien I. Mitteilung. Die vanadiumverbindung der Blutkrperchen. Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem., 72, pp. 494-501.
- Kobayashi, G., 1935. Chemical composition of the body fluid of an ascidian: *Chelyosoma*. Siboha Oka. Sci. Rep. Toboku, Univ. Series IV, 9, pp. 407-413.
- Linda L. S., 1984. Osmoregulatory capabilities of three macrosympatric stolidobranch ascidians, *Styela clava* Herdman, *S. plicata* (Lesueur), and *S. montereyensis*(Dall). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 82, 117-129.
- Markus, J.A. and C.C. Lambert, 1983. Urea and ammonia excretion by solitary ascidians. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 66, 1-10.
- Mayzaud, P. 1973. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton. II. Studies of the metabolic characteristics of starved animals. Mar. Biol., 21, 19-28.
- Miller, M.A. and R.K. Packer, 1977. A structural and functional study of the role of the renal sac in ionic regulation in the tunicate *Molgula manhattensis*. Comp. Biochem. Physiol., 57A, 424-427.
- Navarro J.M. and C.M. Gonzalez, 1998. Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. Aquaculture, 167, 315-327.
- Oglesby, L.C., 1965. Water and chloride regulation in nerids. Comp. Biochem. Physiol., 14, 621-640.
- Peter M. T. and B. A. Elizabeth, 1988. Osmoregulation in the intertidal gastropod *Littorina littorea*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 122, 35-46.
- Pierce, S. K., 1971. A source of solute for volume regulation in marine mussels. Comp. Biochem. Physiol., 39A, 103-117.
- Robertson, J.D., 1954. The chemical composition of the blood of some aquatic chordates including members of the Tunicata, Cyclostomata, and Osteichthyes. J. Exp. Biol., 31, 424-442.
- Sastry A.N. and S.L. Vargo, 1977. Variations in the physiological response of crustacean larvae to temperature. (in) F. J. Vernberg, A. Calabrese, F.P. Thurberg and W. B. Vernberg (Eds.), Physiological Response of Marine Biota to Pollutants. Academic Press, New York., pp. 410-424.
- Shin, Y.K. B.H. Kim, B.S. Oh, C.G. Jung, S.G. Sohn and J.S. Lee, 2006. Physiological responses of the ark shell *Scapharca broughtonii* (Bivalvia: Arcidae) to decreases in salinity. J. Fish. Sci. Technol. 9(4), 153-159.
- Solorzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. Limnol. Oceanogr., 14, 799-

- 801.
- Shumway, S., 1977. The effects of fluctuating salinity on the tissue water content of eight species of bivalve mollusks. *J. Comp. Physiol.*, 116, 269–285.
- Widdows, J., 1978. Physiological indices of stress in *Mytilus edulis*. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 58, 125–142.
- Widdows, J., 1985. The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of *Mytilus edulis*. (in) J. S. Gray and M. E. Christiansen, (Eds.), *Marine Biology of Polar Regions and Effects of stress on marine organism*. Wiley-Interscience, pp. 555–566.
- 
- 원고접수 : 2007년 7월 2일  
수정본 수리 : 2007년 9월 7일