

말뚝합의 연령별 여과율에 미치는 수온과 염분의 영향

임경훈, 장규상, 김인수, 이정호¹, 신현출¹

한국농어촌공사 농어촌연구원, ¹전남대학교 해양환경기술학부

The Influence of Water Temperature and Salinity on Filtration Rates of the Hard Clam, *Meretrix petechialis*

Kyeong Hun Lim, Kyu Sang Jang, In Sou Kim, Jeong Ho Lee¹ and Hyun Chool Shin¹

Rural Research Institute, Korea Rural Community and Agriculture Corporation, Ansan, 426-908, Korea

¹Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu, 550-749, Korea

ABSTRACT

This study was performed to describe the influence of water temperature and salinity on the filtration rate of the hard clam, *Meretrix petechialis*. The filtration rates of hard clams showed significant differences depending on both water temperature and age group (two-way ANOVA, $p < 0.001$). The filtration rate of all the hard clams, aged from 1 to 4 years, was generally reduced in low temperature range (5-15°C). As the water temperature increased, the filtration rate increased exponentially. The filtration rate was relatively high in 20-30°C water temperature range, but rapidly decreased again at around 35°C. Variations in the data for filtration rates of hard clams, relative to age and changing water temperature, were used to determine the temperature coefficient Q_{10} in each water temperature range. In 5-15°C temperature range, every age group showed the highest Q_{10} figure. It was found that on the whole, the higher the water temperature was, the lower the number of Q_{10} was. Regardless of age, the number of Q_{10} was higher in the lower water temperature range. In 25-35°C temperature range, the number of Q_{10} was less than 1.00 in all age groups, implying that this is the range in which the filtration rate decreased. Variations in the filtration rate also showed very clear differences (two-way ANOVA, $p < 0.001$) according to changing salinity and age. All the age groups, from 1 to 4 year olds, showed low filtration rates at both low salinity (10-15 psu) and high salinity (40 psu). The highest filtration rate was recorded at 30 psu, and relatively high filtration rates were found around 30 psu. However, the Student-Newman-Keuls post hoc multiple comparison test found that the hard clams in the 1-year group showed high filtration rates in a relatively narrower salinity range compared to those in the 2, 3, and 4 year groups. In other words, hard clams in the 2, 3, and 4 year groups showed high filtration rates at higher levels of salinity.

Key words: filtration rate, water temperature, salinity, *Meretrix petechialis*.

서 론

갯벌 조간대에 서식하는 여과식성 또는 부유물식성의 저서 생물은 서식밀도가 대단히 높을 뿐만 아니라 일부 여과식성 이매패류들은 상업적으로도 매우 중요하기 때문에 이들의 생물, 생태학적 정보는 높은 관심의 대상이 되어 왔다(Kim, 1994).

이중 특히 말뚝합, *Meretrix petechialis*는 우리나라에서 식용하며, 예로부터 식량자원으로 중요한 자리를 차지하여 왔을 뿐만 아니라 최근 기호도가 매우 높아져서 식용으로의 수요가 크게 증가하여 그에 대한 관심은 더욱 높아지고 있다. 그럼에도 불구하고 최근에는 대단위 간척사업으로 인한 갯벌 서식지의 감소, 공업화에 따른 환경오염의 확산과 급격한 해양환경의 변화, 양식장의 자가 오염의 누적, 양식장의 부영양화 등으로 인한 적조발생 등의 원인으로 생산량이 점차 감소되는 경향을 보이고 있어 이들 자원에 대한 지속적인 관리 및 생산을 위해서 자원, 생리, 생태학적 기초 연구가 절실하게 요구되고 있다(Ryu *et al.*, 2006).

이러한 상업적인 중요성 이외에도 말뚝합과 같은 저서성 여

Received August 12, 2008; Accepted December 6, 2008
Corresponding author: Kyeong Hun Lim
Tel: +82 (31) 400-1814 e-mail: marinelkh@lycos.co.kr
1225-3480/24303

과식자들은 매우 높은 서식밀도로 퇴적물-수 경계면 (sediment-water interface)에 위치하면서 수중에 부유하는 입자의 여과와 생물퇴적(biodeposition, e.g., faeces & pseudofaeces)에 의해 퇴적층으로의 물질수송을 담당하고 있다(Dame, 1993). 또한 여과식자들은 유, 무기물을 구별하지 않고 수중의 입자를 여과하기 때문에 물리적으로 5 μm 이하의 미립자를 강제로 침강시킴으로써 해수를 정화한다는 중요한 역할도 한다(Foster-Smith, 1975). 뿐만 아니라, 여름과 가을에 식물플랑크톤의 생물량을 조절하는 가장 중요한 요인 중 하나가 바로 저서성 여과식자들의 섭식활동이라고 제시된 바도 있다(Cloern, 1982; Asmus and Asmus, 1993). 이와 같이 저서생태계에서 이들의 생태적 역할과 기능은 매우 크다고 할 수 있다. 이처럼 말뚝합은 상업적으로 중요할 뿐만 아니라 생리.생태학적으로도 매우 중요하다고 여겨지나, 이들에 대한 생리.생태학적 연구는 니질과 염분이 백합의 폐사에 미치는 영향(Chang *et al.*, 1976), 백합의 연령과 성장(Ryu *et al.*, 2006) 등, 다수의 연구가 진행되어 왔을 뿐, 기초 생리.생태학적인 연구는 매우 미비한 실정이다.

아울러, 수온은 연중 변화하게 되므로 해양생물에게 있어 계절변화에 따른 수온 차이에 순응해야 하는 것은 필연적일 것이다. 특히 대사과정을 통해서 열발생을 하지 않는 변온동물의 경우는 자신이 서식하는 주변의 수온 변화에 대한 적응 여부가 그들의 생존과 직결될 것이기에 수온은 그들의 생존과 관련하여 매우 중요한 환경요인 중 하나에 속한다. 또한 해양생물에게 있어 수온의 변화는 이들의 생존뿐만 아니라 생리적 기능에도 많은 영향을 미칠 수 있다(Newell and Branch, 1980; Almada-Villela *et al.*, 1982; Dame, 1996).

본 연구는 상업적으로 매우 중요한 말뚝합 자원의 효율적인 관리 및 증산뿐만 아니라 갯벌 조간대에서 생물, 생태학적으로 중요한 위치를 차지하고 있는 말뚝합의 기초 생리, 생태학적

정보를 파악하기 위한 일환으로 실내 사육 및 실내 실험을 통해 수온 및 염분의 변화가 이들의 여과율에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 피검생물, 말뚝합

본 연구에서 여과율 측정 실험을 하기 위한 피검생물인 말뚝합의 실험개체 확보를 위해 전라북도 김제시 진봉면 거전리 인근에 위치한 갯벌에서 2005년 9월부터 11월까지 대조시 최대 간조시간을 선택하여 채집하였다. 채집된 말뚝합은 채집지역의 퇴적물과 해수를 직접 채운 컨테이너상자에 담아 조심스럽고 신속하게 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반된 말뚝합은 미리 준비된 여과해수(GF/C; pore size 1.2 μm)로 각각의 개체를 조심스럽게 세척하여 피검생물의 패각 표면에 부착되어 있는 이물질 및 따개비류 *Balanus sp.*를 제거한 후 사육조에서 순응시켰다. 사육조는 모래와 여과해수를 채운 컨테이너상자를 사용하였으며, 순응시 수온은 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 를, 염분은 30-33 psu를 유지하였다. 수온과 염분은 각각 디지털수온측정기(Summit SDT8A)와 염분측정기(YSI 30-10FT)를 이용하여 확인하였다. 먹이생물은 식물플랑크톤을 실내에서 단일 종 배양하여 하루에 한번씩 공급하였다.

말뚝합의 여과율 측정 실험에 사용된 연령별 개체수와 각장 및 건중량은 Table 1에 나타내었다. 수온 및 염분별 여과율 측정 실험에서 1년생 말뚝합은 총 105 개체가 사용되었고, 평균 각장은 18.98 ± 3.23 mm, 패각을 제거한 육질부의 평균 건중량은 0.055 ± 0.025 g dw이었다. 2년생 말뚝합은 총 125 개체가 사용되었으며, 평균 각장은 28.68 ± 1.44 mm, 육질부 평균 건중량은 0.215 ± 0.045 g dw(dry weight)이었다. 3년생 말뚝합은 총 117 개체가 사용되었고, 평균 각장은 34.13 ± 1.89 mm, 육질부 평균 건중량은 $0.381 \pm$

Table 1. Total number of individuals, mean shell length and mean dry tissue weight of *Meretrix petechialis*, used in each experiment for estimate filtration rate of clams.

