

꼬막, *Tegillarca granosa*의 수온내성과 생리적 변화

신윤경* · 문태석¹

국립수산과학원 패류연구센터, ¹양식환경연구소

Temperature Tolerance and Physiological Changes of Blood Cockle, *Tegillarca granosa*

Yun Kyung SHIN* and Tae-Seok MOON¹

Shellfish Research Center, Namhae, 668-821, Korea

¹Aquaculture Environment Institute, Tongyoung 650-943, Korea

For blood cockle *Tegillarca granosa* acclimated to winter and summer seasons, survival, temperature tolerance and physiological changes at different individual size were investigated for their temperature tolerances by increasing and decreasing temperature at a rate of 1, 2 and 3 °C/day. The survival rate of adults and juveniles *T. granosa* acclimated to winter temperatures began to decrease from 32 °C and all experimental animals died between 37-39 °C. In the case of animals acclimated to summer temperatures, the survival rates of adults and juveniles began to decrease from 35 °C, and all died at temperatures between 40-44 °C. The upper LT₅₀ was 27.72 °C for adults and 28.36 °C for juveniles. On the other hand, when the temperature was decreased from 4 °C to 0 °C in order to investigate lower temperature tolerances, the survival rate of *T. granosa* was more than 70% at 2 °C for 25 days. Lower LT₅₀ was 2.09 °C for adults and 2.34 °C for juveniles. There was no effective difference in temperature tolerance between adults and juveniles. Filtration and respiration rates of *T. granosa* showed a similar aspect with increase and decrease of temperature. Filtration and respiration rates exhibited irregular conditions of a broken biological rhythm as the group acclimated to winter (10 °C) and summer (25 °C). In the case of decreasing temperature, filtration and respiration rates of *T. granosa* reduced to a minimum below 6 °C.

Key words: Blood cockle, *Tegillarca granosa*, Temperature tolerance, Physiological changes

서 론

온도와 염분은 생태계에서 해양생물에 영향을 미치는 주요한 물리적 요인이며, 이들의 생물학적 영향 또한 복잡하다(Chen and Chen, 1999). 해양생물의 온도와 염분내성의 스트레스에 대한 복합적인 영향은 생태적으로 중요한 정보를 제공한다. 특히 수온은 해양 저서생물의 분포를 조절하는 가장 중요한 환경 요인 중 하나이며(Urban, 1994), 상한 수온내성은 수심에 따라, 연안에서 멀어 질수록 감소한다(Johnson, 1965; Jansson, 1967; Ansell et al., 1980). 수온내성에 관한 연구는 어류(Procarione and King, 1993; Menasveta, 1981), 패류(Ansell et al., 1980; Wilson and Elkaim, 1991; Shin et al., 2000) 및 갑각류(Morritt and Ingölfsson, 2000; Manush et al., 2004) 등 많은 연구가 이루어져 있으며, 이러한 대부분의 연구들은 수온에 대한 한계를 결정짓기 위해 그 동물이 이전에 경험하고 순응했던 수온의 범위에 대하여 강조하고 있다. 수온과 염분의 복합적인 연구는 수온 20 °C와 염분 35 psu에 순치시킨 *Haliotis diversicolor supertexta*의 경우 수온 3.5-32.7 °C의 범위에서 인내하였으나, 수온 30 °C와 염분 25 psu에서는 수온 14.0-36.8 °C의 범위에서 생존이 가능하여 염분에 의해 인내할

수 있는 수온의 범위가 다르게 나타났다(Chen and Chen, 1999). 꼬막, *Tegillarca granosa*의 환경내성에 관한 연구는 염분, 저산소 및 공기노출(Davenport and Wong, 1986), 저산소에 대한 호흡반응(Brand and Morris, 1984) 그리고 용존산소 감소에 따른 생리적 반응(Shin et al., 2002) 등 단편적으로 이루어져 있을 뿐이다. 꼬막은 간척시간이 긴 개펄에 서식하는 돌조개과에 속하는 패류로서 이동이 적고 개펄의 표층에서 약 5-10 cm 저층의 개펄에 파묻혀서 서식하고 있다. 이러한 서식습성으로 인해 계절의 변동에 따른 극단적인 수온과 염분의 영향 등의 환경변화에 쉽게 노출되어 있어 저수온 및 고수온에 대량 폐사가 일어나기도 하므로, 이 종의 환경변화에 대한 특성을 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다.

