

홍합, *Mytilus coruscus* 치패의 생존과 대사에 미치는 수온 및 염분의 영향

신윤경¹ · 위종환*

¹국립수산과학원 남해수산연구소, 서해수산연구소

Effects of Temperature and Salinity on Survival and Metabolism of the hard shelled mussel *Mytilus coruscus*, Bivalve: Mytilidae

Yun-Kyung Shin¹ and Chong-Hwan Wi*

¹South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yeosu 556-820, Korea
West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon 400-420, Korea

Effects of temperature and salinity were investigated on physiological responses of *Mytilus coruscus* seedlings. Temperature tolerance and survival of *M. coruscus*, were examined at temperature 20, 25, 28, 30 and 35°C for 9 days. Survival of *M. coruscus* was 90% at temperature 20°C and 25°C. LT₅₀ (lethal temperature) of 9 days was at 27.1°C. The respiration and filtration rates of *M. coruscus* were increased with temperature up to 25°C, and decreased with temperature ranged from 25°C to 30°C. LS₅₀ (lethal salinity, psu) of 9 days at 10°C, 15°C and 25°C were 17.01 psu, 19.95 psu and 21.79 psu respectively. Salinity affected survival of *M. coruscus* with higher temperature. However the respiration and filtration rates were reduced with lower salinity.

Keywords: *Mytilus coruscus*, Temperature, Salinity, Physiological responses

서 론

홍합, *Mytilus coruscus*은 방언으로 참담치라고도 불리며, 조간대에서 수심 20 m의 암반지역에 서식한다(최 등, 1999). 홍합의 생산량은 2001년 기준으로 전국 패류 생산량의 3.1%를 차지하였으나 (해양수산부 통계연보, 2003), 최근 남획에 의한 자원의 감소로 인하여 해녀의 잡수에 의한 소량 채취만 가능하며, 지속적인 생산은 기대하기 어려운 실정이다.

자연상태에서 홍합류의 생산은 유전적인 내적 영향과 외부환경으로부터 발생하는 외적 영향간의 복잡한 상호작용에 의해 조절되며, 이외에도 생리적 보상기작이 생산을 도울 수 있도록 작용한다. 먹이이용, 용존산소의 감소, 수온 및 염분 등의 일시적이고 불안정한 외적 환경요인은 일반적으로 패류의 생화학 및 생리적 변화를 유도하며, 이런 현상이 지속될수록 대사유지를 위한 에너지 불균형에 의해 생산력이 감소된다.

패류에 영향을 미치는 외부 환경 요인 중 온도는 대사율, 활성도 및 에너지 균형 등에 영향을 미치는 직접적인 요인이며 (Newell and Kofoed, 1977), 용존산소의 감소는 대사율, 먹이이용 및 생화학적 요인에 영향을 미친다(Widdows and Wang, 1991).

염분의 변화는 세포내 수분과 염류 출입간의 일정한 균형상태를 파괴시키며, 염분이 급격하게 변하면 세포용적과 관련된 대사율의 감소를 줄이기 위하여 즉시 폐각을 닫고 대사를 감소시킨다 (Lange, 1972). 특히 염분에 의한 삼투조절 능력은 생태적 내성에 영향을 미치며 해양생물의 분포를 결정하는 중요한 요인 중의 하나이다(Kinne, 1966; Ripplingale and Hodgkin, 1977).

일반적으로 홍합류는 전세계적으로 연안에 널리 분포하며, 넓은 범위의 환경조건에 내성을 보이므로 홍합류와 환경의 내적 상호관계의 생태적인 연속성(Elizabeth, 1992), 식용으로서 중요성 및 양식(Mason, 1976), 그리고 환경오염의 생물학적 지표로서 이용 등의 측면에서 광범위하게 주목되고 연구되어 왔다. 담치류와 외부환경 요인과의 관계에 관한 연구는 수온(Kennedy, 1976; Wallis, 1975; Loomis et al., 1995; Chapple et al., 1997, 1998), 염분(Bohle, 1972; Bailey et al., 1996), 먹이이용(Bayne and Widdows, 1978; Widdows et al., 1979; Bayne et al., 1987) 및 용존산소(Boulter and Wilson, 1998) 등 다수가 보고되고 있으며, 이는 주로 *M. edulis*에 집중되어 있다.