Experimental condition		Yr-class	No. of individuals	Mean shell length (mm)	Mean dry tissue weight (g)
Temp.($^\circ\text{C}$)	Salinity (psu)				
5-35	30	1	63	18.42 ± 2.76	0.045 ± 0.020
		2	63	28.53 ± 1.11	0.218 ± 0.039
		3	63	33.50 ± 0.85	0.374 ± 0.046
		4	63	45.50 ± 2.79	0.846 ± 0.191
20	10-40	1	42	19.83 ± 3.66	0.069 ± 0.024
		2	62	28.83 ± 1.69	0.211 ± 0.050
		3	54	34.86 ± 2.42	0.390 ± 0.124
		4	62	44.09 ± 2.14	0.790 ± 0.112

0.091 g dw이었고, 4년생 말뚱하늘은 총 125 개체가 사용되었으며 평균 각장은 44.79 ± 2.58 mm, 육질부 평균 건조량은 0.764 ± 0.178 g dw로 본 연구의 여과율 측정 실험에 사용된 말뚱하늘의 각장과 육질부 건조량은 $W = 4.5 \times 10^{-6} SL^{3.1854}$ ($r^2 = 0.969$; W: dry tissue weight, SL: shell length)의 관계를 가지며, 말뚱하늘의 각장이 증가함에 따라 육질부 건조량 또한 지수함수적으로 증가(exponential increase)하는 경향이였다.

2. 먹이생물

현장에서 채집된 피검생물인 말뚱하늘을 실내에서 순응시 필요한 먹이 및 여과율 측정 실험시 농도감소 지표물질로서 사용하기 위한 먹이생물로서 식물플랑크톤을 실내에서 단일 종 배양하여 공급하였다. 먹이생물은 한국해양미세조류은행(Korea Marine Microalgae Culture Center; KMCC)에서 규조류인 *Phaeodactylum tricornutum*(KMCC B-128)의 seed를 분양 받아서 사용하였다. 먹이생물 배양시 액체배지는 f/2 배지(Guillard and Ryther, 1962)를 사용하였으며, 배양조건은 온도 20 ± 1℃, 광주기 24 L:0 D, 염분 33 ± 1 psu, pH 7.9 ± 0.1로 조절하였다. 염분 측정은 염분측정기(YSI 30-10FT)를 사용하였고, pH는 환경모니터링시스템(YSI 600XLM)을 사용하여 측정하였다. 이렇게 단일 종 배양액을 사용하면 이와 같거나 유사한 먹이생물을 사용한 다른 생물(종)과의 비교가 용이하다는 이점이 있기 때문에 특히 여과식이매패류(filter-feeding bivalves)의 연구에 많이 이용되어져왔다(Griffiths, 1980).

3. 여과율 및 수온계수 Q₁₀ 값의 산출식

본 연구에서 말뚱하늘의 여과율 측정 실험 후 얻어진 자료들을 이용하여 여과율을 산출함에 있어 Coughlan(1969)의 여과율 계산식을 적용하여 다음과 같이 산출하였다.

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

- FR: filtering rate (mL/min)
- V: volume of suspension (mL)
- C_{t₀}: initial concentration (cells/mL)
- C_{t₁}: concentration after time t₁ (cells/mL)
- t: duration between time t₀ and t₁ (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 유

의성을 판별하였다. 그리고 one-way ANOVA에서 수온 및 염분별 여과율의 유의한 차이가 있을 경우(p < 0.05), 사후검정(post hoc multiple comparisons)으로서 Student-Newman-Keuls 다중비교 검정(S-N-K multiple comparison test)을 통해 유의한 차이를 나타내는 수온 및 염분 구간을 파악하였다. 아울러 이원분산분석(two-way ANOVA)을 통해 각각 수온 및 연령별, 염분 및 연령별 여과율 차이의 유의성을 파악하였다. 또한 여과율에 미치는 수온의 영향을 파악하기 위한 수온계수(thermal coefficients; Q₁₀)는 다음의 계산식을 이용하여 구하였다.

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

R₁, R₂: filtering rate at water temperature T₁, and T₂, respectively

4. 대조구 먹이생물 농도 변화 검증

피검생물의 직접적인 여과활동에 의하지 않고 먹이생물이 자체적으로 침강하거나 실험조 내부 벽면으로의 부착 등에 의해 먹이생물의 농도 감소가 발생할 경우 이를 고려하지 않게 되면 측정된 여과율 값은 과대평가 될 수 있다. 따라서 대조구(control)로서 피검생물을 넣지 않은 실험조를 각 실험구별로 설치하여 시간에 따른 먹이생물의 세포농도 변화를 관찰하였다. 수온 변화에 대한 먹이생물의 세포농도 변화는 Shin and Lim(2003)의 결과에 따라 피검생물의 여과활동에 의하지 않은 먹이생물의 세포농도 감소는 없는 것으로 간주하였으며, 본 연구에서 각 염분구간별(10-40 psu) 시간에 따른 먹이생물의 세포농도 변화를 추가적으로 관찰하였다. 각각의 염분구간별 초기 먹이생물의 농도를 산출하고 피검생물은 넣지 않은 상태에서 다른 조건은 여과율 측정시와 동일하게 조절하였고, 1 시간 간격으로 먹이생물의 농도변화를 관찰하여 일원분산분석을 통해 각 실험구의 시간에 따른 먹이생물 농도 차이의 유의성을 판별하였다. 먹이생물의 농도 관찰은 본 연구의 여과율 측정 실험이 먹이생물 투입 후 대략 3-4 시간 가량이 소요되는 것을 고려하여 5 시간동안 관찰을 통해 먹이생물 농도 변화를 파악하였다. 자료의 통계처리는 SPSS ver. 12.0 software를 사용하였으며, 각각의 염분구간별 먹이생물의 농도 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 실험 전 먹이생물인 *Phaeodactylum tricornutum*의 초기 세포농도는 10-25 psu까지의 구간에서는 각각 36.5 ± 3.5 × 10⁴ cells/mL, 54.7 ± 5.2 × 10⁴ cells/mL, 72.9 ± 7.0 × 10⁴ cells/mL, 91.2 ± 8.7 × 10⁴ cells/mL이었고, 30-40 psu까지는 각각 109.4 ± 10.4 × 10⁴ cells/mL이었다. 이후 시간 간격에 따른 먹이생물의 세포농도 변화를 관찰한 결과 시간의 경과에 관계없이 일정한 세포농도를 나타내었으며 일원분산분석 결과에서도 염분 구간에

관계없이 시간 경과에 따른 세포농도 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다(10 psu: $p = 0.472$; 15 psu: $p = 0.529$; 20 psu: $p = 0.582$; 25 psu: $p = 0.143$; 30 psu: $p = 0.138$; 35 psu: $p = 0.409$; 40 psu: $p = 0.816$). 그러므로 Shin and Lim(2003)의 결과와 본 연구의 대조구 세포농도 관찰 결과로부터 본 연구의 여과율 측정 실험이 진행되는 동안 피검생물인 말백합의 여과활동에 의하지 않은 먹이생물 (*Phaeodactylum tricornutum*)의 세포농도 감소는 없는 것으로 간주하였다.

5. 여과율 측정 실험방법

현장에서 채집하여 일정 기간 동안 실험실내에서 순응시킨 말백합은 여과율 측정 실험에 사용하기 전에 24 시간 동안 다시 각각의 실험조건(수온 5-35°C; 염분 10-40 psu)에서 순응시킨 후 여과율을 측정하였다. 그리고 염분변화에 따른 여과율 측정 실험시 15 psu 이하의 실험 조건에서는 저염분 노출에 대한 생리적 회복시간을 고려하여 48 시간 동안 순응시켰고 (Kim and Hur, 1998), 실험 전 24 시간 동안은 실험조건외 표준화를 위해서 절식시켰다(Lee and Chin, 1981; Way et

al., 1990).

