Brief Communication

Korean Journal of Malacology, Vol. 15 (2) : 127 - 131. December, 1999

바지락의 산소소비율 및 여수율의 생리적 리듬

정의영, 신윤경[1], 허성범[2]

군산대학교 해양생명개발학부, [1]국립수산진흥원 남해수산연구소, [2]부경대학교 양식학과

Physiological rhythms in the Oxygen Consumption and Filtration Rates of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*

Ee-Yung Chung, Yun-Kyong Shin[1] and Sung Bum Hur[2]

School of Marine Life Sciences, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea, [1]South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yosu 556-820, Korea, [2]Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

ABSTRACT

Changes in oxygen consumption and filtration rates were investigated to understand physiological rhythms for 24 hours of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. Physiological rhythms in the oxygen consumption and filtration rates at 15℃ and 25℃ were showed diurnal tidal rhythms, appearing two peaks for 24 hours: maximum at night-high tide and minimum at day-low tide. No rapid variations in oxygen consumption and filtration rates for 24 hours appeared at two different water temperatures.

Key words: *Ruditapes philippinarum*, Physiological rhythm, Oxygen consumption, Filtration rate

서 론

모든 생물은 생물체 내에 시간에 따라 생리적 기능을 조절하는 생리기구인 생물시계(biological clock)를 가지고 있다. 이것에 의해서 가장 일반적으로 나타나는 현상은 일주리듬(circadian rhythm)인데 이는 24시간 간격으로 여러 기능이 되풀이되는 능력이다(Cho *et al.*, 1983). 많은 조간대 생물들은 생리행동이 조석간만의 차에 맞추어 각각 리듬을 나타내고 있는데, 이들 리듬은 환경적응에 인한 것으로 알려져 있다(Palmer, 1974; Enright, 1975). 자연상태에서 조간대 동물들은 일주기(24 시간) 뿐만 아니라 조석주기 등에 노출되어 있으며, 이러한 환경에 적응되어 복잡한 활동주기를 나타낸다(DeCoursey, 1983).

육상생물과 비교해 보았을 때, biological timing system에 관한 정보는 해양생물의 경우에는 극히 한정되어 있는데, 대부분이 운동성과 관련되어 조사된 것이다(Honegger, 1973). 생물학적 리듬에 관한 연구는 일부 해양 갑각류의 유영활동이 보고되어 있는데(Enright, 1963, 1972), 실험실내 실험결과에 의하면, 이들의 활동성은명암주기에 의해서가 아니라 조석주기에 의해 영향을 받는 조석리듬(circatidal rhythm)의 주기와 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 녹색와충류(*Convoluta roscoffensis*)가 조석리듬에 영향을 받는 것이 처음으로 인식되어 보고(Bohn, 1903; Gamble and Keelbe, 1903)된 이래, 최근 생물체의 생리대사 및 성장이 조석리듬과 밀접하게 관련되어 있는 것으로 밝혀지고 있다.

Evans(1972)는 새조개(*Clinicardium nutalli*)를 소조기에 하루에 2번씩 수조에 잠입시키면 새조개의 패각에 하루에 2개의 띠(band)가 나타나는 것을 관찰하였다. 그러나 새조개들을 대조기의 간조 때에 물 속에 잠입시키면 하루에 한 개의 뚜렷한 band가 생기는 것이 확인됨으로서 연체동물의 패각 내 band형성은 월령리듬(lunar rhythm) 또는 조석리듬과 관련이 있음을 보고하였다.