본 연구는 꼬막 자연서식지의 동-하계의 극단적인 계절적 수온의 변동을 고려하여 상한 및 하한에서 인내할 수 있는 수온의 범위와 생리적 변화를 연구하였다.

재료 및 방법

실험동물로 사용된 꼬막은 전남 보성군 벌교읍 해도해역에서 동계 및 하계 동안 계절별로 채집하여 실험실로 옮긴 후 0.5톤 수조에서 실내 사육하면서 각 실험수온에 10일 동안 순치시켜 실험에 사용하였다. 이때 먹이는 *Tetraselmis* sp.를

*Corresponding author: ykshin@nfrdi.re.kr

공급하였으며, 염분은 33.5 psu (일반해수), 조도는 12L:12D로 조절하였다. 실험방법은 지수식 및 환수식을 병행한 생물검정법을 이용하였으며, 실험수온은 동계 10±1℃와 하계 25±1℃에 순응되어 있는 개체를 1℃/day, 2℃/day 그리고 3℃/day씩 상승 또는 하강시키면서 상한임계수온과 하한임계수온을 측정하였다. 수온의 상승은 온도조절기와 티타늄히터기를 사용하였으며, 하강수온은 항온 순환수조를 사용하여 조절하였다. 사망개체의 판정은 꼬막의 특성을 고려하여 패각이 열려있거나 침으로 자극을 주어 반응이 없으면 죽은 것으로 간주하여 생존율로 환산하였다. 실험에 사용된 개체의 크기는 성패의 경우 각장 35±3 mm, 치패의 경우 15±3 mm였다. 산소소비율과 여수율은 수온 상승 및 하강의 각 실험구에서 생존해 있는 개체를 무작위로 선별하여 측정하였다. 산소소비율의 측정은 산소검량기(YSI 5000)를 사용하였으며, 여수율은 0.001%의 neutral red를 사용하여 Cole and Hepper (1954)의 방법을 이용하였다. 실험동물의 상한 및 하한 반수치사온도(lethal temperature, LT₅₀)는 probit법에 의해 분석(Finney, 1971)하였으며, 자료분석에 사용한 통계처리는 SPSS-통계패키지를 이용하여 ANOVA 및 Duncan's multiple range test에 의해 판정하였다.

결 과

동계와 하계에 순응되어 있는 꼬막에 대하여, 개체 크기별로 인내할 수 있는 수온의 범위를 알아보기 위하여 1, 2 및 3℃/day씩 상승 또는 하강시키면서 생존율과 호흡률 및 여수율의 변화를 측정하였다. 동계수온에 순응된 꼬막의 수온상승에 따른 생존율은 성패와 치패 모두 32℃부터 생존율이 감소하기 시작하여 35℃ 이상에서 현저히 감소하였으며, 37-39℃에서 모두 폐사하였다(Fig. 1). 하계수온에 순응되어 있는 꼬막의 경우 성패와 치패 모두 수온 35℃부터 생존율이 감소하기 시작하여 수온 38℃ 이상에서는 생존율 50% 이하로 급격히

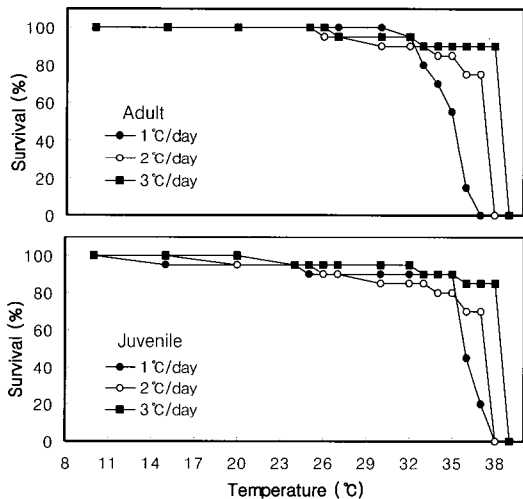


Fig. 1. Percentage survival of blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to winter temperature (10°C) when the temperature was increased by 1°C, 2°C and 3°C/day.

감소한 후 수온 40℃ 이상에서 모두 폐사하였다. 또한 수온 1℃/day 상승시킨 경우에는 개체의 크기에 상관없이 수온 40℃에서 모두 폐사하였으며, 2℃ 및 3℃/day 상승시킨 경우에는 43-44℃에 모두 폐사하였다(Fig. 2).