수온은 5°C 간격으로 모두 7 개 구간(5, 10, 15, 20, 25, 30, 35°C)의 실험구를 설정하였고, 수온 조절은 냉각기와 가열막대를 사용하였다. 염분은 5 psu 간격으로 모두 7 개 구간(10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 psu)의 실험구를 설정하였고, 염분 조절은 천일염과 증류수를 사용하였다. 수온은 디지털수온측정기(Summit SDT8A)를 사용하였고, 염분은 염분측정기(YSI 30-10FT)를 사용하여 각각의 실험조건을 확인하였다.

전체적인 여과율 측정 실험 과정은 Shin and Lim(2003)의 방법과 동일하였다. 즉, 실험조는 1 L 용량의 비이커를 사용하였으며, 각 실험조에는 말백합 3 개체씩을 넣었고, 각 실험구에는 3 개의 반복 실험조를 두었다. 먹이생물의 투여는 미리 먹이생물의 농도값(Ct_0)이 산출된 먹이생물 배양액을 투여하였으며, 투여 60분 후 오토마이크로피펫을 이용하여 각 실험조당 10 mL의 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 즉시 암냉보관하면서 가능한 빠른 시간내에 혈구계산판을 이용하여 광학현미경하에서 시료당 3 회 반복 계수한 후 평균을 산출하였으며, 이 평균값을 해당 실험조의 실험 종료 후 먹이생물 농도값(Ct_1)으로 적용하였다.

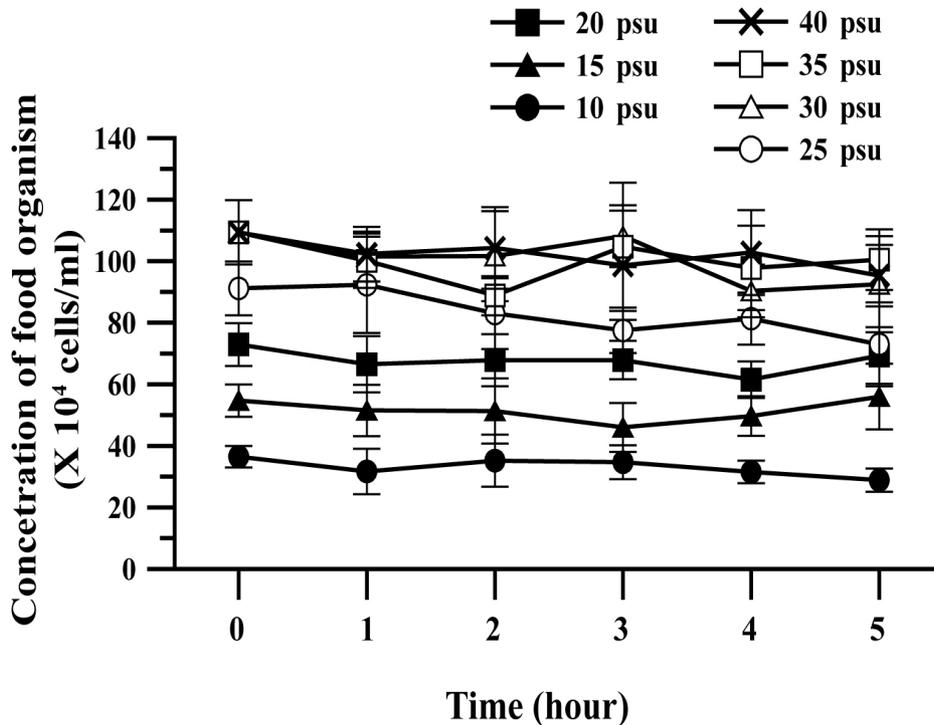


Fig. 1. Changes (means \pm S.D., $n = 9$) in cell concentration of food organisms without any other suspension feeding invertebrates at each salinity; Water temperature was constant at $20 \pm 1^\circ\text{C}$ and there was no significant differences could be found between cell concentration of food organism and times in all of treatments (one-way ANOVA, 10 psu: $p = 0.472$, 15 psu: $p = 0.529$, 20 psu: $p = 0.582$, 25 psu: $p = 0.143$, 30 psu: $p = 0.138$, 35 psu: $p = 0.409$, 40 psu: $p = 0.816$).

그리고 실험 종료 후 말뚝합의 각장과 육질부 건중량을 측정하였고, Coughlan(1969)의 계산식을 이용하여 각 실험조의 여과율을 산출한 후 3개의 반복 실험조에서 산출된 여과율의 평균값을 해당 실험구의 여과율 값으로 적용하였다. 각장은 디지털 Vernier caliper(0.01 mm)로 측정하였고, 육질부 건중량은 정밀도 0.0001 g의 전자저울(Sartorius BP221S)을 사용하여 측정하였다. 여과율 측정 실험에 의해 산출된 모든 여과율값은 각 피검생물의 육질부 건중량당 여과율(mL/min·g dw)로 환산하여 나타내었다.

결 과

1. 수온별 말뚝합의 여과율 변동

1, 2, 3, 4년생 말뚝합의 수온별 여과율 측정 실험의 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 수온 변화에 따른 1년생 말뚝합의 여과율은 5°C에서 19.35 ± 4.33 mL/min·g dw로 최소값을 나타내었고 25°C에서 112.95 ± 30.82 mL/min·g dw로 최대값을 기록하였으며, 20°C에서도 106.55 ± 16.39 mL/min·g

