Korean J. Malacol. 25(2): 161-171, 2009

수온과 염분의 변화에 따른 연령별 대복 (*Gomphina veneriformis*: Bivalvia) 의 여과율 변동

신현출, 이정호, 정효진, 이정식[1], 박정준[1], 김배훈

전남대학교 해양기술학부, 수산생명의학과[1]

The Influence of Water Temperature and Salinity on Filtration Rates of the Hard Clam, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia)

Hyun Chool Shin, Jung Ho Lee, Hyo Jin Jeong, Jung Sick Lee[1], Jung Jun Park[1] and Bae Hoon Kim

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu, 550-749, Korea
[1]Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu, 550-749, Korea

ABSTRACT

The present study was performed to describe the influence of water temperature and salinity on filtration rates of the venus clam, *Gomphina veneriformis*, a suspension-feeding (filter-feeding) bivalve species. The calms were collected from the eastern coastal area of Sokcho, Gangneung and Jumunjin at Kangwon-do, Korea, during December 2006 and May 2007. *Isochrysis galbana* (KMCC H-002) cells as food organisms were indoor-cultured by f/2 medium, and were used to measure the filtration rate of clam. Filtration rates of clam were measured by indirect method. Cell concentration of food organisms were determined by direct counting cells used the hemacytometer under the light microscope. The filtration rates of clams by water temperature sharply increased with temperatures up to 15℃ as optimum temperature and above this temperature, the filtration rates decreased exponentially. Venus clams showed very low filtration rates at low salinity (10-15 psu) and maximum values at high salinity (30-35 psu). Regardless of water temperature and salt change, 2-year class clams showed high filtration rates, but low in 4-year-class. Polynomial regression curves with water temperature were shifted to the left in low temperature region. Thermal coefficient Q_{10} values showed much higher values at low temperature range than at high temperature range, too. These results indicate that the venus clam is more sensitive in cold water. Polynomial regression curves with salinity were shifted to the right in high saline region. According to this study, the venus clam *Gomphina veneriformis*, subtidal filter-feeding bivalve, was the stenothermal organism, inhabited mainly in low temperature and the stenohaline, in high saline waters.

Key words: Filtration rate, water temperature, salinity, *Gomphina veneriformis.*

서 론

대복 (*Gomphina veneriformis*)은 이매패 강 (Bivalvia) 진판새 목 (order Eulamellibranchia) 백합 과 (Veneridae)에 속하는 이매패류로서 우리나라 전 연안에 분포하지만, 강원도 연안에 가장 많이 서식하고 있다. 대복에 관한 기존의 국내 연구는 생식소 발달과 생식주기 (Park *et al*., 2003), 대복의 생존 및 운동성에 미치는 카드늄의 독성 (Park and Lee, 2003), 아연의 체내축적이 대복의 생존, 운동성, 성장 및 기관계 구조에 미치는 영향 (Ju, 2006), 대복의 성비, 성 성숙, intersex 및 지방갈색소 침전을 이용한 nonylphenol의 위해성 평가 (Lee and Park, 2007), 대복 아가미의 조직학적 변화와 산소 소비율에 미치는 TBTCI의 독성 (Park and Lee, 2008), 대복의 생존 및 저질 잠입성에 미치는 TBTCI의 독성 (Park *et al*., 2008) 등과 같이 독성 실험에 관한 연구가 주를 이루고 있다.

자연생태계를 이해하기 위해서는 생태요인 뿐만 아니라, 생리적인 요소들을 정확하게 이해하는 것이 중요하다. 하지만

Received Aug 3, 2009; Revised Aug 10, 2009; Accepted Aug 19, 2009
Corresponding author: Jung Ho Lee
Tel: +82 (61) 659-3145 e-mail: junho-babo@hanmail.net
1225-3480/22511

생물의 생리적 작용은 어느 한 요인에 의해 결정되는 것이 아니며, 여러 환경요인들이 복합적으로 작용하여 영향을 끼치게 되므로 이를 정확하게 이해하기란 쉬운 일이 아니다. 또한 어패류의 효율적인 관리와 증산을 위해서도 주기적인 자연환경 요인에 의한 단기간의 생리활성, 즉 여과율과 호흡률 등을 파악하는 것이 중요하다 (해양수산부, 1998).

본 연구는 강원도 속초시 해역에서 채집 된 대복 (*G. veneriformis*)을 이용하여 기초 생물·생태학적 특성 중 수온과 염분 변화가 대복의 여과율에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 대복

본 연구 실험에 사용된 대복은 강원도 속초, 강릉, 주문진 인근 수심 10-20 m 해역에서 2006년 12월과 2007년 5월에 형망을 끌어 채집하였다. 채집된 대복은 채집지역의 퇴적물과 해수를 직접 채운 컨테이너상자에 담아 조심스럽고 신속하게 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반된 대복은 미리 준비된 여과해수 (GF/C; pore size 1.2 μm)로 각각의 개체를 조심스럽게 세척한 후 사육조에서 최소 2일에서 7일 동안 순응시켰다. 사육조는 모래와 여과해수를 채운 컨테이너상자를 사용하였으며, 순응 시 수온은 20 ± 1℃를, 염분은 30-33 psu를 유지하였다. 수온과 염분은 각각 디지털수온측정기 (SUMMIT SDT8A)와 염분측정기 (YSI 30-10FT)를 이용하여 확인하였다. 먹이생물은 식물플랑크톤을 실내에서 단일종 배양하여 하루에 한번씩 공급하였다.

2. 먹이생물

현장에서 채집된 피검생물인 대복을 실내 순응시 필요한 먹이 및 여과율 측정실험시 농도감소 지표물질로서 사용하기 위한 먹이생물로서 식물플랑크톤을 실내에서 단일종 배양하여 공급하였다. 먹이생물은 한국해양미세조류은행 (Korea Marine Microalgae Culture Center; KMCC)에서 황색편모조 강 (Crysophycea)에 속하는 *Isochrysis galbana* (KMCC H-002)의 seed를 분양받아서 사용하였다.

먹이생물의 seed는 배양기에서 멸균해수배지 100 ml에 접종하여 1차 배양하였으며, 이때 온도는 20 ± 1℃, 광주기 (LD cycle)는 L12 : D12, 염분은 33 ± 1 psu, pH는 7.9 ± 0.1로 조절하였다. 1차 배양 후, 이를 다른 배양실 내로 옮겨 3 L 플라스크, 50 L 아크릴 수조 순으로 접종하여 대량 배양하였다. 배양실에서는 광주기가 L24 : D0 이었으며, 다른 조건은 1차 배양과 같다. 그리고 250 ml 플라스크의 배양액은 하루 2-3회 이상 흔들어 줌으로써 (agitation) 산소를 공급하였고, 3 L 이상의 소규모 대량배양 (small scale mass culture)에서부터는 유리관이나 튜브를 이용하여 통기시켰다 (Guillard, 1983).

먹이생물 배양에는 Guillard and Ryther (1962)의 f/2배지를 사용하였다. f/2배지는 지난 수년간 식물 플랑크톤 연구에서 성공적인 배양액으로 사용되어져왔다 (심과 김, 1996). 조제된 배지는 천일염과 증류수를 사용하여 염분을 33 ± 1 psu로 조절하였으며, membrane filter (공경 0.2 μm)로 여과하여 멸균기로 15 psi, 120℃ 조건에서 15분간 멸균하여 사용하였다. 염분측정은 염분계 (YSI 30-10FT)를 사용하였다.