다양한 환경변화에 직면한 생물체의 변화는 대체로 일시적이거나, 외부변화가 그 생물의 수용할 수 있는 한계성을 초과했을 때, 환경변화의 기간이 길어질 때 일어나는 현상이며, 수온이 불안정한 상태가 지속되어 스트레스를 받은 상태, 또는 환경변화

*Corresponding author: ykshin@nfrdi.re.kr

에 대한 내성이 감소된 상태를 의미한다(Bayne, 1985; Widdows and Donkin, 1989). 생물에 미치는 스트레스가 커지면 생식이 감소되고 구조적 통합을 보존하려는 보상 반응이 일어나는데 결국 수용할 수 있는 항상성의 범위를 초과하는 스트레스는 죽음을 초래한다.

따라서 본 연구는 인공종묘 생산된 홍합, *M. coruscus*의 치패를 이용하여 수온과 염분의 변화에 따른 생리적 반응을 알아봄으로써, 양식생물로서 홍합의 중요성과 양식의 기초자료로 활용할 목적으로 수행하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용된 홍합의 치패는 남해수산종묘시험장에서 종묘 생산된 것으로 501 수조에 실내사육하면서 실험에 사용하였다. 이때 먹이는 *Tetracelmis* sp.와 *Isochrysis galbana*를 공급하였고, 치패의 크기는 각고 7 mm전후였으며, 명암은 12L:12D로 조절하였다.

실험방법

수온내성 실험을 위한 수온조건은 20°C, 25°C, 28°C, 30°C 및 33±1°C였다. 실험방법은 20°C에서 일주일동안 순응시킨 개체를 매일 1°C씩 상승시켜 각 수온에서 3일간 순응시킨 후 실험에 사용하였으며, 지수식으로 행하였다. 염분은 33.5, 26.8, 20.0, 13.4, 6.7 및 0 psu로 설정하여 각 염분에 실험개체 30마리씩 넣고 환수식 방법으로 행하였으며, 매일 사망 개체를 점검하여 폐각이 열려 있으면 죽은 것으로 간주하여 사망률로 환산하였다. 수온은 자동온도조절기를 사용하였으며, 염분은 자동염분계(Atago PR-100SA)를 사용하였다.

실험해수는 수질악화를 고려하여 12시간 간격으로 교환하였으며, 사망률, 산소소비율 및 여수율 등을 측정하였다. 각 실험에서 측정된 산소소비율은 산소검량기(YSI 5000)를 사용하여 실험전후의 용존산소 값의 차이로 계산하였으며, 여수율은 Cole and Hepper(1954)의 방법을 이용하였다. 그리고 각 실험에 따른 반수치사농도는 probit법에 의해 분석(Finney, 1971)하였다.

결 과

수온

홍합의 고 수온에 대한 내성을 알아보기 위하여 수온, 20°C, 25°C, 28°C, 30°C 및 33°C에서 9일 동안 사육시키면서 생존율을 조사한 결과(Fig. 1), 30°C이상에서는 7일째 모두 사망하였으며, 28°C에서는 25%, 그리고 25°C이하에서는 90%이상의 생존율을 나타내었다.

Table 1은 각 실험수온에 9일 동안 노출시킨 홍합의 생존율과 반수치사 수온을 probit 분석에 의해 나타낸 것으로 홍합의

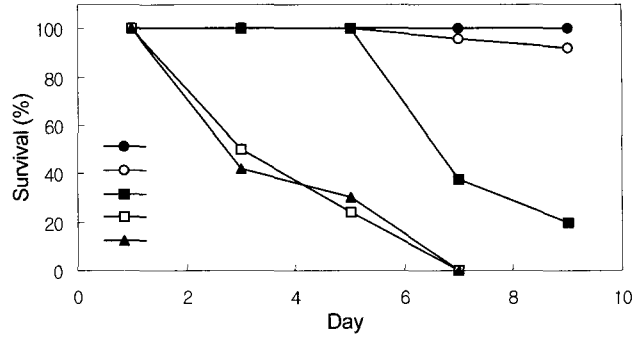


Fig. 1. Survival rate of *M. coruscus* with different temperature increase.