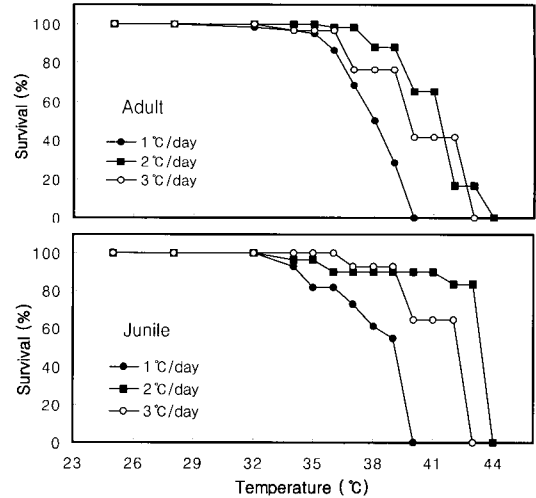


Fig. 2. Percentage survival of blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to summer temperature (25°C) when temperature was increased by 1°C, 2°C and 3°C/day.

1℃, 2℃ 및 3℃/day 수온 상승에 따른 생존율 실험결과, 고수온에서 생존하는 것을 감안하여 하계에 순응한 개체를 대상으로 25-40℃까지의 고수온에 어느 정도 인내하는지를 알아보기 위하여 수온별로 생존율을 측정한 것이다(Fig. 3). 성패의 생존율은 수온 28℃ 이하의 수온에서 7일 동안 60% 이상이었으며, 수온 31℃에서는 4일째, 수온 34-37℃에서는 3일째 그리고 40℃에서는 1일째 모두 사망하였다. 반면 치패의 경우에는 28℃ 이하에서 75%의 생존율을 보였으며, 수온

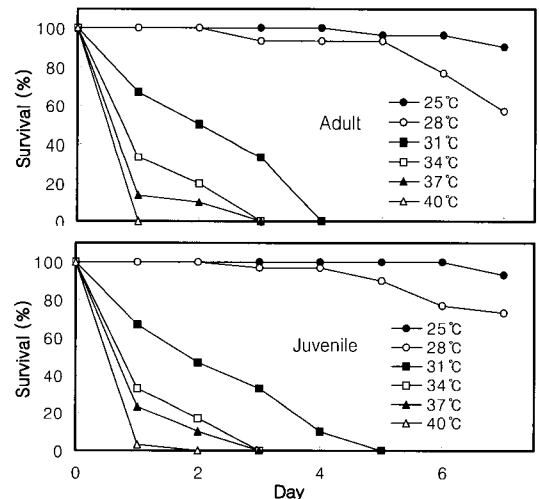


Fig. 3. Percentage survival of blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to summer temperature (25°C) when the temperature was increased from 25°C to 40°C.

31°C에서는 5일째 그리고 수온 40°C에서는 2일째 모두 폐사하여 성패와 치패에 대한 7일 동안의 상한 LT₅₀은 각각 27.72°C와 28.36°C으로(Table 1), 치패의 상한 치사수온이 성패에 비해 다소 높았으나 유의한 차이는 없었다(p>0.05).

수온증가에 따른 꼬막의 호흡률 변화는 동계에 순응되어 있는 경우(Fig. 4), 성패와 치패 모두 수온 증가에 따라 호흡률이 증가하였으나, 매우 불규칙한 경향을 나타내었다(Fig. 4). 동계 순응수온 10°C에서 호흡률은 성패 0.015 mgO₂/ind./h.이었고, 치패는 0.06 mgO₂/ind./h.으로 성패의 호흡률이 실험초기에 높게 나타났으나, 수온 상승에 따라 개체크기 간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 또한 수온 상승에 따라서는 수온 1°C/day 상승의 경우, 수온 21-24°C에서 최대의 산소소비율을 나타내었으며, 수온 25°C 이후에는 불규칙하게 감소하는 경향을 보였다. 그리고 수온 2°C와 3°C/day 상승에서는 수온 28-31°C에서 호흡률이 최대로 나타났으며, 수온 32°C 이후에는 현저히 감소하는 경향을 보였으며, 호흡률은 25°C 이상 고수온으로 상승함에 따라 개체크기와는 관계없이 나타났(Fig. 4). 반면, 하계에 순응되어 있는 경우에는 동계에 순응되어 있던 경우와는 달리 수온의 상승에 따라 호흡률의 변화가 크지 않았으며, 치패에 비해 성패에서 높게 나타났다. 또한 성패와 치패에서 모두 폐사직전 고수온에서 최대값을 나타내었다(Fig. 5).