3. 여과율 및 수온계수 Q_{10} 산출

본 연구에서 대복의 여과율 측정 실험 후 얻어진 자료들을 이용하여 여과율을 산출함에 있어 Coughlan (1969)의 여과율 계산식을 적용하여 산출하였다. 본 연구에서 적용한 Coughlan (1969)의 여과율 산출식은 다음과 같다.

$$FR = V \cdot ln(C_{t_0}/C_{t_1})/t$$

FR: 여과율 (ml/min)
V: 실험액의 용량 (ml)
C_{t0}: 초기먹이생물농도 (cells/ml)
C_{t1}: 시간 t_1 에서의 먹이생물농도 (cells/ml)
t: 실험시간 (min)

그리고, 각각의 여과율 측정 실험결과에 대해 다항회귀분석 (polynomial regression analysis)을 실시하여 수온·염분 변화에 대한 피검생물들의 전반적인 여과율 변동의 경향성을 파악하였으며, 일원분산분석 (one-way ANOVA)을 통해 수온 및 염분 변화에 따른 각 피검생물들의 여과율 변동에 대한 유의성을 판별하였다. 또한 여과율에 미치는 수온의 영향을 파악하기 위한 수온계수 (thermal coefficients; Q_{10})는 다음의 계산식을 이용하여 구하였다.

$$Q_{10} = (R_2/R_1)^{(10/T_2 - T_1)}$$

R_1, R_2 : 수온 T_1, T_2 에서의 여과율

4. 여과율 측정 실험방법

현장에서 채집하여 일정 기간동안 실험실 내에서 순응시킨 대복은 여과율을 측정하기 전에 24시간 동안 실험온도 (5-35℃)와 실험염분 (25-40 psu)에서 순응 시킨 후 측정하였으며, 저염분구간 (10-20 psu)에서는 48시간 동안 순응시켰고 (Kim and Hur, 1998), 실험 전 24시간 동안은 실험조건의 표준화를 위해 절식시켰다 (Lee and Chin, 1981; Way *et*

al., 1990).

수온은 5℃ 간격으로 모두 7 구간 (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35℃)의 실험구를 설정하였고, 수온조절은 냉각기와 가열막대를 사용하였다. 염분은 5 psu 간격으로 모두 7 구간 (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 psu)의 실험구를 설정하였고, 염분조절은 천일염과 증류수를 사용하였다.

실험조는 1 L 비커를 사용하였으며, 각 실험 구간별로 3 개의 반복 실험조를 두었고, 각 실험조에는 각각 3 개체씩 넣었다. 먹이 투여는 미리 농도 값이 산출된 먹이생물 배양액을 먹이생물투여기 (자체제작)를 이용하여 투여하였으며, 투여 60 분 후 오토마이크로피펫을 이용하여 10 ml의 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 냉암소에 보관하면서 혈구계산판을 이용하여 광학현미경하에서 3 회 반복 계수한 후 평균을 산출하였으며, 이 평균값을 해당 실험조의 먹이생물 농도 값으로 적용하였다.

실험종료 후, 실험생물은 각장과 육질부, 습중량 및 건중량을 측정하였으며, 여과율 측정 실험에 의해 산출된 모든 여과율 값은 각 피검생물의 건중량당 여과율 (ml/min·g dw) 로 환산하여 나타내었다.

결 과

1. 대조구 먹이생물 농도 변화 검증

실험액의 농도가 대복의 여과에 의하지 않은 식물플랑크톤 자체의 증감으로 인한 오차를 보정하기 위하여 실험조에 미세조류 배양액만을 넣고 대복을 넣지 않은 대조구 실험을 하였다 (Table 1). 피검생물을 배제한 실험조에 먹이생물을 투여하고 2시간이 경과할 동안 1시간 단위로 각 실험조의 먹이생물 농도를 3 회 반복하여 계수한 후, 평균값을 산출하였다.

수온별 대조구 실험 (수온 5℃, 10℃, 15℃, 35℃ 구간; 염분 33 psu 유지)결과, 모든 수온 구간에서 실험시작 후 2시간이 경과하는 동안 먹이생물 세포 수는 크게 증감하지 않았으며, 통계적으로도 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$). 염분 농도별 대조구 실험 (염분 10 psu, 15 psu, 40 psu 구간; 수온 20 ± 1℃ 유지) 결과 역시 모든 염분 농도 구간에서 실험시작 후 2시간이 경과하는 동안 먹이생물 세포 수는 크게 증감하지 않았으며, 통계적으로도 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$). 따라서 본 연구의 여과율 측정 실험이 진행되는 동안 피검생물인 대복의 여과활동에 의하지 않은 먹이생물 *Isochrysis galbana*의 세포 농도 변화는 없는 것으로 간주하였다.

2. 연령별 대복의 각장 및 육질부 건중량

실험에 사용된 각 실험조별 대복의 각장과 패각제거 육질부 건중량은 Table 2와 같다. 각 연령군별 (2, 3, 4년)로 모든 실험조에서 동일하게 총 64 개체가 사용되었다. 수온실험에 사용된 2년생 대복의 평균 각장은 28.48 ± 1.69 mm, 육질부 평균 건중량은 0.205 ± 0.04 g dw이었다. 3년생의 평균 각장은 35.44 ± 1.95 mm, 육질부 평균 건중량은 0.384 ± 1.95 g dw이었다. 4년생의 평균 각장은 48.97 ± 2.82 mm, 육질부 평균 건중량은 1.147 ± 0.233 g dw이었다. 염분실험에 사용된 2년생의 평균 각장은 27.37 ± 1.65 mm, 육질부 평균 건중량은 0.175 ± 0.03 g dw이었다. 3년생의 평균 각장은 35.434 ± 1.70 mm이었고, 육질부 평균 건중량은 0.37 ± 0.07 g dw이었다. 4년생의 평균 각장은 47.92 ± 2.46 mm이었고, 육질부 평균 건중량은 1.05 ± 0.24 g dw이었다.

3. 수온 변화에 따른 연령별 대복의 여과율 변동

2, 3, 4년생 대복의 수온별 여과율을 Fig. 1에 나타내었다. 2년생의 여과율은 15℃에서 66.51 ± 3.72 mL/min·g dw로 최대값을 기록하였다. 5℃에서 최소 여과율을 보였으며, 수온이 증가함에 따라 여과율도 증가해서 15℃까지 급격히 증가하여 최고를 나타내고, 그 이상 수온이 증가하면 여과율이 지수함수적으로 감소하는 경향을 보였다. 대체적으로 15-20℃의 수온구간에서 높은 여과율을 나타내었으며, 5℃와 35℃에서 여과율이 가장 낮았다. 3년생의 수온별 여과율은 2년생의 여과율 경향과 유사하였다. 역시 5℃에서 최소 여과율을 나타내었으며, 15℃에서 41.71 ± 5.85 mL/min·g dw 로 최대 여과

Table 1. Changes (mean ± SD) in cell concentration of food organisms without clams, at each temperature and salinity

Conditions		0 minute ($x10^6$ cells/ml)	60 minute ($x10^6$ cells/ml)	120 minute ($x10^6$ cells/ml)	ANOVA
Salinity	10 psu	1.82 ± 0.22	1.74 ± 0.11	1.88 ± 0.17	P > 0.05
	15 psu	1.65 ± 0.16	1.70 ± 0.07	1.69 ± 0.16	P > 0.05
	40 psu	1.84 ± 0.12	1.78 ± 0.12	1.80 ± 0.13	P > 0.05
Temperature	5℃	1.52 ± 0.06	1.55 ± 0.02	1.50 ± 0.13	P > 0.05
	10℃	1.62 ± 0.10	1.59 ± 0.16	1.56 ± 0.17	P > 0.05
	15℃	1.27 ± 0.15	1.30 ± 0.12	0.31 ± 0.11	P > 0.05
	35℃	1.69 ± 0.13	1.64 ± 0.04	1.62 ± 0.11	P > 0.05

Table 2. Shell length and dry tissue weight of *Gomphina veneriformis* used in experiments for estimating the filtration rate of venus clams.