Table 1. LT₅₀ (Lethal temperature) values and their 95% confidence intervals of *M. coruscus* with temperature increase

Acclimation temp. (°C)	Exposed duration (day)	Survival (%)	LT ₅₀ (°C)	95% confidence intervals (°C)
20		100		
25		95		
28	9	25	27.09	26.62~27.52
30		0		
33		0		

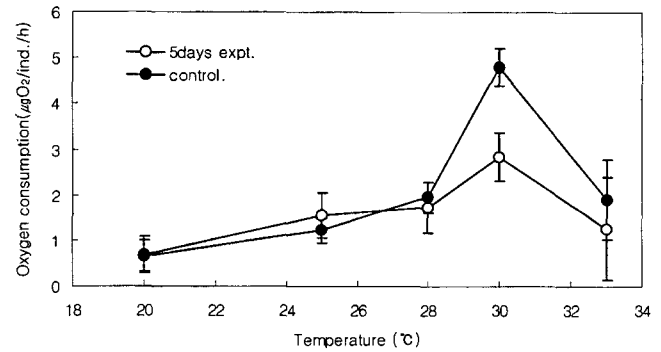


Fig. 2. Changes in respiration rate of *M. coruscus* with a raise in temperature.

반수치사 수온은 27.09°C였으며, 95% 신뢰한계는 26.62~27.52°C의 범위였다.

Fig. 2와 3은 홍합의 수온변화에 따른 산소소비율과 여수율을 나타낸 것이다. 홍합의 산소소비율은 각 수온에 순치시킨 후 측정된 실험초기에는 수온의 상승에 따라 증가하여 30°C에서 가장 높았으며, 33°C에서 감소하는 경향을 나타내었다. 반면, 각 실험수온에 노출시킨 지 5일째 측정된 산소소비율은 대조구에 비해 감소하였으며, 수온 28°C이상부터는 감소현상이 뚜렷하였다. 한편 여수율은 대조구의 경우 수온 증가에 따라 증가하였으나, 수온 30°C이상부터는 현저히 감소하였다. 반면 5일째 실험구의 경우에는 수온 25°C이상부터 꾸준히 감소하는 경향을 나타내어 수온에 대한 민감한 반응을 보였다.

염분

각 수온에서 염분변화에 따라 9일 동안 노출시킨 홍합의 생

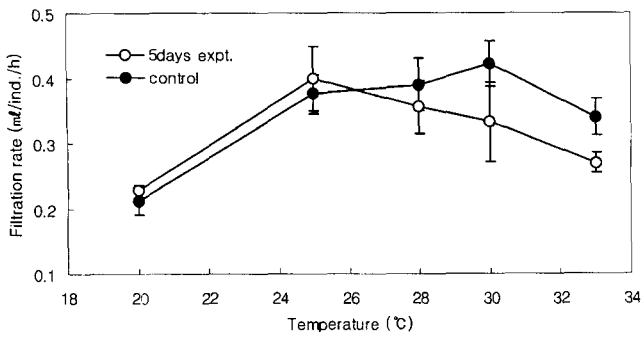


Fig. 3. Changes in filtration rate of *M. coruscus* with a raise in temperature.

Table 2. LS_{50} (Lethal concentration) values and their 95% confidence intervals of salinity in *M. coruscus* with temperature increase

Acclimation temp. (°C)	Exposed duration (day)	LS_{50} (psu)	95% confidence intervals (psu)
10	9	17.01	15.8418.14
15		19.95	18.6721.31
25		21.79	18.1227.37