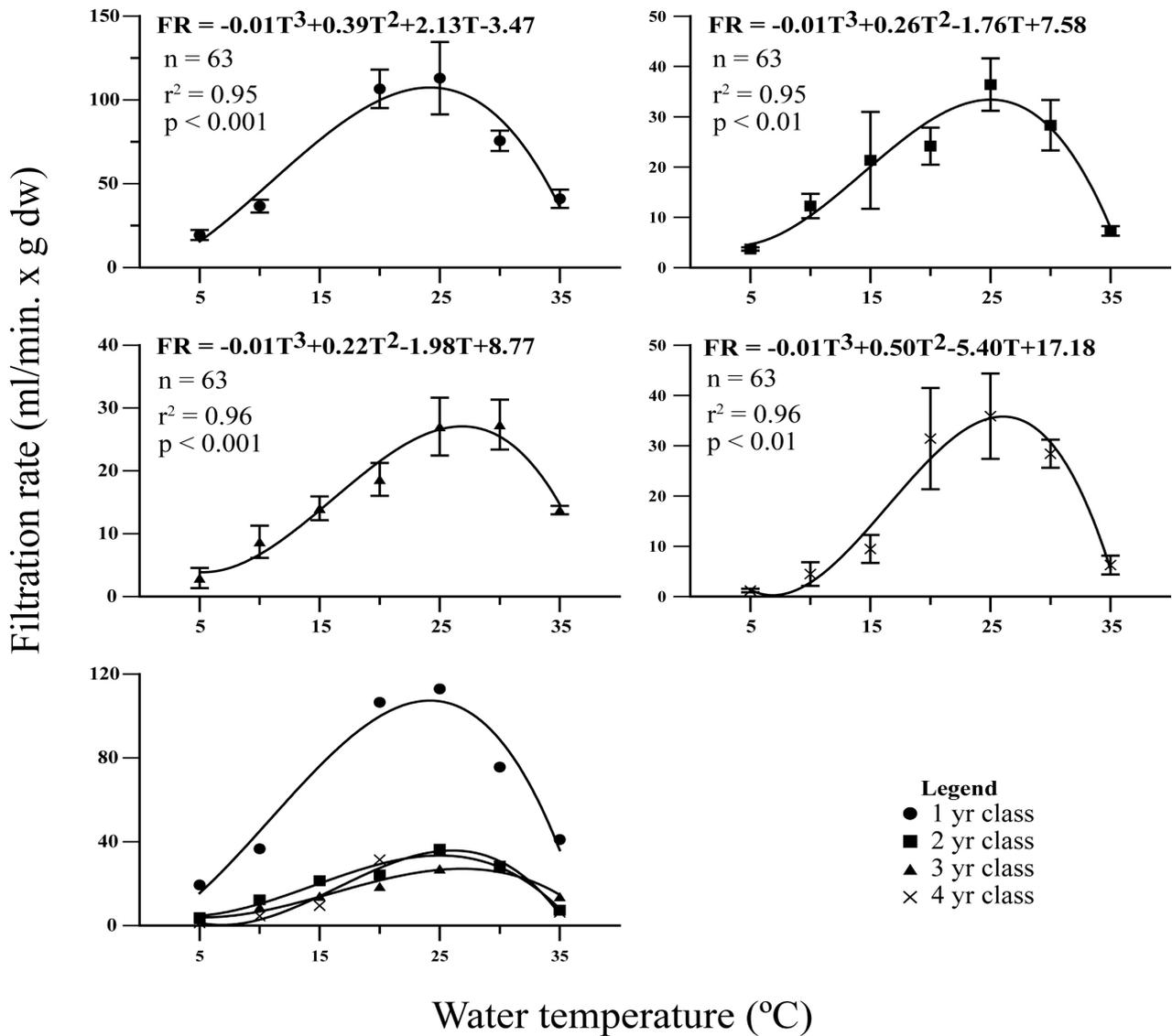


Fig. 2. Influence of water temperature on filtration rate of hard clams, *Meretrix petechialis*; Mean shell length of 1, 2, 3 and 4yr class of hard clams were 18.42 ± 2.76, 28.53 ± 1.11, 33.50 ± 0.85 and 45.50 ± 2.79 mm, respectively. Salinity was controlled at 30 ± 1 psu, using distilled water and bay salts. Vertical bars means standard deviation, and note that the scale of vertical axes is unequal in each graph.

dw로 비교적 높은 여과율을 나타내었다. 전반적으로 저온에서 여과율이 매우 낮고 수온이 증가할수록 여과율도 크게 증가하다가 25℃ 전후에서 최대값을 나타내며 이후 급격하게 감소하는 경향을 보여 수온 변화에 대해 뚜렷한 여과율 변동을 나타내었다(one-way ANOVA, $p < 0.001$). 대체적으로 높은 여과율을 기록한 20-30℃에서의 여과율이 다른 수온 구간에 비해 높은 값을 나타내는 경향이었으나 30℃에서의 여과율(75.61 ± 8.70 mL/min·g dw)이 10℃, 35℃에서의 여과율과 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았으며(S-N-K test, $p = 0.184$), 20-25℃범위의 수온 구간에서 가장 높은 여과율을 나타내었다.

2년생 말백합의 수온별 여과율 변동을 살펴보면, 5℃에서 3.69 ± 0.49 mL/min·g dw로 최소값을 보였고, 25℃에서 36.40 ± 7.43 mL/min·g dw로 최대값을 보였으며 전반적으로 저온에서 낮은 여과율을 보이다가 20℃ 전후에서 높은 여과율을 보이고 이후 감소하는 경향으로 수온 변화에 대해 비교적 뚜렷한 여과율 차이를 보였다(one-way ANOVA, $p < 0.01$). 1년생 말백합의 경우와 유사하게 전반적으로 20-30℃의 수온 구간에서 상대적으로 높은 여과율을 기록하였으나 20℃와 30℃에서의 여과율은 10℃, 15℃, 35℃에서의 여과율과 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았으며, 다른 수온 구간에 비해 25℃에서 가장 높은 여과율을 기록하였다.

3년생 말백합의 수온별 여과율 변동의 경우, 1, 2년생 말백합의 경우와 마찬가지로 5℃에서 2.95 ± 2.29 mL/min·g dw로 최소값을 나타내었고, 25℃, 30℃에서 각각 27.05 ± 6.56 mL/min·g dw, 27.36 ± 5.69 mL/min·g dw로 높은 값을 기록하였다. 전반적인 경향은 1, 2년생 말백합의 경우와 유사하여 수온 변화에 대해 뚜렷한 여과율 변동을 보였다(one-way ANOVA, $p < 0.001$). 대체적으로 20-30℃의 수온 구간에서 상대적으로 높은 여과율을 보이는 경향은 1, 2년생 말백합과 유사하였으나, 1, 2년생 말백합의 경우와는 다르게 30℃에서의 여과율이 저온 범위에서의 여과율과 통계적으로 유의한 차이를 나타내었고, 20℃의 여과율은 5℃에서의 여과율과는 통

계적으로 유의한 차이를 보였으며, 그 외의 수온 구간에서의 여과율과는 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 유의하게 높은 여과율을 나타낸 수온 구간은 25-30℃로 나타났다.

수온 변화에 따른 4년생 말백합의 여과율 변동 경향을 살펴보면, 5℃에서 1.20 ± 0.52 mL/min·g dw로 가장 낮은 값을 보였고 이는 4 개 연령군 중에서도 가장 낮은 값이었다. 그리고 25℃에서 35.89 ± 12.14 mL/min·g dw로 최대값을 나타내어 1, 2, 3년생 말백합의 경우와 유사하게 수온 변화에 대한 뚜렷한 여과율 변동을 보였다(one-way ANOVA, $p < 0.01$). S-N-K 다중비교 결과에서 유의한 여과율 차이를 나타낸 수온 구간을 살펴보면 다른 연령군에 비해 매우 뚜렷한 수온 구간이 구분되어졌다. 즉, 5-15℃ 및 35℃는 뚜렷하게 낮은 여과율을 보였고, 20-30℃의 여과율은 다른 수온 구간에 비해 통계적으로 유의하게 높은 값을 나타내었다.

이상의 각 연령별 말백합의 수온 변화에 따른 여과율 변동을 전체적으로 살펴보면 수온 변화 및 연령 차이에 따른 여과율 변동은 매우 뚜렷하였다(two-way ANOVA, $p < 0.001$). 즉 수온 변화에 대한 각 연령별 말백합의 여과율이 연령에 따라 높고 낮음의 차이는 다소 있지만 대체적으로 1, 2, 3, 4년생 말백합 모두 저온(5-15℃)에서 비교적 낮은 여과율을 보였고, 수온이 증가함에 따라 여과율 역시 지수함수적인 증가를 보이다가 1년생 말백합은 20-25℃, 2년생 말백합은 25℃, 3년생 말백합은 25-30℃ 그리고 4년생 말백합은 20-30℃의 수온 구간에서 뚜렷하게 높은 값을 보여 전반적으로 20-30℃의 수온 구간에서 상대적으로 높은 여과율을 보였으며, 이후 35℃에서는 다시 급격하게 감소하는 일정한 경향성을 보였다. 또한 수온에 관계없이 1년생 말백합의 건중량당 여과율이 2, 3, 4년생 말백합의 여과율에 비해 상대적으로 매우 높은 경향이었고, 2, 3, 4년생 말백합의 여과율은 서로 유사한 경향이었다.

수온 변화에 따른 각 연령별 말백합의 여과율 변동 자료를 이용하여 각 수온 범위에서의 온도계수 Q_{10} 값을 산출하였고 이를 Table 2에 나타내었다. 1년생 말백합의 경우 15℃에서

Table 2. Temperature coefficients, Q_{10} values in filtration rates by the hard clams, *Meretrix petechialis*.

Temperature range (°C)	Q_{10} values			
	1 year class	2 year class	3 year class	4 year class
5-15	-	5.78	4.75	7.88
10-20	2.91	1.97	2.14	7.00
15-25	-	1.71	1.93	3.79
20-30	0.71	1.17	1.47	0.90
25-35	0.36	0.20	0.51	0.18

*Dash indicates no data.

의 여과율이 측정되지 못하였기 때문에 5-15°C 구간과 15-25°C 구간의 Q_{10} 값은 산출되지 않았다. 이를 제외하면 전반적으로 2, 3, 4년생 말백합 모두 5-15°C 구간에서 각각 5.78, 4.75, 7.88의 값으로 이 수온 구간에서 각각의 연령군 모두 가장 높은 Q_{10} 값을 나타내었고, 대체로 수온 구간이 증가할수록 Q_{10} 값은 감소하는 경향을 보여 연령에 관계없이 낮은 수온

구간에서 상대적으로 더 높은 Q_{10} 값을 나타내는 양상이었다. 그리고 동일한 수온 구간에서의 Q_{10} 값을 연령별로 비교해보면 낮은 수온 구간에서는 대체로 연령이 증가할수록 높은 Q_{10} 값을 보이는 경향이였다. 25-35°C 구간은 모든 연령군에서 1.00 미만의 값을 나타내었다.