Richardson(1988)은 실험실내 일정조건하에서 바지락은 대략 반일주기로 패각에 약한 미세성장 band가 형성되는 것을 관찰하였는 데, 이 경우 주기적으로 먹이를 공급한 경우에는 성장하였으며, 먹이 공급과 일치하여 band가 생겼다고 보고하였다. 그리고 Rao(1954)는 진주담치(*Mytilus edulis*)와 홍합 (*M. californianus*)에서 여수율

Received October 14, 1999; Accepted November 21, 1999
Corresponding author: Chung, Ee-Yung
Tel: (82) 654-469-4592: e-mail: eychung@ks.kunsan.ac.kr
1225-3480/15207
© The Malacological Society of Korea

이 조석리듬에 따라 변하고 있음을 보고하였다. 그밖에 최근 연체동물의 산소소비의 일주리듬 및 조석리듬에 관련된 연구들이 몇 명의 연구자들(Zann, 1973; Shirley and Findley, 1978; Bayneeta, 1989; Kim *et al.*, 1996)에 의해 보고되었는데, Shirdly and Findley(1978)는 복족류 *Littorina irrorata*를 절식시키면 산소소비율이 감소된다고 보고하였다. 또한 Bayne *et al.*(1989)은 먹이를 공급한 해산 조개류에 있어서는 먹이 흡수율의 증가에 따라 산소소비율이 지수함수적으로 증가하였으나 실험 중 조개들을 절식시키면 그러한 효과들은 감소되거나 제거되었다고 하였다. 그래서 산소소비율 실험에서 조석의 직접적인 효과를 피하기 위해 조석 없이 실험을 수행하였던 바, 조석으로 인해 영향을 받지 않았기 때문에 내적으로 영향을 받지 않아 바지락의 대사활성은 방해를 받지 않았다고 언급하였다. 지금까지 패류의 산소소비율 및 여수율과 관련된 생리적 리듬에 관해 보고된 것으로는 Sivalingam (1988, 1989)에 의한 *Perna viridis*의 산소소비의 일주리듬과 Kim *et al.*(1996, 1999)에 의한 바지락의 산소소비율에 관한 보고가 있을 뿐 바지락의 여수율과 생리학적 리듬과의 관계에 관한 연구보고는 지금까지 찾아볼 수 없었다.

따라서 본 연구의 목적은 해양에 서식하는 많은 생물들이 일주리듬, 조석리듬 circa-semilunar 등의 복잡한 주기성을 가지는 것으로 보고되어 있어, 바지락을 대상으로 실험실내에서 24시간에 걸쳐 매 1시간마다 대사생리 중 가장 중요한 산소소비율 및 여수율을 측정한 후, 이들 자료가 내포하는 바지락의 생리활동성 및 생리리듬 변화의 특징을, 시간변화에 따른 조석간만의 주기적 변화와 비교, 검토하는 데 있다.

재료 및 방법

실험재료인 바지락은 춘계(3, 4월)와 하계(7, 8월) 동안 서해안의 곰소만에서 채집하여 실험실로 옮긴 후 40 l 수조에서 3일간 순응시킨 후 실험에 사용하였다. 이때 먹이는 *Isochrysis galbana*를 제공하였으며, 염분은 32±1‰, 그리고 명암은 12L:12D로 조절하였다.

각 실험수조에 각장 30-35 mm 크기의 바지락을 5개체씩 넣었으며, 실험수온은 춘계와 하계수온에 맞추어 15±1℃, 25±1℃로 조절하였다.

실험방법은 바지락의 생리적 리듬을 조사하기 위하여 15±1℃와 25±1℃의 각 실험 수온구별로 조절된 항온수조 및 암소에서 산소소비율과 여수율을 1시간 간격으로 24시간 연속 반복 측정하였으며, 3회 반복하여 결과를 이용하였다.

산소소비율은 산소검량기(YSI 5000형)를 사용하여 실험 전 후의 용존산소 값을 측정하여 그 값의 차로서 산출하였다. 여수율은 Cole and Hepper(1954)의 방법에 의하여 600 ml 용량의 산소병에 0.001%의 neutral red의 해수를 넣고 실험전후의 색소과립 제거율을 비색계의 파장 500 nm에서 측정 정량하여 계산하였다.

실험동물의 건조중량은 실험을 마친 후 실험동물의 패각을 열어 육질만을 선별하여 증류수로 헹군 후 80℃에서 24시간 건조시킨 후 측정하여 이용하였으며, 산소소비율 및 여수율의 단위는 각각 ml O_2/g dry wt/hr과 ml/g dry wt/hr로 사용하였다.