Year class	Total No. of individual	Temperature Experiments (mean ± s.d)		Salinity Experiments (mean ± s.d)	
		Shell length (mm)	Dry tissue weight (g dw)	Shell length (mm)	Dry tissue weight (g dw)
2	64	28.486 ± 1.692	0.205 ± 0.040	27.373 ± 1.659	0.175 ± 0.034
3	64	35.447 ± 1.954	0.384 ± 0.072	35.434 ± 1.703	0.378 ± 0.076
4	64	48.973 ± 2.829	1.147 ± 0.233	47.919 ± 2.461	1.058 ± 0.240

율을 보였고, 그 이상 수온이 증가함에 따라 여과율은 지수함수적으로 감소하였다. 4년생의 여과율은 2년생과 3년생의 수온별 여과율과 크게 다르지 않아 5℃에서 최소 여과율이 나타났으며, 35℃에서도 극히 낮은 여과율 값을 보였으며, 역시 15℃에서 17.15 ± 1.65 mL/min·g dw로 최고 여과율을 나타내었다. 이러한 수온별 대복의 여과율 변동을 연령별로 살펴보면 최대 여과율은 크기나 연령에 상관없이 모두 15℃에서 나타났다. 전반적으로 저온에서 여과율이 매우 낮고 수온이 증가할수록 여과율도 빠르게 증가하다가 15℃ 전후에서 최대값을 나타내며 이후 급격하게 감소하는 경향을 보여 수온 변화에 대해 뚜렷한 여과율 변동을 나타내었다 ($p < 0.001$).

연령별 대복의 여과율은 수온의 변화에 상관없이 2년생에서 가장 높았고, 그 다음 3년생, 그리고 4년생이 가장 낮은 여과율을 나타내었다. 즉, 대복이 성장할수록 여과율은 감소하는 경향을 보였다.

수온 변화에 따른 각 연령별 대복의 여과율 변동 자료를 이용하여 각 수온 범위에서의 온도계수 Q_{10} 값을 산출하였고 이를 Table 3에 나타내었다. 온도 계수는 2년생, 3년생, 4년생 모두 5-15℃에서 각각 27.03, 33.22, 13.26으로 가장 높은 값을 보여 낮은 수온 구간에서 수온변화에 여과율이 매우 민감

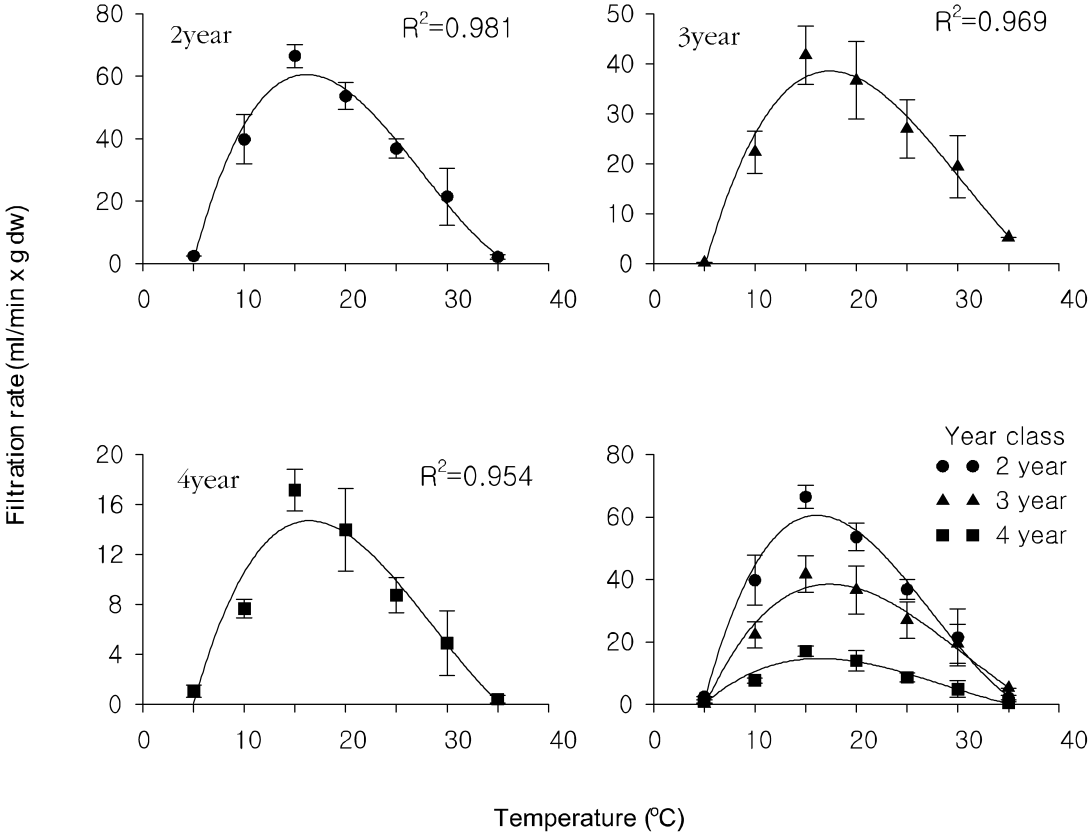

Fig. 1. Influence of water temperature on filtration rate of venus clams, *Gomphina venenriformis*. Salinity was controlled at 33.0 ± 1.0 psu, using distilled water and bay salts. Note that the scale of vertical axes is not same.

Table 3. Thermal coefficients(Q10) in filtration rate by the venus clam *Gomphina veneriformis*.

Temperature range (℃)	Thermal Coefficients (Q_{10} value)		
	2 year class	3 year class	4 year class
5-15	27.03	33.22	13.26
10-20	1.35	1.64	1.37
15-25	0.55	0.65	0.60
20-30	0.33	0.53	0.39
25-35	0.06	0.07	0.05

하게 반응함을 보여주었다. 그리고 15-25℃ 이상의 구간에서는 모든 연령군에서 1.00 미만의 값을 나타내었는데, Q_{10}이 1.00보다 낮은 것은 수온이 상승할수록 여과율이 감소함을 의미한다. 전반적으로 수온 구간이 증가할수록 Q_{10} 값은 감소하는 경향을 보여 연령에 관계없이 낮은 수온 구간에서 상대적으로 더 높은 Q_{10} 값을 나타내는 양상을 보이고 있다. 그리고 동일한 수온 구간에서의 Q_{10} 값을 연령군별로 비교해보면 상대적으로 3년생이 높은 Q_{10} 값을 보이는 경향이었다.