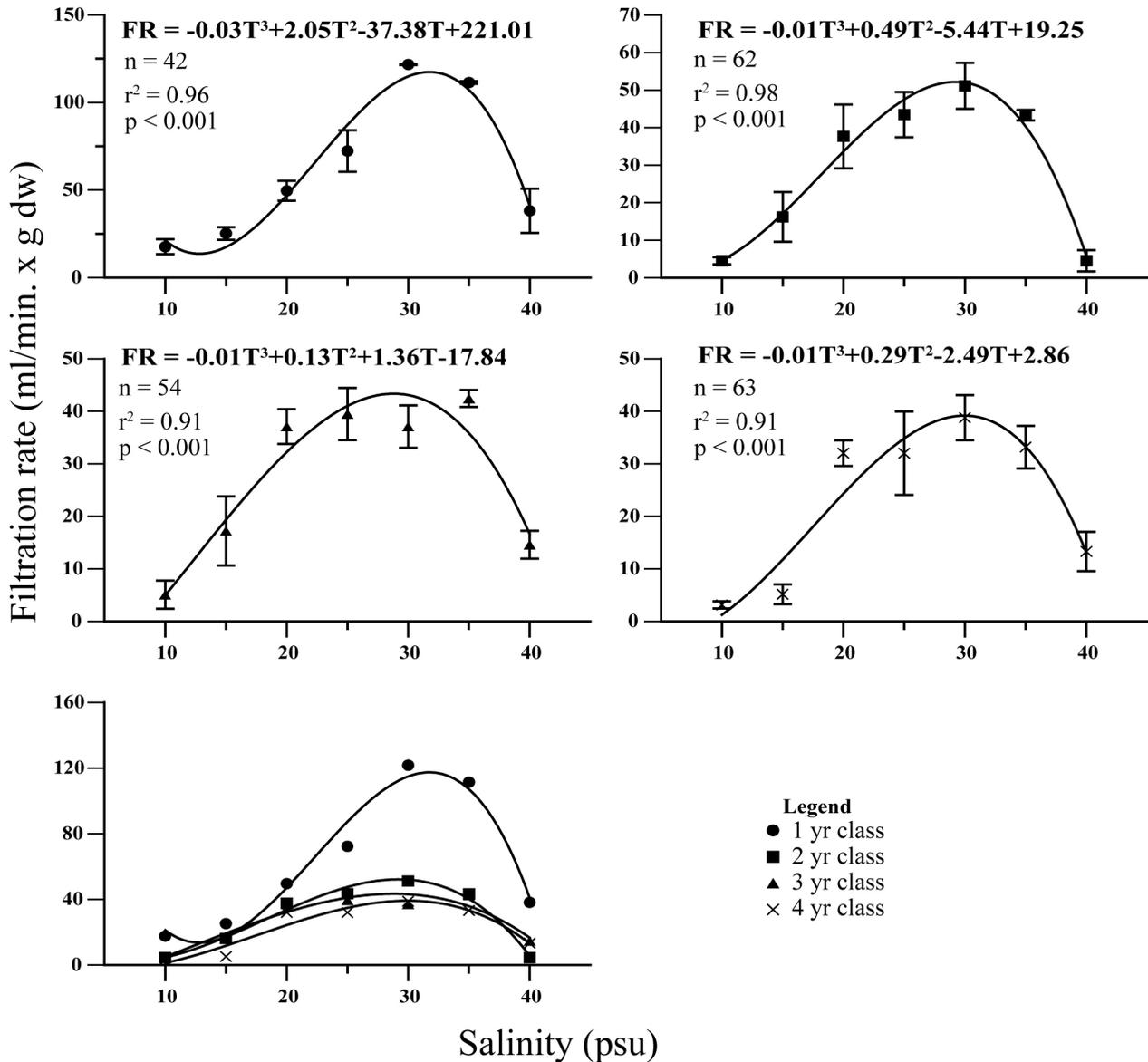


Fig. 3. Influence of salinity on filtration rate of hard clams, *Meretrix petechialis*. Mean shell length of 1, 2, 3 and 4 yr class of hard clams were 19.83 ± 3.66 , 28.83 ± 1.69 , 34.86 ± 2.42 and 44.09 ± 2.14 mm, respectively. Water temperature was controlled at $20 \pm 1^\circ\text{C}$, using cooling machines and heating bars. Vertical bars means standard deviation, and note that the scale of vertical axes is unequal in each graph.

2. 염분별 말백합의 여과율 변동

각 연령별 말백합의 염분 변화에 따른 여과율 측정 실험의 결과는 Fig. 3과 같다. 먼저 1년생 말백합의 염분별 여과율 변동을 살펴보면, 10 psu에서 17.61 ± 6.11 mL/min-g dw로 최소값을 나타내었고, 30 psu에서 121.70 ± 0.55 mL/min-g dw로 최대값을 보였으며, 35 psu에서도 111.42 ± 1.01 mL/min-g dw로 비교적 높은 여과율값을 보였다. 전반적으로 1년생 말백합의 수온 변화에 대한 여과율 변동 양상과 매우 유사한 경향으로 낮은 염분 구간에서 저조한 여과율값을 보이다가 염분이 증가함에 따라 여과율도 대체적으로 증가하였으며 30 psu에서 최대값을 보인 이후 급격하게 감소하여 전체적으로 염분 변화에 대해 뚜렷한 여과율 변동을 나타내었다 (one-way ANOVA, $p < 0.001$). 다른 염분 구간에 비해 10 psu에서 낮은 값을 보였고, 30-35 psu의 염분구간에서 높은 값을 보였으며 25 psu에서의 경우는 30-35 psu에서의 여과율보다는 낮고 이를 제외한 다른 염분구간에서의 여과율보다는 높은 여과율을 보여 전반적으로 염분구간별 여과율은 뚜렷한 차이를 나타내었다.

2년생 말백합의 경우 역시 1년생 말백합의 경우와 마찬가지로 10 psu에서 4.51 ± 1.36 mL/min-g dw로 최소값을 보였고, 30 psu에서 51.13 ± 8.74 mL/min-g dw로 최대값을 나타내었으며 전반적으로 염분 변화에 대해 뚜렷한 여과율 변동을 보였다(one-way ANOVA, $p < 0.001$). 10 psu, 15 psu 및 40 psu에서 상대적으로 저조한 여과율을 보인 것은 1년생 말백합의 경우와 유사하였으나 30-35 psu의 염분구간에서만 가장 높은 여과율을 보인 1년생 말백합의 경우와는 다르게 20-35 psu에서의 여과율이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않고(S-N-K test, $p = 0.332$) 전반적으로 높은 여과율 값을 나타내었다. 즉, 1년생 말백합에 비해 높은 여과율을 나타내는 염분구간이 상대적으로 더 넓은 범위로 나타난 것이 특징적이었다.

3년생 말백합의 염분 변화에 따른 여과율 변동을 살펴보면, 전반적인 경향은 1, 2년생 말백합의 경우와 유사하였다. 즉, 10 psu에서 5.08 ± 3.83 mL/min-g dw로 최소값을 기록하였고, 이후 염분이 증가함에 따라 여과율도 대체로 증가하다가 35 psu에서 42.44 ± 2.29 mL/min-g dw로 최대값을 나타내었으며 이후 40 psu에서 14.60 ± 3.80 mL/min-g dw로 급격하게 감소하여 3년생 말백합 역시 1, 2년생 말백합의 경우와 마찬가지로 염분 변화에 대한 여과율 변동은 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(one-way ANOVA, $p < 0.001$). 또한 2년생 말백합의 경우와 마찬가지로 10 psu, 15 psu 및 40 psu에서는 상대적으로 낮은 여과율을 보였으며 20-35 psu에서의 여과율은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(S-N-K test, $p = 0.787$). 즉, 2년생 말백합과 마찬가지로 3년생 말백합 역시 상대적으로 넓은 범위의 염분 구간에서 높은

여과율을 나타내는 경향을 보였다.