결과 및 고찰

일반적으로 자연상태에서 조간대 동물들은 명암에 의한 24시간 일주기뿐만 아니라 주기적인 조석의 흐름에 노출되므로 인해 특히, 해양동물들은 이러한 환경에 적응되어 복잡한 활동양상을 나타낸다(DeCoursey, 1983). 지금까지 대부분의 해양동물의 생물학적 리듬에 관한 연구는 연안동물의 유영속도, 패각개폐, 추광성 및 체색변화 등에 관한 연구들이 있으며, 최근 어류 및 패류의 호흡률의 변화에 따른 내적 리듬의 주기성을 다룬 연구(Kim, 1997, 1999)가 있으나 매우 미흡하다. 특히, 패류의 보고는 찾아보기 어렵다.

일정한 암소 상태에서 24시간동안 온도 15℃와 25℃로 나누어 산소소비율 및 여수율의 리듬을 매 1시간 간격으로 측정한 바지락의 산소소비율 및 여수율의 변화에 따른 내적 리듬에 관해 조사된 본 실험 결과를 보면, 산소소비율은 15℃와 25℃의 모든 실험구에서 밤-만조시간대에 최대치인 1.56과 2.16 ml O_2/g wet wt./h를 각각 나타내었고 반면, 낮-간조시간대에 최소치인 0.97과 1.28 ml O_2/g wet wt./h를 각각 보였다. 전반적으로 산소소비율은 15℃와 25℃ 실험구들에서 24시간 동안 2번의 peak(12시간대마다)를 갖는 리듬을 나타내고 있어 조석리듬과 거의 같은 리듬의 양상을 보였다(Fig. 1). 또한 24시간동안에 매 1시간 간격으로 측정한 여수율의 경우도 산소소비율의 조사결과와 같이, 15℃와 25℃ 실험구들에서 24시간동안 2번의 peak(12시간대마다)를 갖는 리듬을 나타내었다. 15℃와 25℃의 각 실험구들에서 밤-만조시간대에 최대치인 6.06 및 7.05 ml/g wet wt./h를 각각 나타내었으며, 낮-간조시에 최소치인 3.78 및 5.06 ml/g wet wt./h를 각각 보여, 여수율도 , 조석리듬과 거의 같은 리듬의 양상을 보였다(Fig. 2). 따라서 전반적으로 볼 때, 수온 변화에 따른 24시간 동안의 산소소비율 및 여수율의 변화는 15℃ 실험군에 비해 25℃ 실험군에서 높게 나타났으나 24시간 동안 시간에 따른 특수한 변화는 보이지 않았다.

본 실험결과를 타 연구자들의 보고들과 비교하여 보면, Cederwall(1979)는 *Pontoporeia*를 절식시켰을 때 산소소비가 감소되었다고 보고하였는데, 이때 산소소비는 2번의