4. 염분 변화에 따른 연령별 대복의 여과율 변동

염분 변화에 따른 2, 3, 4년생 대복의 여과율 변동은 Fig. 2와 같다. 염분변화에 따른 2년생의 여과율은 10 psu와 15 psu에서 최저 여과율을 나타내었으며, 그 이상 염분이 상승하면 여과율도 지수함수적으로 상승하여 30 psu에서 61.72 ±

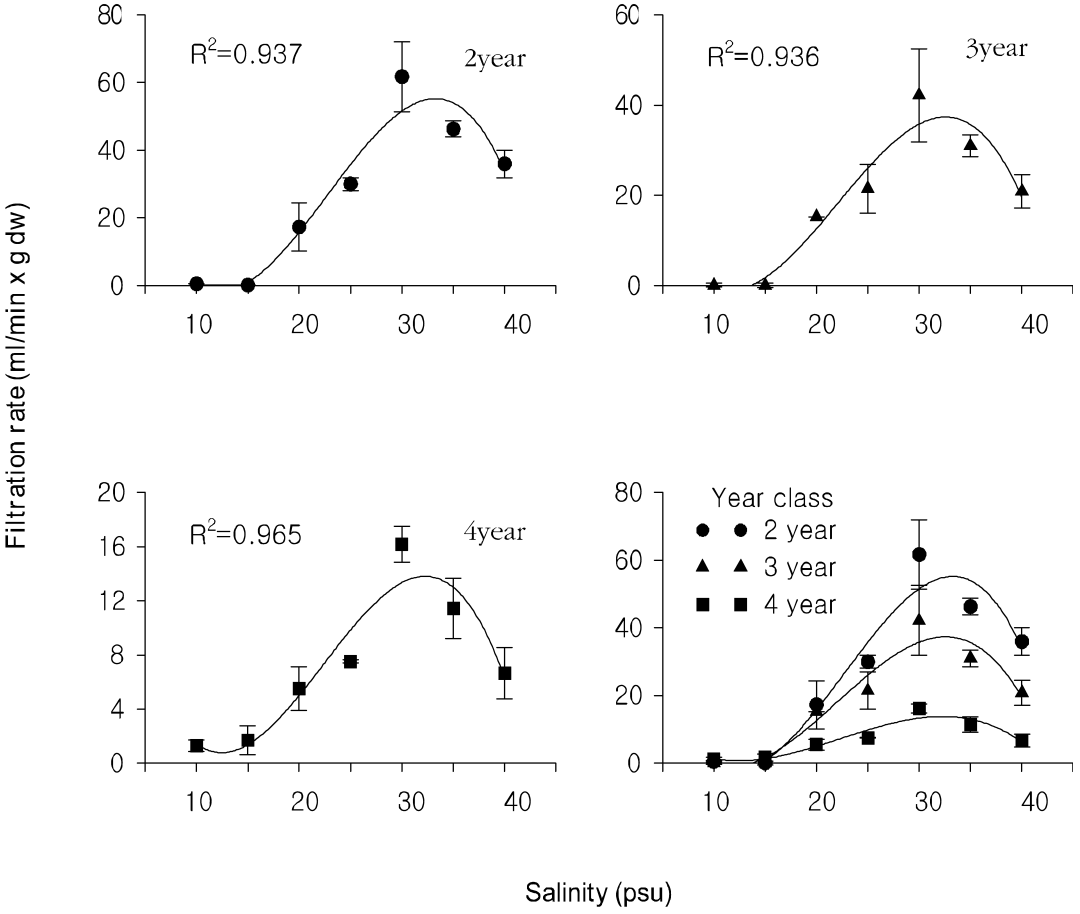

Fig. 2. Influence of salinity on filtration rate of the venus clams, *Gomphina veneriformis*. Water temperature was controlled at 20 ± 1℃, using cooling machines and heating bars. Note that the scale of vertical axes is not same.

10.28 mL/min·g dw의 최대여과율을 나타내었다. 그리고 35 psu에서도 여과율이 46.28 ± 2.43 mL/min·g dw로 상당히 높은 여과율을 나타내었다. 그리고 그 이상으로 염분이 상승하면 다시 여과율이 감소하는 경향이 나타났다. 염분변화에 따른 3년생의 여과율 변동 역시 2년생의 염분별 여과율과 유사한 경향을 나타내었다. 10 psu와 15 psu에서 여과율은 모두 1.0 mL/min·g dw이하로 극히 낮은 여과율을 보였고, 이후 여과율이 증가하여 30 psu에서 42.18 ± 10.32 mL/min·g dw로 최고 여과율을 보인 후, 그 이상의 염분구간으로 갈수록 여과율은 점차 감소하였다. 4년생의 여과율 변동 역시 2, 3년생의 여과율 변동의 양상과 크게 다르지 않았다. 4년생 역시 10 psu, 15 psu 구간에서 극히 낮은 여과율을 보이고, 최고 여과율 역시 30 psu에서 16.19 ± 1.31 mL/min·g dw로 나타났으며, 35 psu에서도 11.45 ± 2.23 mL/min·g dw로 상당히 높은 여과율 값을 나타내었다. 이러한 염분별 대복의 여과율 변동을 연령별로 살펴보면 최대 여과율은 크기나 연령에 상관없이 모두 30 psu에서 나타났다. 전반적으로 저염에서 여과율이 매우 낮고 염분이 증가할수록 여과율도 빠르게 증가하다가 30-35 psu 에서 최대값을 나타내며 이후 급격하게 감소하는 경향을 보여 염분 변화에 대해 뚜렷한 여과율 변동을 나타내었다($p < 0.001$).

연령별 대복의 여과율은 염분의 변화에 상관없이 2년생에서 가장 높았고, 그 다음 3년생, 그리고 4년생이 가장 낮은 여과율을 나타내었다. 즉, 대복이 성장할수록 여과율은 감소하는 경향을 보였다.

고 찰

본 실험에서 이용한 여과율 계산식은 Coughlan (1969)의 간접 측정법을 이용한 여과율 측정법으로써 농도와 양을 알고 있는 부유물의 입자 제거율에 근거하여 여과율을 추정하는 방법이며, 직접적인 방법에 비해 실험방법 자체가 비교적 용이하고 많은 개체들에 대한 실험이 가능하다는 이점이 있기 때문에 그동안 많은 연구자들이 여과율 측정에 적용하여 왔다 (Allen, 1962; Foster-Smith, 1975; Gerdes, 1983; Griffiths, 1980; Lim *et al*., 2005, 2008; Palmer, 1980; Riisgård, 1988; Cranford and Grant, 1990; Schulte, 1975; Shin and Lim, 2003; Shumway *et al*., 1985; Winter, 1978). Coughlan (1969)의 제안에 따른 여과율의 간접 측정법은 반드시 정수식 수조(static chamber or container)를 사용하여야 하며 실험기간 중 실험조 내의 실험액 양이 변하여서는 안된다. 또한 이러한 정수식 시스템(static system) 하에서 수행되는 여과율 측정 실험의 경우, 입자의 농도 감소는 중력에 의한 침강(gravitational settling)과 피검실험생물의 섭식여과에 의한 것이며, 피검실험생물의 pumping rate는 실험기간동안 일정하고, 실험액(test suspension)은 실험기간동안 균질(homogenous)하다는 가정(assumption)을 기초로 한다. 수온은 연중 변화하므로 해양생물이 계절변화에 따른 수온 변화에 순응해야하는 것은 필연적이다. 일반적으로 수온은 적도와 심해지역을 제외하면, 계절성을 가지는 비생물적 환경요인으로, 해양 이매패류의 위도분포를 결정하고 (Urban, 1994), 이들의 섭식, 성장, 생식과 같은 여러 가지 생리적 과정에 중요한 영향을 미치는 주제어요인이다 (Newell and Branch, 1980; Almada-Villela *et al*., 1982; Dame, 1996; 윤과 홍, 1995). 그리고 수온은 수서변온동물들의 대사율을 결정하는 주요한 환경조절인자이며 (Fry, 1971), 먹이섭취 (Uki, 1981; Hahn, 1989; Peck, 1989), 암모니아 배설(Barkai and Griffiths, 1988; Lyon, 1995), 산소소비 (Uki and Kikuchi, 1975; Barkai and Griffits, 1988; Lyon, 1995), 성장 (Hahn, 1989; Peck, 1989), 그리고 생존 (Hahn, 1989)에 직접적으로 영향을 미친다. 생물에 있어서는 종 특이적으로 그리고 한 종이라 하더라도 생활사 단계별로 내성 수온과, 최적 성장수온이 존재하는 것으로 알려져 있다. 온도 내성은 해양생물들에 있어서 광범위하게 적응하는 현상으로 알려져 있고, 변화하는 환경조건들에 대한 주요 적응인 것으로 알려져 있다 (Shamseldin *et al*., 1997).