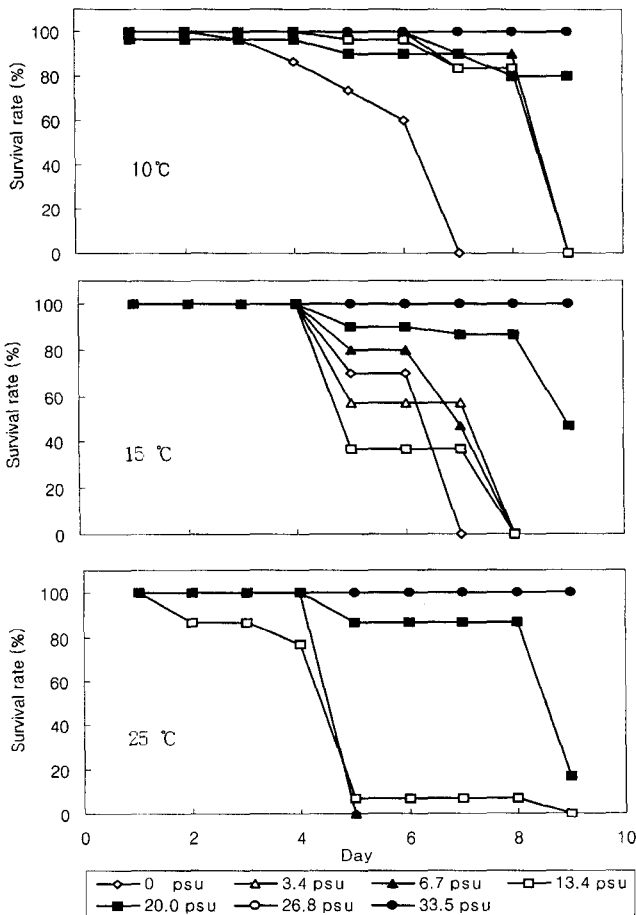


Fig. 4. Survival rate of *M. coruscus* with different salinity values at 10°C, 15°C and 25°C during 9 days.

존율은 수온 10°C의 경우 7일째 염분 6.7 psu이하에서 모두 사망하였으며, 수온 15°C에서는 8일째 13.4 psu이하에서 모두 사

망하였다. 그리고 수온 25°C에서는 5일째 6.5 psu이하에서 실험개체는 모두 사망하여 수온의 상승에 따라 염분의 영향이 크게 나타났다.

Table 2는 9일 동안 각 염분에 노출시킨 홍합의 염분에 대한 각 수온별 반수치사 농도를 나타낸 것이다. 수온 10°C, 15°C 및 25°C에서 반수치사 염분은 각각 17.01 psu, 19.95 psu 및 21.79 psu로 수온이 높을수록 염분의 영향이 큰 것으로 나타났다.

각 실험수온별 염분변화에 따른 산소소비율 및 여수율의 반응은 Fig. 5와 6에 나타내었다. 산소소비율은 수온 10°C의 경우 염분 26.8 psu이상에서는 노출기간 동안 변화를 나타내지 않은 반면 수온 15°C와 25°C에서는 염분 26.8 psu에서 대조구에 비해 현저한 감소를 나타내었다. 그리고 모든 수온에서 20.0 psu이하부터는 염분 감소에 따라 대조구에 비해 45.8~91.6%의 범위로 산소소비율이 현저히 감소하는 경향을 나타내었다.

한편 홍합의 염분변화에 따른 여수율은 모든 실험 수온에서 노출 2일째 염분 20.0 psu이하에서 현저히 감소하여 노출 7일째까지 감소된 상태로 유지되었으며, 산소소비율과 마찬가지로 염분감소에 따라 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 6).