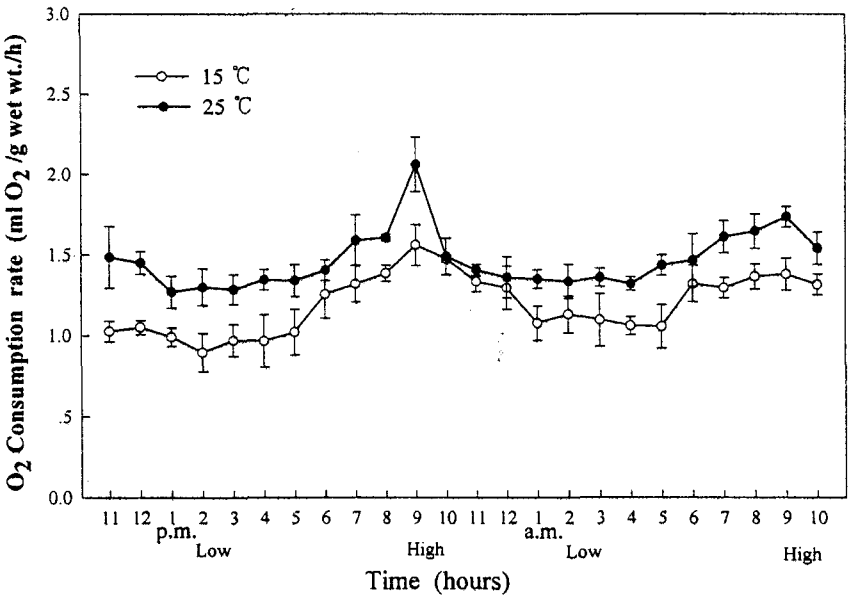

Fig. 1. Changes in the oxygen consumption rates of *Ruditapes philippinarum* for 24 hours.

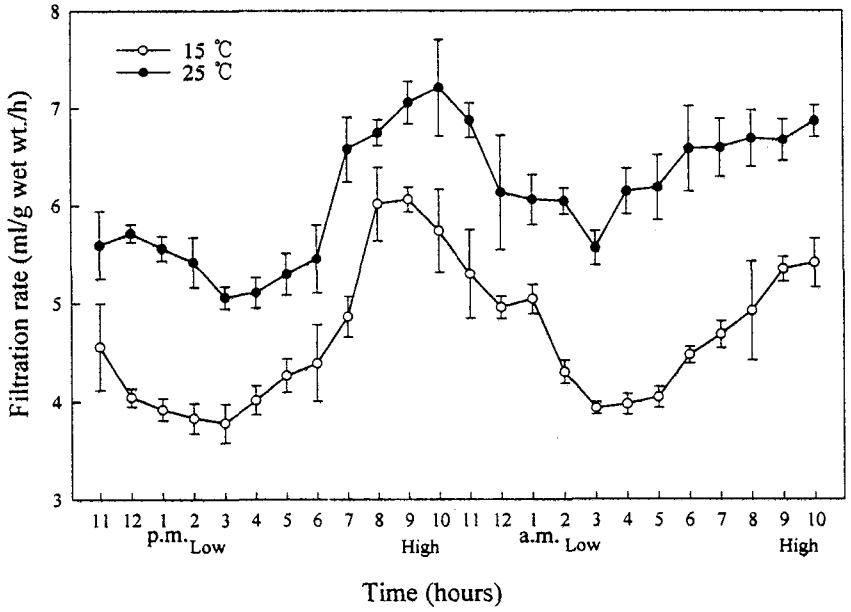

Fig. 2. Changes in the filtration rate of *Ruditapes philippinarum* for 24 hours.

peak가 일어났으며, 이들 peak는 12.4시간의 tidal phase와 거의 일치하였다고 보고하였다. 또한 Kim *et al.* (1999)도 바지락(*R. philippinarum*)의 산소소비율은 하루에 2번 peak를 나타내었고, 12.4시간의 내적 조석리듬이 뚜렷하게 나타나고 있음을 보고하고 있어 산소소비율의 변화는 본 조사에서 얻어진 바지락의 산소소비율 조사결과와 매우 유사하였음을 알 수 있다. 그러나 참굴의 경우(국립수산진흥원, 1999)는 17.2℃와 20℃의 일정한 수온을 유지

하고 6일 동안 1개체씩 2회에 걸쳐 호흡리듬을 측정하였을 때, 굴은 다소 불규칙하나 24시간대의 일주리듬을 나타내었으며, 산소소비율의 진폭은 수온의 증가에 따라 증가하는 결과를 보임으로서 전반적으로 패류는 종마다 약간의 차이를 보이고 있으나 수온이 높은 실험구들 일수록 산소소비율이 보다 높게 나타나는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