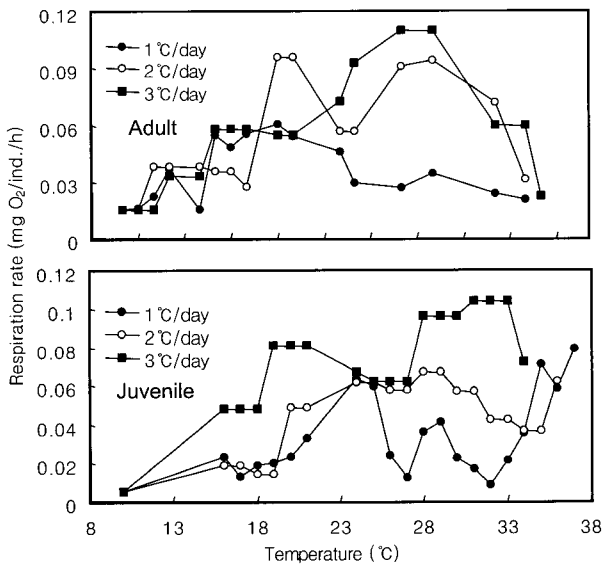


Fig. 4. Changes of respiration rate in blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to winter temperature (10°C) when temperature was increased by 1°C, 2°C and 3°C/day.

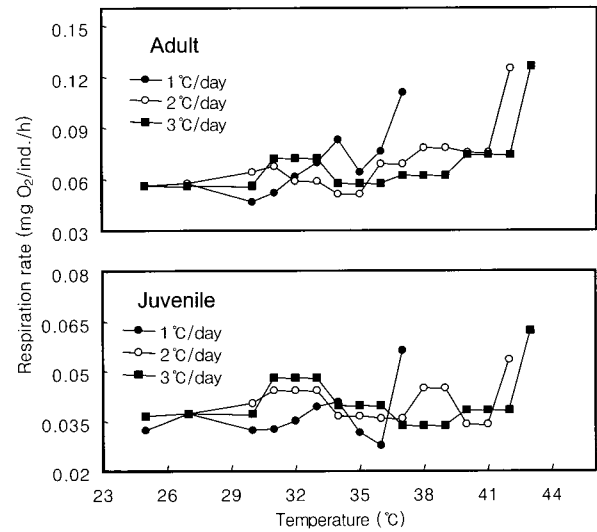


Fig. 5. Changes of respiration rate in blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to summer temperature (25°C) when temperature was increased by 1°C, 2°C and 3°C/day.

수온 상승에 따른 여수율의 변화를 보면 동계에 순응되어 있는 경우, 여수율은 산소소비율의 변화와 유사한 양상을 보였다. 성패는 수온 증가에 따라 여수율이 증가하였으나 상당히 불규칙하였다. 반면 치패에서 1°C/day의 경우에는, 수온이 38°C까지 증가하여도 뚜렷한 여수율의 변화를 나타내지 않았으며, 2-3°C/day 상승시킨 경우에는 수온 증가에 따라 여수율이 증가하는 일반적인 양상을 보인 후 감소하였다(Fig. 6). 하계에 순응되어 있는 경우에는, 성패와 치패 모두 수온 25°C 이상의 수온 상승에 따라 동계와는 달리 뚜렷한 여수율의 증가를 보이지 않았다. 성패의 경우, 실험초기에는 다소 증가하는 경향을 보였으나 다시 감소하였으며, 치패의 경우에는 실험초기부터 수온 증가와 관계없이 감소하여 생리적으로 불규칙한 경향을 보였다(Fig. 7).

동계수온에 순응되어있는 꼬막의 저수온에 대한 내성을 알아보기 위하여 25일 동안 실험수온 4°C, 2°C 와 0°C에서 생존율과 호흡률과 여수율의 변화를 조사한 것이다. 성패와 치패 모두 2°C 이상에서 생존율 50% 이상을 나타내었다. 반면 0°C에서 성패와 치패에서 각각 16.7%와 6.7%로 현저히 감소하여 25일 동안의 하한 LT₅₀은 성패 2.09°C, 치패 2.34°C였으며 (Table 1), 개체의 크기 간에 유의한 차이는 없었다(p>0.05) (Fig. 8). 한편 호흡률은 성패가 치패에 비해 현저하게 높게 나타나 개체크기 간에 유의한 차이를 보였으며(p<0.05), 수온이 감소됨에 따라 서서히 감소되는 경향을 보였다(Fig. 9).