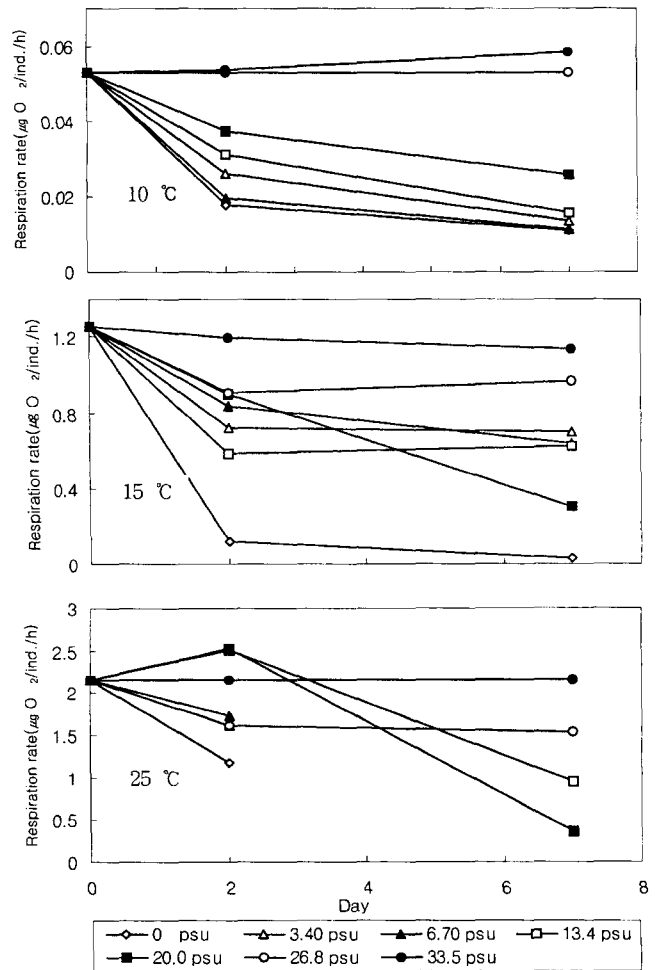


Fig. 5. Daily changes in respiration rate of *M. coruscus* with different salinity values at 10°C, 15°C and 25°C.

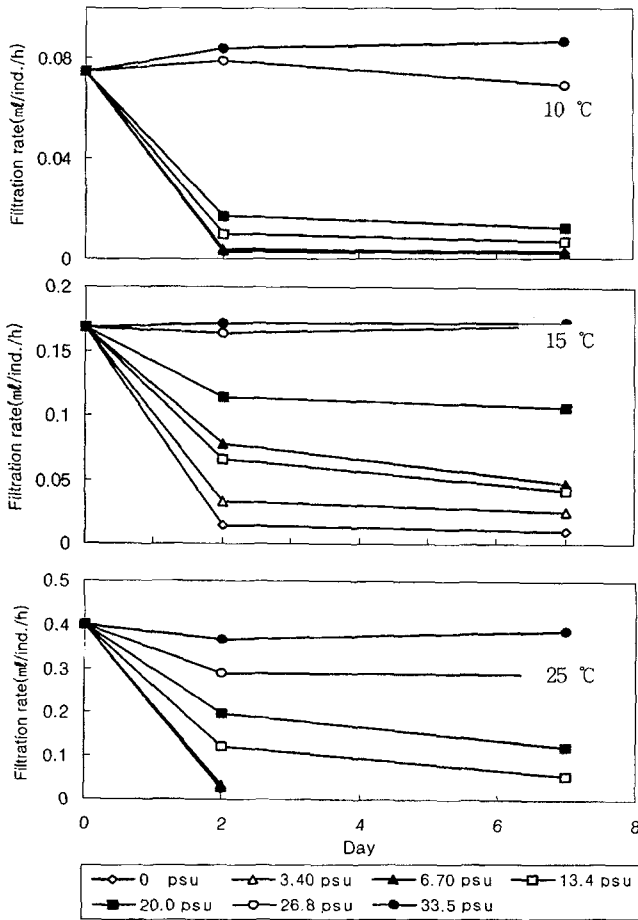


Fig. 6. Daily changes in filtration rates of *M. coruscus* with different salinity values at 10°C, 15°C and 25°C.

고찰

일반적으로 환경변화에 따른 패류의 반응은 항상성을 유지하기 위하여 행동 및 대사를 감소시키므로, 외부변화에 대한 생물체의 반응한계능도를 설정하기 위하여 생존율, 성장, 대사, 조직학적 반응효소체계 및 혈액성상의 변화 등 다양한 측면에서 연구되어지고 있다. 따라서 본 연구는 외부의 환경변화에 따라 여러 가지 형태로 나타나는 생물의 반응 중에서 생존과 대사의 변화에 중점을 두어 수행하였다.

홍합 치패의 상한 반수치사수온은 27.09°C였으며, 수온 25°C에서 생존율이 95%인 반면 28°C에서는 25%로 급격히 감소하여 수온 25°C 이상부터 온도에 대한 민감한 반응을 나타내었다.