해양생물의 행동 및 생리적 현상은 조석주기와 일치 할 뿐만 아니라 명암주기와 관련하여 일주리듬과 조석주기 리듬을 동시에 가지는 활동양상을 보이는 종들도 있다 (Hogger, 1973; Benson and Lewis, 1976). 따라서 최근의 이들에 관한 설명은 일주리듬과 조석리듬의 두 가지 형태의 내적인 요소로 나눌 수 있다. 예를 들면, 일주리듬은 밤의 활동성을 나타내며, 조석리듬은 밤의 만조시의 활동성으로 표현된다(Masayuki, 1992). green-lipped mussel, *Perna viridis*는 밤에 호흡률이 최대를 나타내어 일주호흡리듬(circadian respiratory rhythm)을 가지는 것으로 보고되어 있으며(Sivalingam, 1988, 1989), 복어, *Takifugu obscurus*도 내적일주리듬(endogenous circadian rhythm)을 나타내는 것으로 보고되어 있다 (Kim *et al.*, 1997). 이러한 결과에 근거하여 바지락은 두 번의 peak를 가지며, 특히 낮에 비해 밤에 보다 더 높은 것으로 보아 일주 및 조석 생체리듬의 내적 주기성을 가지는 것으로 추정된다. 특히, low tide 동안 활동성이 저하되는 현상은 간조시 수류로 인해 발생하는 무기 부유물질의 저해현상을 피하려는 대사율의 억제현상인 것으로 여겨진다.

산소소비율 및 여수율은 패류의 대사작용의 척도로서 이용되고 있으며(Chung *et al.*, 1997, 1998), 수온의 증가에 따라 대사율이 증가하는 것은 일반적인 현상으로 바지락의 산소소비율 및 여수율도 15℃에 비해 25℃ 실험구에서 높게 나타나는 일반적인 현상을 보였다.

요 약

전북 곰소만에 서식하는 바지락의 생리적 리듬을 알아보기 위하여 24시간 동안 1시간 간격으로 산소소비율 및 여수율의 변화를 측정하였다. 바지락의 호흡율 및 여수율에 의한 생리적 리듬은 15℃와 25℃에서 두 가지 모두 24시간 동안 2번의 peak를 보이는데, 밤-만조시에 최대를 나타내었으며, 낮-간조시에 최소를 나타내어 조석에 의한 일주리듬 현상을 보였다. 24시간 동안 산소소비율 및 여수율의 변화는 수온별로 급격한 특수한 변화를 보이지 않았다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 수산특정연구개발과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

Bayne, B. L., Hawkins, A.J. Navarro, S.E. and Iglesias, I.P. (1989) Effects of seston concentration on feeding, digestion and growth in the mussel *Mytilus edulis*, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **55**: 47-54

Benson, J.A. and Lewis, R.D. (1976) An analysis of the activity rhythm of the sand beach amphipod, *Talorchestia quoyana*. *J. Comp. Physiol.*, **105**: 339-352.

Bohn, G. (1903) Sur les mouvements oscillatories des *Convoluta roscoffensis*. *C.R. Acad. Sci.*, **137**: 171-180.

DeCoursey, P.J. (1983) Biological timing. *In*; The Biology of Crustacea, Vol. 7: Behavior and Ecology. (ed. by Vemberg, F.J. and Vernberg, W.B.). pp. 107-162, Academic Press, Washington.

Cederwall, H. (1979) Diurnal oxygen consumption and activity of two *Pontoporeia* (Amphipoda, Crustacea) species. *In*; Cyclic Phenomena in Marine Plants and Animals. (ed. by Naylor, E. and Hartnoll, R.G.). pp. 309-316, Pergamon Press, Oxford.

Cho, K.S., Kim, W. and Kang, S.J. (1983) ODUM Ecology (revised). pp. 340-342, Sama Co. Ltd. [in Korean].

Chung, E.Y., Shin, Y.K. and Choi, M.S. (1997) Prediction of water quality and water treatment in Saemankeum lake 1. Effects of environmental pollutants on filtration an oxygen consumption of the marsh clam, *Corbicula leana*. *Korean J. Malacol.*, **13**(2) : 203-210. [in Korean].