일반적으로 변온동물 (poikilotherms)은 대사과정을 통해 열을 생산하는 열발생 (thermogenesis)을 하지 않기 때문에 항온동물 (homeotherms)에 비해 적은 에너지만으로도 비교적 오랫동안 생명을 유지할 수 있지만, 이들은 외부의 열에 의지하기 때문에 저온에서 활동이 제한될 수밖에 없다 (Clarke, 1998). 또한, Quayle and Bourne (1972)은 이매패류 *Venerupis japonica*의 경우 표층 바로 아래에 서식하기 때문에 겨울철의 저온에 매우 민감하며, 겨울철의 높은 사망률의 원인중 하나가 바로 저온 때문이라고 하였다. 일정한 한도를 넘은 저온이 되면 단백질로부터 물이 분리되어 동결하여 폐사한다.

대서양해만가리비 *Argopecten irradians*의 경우, 여과율이 10-26℃의 수온범위에서 큰 영향을 받지 않았지만, 5℃에서는 뚜렷하게 감소하였다고 보고하였으며 (Bricelj and Shumway, 1991), 진주담치 *Mytilus edulis*와 굴류 *Crassostrea gigas* 및 *Ostrea edulis*의 경우 역시 15℃ 이하의 수온에서는 수온이 감소할수록 이들의 여과율도 따라서 지속적으로 감소하였다고 하였으며 (Walne, 1979), Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*의 경우 13℃ 이하의 수온 구간에서 뚜렷한 여과율 감소를 보였다 (Numaguchi, 1994).

우리나라에 서식하는 이매패류를 대상으로 수온에 따른 여과율 변화를 조사한 결과, 남해안의 갯벌에 서식하는 바지락

*Ruditapes philippinarum*의 경우 바지락의 연령 (1-3년생)에 관계없이 5℃에서 가장 낮은 여과율을 나타내었으며 (Shin and Lim, 2003), 서해안 갯벌에 서식하는 말백합, *Meretrix petechialis* 역시 전반적으로 모든 연령군에서 5℃에서 최소 여과율을 나타내었으며 저온의 수온 구간에서 상대적으로 더 낮은 여과율을 기록하였다 (Lim *et al*., 2008). 그리고 동죽, *Mactra veneriformis* 역시 5℃의 저온에서 최소 여과율을 기록하였다 (미발표자료).

본 연구의 결과에서도 대복의 여과율이 모든 연령군에서 5℃에서 최소값을 나타내었으며 저온의 수온 구간에서 상대적으로 더 낮은 여과율을 기록하였다 (Fig. 1). 이는 낮은 수온은 수관 및 아가미의 섬모운동 저해 등 여과활동에 직접적인 영향을 미쳐 여과식자들의 여과활동을 위축시키는 결과를 초래하기 때문에 이처럼 낮은 여과율을 나타내는 것으로 보이며, 이렇게 저조한 여과율은 결국 성장의 저하를 초래할 수도 있을 것으로 추정할 수 있다 (Lim *et al*., 2008). 실제 저온에서 *Mytilus edulis*, *Tapes philippinarum*과 같은 이매패류의 성장률이 극히 낮음을 보고한 사례는 많다 (Almada-Villela *et al*., 1982; Laing and Child, 1996).

온도계수 Q_{10} 값을 살펴보면 모든 연령군에서 가장 낮은 수온 구간인 5-15℃에서 가장 높은 Q_{10} 값을 보였는데 (Table 2), 이것은 기존의 연구결과들과도 일치하는 것이다 (Shin and Lim, 2003; Lim *et al*., 2008; Ali, 1970; Winter, 1969, 1978; Schulte, 1975). 저온의 수온 구간에서 Q_{10} 값이 높다는 것은 높은 수온 구간에 비해 상대적으로 수온 증가에 따른 여과율 증가가 더욱 빠름을 의미하는 것으로 (Winter, 1978), 저온에서의 온도 변화에 더욱 민감하게 반응함을 의미한다고 볼 수 있다. 이는 저온의 수온 구간에서는 수온이 소폭으로 증가해도 여과율이 크게 증가할 수도 있으나, 역으로 아주 적은 수온 감소에도 뚜렷한 여과율 감소를 초래할 수 있고, 경우에 따라서 이들의 생존에 치명적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 즉 겨울철의 낮은 수온은 이들의 여과율 감소를 야기하여, 성장이 크게 둔화될 수 있을 것으로 생각할 수 있다 (Numaguchi, 1994).

반면, 고온에 노출된 경우, 최적온도 이상의 온도에서는 생리적 변화를 일으키고, 결국 단백질 응고가 일어나서 폐사하게 된다 (윤과 홍, 1995). Won (1994)은 바지락 *Ruditapes philippinarum*이 서식수온 36℃ 이상에서 먹이섭취와 밀접한 관계가 있는 아가미 섬모운동을 정지하여 먹이섭취를 거의 하지 않는다고 보고 하였으며, 바지락의 성장과 생존이 가능한 수온범위는 35℃ 이하라고 보고하였다. *Pinctada fucata martensii*의 종패가 35℃에 노출되었을 경우 매우 높은 사망률을 나타내었다고 하였고, Numaguchi and Tanaka(1986)에 따르면 33℃에 노출된 Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica*는 심한 온도 스트레스에 의해 암모니아 배설율이 급격하게 증가하였다고 하였다 (Saucedo *et al*., 2004).

본 실험의 결과에서도 실험수온 15℃에서 모든 연령군에서 최대 여과율을 기록하였고, 그 이상 온도가 상승하면 지수함수적으로 여과율도 감소하는 경향을 보이고 있다 (Fig. 1). 뿐만 아니라 각 수온 구간별 Q_{10} 값을 살펴보아도 모든 경우에서 15-25℃의 수온 구간 이상에서는 1.00 이하의 값을 나타내어 15℃ 이후 수온이 증가함에 따라 여과율이 감소하고 있음을 보여주고 있다.

수온이 생물, 생태학적으로 중요한 물리적 환경요인인 만큼, 염분 또한 생태적 내성에 영향을 미치므로, 연안 및 조간대에 서식하는 조간대 이매패류의 분포를 결정하는 중요한 요인 중 하나이다 (Dame, 1996). 해수의 염분변화는 수온의 변화에 비해 시, 공간적으로 그 변동 폭이 훨씬 적어서, 약 33-34 psu 내외로 비교적 일정하다. 그렇지만 연안이나 하구역은 육상으로부터 유입되는 담수의 구배에 따라 염분이 상당히 크게 변화한다.

염분의 변동폭이 비교적 큰 연안해역이나 하구역에 서식하는 광염성 (euryhaline)의 해양무척추동물은 삼투순응형동물 (osmoconformer)로서, 외부 삼투 농도의 변화에 대하여 체액 삼투농도를 일정하게 유지하도록 조절하는 삼투조절형동물 (osmoregulator)과는 달리 외부 염분 변화에 견디며 생존하고 그 변화에 따라서 체액 농도를 변화시키는 동물이다. 이들은 염분변화에 노출되면 처음에는 산소소비와 같은 대사활동이 감소하지만 시간이 지나면서 재적응하여 원래수준을 회복하기도 한다. 그러나 큰 폭의 염분 변화에 노출되게 되면 적응을 하지 못하고 치사에 이르게 된다 (Hammond, 1983; Matthews and Fairweather, 2004; Ramamoorthi *et al*., 1973).