몇몇 패류에 대한 상한치사수온은 전복류인 pinto abalone, *Haliotis kamtschatkana*(Paul and Paul, 1998)의 경우, 수온 26.5°C에서 부착률이 떨어지고 노출 6일째 폐사가 일어나기 시작하며 10일째 모두 사망하였다고 보고하였다. 또한 홍합류인 *M. edulis*는 28.2~28.5°C(Chapple et al., 1998; Wallis, 1975)였으며, 18°C 이상에서 순응된 바지락은 30.1~33.7°C(Shin et al., 2000)으로 본 실험종인 홍합의 반수치사수온은 27.09°C보다는 높았다. 이에

대하여 바지락의 경우는 고 수온에 순응되어 각 실험수온에 노출된 기간이 짧았기 때문에 상한 치사수온이 높았으며, 그리고 *M. edulis*의 경우도 고 수온에 순응시켜 실내실험에 사용했다는 점에서 볼 때, 이러한 순응수온에 따른 온도내성한계는 생물이 이전에 경험했던 비유전적 적응의 범위와 관련된다는 보고(Otto, 1973)와 일치하는 것으로 생각된다. 이외에도 본 실험종인 홍합이 인공종묘생산된 작고 7 mm전후의 치패인 점을 감안하면 다른 종에 비해 수온에 대한 내성은 매우 약할 것으로 추정된다.

갑작스런 염분변화에 따른 패류의 먹이섭취 및 대사와 관련된 생리적 반응은 노출 초기에는 감소되지만 2~3일 지나면서 점차 세포 내 삼투요인을 변화시켜 조절하며, 정상적인 기능을 되찾아 회복한다. 그러나 단기간의 염분변화에 대하여 에너지 균형을 조절할 수 있는 생리적 보상조정에 영향을 미칠 수 있는 능력에는 한계가 있는 것으로 보인다(Widdows, 1985). 각 실험수온에서 염분 0~33.5 psu까지 9일간 노출시킨 홍합의 반수치사염분은 17.01~21.79 psu였고, 수온 증가에 따라 20.0 psu 이하에서 노출시간이 지속될수록 현저히 생존율은 감소하였으며, 26.8 psu 이상에서는 대조구와 비교해 뚜렷한 증감의 경향을 나타내지 않았다. 또한 산소소비율 및 여수율은 모든 염분에서 노출 초기 2일째 다소 감소되었으나, 26.8 psu 이상에서는 더 이상 감소하지 않고 일정한 상태를 유지하였고 20.0 psu 이하에서는 계속 감소하여 대사율을 낮추었으며, 13.4 psu 이하에서는 현저히 감소하는 경향을 보였다.

이러한 결과는 *M. edulis*(Bailey, 1996)가 0 psu(증류수)에서 일주일간 생존하며 사망률이 매우 낮은 보고와는 다른 염분내성의 차이를 나타내었다. 반면 20~30 psu의 염분 범위에서 *M. edulis*(Widdows, 1985)의 산소소비율, 여수율 및 에너지수지가 일정하게 유지된 반면 20.0 psu 이하의 염분에서는 모든 대사가 감소하였다는 Widdows(1985)의 보고와는 유사한 결과를 나타내어, 같은 종일지라도 서식지, 생물의 생리적 상태 및 환경변화에 대한 보상능력 등에 따라 내성의 차이가 있을 것으로 여겨진다.

생물체의 대사지표로서 이용되는 산소소비는 생리적 스트레스를 겪고 있는 생물에서 여러 가지 형태로 변화한다(Sastry and Vargo, 1977). 산소소비율은 대사율을 측정하는 하나의 방법이며, 다른 생리적 기능에 대한 에너지소비율의 변화와 관련하여 산소소비율의 변화를 예측할 수 있다. 만약 생리적 스트레스를 겪고 있는 동안 생물의 대사율이 증가하였다면 그 스트레스에 대처하기 위하여 에너지를 소비하였다고 가정할 수 있으며, 이와는 달리 생리적 스트레스를 겪고 있는 동안 대사율의 변화가 없었다면 그 생물은 그 스트레스에 대처하였다고 가정할 수 있다(Roff, 1992). 또한 다양한 환경변화의 스트레스에 노출된 생물에서 산소소비율이 증가하거나 감소하는 것으로 보고하였다(Almada-Villela, 1984). 온도와 염분은 조건대에 서식하는 생물 및 양식생물의 대사에 영향을 미치는 주요한 요인으로, 홍합의