Table 1. LT₅₀ of blood cockle, *Tegillarca granosa*, on upper and lower temperature

Acclimation Temp. (°C)	Individula size (shell length)	Exposed duration	LT ₅₀	95% confidence intervals
Winter (10°C)	35±3 mm	25 day	2.09°C	1.36-2.84°C
	15±3 mm	25 day	2.34°C	1.68-3.06°C
Summer (25°C)	35±3 mm	7 day	27.72°C	27.08-28.38°C
	15±3 mm	7 day	28.36°C	26.97-30.04°C

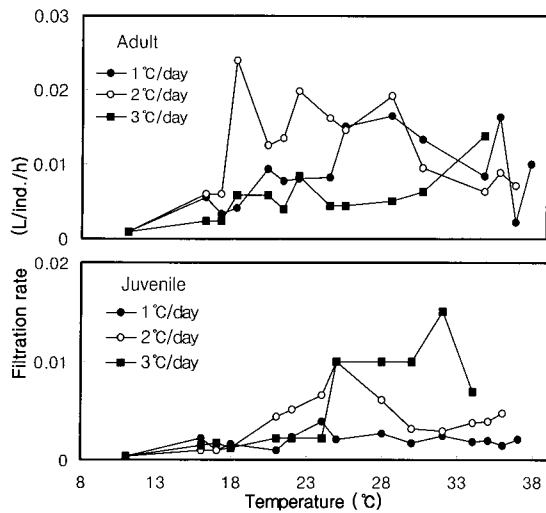


Fig. 6. Changes of filtration rate in blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to winter temperature (10°C) when temperature was increased by 1°C, 2°C and 3°C/day.

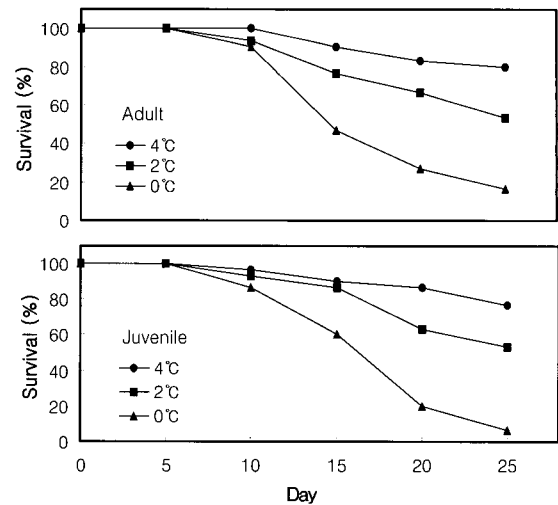


Fig. 8. Survival rate of blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to winter temperature when the temperature was decreased from 4°C to 0°C.

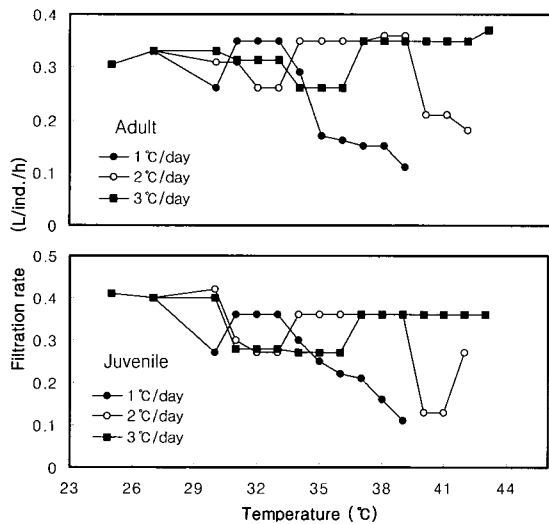


Fig. 7. Changes of filtration rate in blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to summer temperature (25°C) when temperature was increased by 1°C, 2°C and 3°C/day.

반면 여수울의 경우는 수온 6°C에서 현저히 감소되었고 6°C 이하부터는 성패와 치패에서 뚜렷한 변화 없이 매우 낮게 유지되는 경향을 보였다(Fig. 10).