대표적인 조간대 생물인 바지락은 서식 염분범위가 16-36 psu이며 (Kim and Hur, 1998), 여과율 역시 25-35 psu 구간에서 가장 높은 값을 보였다 (Shin and Lim, 2003). 그리고 갯벌조간대 이매패류인 말백합 역시 연령에 따라 조금 차이는 있지만 대체로 20-35 psu에서 높은 여과율을 보였다 (Lim *et al*., 2008). 동죽도 20-35 psu에서 높은 여과율을 보였다 (미발표자료). 그러나 염분의 변동폭이 상대적으로 적은 최하부조간대나 조하대에 서식하는 백합류, *Meretrix meretrix*의 경우 개체의 크기에 관계없이 27-30 psu의 염분 범위에서만 높은 여과율을 나타내었고 이를 벗어난 염분 구간에서는 모두 뚜렷하게 감소된 여과율을 기록하였다 (Zhuang, 2006). 본 연구에 피검생물로 사용된 대복 역시 조간대나 하구역에 서식하는 종이 아니라 항상 물에 잠겨있는 조하대 (피검생물 채집 수심 10-20 m 정도임) 사질 퇴적층에 서식하는 종으로서 큰

폭의 염분 변화에 노출될 경우가 거의 없다. 본 연구에서 대복은 30-35 psu에서 가장 높은 여과율을 보인 것은 서식지 환경에 대한 적응의 결과로 보인다.

염분 변화가 심한 조간대 환경이든 조하대든 관계없이 저염분에 의한 영향은 매우 크다. 참전복의 경우 16.9 psu와 같은 저염분에서는 실험기간 동안 100% 사망하였다 (Lee, 2003). 해산 복족류인 *Crepipatella dilatata*의 경우 5-10 psu에서 제거율(removal rate)이 0인 것으로 나왔으며, 15-20 psu에서도 극히 낮은 제거율을 보였다 (Chaparro *et al*., 2008). Widdows (1985)에 의하면 진주담치는 20-30 psu의 염분 범위 내에서 산소소비율, 여수율 및 에너지 수지가 일정하게 유지되는 반면, 20 psu 이하의 염분에서는 모든 대사가 감소하였다고 보고하였다. Navarro and Gonzalez (1998)는 Chilean scallop, *Argopecten purpuratus*의 경우 염분이 18 psu로 감소하였을 때 이들의 여과율이 뚜렷하게 감소하였다고 하였고, Shin *et al*. (2000)은 19.2 psu 이하로 염분이 감소하게 되면 바지락의 호흡률 및 여과율이 감소하였다고 하였다. 본 실험에서도 저염분 농도인 20 psu 이하 구간에서 상당히 낮은 여과율을 보이고, 10-15 psu염분 구간에서는 여과율이 매우 낮거나 (Fig. 2) 아예 패각을 열지 않아 여과활동을 하지 않는 개체도 관찰되었다. 이것은 조개류는 일반적으로 외부환경과 체내의 조직 사이에 삼투압의 균형을 유지할 수 있는 생리적인 기능이 없기 때문에 저염분 환경에 노출되면 패각을 닫고 체내에 상대적으로 높은 염분수를 유지하면서 섭식활동을 거의 행하지 않기 때문이다 (Davenport and Wong 1986).

기존의 연구들에서는 이매패류의 크기와 여과율의 관계에 초점을 맞추어, 크기 (W: 육질부 건중량)가 증가할수록 개체당 여과율 (FR)도 증가하며, 일반적으로 $FR = aW^b$의 관계를 가진다고 하였다 (Winter, 1969, 1973, 1978; Mohlenberg and Riisgård, 1979). 이를 본 연구에서처럼 중량당 여과율로 환산하면 연령이 높을수록, 개체의 크기가 크질수록 중량당 여과율은 감소한다 (Winter, 1978). 이는 본 연구의 Figs. 1, 2처럼 어린 연령일수록 (크기가 작은 개체일수록) 건중량당 여과율이 현저하게 높다지는 것과 일치하는 결과이다. 이와 같은 결과는 개체크기가 커짐에 따라 단위무게당 대사요구량이 낮아 여수율이 감소하기 때문이다. 대부분의 이매패류는 입수공으로 들어온 물을 아가미의 미세공으로 여과하여 출수공으로 방출하고 패각 내에서 외위수를 순환시키는 동력은 아가미의 미세공 내벽에 밀생하고 있는 섬모들의 운동에서 나온다. 그러므로 단위시간당 여과량의 크기는 아가미의 미세공 수와 비례하며, 미세공 수는 아가미의 표면적에 비례한다고 볼 수 있다. 개체크기에 대한 아가미표면적의 비가 개체 크기가 증가함에 따라 상대적으로 감소하기 때문에 그에 따른 여수율도 감소한다는 보고가 있다 (Johnes *et al*., 1992).

이러한 결과는 크기가 작은 개체가 더 큰 개체에 비하여 건중량당 대사율은 더욱 크다는 것을 의미하는 것으로서, 이는 많은 변온동물에서 공통적으로 나타나는 현상이며 (Zeuthen, 1953), Lee (1996)의 연구 결과 동죽의 산소소비율 변화 실험에서 이러한 현상을 잘 보여주고 있다. 또한 이매패류의 초기 연령에서 급격하게 빠른 각장 성장을 보이고, 순간절대성장률 역시 초기에 최대를 보이며, 연령이 증가할수록 거의 지수함수적으로 성장이 감소하는 것 (Shin, 1992; Yang, 1994; Shin and Shin, 1999)과 같은 이유로 해석할 수 있을 것이다.

본 실험에 사용된 피검생물인 대복은 강원도 주문진 인근의 수심 10-20 m의 조하대 해역에 서식하는 개체를 대상으로 하였다. 따라서 수온과 염분의 계절변화가 심하지 않다. 대복의 채집 지역은 지난 30년간 연중 수온이 5-25℃ 수준이며 평균 15℃ 내외이고, 염분 역시 주변에서 유입되는 담수가 거의 없기 때문에 연중 33-35 psu를 유지하고 있다(국립해양조사원). 피검생물인 대복이 모든 연령군에서 수온 15-20℃와 염분 30-35 psu에서 최대 여과율을 보이고 이 구간을 벗어나면 급격하게 여과율이 감소하는 것 (Fig. 1, Fig. 2)은 서식지 환경조건과 관계를 보인다고 할 수 있다. 다항회귀분석 결과 수온별 대복의 여과율 곡선은 모든 연령군에서 실험구간 중 저온구간인 왼쪽으로 치우친 경향을 나타내었고 (Fig. 1), 온도계수 Q_{10}값 역시 저온구간에서 높게 나타나 저온 환경에 적응한 이매패류인 것으로 나타났다. 그러나 염분별 여과율 곡선은 모든 연령군에서 실험구간 중 고염구간인 오른쪽으로 치우친 경향이 나타나 (Fig. 2) 저염분으로 갈수록 여과율이 감소한다는 것을 알 수 있었다. 이것은 대기노출과 담수의 영향을 받을 수 밖에 없는 조간대 이매패류의 다소 광염성적 특징과 반대되는 양상으로 전형적인 조하대생물의 특성을 보여준다.

반면 갯벌 조간대에 서식하는 바지락의 경우 수온 15-30℃ (Shin and Lim, 2003), 백합은 수온 25-30℃, 염분은 20-35 psu (Lim *et al*., 2008), 동죽의 경우 수온 10-30℃, 염분 20-35 psu (미발표자료)에서 비교적 높은 여과율을 보였다. 즉 갯벌의 경우 간조 시 수온과 염분의 변화가 극심하게 일어나기 때문에 갯벌에 서식하는 이매패류는 전형적인 갯벌환경에 적응하여 광온, 광염성의 특성을 보인다. 이에 비해 환경변화가 심하지 않은 조하대에 서식하는 대복은 상대적으로 협온, 협염성의 특성을 보이고 있다.