산소소비율과 여수율은 수온증가에 따라 증가하였으나 수온 25~28°C 이상에서 현저히 감소하는 경향을 보여 수온에 대한 스트레스를 받는 것으로 나타났다. 특히 수온 28°C 이상에서 노출된 지 5일째 산소소비율의 증가가 현저한 이후 33°C에서 다시 감소하였으며, 여수율은 25°C 이상에서 감소한 점으로 보아 Almada-Villela(1984)의 보고와 같이 수온 25~28°C 이상에서는 수온에 대한 스트레스에 의해 생리적 조정이 불가능할 것으로 여겨진다. 또한 염분의 경우도 모든 수온의 20 psu 이하에서는 대조구에 비해 호흡률이 45.8~91.3%의 범위로 현저히 감소하여 생리적 저해 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 그러나 염분 26.8 psu 이상에서는 대조구에 비해 산소소비율은 다소 낮았으나, 실험기간동안 일정하게 유지된 점으로 보아 이는 저 염분에서의 생존을 위한 생리적 전략인 것으로 추정되므로, 홍합 치패의 생존 및 대사 활성을 위한 수온과 염분의 범위는 수온은 25°C 이하, 염분 26.8 psu 이상일 것으로 여겨진다.

요 약

인공종묘로 생산된 홍합, *Mytilus coruscus* 치패를 이용하여 수온과 염분의 변화에 따른 생리적 반응을 알아보았다. 홍합의 9일 동안의 반수치사 수온은 27.1°C였으며, 산소소비율과 여수율은 수온상승에 따라 증가한 후 수온 25~30°C 이상에서 감소하였다.

수온 10°C, 15°C 및 25°C에서 각 수온별 9일 동안의 반수치사 염분은 각각 17.01 psu, 19.95 psu 및 21.79 psu였으며, 수온이 높을수록 염분의 영향이 큰 것으로 나타났다.

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., 1985. Responses to environmental stress: tolerance, resistance and adaptation. In: J.S. Gray and M.E. Christiansen, (Editors), Proc. 18th Eur. Mar. Biol. Symp., Oslo, Norway, 1983. John Wiley, New York, pp. 331-349.

Bayne, B. L. and J. Widdows, 1978. The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* L. Oecologia, **37**: 137-162.

Bayne, B. L., A. J. S. Hawkins and E. Navarro, 1987. Feeding and digestion by the common mussels *Mytilus edulis* L. (Bivalvia : Mollusca) in mixtures of silt and algal cells at low concentrations. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **111**: 1-22.

Bohle, B., 1972. Effects of adaptation to reduced salinity on filtration activity and growth of mussels (*Mytilus edulis* L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **10**(1): 41-47.

Bailey, J. J. Parsons, C. A. Couturier, 1996. Salinity tolerance in the blue mussel, *Mytilus edulis*. Bull. Aquacult. Assoc. Can. **96**(3): 74-76.

Boulter, M. P. Wilson, 1998. The use of physiological assessment

techniques for determining the relative activity rates of bivalve shellfish during simulated depuration. J. Shellfish, Res. **17**(5): 1627-1631.

Chapple, J. P., G. R. Smerdon, A. J. S. Hawkins, 1997. Stress-70 protein induction in *Mytilus edulis*: Tissue-specific responses to elevated temperature reflect relative vulnerability and physiological function. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **217**(2): 225-235.

Chapple, J. P., G. R. Smerdon, R. J. Berry, A. J. S. Hawkins, 1998. Seasonal changes in stress-70 protein levels reflect thermal tolerance in the marine bivalve *Mytilus edulis* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **229**(1): 53-68.

Cole, H. A. and B. T. Hepper, 1954. The use of neutral red solution for the comparative study of filtration rate of *Lamelli branchs*. J. Cons. Int. Explor. Mer., **20**: 197-203.