고찰

연안에서 이루어지고 있는 한국의 양식어업은 대체로 기후 변화에 대한 문제를 안고 있다. 즉 여름의 고수온 및 겨울의 저수온으로 인해 연안의 표층수온은 일시적으로 여름에 28°C 이상, 겨울에 1°C 이하를 나타내고 있다. 특히 꼬막이 서식하고 있는 개펄의 석온은 여름철 한낮동안 30°C 이상을 유지하며, 밤이 되면 하강하는 수온 변화의 연속이 지속된다. 또한

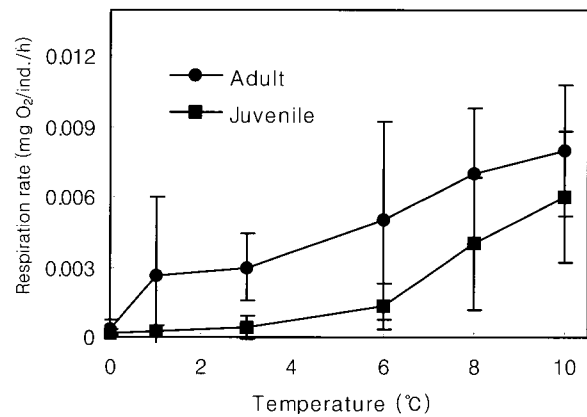


Fig. 9. Respiration rate changes of blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to winter temperature with decreasing temperature.

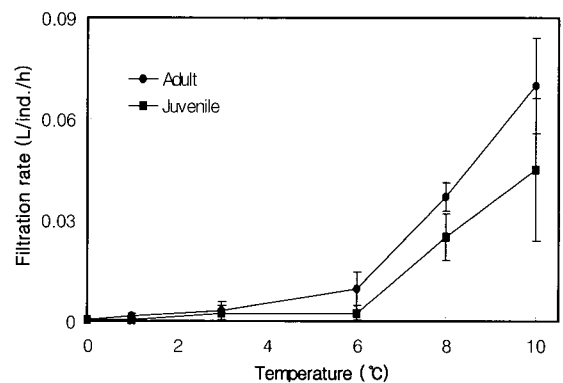


Fig. 10. Filtration rate changes of blood cockle, *Tegillarca granosa* acclimated to winter temperature with decreasing temperature.

겨울 동안의 석온은 주로 -1.2℃에서 유지되어 하계 및 동계에 대량 폐사가 일어나기도 한다. 그러므로 동□하계에 빈번히 발생하는 꼬막의 수온 내성에 대한 기초적 연구는 필요하다고 여겨진다.

고수온에 대한 내성은 green abalone *Haliotis fulgens*의 경우 48 h-LT₅₀이 31.5℃였으며(Leighton et al., 1981), *Haliotis diversicolor supertexta*는 염분에 따라 수온 내성이 다르게 나타났다(Chen and Chen, 1999). 특히 열대지역 조건대 서식하는 *Brachidonetes demissus*은 수온 30℃에서 오랫동안 서식이 가능하며, 40℃에서는 일시적으로 생존이 가능하다(Read and Cumming, 1967). 그리고 South Africa에 서식하는 복족류 *Bullia rhodostoma* (Reeve)은 인내할 수 있는 상한 수온이 31℃였으며(Ansell and McLachlan, 1980), 이는 성패에 비해 치패에서 내성이 다소 컸으며, 이러한 요인은 분포(Ansell and McLachlan, 1980), 개체의 활성 및 에너지대사 등과 관련 있는 것으로 여겨진다. 본 연구에서 동계(10℃)와 하계(25℃)에 순응된 꼬막을 1일 1-3℃씩 상승시켜 성패와 치패에 대한 인내할 수 있는 수온 범위를 조사한 결과, 동계에 순응한 개체들은 성패와 치패 모두 32℃부터 폐사가 일어나기 시작하였으며, 하계에 순응한 개체들은 35℃에서 폐사가 발생하기 시작하여 40℃에서 모두 폐사하여, 상한 LT₅₀은 성패 27.72℃, 치패 28.36℃으로 고수온에 순응된 개체들의 내성이 높았고, 상한 치사 수온은 위에 언급된 다른 패류에 비하여 다소 낮게 나타났다. 이는 지리적인 차이인 것으로 여겨지며, 유의한 차이는 없으나 치패가 성패에 비해 수온에 대한 내성이 다소 높은 것은 생리적으로 약해진 노령패에 기인된 것으로 여겨진다.