요 약

동해안의 유용 이매패류인 대복 (*Gomphina veneriformis*; Bivalvia)을 대상으로 기초 생리, 생태적 특성을 파악하기 위해 수온과 염분에 따른 대복의 여과율 변동을

측정하였다. 실험에 사용된 먹이생물은 황색편모조강 *Isochrysis galbana* (KMCC H-002)를 f/2배지를 이용하여 고농도로 단일배양한 후 사용하였다. 여과율 측정은 간접 측정법을 이용하였고, 실험에 사용된 먹이생물은 광학현미경 하에서 혈구계산판을 이용하여 계수하였다. 수온별 대복의 여과율은 2, 3, 4년생 모두 저온에서 수온이 상승할수록 여과율이 급격히 증가하여 15℃에서 최대로 나타났으며, 이 후 감소하는 동일한 경향을 보였다. 염분별 대복의 여과율은 2, 3, 4년생 모두 30-35 psu의 염분범위에서 최대로 나타났다. 연령별 대복의 여과율은 수온, 염분변화에 관계없이 2년생 대복이 가장 높은 여과율을 기록했고, 4년생 대복의 여과율이 가장 낮았다. 다항회귀분석 결과 수온별 대복의 여과율 곡선은 모든 연령군에서 대체적으로 저온 구간으로 치우친 경향을 나타내었고 온도계수 Q_{10} 값 역시 저온에서 높게 나타나 저온의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 염분별 여과율 곡선은 모든 연령군에서 대체적으로 고염 구간으로 치우친 경향이 나타나 저염분으로 갈수록 여과율이 감소한다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 결과로 조하대 부유섭식 이매패류인 대복은 비교적 저온에서 서식하며 넓지 않은 온도범위에서 서식하는 협온성생물이며, 좁은 염분범위에서 높은 여과율을 보이는 협염성종임을 확인할 수 있었다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 전남대학교 수산과학연구소 Innovation 2006 사업의 일환으로 수행되었다.

REFERENCES

Ali, R.M. (1970) The influence of suspension density and temperature on the filtration rate of *Hiatella arctica*. *Marine Biology*, **6**: 291-302.

Allen, J.A. (1962) Preliminary experiments on the feeding and excretion of bivalves using *Phaeodacytlum* labelled with ^{32}P. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **42**: 609-623.

Almada-Villela, P.C., Davenport, J. and Gruffydd, L.D. (1982) The effects of temperature on the shell growth of young *Mytilus edulis* L., *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **59**: 275-288.

Barkai, R. and Griffiths, C.L. (1988) An energy budget for the South African abalone *Haliotis midae Linnacus*. *Journal of Molluscan studies*, **54**: 43-51.

Bricelj, V.M. and Shumway, S. (1991) Physiology: Energy acqiusition and utilization. *In*: Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. (ed. by Shumway, S.E.). pp. 305-346. Vol. 21, Elsevier Science Publishers.

Chaparro, O.R., Montiel, Y.A., Segura, C.J., Cubllos, V.M., Thompson, R.J. and Navarro, J.M. (2008) The effect of salinity on clearance rate in the suspension-feeding estuarine gastropod *Crepipatella dilatata* under natural and controlled conditions. *Estuarine*, C*oastal and Shelf Science*, **76**: 861-868.

Clarke, A. (1998) Temperature and energetics: An introduction to cold ocean physiology. *In*: Cold Ocean Physiology. (ed. by Playle, R.C). pp. 3-30. Cambridge University Press, Cambridge.

Coughlan, J. (1969) The estimation of filtering rate from the clearance of suspensions. *Marine Biology*, **2**: 356-358.

Cranford, P.J. and Grant, J. (1990) Particle clearance and absorption of phytoplankton and detritus by the sea scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **137**: 105-121.

Dame, R.F. (1996) Ecology of marine bivalves: An ecosystem approach. pp. 254. CRC marine science series. CRC Press, Boca Raton.

Davenport, J. and Wong, T.M. (1986) Responses of the blood cockle *Anadara granosa* (L.) (Bivalvia: Arcidae) to salinity, hypoxia and aerial exposure. *Aquaculture*, **56**: 151-162.

Foster-Smith, R.L. (1975) The effect of concentration of suspension on the filtration rates and pseudofaecal production for *Mytilus edulis* L., *Cerastoderma edule* (L.) and *Venerupis pullastra*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **17**: 1-22.

Fry, F.E.J. (1971) The effect of environmental factors on the physiology of fish. *In*: Fish Physiology, (ed. by Hoar, W.S. and Randall, D.J.) Vol. 9. pp. 1-98. Academic Press, New York.

Gerdes, D. (1983) The Pacific oyster *Crassostrea gigas* Part I. Feeding behaviour of larvae and adults. *Aquaculture*, **31**: 195-219.

Griffiths, R.J. (1980) Filtration, respiration and assimilation in the black mussel *Choromytilus meridionalis*. *Marine Ecology Progress Series*, **3**: 63-70.

Guillard, R.R.L. (1983) Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. *In*: Culture of Marine Invertebrates-Selected Readings. (ed. by Berg, C.J.) pp. 108-132. Hutchinson Ross Publishing Company. Stroudsburg, Pennsylvania.

Guillard, R.R.L. and Ryther, J.H. (1962) Study of marine planktonic diatoms. 1, *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonulla confervacea* (Cleve) Gran. *Canadian Journal of Microbiology*, **8**: 229-239.

Hahn, K.O. (1989) Handbook of Culture of Abalone and other Marine Gastropods. pp. 348. CRC Press. Boca Raton, Florida.

Hammond, L.S. (1983) Experimental studies of salinity tolerance, burrowing behavior and pedicle regeneration in *Lingula anatina* (Brachiopoda, Inarticulata). *Journal of Paleontology*, **57**: 1311-1316.

Ju, S.M. (2006) Biological response of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae) with zinc bioaccumulation. pp. 50. MS. Thesis of Yosu National University, Yeosu. [in Korean]

Kim, W.S. and Hur, H.T. (1998) Recovery of an endogenous rhythm from the dampened pattern in the Manila clam *Ruditapes philippinarum*. pp. 320-321. Abstracts 1998. International Year of the Ocean-Memorial Joint Meeting and Symposium of the Korean Societies on Fisheries and Ocean Science.

Laing, I. and Child, A.R. (1996) Comparative tolerance of small juvenile palourdes (*Tapes decusstus* L.) and Manila clams (*Tapes philippinarum* Adams & Reeve) to low temperature. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **195**: 267-285.

Lee, B.K. and Chin, P. (1981) Effects of body size, temperature-salinity and starvation on the rates of filtration in *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis*. *Institute of Marine Sciences, National Fisheries University of Busan*, **13**: 37-41. [in Korean]

Lee, J.A. (2003) The energy budgets in various environments and environmental tolerance of ezo abalone, *Haliotis discus hannai*. Ph.D Thesis of Pukyong National University, Pusan. [in Korean]

Lee, J.Y. (1996) Study on the oxygen consumption of surfclam, *Mactra veneriformis* Reeve. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **29**: 614-619. [in Korean]

Lee, J.S. and Park, J.J. (2007) Risk assessment of nonylphenol using sex ratio, sexual maturation, intersex and lipofuscin accumulation of the equilateral venus *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of the Korean Fisheries Society*, **40**: 16-23. [in Korean]

Lim, K.H., Shin, H.C. and Yang, J.S. (2005) The influence of water temperature and food concentration on the filtration rates of the Asiatic clam, *Corbicula fluminea*. *Korean Journal of Malacology*, **21**: 19-24. [in Korean]

Lim, K.H., Jang, K.S., Kim, I.S., Lee, J.H. and Shin, H.C. (2008) The influence of water temperature and salinity on the filtration rates of the hard clam, *Meretrix petechialis*. *Korean Journal of Malacology*, **24**: 175-188. [in Korean]

Lyon, G. (1995) Aspects of the physiology of the South African abalone *Haliotis midae* L., and implications for intensive abalone culture. pp. 85. M.Sc. Thesis, Rhodes University, Grahamstown.