4년생 말백합의 염분 변화에 따른 여과율 변동의 경우, 전반적으로 2, 3년생 말백합의 여과율 변동과 매우 유사한 경향을 보였다. 즉, 10 psu에서 3.15 ± 0.97 mL/min-g dw로 최소값을 기록하였고 염분이 증가함에 따라 여과율도 증가하였으며 30 psu에서 38.79 ± 6.14 mL/min-g dw로 최대값을 나타낸 이후 40 psu에서 13.31 ± 5.35 mL/min-g dw로 급격하게 감소하여 염분 변화에 대해 비교적 뚜렷한 반응을 나타내었다(one-way ANOVA, $p < 0.001$). 또한 S-N-K 다중비교 결과를 살펴보면, 10 psu, 15 psu 및 40 psu에서 상대적으로 낮은 여과율을 보였던 반면, 20-35 psu에서의 여과율은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아(S-N-K test, $p = 0.674$) 2, 3년생 말백합의 경우와 마찬가지로 1년생 말백합에 비해 상대적으로 넓은 염분 구간에서 비교적 높은 여과율을 나타내는 경향을 보였다.

이상의 결과들로부터 각 연령별 말백합의 염분 변화에 따른 여과율 변동을 전반적으로 살펴보면 염분 변화 및 연령 차이에 따른 여과율 변동은 매우 뚜렷한 경향을 나타내었다(two-way ANOVA, $p < 0.001$). 즉 대체적으로 1, 2, 3, 4년생 말백합 모두 저염분(10-15 psu) 및 고염분(40 psu)에서 뚜렷하게 낮은 여과율을 나타내었고, 30 psu에서 전반적으로 최대 여과율을 나타내는 경향이었으며, 30 psu를 전후하여 비교적 높은 여과율을 나타내어 염분 변화에 대한 각 연령별 말백합의 여과율이 연령에 따라 여과율 값의 높고 낮음의 차이는 다소 있지만 전체적인 경향성은 일정하였다. 그러나 1년생 말백합의 경우 2, 3, 4년생 말백합에 비해 상대적으로 좁은 범위의 염분 구간에서 높은 여과율을 나타낸 것이 특징적이라 하겠다. 또한 염분 변화에 관계없이 1년생 말백합의 여과율이 2, 3, 4년생 말백합의 여과율에 비해 상대적으로 높은 경향이었고, 2, 3, 4년생 말백합의 여과율은 뚜렷한 차이 없이 서로 유사한 경향이 있었다(S-N-K test, $p = 0.378$). 또한 염분의 감소에 따른 말백합의 여과율은 높은 연령에서 상대적으로 더 높은 감소율을 나타내었다.

고 찰

1. 수온의 영향

본 실험에서는 Coughlan(1969)의 여과율 계산식을 이용하였는데, 이 계산식은 간접 측정법을 이용한 여과율 측정법으로써, 농도와 양을 알고 있는 부유물(suspension)의 입자 제거율(removal rate of particles)에 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; 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 실험기간중 실험조내의 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 피검생물의 여과에 의한 것이며, 피검생물의 pumping rate는 실험기간동안 일정하고, 실험수(test suspension)는 실험기간 동안 균질하다는 가정을 기초로 한다.

본 연구에서 사용되어진 Coughlan(1969)의 여과율 측정방법과 계산식은 연구자가 미리 알고 있는 초기 먹이생물의 농도와 실험 경과에 따른 먹이생물의 농도 감소로부터 추정되는 방법이다. 그러므로 피검생물의 직접적인 여과활동에 의하지 않고 먹이생물이 자체적으로 침강하거나 실험조 내부 벽면으로의 부착 등에 의해 먹이생물의 농도 감소가 발생할 경우 이를 고려하지 않게 되면 측정된 여과율 값은 과대평가 될 수 있다.

따라서 대조구로서 피검생물을 넣지 않은 실험조를 각 실험구별로 설치하여 시간에 따른 먹이생물의 세포농도 변화를 관찰하였다.

본 연구의 결과에서 말뚝합의 여과율은 전반적으로 5°C에서 최소값을 나타내었으며 저온의 수온 구간에서 상대적으로 더 낮은 여과율을 기록하였다(Figs. 2, 3). 겨울철의 낮은 수온과 같이 수온의 감소는 종종 많은 해양 생물들, 특히 변온동물의 생리적 활동을 제한하는 요인으로 작용하게 될 것임을 예상할 수 있다(Clarke, 1998). Quayle and Bourne(1972)은 이때 패류 *Venerupis japonica*의 경우, 퇴적물의 표층 바로 아래에서 서식하므로 겨울철의 낮은 온도에 매우 민감하며, 이러한 낮은 온도가 겨울철 *V. japonica*의 높은 사망률과 밀접한 관련이 있다고 하였다. 그리고 Bricelj and Shumway(1991)는 10-26°C의 수온 구간에서는 대서양해만가리비, *Argopecten irradians*의 여과율이 수온의 변화에 크게 영향을 받지 않았지만 수온이 5°C로 감소할 경우에는 여과율이 뚜렷하게 감소하였다고 하였으며, Walne(1979)는 진주담치, *Mytilus edulis*와 굴류, *Crassostrea gigas* 및 *Ostrea edulis*의 경우, 15°C 이하의 수온에서는 수온이 감소할수록 이들의 여과율도 지속적으로 감소하였다고 하였다. 뿐만 아니라 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 경우도 0°C에서 아가미의 섬모운동이 정지되었다(相良, 1965). 그리고 Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*의 경우 13°C 이하의 수온 구간에서 뚜렷한 여과율 감소를 보였고(Numaguchi, 1994), 담치류, *Mytilus spp.*는 -1°C에 노출되면 다른 수온

구간에서보다 뚜렷하게 낮은 여과율을 나타내었으며(Cusson *et al.*, 2005), Shin and Lim(2003)은 우리나라 남해안의 갯벌에 서식하는 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 경우 실험에 사용된 바지락의 연령(1-3년생)에 관계없이 5°C에서 가장 낮은 여과율을 나타내었다고 하였다. Almada-Villela *et al.*(1982)은 진주담치, *Mytilus edulis*의 어린 개체를 대상으로 이들의 성장률을 측정된 결과, 3°C 및 5°C와 같은 저온에서는 일정한 성장률을 보이기는 하지만 그 성장률이 매우 낮다고 보고하였다. 바지락, *Tapes philippinarum*의 경우도 어린 개체를 6°C에 11주간 노출시켰을 때, 먹이생물을 공급하거나 공급하지 않았을 경우 모두 생존하였으나 먹이생물을 공급하지 않았을 경우는 체중이 감소하였고, 먹이생물을 공급하였을 경우 매우 낮은 성장률을 보였다(Laing and Child, 1996). 그러므로 많은 선행 연구 결과들과 본 연구의 결과로 볼 때, 낮은 수온은 섬모운동의 저해 등 여과활동에 직접적인 영향을 미쳐 여과식자들의 여과활동을 위축시키는 결과를 초래하기 때문에 이처럼 저조한 여과율을 나타내는 것으로 생각할 수 있을 것이며, 이렇게 저조한 여과율로 인해 결국 성장의 저하를 초래할 수도 있을 것으로 추정할 수 있다.

본 연구의 결과로부터 온도계수 Q_{10} 값을 살펴보면 전반적으로 낮은 수온 구간(5-15°C)에서 높은 Q_{10} 값을 보였는데, 이것은 기존의 연구결과들과도 일치하였다(Ali, 1970; Winter, 1969, 1978; Schulte, 1975; Shin and Lim, 2003). 저온의 수온 구간에서 Q_{10} 값이 높다는 것은 높은 수온 구간에 비해 상대적으로 여과율이 더욱 빠르게 증가함을 의미하는 것으로(Winter, 1978), 여과식자들이 저온에서의 온도 변화에 더욱 민감하게 반응함을 암시하는 결과로 해석될 수 있다. 다시 말해서, 저온의 구간(5-15°C)에서는 약간의 수온 증가가 뚜렷한 여과율 증가로 직결될 수도 있으나 이와는 반대로 이주 적은 폭의 수온 감소에도 뚜렷한 여과율 감소를 초래할 수 있고, 경우에 따라서 이들의 생존에 치명적인 영향이 될 수 있음을 암시하고 있다. 이로부터 겨울철의 낮은 수온은 이들의 뚜렷한 여과율 감소를 야기할 수 있을 것으로 생각할 수 있다(Numaguchi, 1994).