Chung, E.Y., Shin, Y.K. and Choi, M.S. (1997) Prediction of water quality and water treatment in Saemankeum lake 2. Effects on the acute toxicity of heavy metal pollutants associated with metabolism of purifier of freshwater quality of *Corbicula leana*. *Korean J. Malacol.*, **14**(1): 51-59. [in Korean].

Cole, H.A. and Hepper, B.T. (1954) The use of neutral red solution for the comparative study of filtration rate of Lamellibranchs. *J. Cons Int. Explore. Mer.*, **20**: 197~203.

Enright, J.T. (1963) The tidal rhythm of activity of a sand-beach amphipod. *Z. Vergl. Physiol.*, **46**: 276-313.

Enright, J.T. (1972) A virtuoso isopod. Circa-lunar

rhythms and their tidal fine structure. *J. Comp. Physiol.*, **77**: 141-162.

Enright, J.T. (1975) Orientation in time: endogenous clocks. *In*; Marine Ecology. Vol. 2. (ed. by Kinne, O.). pp. 917-944, Wiley, New York.

Evans, J.W. (1972) Tidal growth increments in the Cokle *Clinicardium nutalli. Science*, **176**: 416-417.

Gamble, F.W. and Keeble, F. (1903) The bionomics of *Convoluta roscoffensis* with special reference to its green cells. *Proc. Roy. Soc.*, **72**: 93-98.

Honegger, H.W. (1973) Rhythmic motor activity responses of the California fiddler crab *Uca crenulata* to artificial light conditions. *Mar. Biol.*, **18**: 19-31.

Kim, W.S., Rumohr, H., Schmid, M.K. and Koh, C.H. (1996) A rhythm in the rate of oxygen consumption by the Manila clam, *Ruditapes philippinarum. J. Kor. Soc. Ocean.* **31**(3): 117-122.

Kim, W.S., Kim, J.M. Yi, S.K. and Huh, H.T. (1997) Endogenous circadian rhythm in the river puffer fish *Takifugu obscurus. Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **153**: 293-298.

Kim, W.S., Huh, H.T., Lee, J.H., Rumohr, H. and Koh, C.H. (1999) Endogenous circatidal rhythm in the Manila clam *Ruditapes philippinarum.* (Bivalvia: Veneridae). *Mar. Biol.*, **134**: 107-112.

Masayuki S. (1992) Phase shift of a tidal rhythm by light-dark cycles in the semi-terrestrial crab *Sesarma pictum. Biol. Bull.*, **182**: 257-264.

National Fisheries Research and Development Institute. (1999) Optimum Production Technique Development for Maximum Sustainable Yield of *Ruditapes philippinarum* in the Shellfish Farm. pp. 208, National Fisheries Research and Development Institute, Pusan

Palmer, J.D. (1974) Biological Clocks in Marine Organisms: The Control of Physiological and Behavioral Tidal Rhythms. pp. 1-11, Wiley, New York.

Rao, K.P. (1954) Tidal rhythumicity of rate of water propulation in *Mytilus*, and its modifiability by transplantation. *Biol. Bull.*, **106**: 353-359.

Richardson, C.A. (1998) Exogenous and endogenous rhythms of band formation in the shell of the clam *Tapes philippinarum* (Adams and Reeve). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **122**: 105-126.

Shirely, T.C. and Findley, A.M. (1978) Circadian rhythm of oxygen consumption in the marsh periwinkle, *Littorina irrorata* (Say, 1822). *Comp. Biochem. Physiol.*, **59**: 339-342.

Sivalingam, P.M. (1988) Circadian respiratory biorhythm in bivalve *Perna viridis* L. *Indian J. Mar. Sci.*, **17**: 339-340.

Sivalingam, P.M. (1989) Circadian respiratory biorhythm of marine gastropods *Natica maculosa, Umbonium vestiorum* and *Polynices didyma. Indian J. Mar. Sci.*, **18**(2): 141-142.

Zann, L.P. (1973) Relationships between intertidal zonation and circatidal rhythmicity in littoral gastropods. *Mar. Biol.*, **18**: 243-250.