Matthews, Y.T.G. and Fairweather, P.G. (2004) Effect of lowered salinity on the survival, condition and reburial of *Soletellina alba* (Lamarch, 1818) (Bivalvia: Psammobiidae). *Austral Ecology*, **29**: 250-257.

Mohlenberg, F. and Riisgard, H.U. (1979) Filtration rate. using a new indirect technique, in thirteen species of suspension-feeding bivalves. *Marine Biology*, **54**: 143-147.

Navarro, J.M. and Gonzalez, C.M. (1998) Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. *Aquaculture*, **167**: 315-327.

Newell, R.C. and Branch, G.M. (1980) The influence of temperature on the maintenance of metabolic energy balance in marine invertebrates. *Advances in Marine Biology*, **17**: 329-396.

Numaguchi, K. (1994) Effect of water temperatue on the filtration rate of Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*. *Suisan Zoshoku*, **42**: 1-6. [in Japanese]

Numaguchi, K. and Tanaka, Y. (1986) Effects of temperature on mortality and growth of the spat of the pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*. *Bulletin of National Research Institute of Aquaculture*, **9**: 35-39. [in Japanese]

Palmer, R.E. (1980) Behavioral and rhythmic aspects of filtration in the bay scallop, *Argopecten irradians concentricus* (Say), and the oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **45**: 273-295.

Park, J.J. and Lee. J.S. (2003) Cadmium toxicity on the survival rate and activity of the equilateral Venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of the Korean Fisheries Society*, **36**: 463-468. [in Korean]

Park, J.J. and Lee, J.S. (2008) Tributyltin chloride (TBTCI) toxicity on the oxygen consumption rate and histological changes of gill in the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of Fish Pathology*, **21**: 66-79. [in Korean]

Park, J.J., Lee, J.Y., Lee, J.S. and Chang, Y.J. (2003) Gonadal development and gametogenic cycle of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of the Korean Fisheries Society*, **36**: 352-357. [in Korean]

Park, J.J., Jin, Y.G. and Lee, J.S. (2008) Tributyltin chloride (TBTCI) toxicity on the survival rate and burrowing activity of the equilateral venus, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia: Veneridae). *Journal of Fish Pathology*, **21**: 45-56. [in Korean]

Peck, L.S. (1989) Feeding, growth and temperature in the ormer, *Haliotis tuberculata* L. *Progress in Underwater Science*, **14**: 95-107.

Quayle, D.B. and Bourne, N. (1972) The clam fisheries of British Columbia. *Fisheries Research Board of Canada Bulletin*, **179**: 42-48.

Ramamoorthi, K., Venkataramanujam, K. and Srikrishnadhas, B. (1973) Mass mortality of *Lingula anatina* (Lam.) (Brachiopoda) in Porto Novo waters. *Current Science*, **42**: 285-286.

Riisgård, H.U. (1988) Efficiency of particle retention and filtration rate in 6 species of Northeast American bivalves. *Marine Ecology Progress Series*, **45**: 217-223.

Saucedo, P.E., Ocampo, L., Monteforte, M. and Bervera, H. (2004) Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica*

(Hanley, 1856). *Aquaculture*, **229**: 377-387.

Schulte, E.H. (1975) Influence of algal concentration and temperature on the filtration rate of *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, **30**: 331-341.

Shamseldin, A.A., Clegg, J.S., Friedman, C.S., Cherr, G.N. and PillaI, M.C. (1997) Induced thermotolerance in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Journal of Shellfish Research*, **16**: 487-491.

Shin, H.C. (1992) Growth and Population Dynamics of *Mactra veneriformis* (Bivalvia). pp. 135. Ph.D Thesis of Seoul National University, Seoul.

Shin, H.C. and Lim, K.H. (2003) The influence of water temperature and salinity on the filtration rates of the short-necked clam, *Ruditapes philippinarum*. *Korean Journal of Malacology*, **19**: 1-8. [in Korean]

Shin, H.C. and Shin, S.H. (1999) Population of biology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*: Bivalvia) in Kwangyang Bay, Southern Coast of Korea. I. Growth and benthic environments. *Korean Journal of Malacology*, **15**: 21-30. [in Korean]

Shin, Y.K., Kim, Y., Chung, E.Y. and Hur, S.B. (2000) Temperature and salinity tolerance of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **33**: 213-218. [in Korean]

Shumway, S.E., Cucci, T.L., Newell, R.C. and Yentsch, C.M. (1985) Particle selection, ingestion, and absorption in filter-feeding bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **91**: 77-92.

Uki, N. (1981) Feeding behavior of experimental populations of abalone *Haliotis discus hannai*. *Bulletin of Fisheries Resesrch Laboratory*, **43**: 53-58.

Uki, N. and Kikuchi, S. (1975) Oxygen consumption of the abalone, *Haliotis discus hannai* in relation to body size and temperature. *Bulletin of Fisheries Research Laboratory*, **35**: 73-84.

Urban, H.J. (1994) Upper temperature tolerance of the bivalve species off Peru and Chile related to El Nino. *Marine Ecology Progress Series*, **107**: 139-145.

Walne, P.R. (1979) Culture of Bivalve Molluscs; 50 years' Experience at Conwy. pp. 189. Farnham. Fishing News Books Ltd.

Way, C.M., Hornbach, D.J., Miller-Way, C.A., Payne, B.S. and Miller, A.C. (1990) Dynamics of filter feeding in *Corbicula fliminea* (Bivalvia: Corbiculidae). *Canadian Journal of Zoology*, **68**: 115-120.

Widdows, J. (1985) The effect of fluctuating and abrupt change in salinity on the performance of *Mytilus edulis*. *In*: Marine Biology of Polar Regions and Effect of Stress on Marine Organism. (ed. by Gray, J.S. and Christiansen, M.E.) pp. 555-566. Wiley-interscience.

Winter, J.E. (1969) Ueber den einfluss der nahrungskonzentration und anderer faktoren auf filtrierleistung und nahrungsausnutzung der muscheln *Atctica islandica* und *Mobiolus modiolus*. *Marine Biology*, **4**: 87-135.

Winter, J.E. (1973) The filtration rate of *Mytilus edulis* and its dependence on algal concentration, measured by a continuous automatic recording apparatus. *Marine Biology*, **22**: 317-328.

Winter, J.E. (1978) A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, **13**: 1-33.

Won, M.S. (1994) Seed production and environmental influence on productivity of the short-necked clam, *Ruditapes philinarum*. pp. 220. Ph.D. Thesis. National Fisheries University of Pusan. [in Korean]

Yang, M.R. (1994) Growth and Production of *Sinonovacula constricta* (Bivalvia). Thesis of Seoul National University, Seoul.

Zeuthen, E. (1953). Oxygen uptake as related to body size in organisms. *Quarterly Review of Biology*, **28**: 1-12.

Zhuang, S. (2006) The influence of salinity, diurnal rhythm and daylength on feeding behavior in *Meretrix meretix* Linnaeus. *Aquaculture*, **252**: 584-590.

국립해양조사원. www.nori.go.kr.

심재형, 김응성. (1996) 동물플랑크톤 생태연구법. pp. 503. 동화기술

윤성규, 홍재상, (1995) 해양생물학-저서생물, pp. 412. 아카데미 서적

이광응, 구혜영, 김원, 양재섭, 윤권상, 이종섭, 최청일, 홍영남. (1993) 생물학: 생명의 과학. pp. 1074. 을유문화사.

해양수산부. (1998) '98 통영해역의 바다목장 연구개발용역사업 보고서. pp. 234-352. BSPM95005-01-1116-3, 한국해양연구소.