본 연구의 결과에서 수온 변화에 따른 말뚝합의 여과율 변동을 살펴보면 연령에 관계없이 대체적으로 20-30°C의 수온 구간에서 높은 여과율을 나타내었고, 특히 25°C를 전후하여 최대 여과율 값을 나타내는 경향이었다. Walne(1979)는 진주담치, *Mytilus edulis*와 굴류, *Crassostrea gigas*, *Ostrea edulis*의 경우 20°C에서 최대 여과율이 나타난다고 하였고, Haure *et al.*(1998)은 굴, *Ostrea edulis*의 경우 30°C에서 최대 여과율이 나타난다고 하였으며, Kim(1995)은 25°C에서 굴, *Crssostrea gigas*이 최대 여과율을 나타낸다고 하였고, Lee and Chin(1981)은 22°C, 23°C에서 각각 굴,

*Crassostrea gigas*와 진주담치, *Mytilus edulis*에서 최대 여과율을 관찰 하였다. Schulte(1975) 역시 진주담치, *Mytilus edulis*의 여과율은 15-20°C의 수온 구간에서 상대적으로 높게 나타난다고 하였고, Yang *et al.*(2000)은 26°C에서 green mussel, *Perna viridis*의 최대 여과율이 나타남을 보고하였었으며, Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*는 22-28°C의 수온 구간에서 가장 활발한 여과활동을 하였다(Numaguchi, 1994). 이와 같이 대상 종에 따라, 혹은 같은 종이라 할지라도 연구자에 따라 다소간의 차이는 보이지만 전반적으로 최대 여과율을 나타내는 수온 구간은 본 연구의 결과와 상당히 일치하였다.

또한 바지락의 성장에 대한 적정 수온은 23°C 전후로, 이 수온 구간에서 바지락의 섭모운동이 가장 활발하였다고 보고된 바도 있다(相良, 1965). 그리고 Walne(1979)에 따르면, 이매패류 *Ostrea edulis*, *Mercenaria mercenaria*, *Venerupis decussata*의 각장 성장률이 25°C에서 가장 높다고 하였고, Kirby-Smith and Barber(1974)는 28°C에서 대서양해만가리비, *Argopecten irradians*의 최대성장률이 나타난다고 하였다. 뿐만 아니라, Numaguchi and Tanaka(1986)에 따르면, Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*의 종패(spat)는 26-32°C의 수온 구간에서 최대 성장률을 나타내었고, Jeng and Tyan(1982)은 *Meretrix lusoria*의 경우 15-18°C의 수온 구간에서는 성장 속도가 느려지고, 20-22°C의 수온 구간에서는 성장 속도가 증가하며, 25-32°C의 수온 구간에서는 성장 속도가 가속화된다고 하였다. 또한 Saucedo *et al.*(2004)은 Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica*의 산소 소모율과 암모니아 배설율의 관계로부터 이 종(species)의 신진대사활동에 대한 적정 수온의 범위는 23-28°C라고 제시하였다. 여과활동과 성장률은 에너지 획득의 관점에서 명확한 인과관계에 있을 것이므로 성장에 대한 적정 수온과 최대 여과율이 나타난 수온의 범위가 대체적으로 일치하는 것은 당연한 결과일 것이다. 그러므로 본 연구의 결과로부터 피검생물인 말뚝합의 경우 역시 대략적으로 20-30°C의 수온 구간에서 가장 왕성한 여과활동에 의해 높은 성장률을 나타낼 수 있음을 간접적으로 추정해 볼 수 있을 것이다.

생물이 자신의 생활에 알맞은 적정 온도 이상으로 상승한 온도에 노출되면 생리적 변화를 일으키게 된다. 본 연구의 결과, 연령에 관계없이 모두 25°C를 전후하여 최대 여과율을 나타낸 이후에는 수온이 증가할수록 여과율이 감소하는 경향을 나타내었다. 본 연구의 결과 중 각 수온 구간별 Q_{10} 값을 살펴 보아도 예외없이 모든 경우에서 25-35°C의 수온 구간은 1.00 미만의 값을 나타내어 25°C 이후 수온이 증가함에 따라 여과율이 감소하고 있음을 반영하였다. 비교적 고온에 해당되는 35°C는 실제 자연 환경에서 여름철의 간조시 수심이 매우 얇

아진 수로나 수로의 사면 또는 웅덩이에 소량으로 고인 물 등과 같이 특수한 상황을 제외한다면 피검생물인 말뚝합이 흔히 경험하게 되는 수온은 아닐 것이다. Numaguchi and Tanaka(1986)는 Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*의 종패가 35°C에 노출되었을 경우 매우 높은 사망률을 나타내었다고 하였고, Saucedo *et al.*(2004)에 따르면 33°C에 노출된 Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica*는 심한 온도 스트레스에 의해 암모니아 배설율이 급격하게 증가하였다고 하였다. 그러나 바지락의 경우 37.5°C의 고온에서는 평균 10.4일 경과 후 사망하였고, 44°C에 노출되었을 경우 평균 0.6 시간 만에 사망하였다(相良, 1965). 그러므로 조건대에 서식하는 여과식자들의 경우 조하대에 서식하는 저서생물과 비교할 때 특수한 고수온 상황에 직면하게 되는 경우가 상대적으로 더 빈번할 것이기에 조하대 생물에 비해 더 넓은 수온 범위에 대한 내성, 즉 광온성(eurythermal)의 특성이 요구될 것이다. 따라서 본 연구의 결과로부터 35°C의 고온에서도 조건대 여과식자들의 경우 비교적 단기간 동안 생명은 유지하지만 여과율의 급격한 감소 등 생리적 활동에는 많은 제약을 받는 것으로 생각할 수 있다.

2. 염분의 영향

수온이 생물생태학적으로 중요한 물리적 환경요인인 만큼 염분 또한 연안 및 조건대에 서식하는 해양생물의 분포를 결정할 뿐만 아니라 이들의 생리적 대사과정에도 중요한 영향을 미칠 수 있는 환경 요인이다(Dame, 1996; Gosling, 2003). 일반적으로 외양의 염분 변화는 수온 변화에 비해 시공간적으로 그 변동 폭이 훨씬 적어서 32-38 psu 범위 내에서 변동을 보이며 평균적으로 약 35 psu 내외로 비교적 일정한 경향을 보인다. 그러나 이와는 대조적으로 연안의 내만역이나 하구역은 증발, 강우, 담수의 유입 등에 의하여 상대적으로 염분이 상당히 크게 변화한다(Dame, 1996; Gosling, 2003). 따라서 비교적 염분의 변화가 심한 하구역에 서식하는 생물들은 상대적으로 광염성(euryhaline)의 특성, 즉 보다 더 넓은 범위의 염분 구간에서도 생존할 수 있는 능력이 요구될 것이며, 실제로 많은 하구역의 생물들이 이러한 광염성의 특성을 나타낸다. 대표적인 하구역의 광염성 저서생물로 담치류(Akberali, 1978; Bøhle, 1972; Sivalingham, 1977)와 굴(Palmer, 1980)을 들 수 있다. 또한 이러한 현상은 저서생물뿐만 아니라 하구역의 동물플랑크톤 군집에서도 공통적으로 나타난다(Suh *et al.*, 1991; Ambler *et al.*, 1985). 이와 같이 광염성의 특성을 보이는 하구역의 생물들이 염분 변화에 노출되면 처음에는 산소 소비와 같은 생리적 대사활동이 감소하지만, 시간이 지나면서 자신이 노출된 염분에 재적응하여 원래의 수준을 회복하게 된다(Bøhle, 1972). 본 연구의 대상 생물인 말뚝합의 경우도 역시 새만금 갯벌 조건대에 서식하면서 조하대에 서식하는 생물