Elizabeth, G., 1992. The mussel *Mytilus*: Ecology, physiology, genetics and culture: Developments aquaculture and fisheries science, 25: Elsevier publisher, pp. 199-212.

Finney, D. J., 1971. Probit Analysis, 3rd ed. London: Cambridge University Press.

Hicks, D. W., 2000. The environmental physiology of the non-indigenous marine mussel, *Perna perna* (Linnaeus 1758), in the western Gulf of Mexico. Diss. Abst. Int. Part B: Sci. and Eng. **60**(10): 4982.

Kennedy, V. S., 1976. Desiccation, higher temperature and upper intertidal limits of three species of sea mussels (Mollusca: Bivalvia) in New Zealand. Mar. Biol., **35**: 127-137.

Kinne, O., 1966. Physiological aspects of animal life in estuaries with special reference to salinity. Neth. J. Sea. Res. **3**: 222-244.

Lange, R., 1972. Some recent work on osmotic, ionic and volume regulation in marine animals. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev., **10**: 97-136.

Loomis, S. H., A. D. Ansell, R. N. Gibson, M. Barnes, 1995. Freezing tolerance of marine invertebrates. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. **33**: 337-350.

Mason, J., 1976. Cultivation. In: Bayne, B. L. (Editor), Marine mussels: their ecology and physiology. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 385-410.

Newell, R. C. and L. H. Kofoed, 1977. Adjustment of the components of energy balance in the gastropod *Crepidula fornicata* in response to thermal acclimation. Mar. Biol. **44**: 275-286.

Otto, R. G., 1973. Temperature tolerance of the mosquito fish, *Gambusia affinis* (Baird and Girard). J. Fish Biol., **5**: 575-585.

Paul, A. J. and J. M. Paul, 1998. Respiration rate and thermal tolerances of pinto abalone *Haliotis kamtschatkana*, J. Shellfish Res. **17**(3): 743-745.

Rippingale, R. J. and E. P. Hodgkin, 1977. Food availability and salinity tolerance in a brackish water copepod. Aust. J. Mar. Freshwater Res., **28**: 1-7.

Roff, D. A., 1992. The evolution of life histories; theory and analysis. Chapman & Hall, New York.

Sastry, A. N. and S. L. Vargo, 1977. Variations in the physiological response of crustacean larvae to temperature. In: Vernberg, F. J., Calabrese, A., Thurberg, F. P., Vernberg, W. B. (Eds.), Physiological response of marine biota to pollutants. Aca-

- demic Press, New York, pp. 410–424.
- Shin, Y. K., Y. Kim, E. Y. Chung and S. B. Hur, 2000. Temperature and salinity tolerance of the manila clam, *Ruditapes philippinarum*. J. Korean Fish. Soc. **33**(3): 213–218.
- Wallis, R. L., 1975. Thermal tolerance of *Mytilus edulis* of Eastern Australia. Mar. Biol., **30**(3): 183–191.
- Widdows, J., 1985. The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of *Mytilus edulis*. In: Gray, J. S. Christiansen, M. E. (Eds.). Marine Biology of Polar Regions and effect of stress on marine organism. Wiley-Interscience, pp. 555–566.
- Widdows, J. and P. Donkin, 1989. The application of combined tissue residue chemistry and physiological measurements of mussels (*Mytilus edulis*) for the assesment of environmental pollution. Hydrobiologia, **188/189**: 455–461.
- Widdows, J., P. Fieth and C. M. Worrall, 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. Mar. Biol., **50**: 195–207.
- Widdows, J. and W. X. Wang, 1991. Physiological responses of mussel larvae *Mytilus edulis* to environmental hypoxia and anoxia. mar. Ecol. Prog. Ser., **70**: 223–236.
- Yu, N. and D. A. Culver, 1999. In situ survival and growth of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) under chronic hypoxia in a stratified lake. Hydrobiologia. **392**: 205–215.
- 최병래, 박미선, 전임기, 박승렬, 김희태, 1999. 한국연근해 유용연체동물도감. 국립수산진흥원, 100 pp.

원고접수 : 2003년 8월 29일

수정본 수리 : 2003년 11월 1일

책임편집위원 : 최광식