한편 진주담치, *Mytilus edulis*의 경우 상한 치사수온은 약 28℃였으나 실제로 20℃에서 섭식을 하지 않았으며, 대량 폐사를 관찰 하였다고 보고하였다(Read and Cumming, 1967). 이는 수온 상승에 따라 여러 가지 요인 가운데 고수온기 동안 높은 대사와 에너지 소모가 증가함에 따라 실제로 아치사 수온에서 폐사가 발생하는 것으로 추정하고 있다(Widdows, 1976). 본 실험의 꼬막의 경우도 상한 LT₅₀은 다소 높지만 실내에서 행해진 단기간의 결과이므로 자연서식지에서는 진주담치(Read and Cumming, 1967)의 경우와 마찬가지로 상한 치사수온보다 낮은 수온에서 실제로 폐사가 발생할 것으로 사료된다.

한편 동계수온에 순응된 개체들을 0℃까지 1일 1-3℃씩 하강시켜 성패는 50-70%, 치패는 60-75%의 생존율을 보여 치패가 다소 높은 생존율을 보였다. 또한 동계수온(10℃)에서 순응된 개체들을 25일간 0-4℃까지의 급격히 낮은 수온에 넣어 4℃에서는 80%가 생존하였고, 2℃에서는 50% 이상이 생존하였으나 0℃에서는 6.7-16.7%로 낮았다. 이상의 결과에서 꼬막은 32-35℃의 고수온과 4℃의 저수온에서도 생존이 가능하였고 Yin et al. (1994)은 꼬막의 저온 한계수온이 -1.1℃이고, 0-1℃에서 18일간 생존율이 100%이며, 24일 동안의 생존율은 94%, 0-6℃하에서 생존율이 높고 체중감량이 낮다고 하여 저온에 강한 종임을 알 수 있었다.

일반적으로 변온동물의 대사율은 기아, 활동도, 수온 및 염분 등의 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는데(Smith, 1965), Krogh (1914)가 산소소비율과 수온간의 관계를 보고한 바에 의하면, *Australorbis glabratus*는 수온 증가에 따라 37℃까지 산소소비율이 증가하였다(von Brand et al., 1948). 또한 진주담치의 호흡율은 20℃에서 최대를 보인 후 치사온도에서 감소하였으며(Read, 1962), *Littorina irrorina*는 35℃에서 최대를 나타내었다(Newcombe et al., 1936). 또한 바지락, *Ruditapes philippinarum* (Shin et al., 2000)의 경우, 수온 증가에 따라 산소소비율과 여수율은 수온 30-32℃에서 최대를 보인 후 불규칙한 변화를 나타내거나 감소하였는데 본 실험종인 꼬막의 경우에도 수온상승에 따라 호흡률 및 여수율이 증가 또는 감소하는 유사한 경향을 보여, 대체로 수온 상승에 따라 최고의 대사율을 보인 후 먹이섭취율의 감소, 에너지 소모 등의 대사 불균형과 항상성 파괴로 인해 폐사가 발생하는 것으로 추측된다.

연체동물의 저온에 대한 내성은 고염분일수록 증가할 수 있으며, 세포내 아미노산 농도의 증가에 의한 것이며, 노출 기간에 의존한다고 보고하였다(Aarset, 1982). 이러한 사실에 비추어볼 때, 꼬막은 저온에 대한 내성이 강한 종이며, 이는 생리적으로 수온 감소에 따라 대사율을 최대한 감소시킬 수 있는 조절자로서의 역할도 상당히 컸던 것으로 여겨지지만 이에 관한 메커니즘은 좀더 자세히 연구해야 될 과제일 것이다.

사 사

이 논문은 1999년-2001년까지 국립수산물과학원 남해수산연구소에서 남해안 지역특성 어패류 양식품종기술개발 연구의 일환으로 행해진 연구 RP-2005-AQ-011 중 세부과제인 꼬막양식기술개발의 결과 중 일부입니다.

참 고 문 헌

- Ansell, A.D. and A. McLachlan. 1980. Upper temperature tolerances of three molluscs from South African sandy beaches. *J. Expt. Mar. Biol. Ecol.* 48, 3, 243-251.
- Ansell, A.D., P.R. Barnett, A. Bodoy and H. Masse. 1980. Upper temperature tolerance of some European molluscs. II. *Donax vittatus*, *D. semistriatus* and *D. trunculus*. *Mar. Biol.*, 58, 41-46.
- Aarset, A.V. 1982. Freezing tolerance in intertidal invertebrates. *Com. Biochem. Physiol.*, Part A: Physiology, 73, 571-580.
- Brand, A.R. and D.J. Morris. 1984. The respiratory responses of the dog cockle *Glycymeris glycymeris* (L.) to declining environmental oxygen tension. *J. Expt. Mar. Biol. Ecol.*, 83, 89-106.
- Chen, J.C. and W.C. Chen. 1999. Temperature tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity

- and temperature levels. *Comp. Biochem. Physiol. Part A: Physiol.*, 124, 73-80.
- 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. Expl. Mer.*, 20, 197-203.
- Davenport, J. and T.M. Wong. 1986. Responses of the blood cockle *Anadara granosa* (L.) (Bivalvia: Arcidae) to salinity, hypoxia and aerial exposure. *Aquaculture*, 56, 151-162.
- Finney, D.J. 1971. *Probit Analysis*, 3rd ed., Cambridge University Press, London, pp. 333.
- Jansson, B.O. 1967. Diurnal and annual variation of temperature and salinity of interstitial water in sandy beaches. *Ophelia*, 4, 173-201.
- Johnson, R.G. 1965. Temperature variation in the infaunal environment of a sand flat. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 114-120.
- Krogh, A. 1914. The quantitative relation between temperature and standard metabolism in animals. *Intern. Z. Physik. Chem. Biol.*, 1, 491-508.
- Leighton, D.L., M.J. Byhower, J.C. Kelly, G.N. Hooker and D.E. Morse. 1981. Acceleration of development and growth in young green abalone (*Haliotis fulgens*) using warmed effluent seawater. *J. World Maricult. Soc.*, 12, 170-180.
- Manush, S.M., A.K. Pal, N. Chatterjee, T. Das and S.C. Mukherjee. 2004. Thermal tolerance and oxygen consumption of *Macrobrachium resenbergi* acclimated to three temperatures. *J. Therm. Biol.*, 29, 15-19.
- Menasveta, P. 1981. Lethal temperature of marine fishes of the Gulf of Thailand. *J. Fish. Biol.*, 18, 603-607.
- Morritt, D. and A. Ingólfsson. 2000. Upper thermal tolerances of the beachflea *Orchestia gammarellus* (Pallas) (Crustacea: Amphipoda: Talitridae) associated with hot springs in Iceland. *J. Expt. Mar. Biol. Ecol.*, 255, 215-227.
- Newcombe, C.L., C.E. Miller and D.W. Chappel. 1936. Preliminary report on respiratory studies in *Littorina irrorata*, *Nature*, 137, 33.
- Read, K.R.H. 1962. Respiration of the bivalve molluscs *Mytilus edulis* L. and *Brachidontes demissus plicatulus* Lam. as a function of size and temperature. *Comp. Biochem. Physiol.*, 7, 89-101.
- Read, K.R.H. and K.B. Cumming. 1967. Thermal tolerance of the bivalve molluscs *Modiolus modiolus* L., *Mytilus edulis* L. and *Brachidontes demissus dillwyn*. *Com. Biochem. Physiol.*, 22, 149-155.
- Procarione, L.S. and T.L. King. 1993. Upper and lower temperature tolerance limits for juvenile red drum in Texas and South Carolina. *J. Aqua. Ani. Health*, 5, 208-212.
- Shin, Y.K., T.S. Moon and C.H. Wi. 2002. Effects of the dissolved oxygen consumption on the physiology of *Tegillarca granosa* (Linnaeus). *J. Kor. Fish. Soc.*, 35, 485-489.
- Shin, Y.K., Y. Kim, E.Y. Chung and S.B. Hur. 2000. Temperature and salinity tolerance of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 34, 190-193.
- Smith, H. 1965. Some experiments on the oxygen consumption of goldfish (*Carassius auratus*) in relation to swimming speed. *Can. J. Zool.*, 43, 623-633.
- Urban, H.I. 1994. Upper temperature tolerance of ten bivalve species off Peru and Chile related to El Niño. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 107, 139-145.
- von Brand, T. Nolan and E.R. mann. 1948. Observations on the respiration of *Australorbis glabratus* and some other aquatic snails. *Biol. Bull.*, 95, 199-213.
- Widdows, J. 1976. Physiological adaptation of *Mytilus edulis* to cyclic temperatures. *J. Comp. Physiol.*, 105, 115-128.
- Wilson, J.G. and B. Elkaim. 1991. Tolerances to high temperature of infaunal bivalves and the effect of geographical distribution, position on the shore and season. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 71, 169-177.
- Yin, B., Y. Teng and Y. Jiang. 1994. Studies on transportation and handling of the live *Arca granosa*. *Shandong Fish. Qilu Yuye*, 11, 6-8.

2005년 6월 17일 접수

2005년 8월 23일 수리