에 비해 상대적으로 다양한 염분 변화에 노출되어 있을 것이다. 그러므로 지금까지 논의한 바와 같이 본 연구의 피검생물인 말백합 역시 생존을 위해서는 비교적 넓은 염분 변화에 대한 내성이 필연적으로 요구될 것이고 그러한 이유로 본 연구의 결과에서와 같이 다소 넓은 염분 범위(20-30 psu)에서 대체로 높은 여과율을 나타내었다고 생각할 수 있다. 본 연구에서와 같이 비교적 염분의 변동폭이 큰 지역에 서식하는 *Choromytilus chorus*의 경우 18 psu 이하에서 여과율이 감소하기 시작하였으며 15 psu에서 뚜렷하게 감소된 여과율을 나타내어(Navarro and Gonzalez, 1988) 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 이와는 대조적으로 염분의 변동폭이 상대적으로 적은 최하부조간대나 조하대에 서식하는 백합류, *Meretrix meretrix*의 경우는 개체의 크기에 관계없이 27-30 psu의 염분 범위에서만 높은 여과율을 나타내었고 이를 벗어난 염분 구간에서는 모두 뚜렷하게 감소된 여과율을 기록하였다(Zhuang, 2006). 물론 본 연구에서 어린 개체의 경우에는 지금까지 논의한 바와는 다르게 오히려 조하대에 서식하는 백합류, *Meretrix meretrix*의 경우(Zhuang, 2006)와 유사한 양상을 보였는데, 이러한 현상은 일반적으로 성체에 비해서 초기 발달단계나 어린 개체가 상대적으로 더 좁은 범위의 내성을 가지기 때문일 것이다(Gosling, 2003).

상기에서 논의한 바와 같이 일반적으로 조간대에 서식하는 생물들이 비록 넓은 염분 범위에 대한 내성이 있어서 비교적 단기간의 생존은 가능할지 몰라도, 급격한 염분 변화에 노출되면 생리적으로 쇠약해지거나 손상을 나타낼 수도 있다(Lee, 1996; Chin and Chen, 1993). 뿐만 아니라 적정 범위를 벗어난 염분 구간에 지속적으로 노출될 경우 치명적인 영향을 받을 수도 있으며, 경우에 따라 원래 수준으로의 회복이 불가능하거나 대량 폐사의 원인이 되기도 한다(Hammond, 1983; Matthews and Fairweather, 2004; Ramamoorthi *et al.*, 1973). 본 연구의 결과에서 5-10 psu의 염분 구간에서는 실험대상의 종이나 연령 및 개체의 크기에 관계없이 모두 최소 여과율을 나타내거나 또는 매우 낮은 여과율을 기록하였다. 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 하여 본 연구의 결과와 유사한 결과를 보였다. 이처럼 조간대 생물이 저염분에 지속적으로 노출되면 삼투 조절을 위한 에너지 손실이 매우 크기 때문에 활동력의 감소 등과 같이 생리적인 저해 현상이 일어나는 것으로 볼 수 있다. 따라서 본 연구의 결과에서 말백합이 저염분 구간(5-10 psu)에서 매우 낮은 여과율을 보이는 것은 활동력의 감소와 관련한 생리적 영향으로 볼 수 있으며 이와 같은

생리적 저해 현상 이외에도 저염분 노출은 이들의 생존과 관련하여 보다 더 중요한 의미를 가질 수 있을 것이다. 그러므로 하구역에 서식하는 저서동물들의 생존전략은 곧 저염분에 대한 내성과 그에 따른 섭식전략일 것이며, 이와 같은 내성과 섭식전략의 유연성의 정도로 이들을 특징지을 수 있을 것이다(McLusky and Elliott, 1981).

3. 연령과 여과율의 관계

본 연구의 결과 중에서 말백합의 연령이 낮을수록 상대적으로 더 높은 건중량당 여과율을 나타내었다. 이러한 결과는 크기가 작은 개체가 더 큰 개체에 비하여 건중량당 대사율은 더욱 크다는 것을 의미하는 것으로서, Lee(1996)의 연구 결과에서도 동종의 산소소비를 측정하였을 때 이러한 현상을 보고하였고, 많은 변온동물에서 공통적으로 나타나는 현상이다(Zeuthen, 1953). 또한 이것은 패류의 각장 성장의 경우 초기 연령에서 급격하게 빠른 성장을 보이고, 순간 절대성장률 역시 초기에 최대를 보이며, 연령이 증가할수록 거의 지수함수적으로 성장이 감소하는 것(Shin and Shin, 1999)과 같은 이유로 해석할 수 있을 것이다.

Q_{10} 값에서 보면 저온의 구간(5-15°C)에서는 대체적으로 높은 연령에서 더 높은 값을 나타내었다. 이것은 수온 변화에 대한 생리적 조절이 어린 개체에 비해 성체가 더욱 어렵다는 것을 암시하는 것으로(Lee, 1996), 성체가 상대적으로 더욱 넓은 범위에 대한 내성은 가지지만 자신의 적정 수준을 넘어선 범위로의 환경 변화에 대해서는 성체가 어린 개체에 비해 더 탄력적인 대응을 하지 못함을 의미한다고 하겠다. Lee(1996)는 이러한 현상을 생활환에 따른 생리적 적응력의 차이에서 오는 결과라고 하였다.

요 약

본 연구는 말백합, *Meretrix petechialis*의 기초 생리, 생태학적 정보를 파악하기 위한 일환으로 수온 및 염분의 변화가 이들의 여과율에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 수행되었다. 말백합은 전라북도 김제시 거전리 갯벌에서 채집하였고, 먹이생물은 *Phaeodactylum tricorutum*(KMCC B-128)을 실내에서 단일종 배양하여 사용하였으며, 여과율 측정은 Coughlan(1969)의 간접측정법을 사용하였다. 먹이생물의 농도는 혈구계산판을 이용하여 광학현미경하에서 직접 계수하였다. 전체적인 실험과정은 Shin and Lim(2003)과 동일하였다. 수온별 말백합의 여과율 변동의 경우 연령에 관계없이 25-30°C에서 대체적으로 높은 여과율을 나타내었고, 전반적으로 5°C에서 최소 여과율을 나타내는 경향이 있었다. 염분별 말백합의 여과율 변동의 경우 전반적으로 20-35 psu의 염분구간에서 비교적 높은 여과율을 나타내는 경향이 있었다. 연령별 여과

을 변동의 경우 대체적으로 연령이 낮을수록 건중량당 여과율은 상대적으로 높은 경향이였다. Q₁₀ 값의 경우 전반적으로 낮은 수온 구간(5-15°C)에서 높은 값을 나타내는 경향이였다.

REFERENCES

- Akberali, H.B. (1978) Behaviour of *Scrobicularia plana* (Da Costa) in water of various salinities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **33**: 237-249.
- 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 *Phaeodactylum* labelled with ³²P. *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.
- Ambler, J.W., Cloern, J.E. and Hutchinson, A. (1985) Seasonal cycles of zooplankton from San Francisco Bay. *Hydrobiologia*, **129**: 177-197.
- Asmus, R.M. and Asmus, H. (1993) Phytoplankton-mussel bed interactions in intertidal ecosystems. In: *Bivalve Filter Feeders in Estuarine and Coastal Ecosystem Processes*. (ed. by Dame, R.F). pp. 57-84. NATO, A.S.I. Series, Vol. G33. Springer-Verlag, Berlin.
- Bøhle, B. (1972) Effects of adaptation to reduced salinity on filtration activity and growth of mussels (*Mytilus edulis* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **10**: 41-47.
- Bricelj, V.M. and Shumway, S. (1991) Physiology: Energy acquisition 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.
- Chang, S.D., Chin, P. and Sung, B.O. (1976) Effect of Silt and Salinity on the Mortality of *Meretrix lusoria* (Röding). *Bulletin of Korean Fisheries Society*, **9**: 69-73. [in Korean]
- Chin, T.S. and Chen, H.C (1993) Toxic effects of mercury on the hard clam, *Meretrix lusoria*, in various salinities. *Comparative Biochemistry and Physiology (Part C: Comparative Pharmacology)*, **105C**: 501-507.
- 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.
- Cloern, J.E. (1982) Does the benthos control phytoplankton biomass in South San Francisco Bay? *Marine Ecology Progress Series*, **9**: 191-202.
- 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.
- Cusson, M., Tremblay, R., Daigle, G. and Roussy, M. (2005) Modeling the depuration potential of blue mussels (*Mytilus* spp.) in response to thermal shock. *Aquaculture*, **250**: 183-193.
- Dame, R.F. (1993) The role of bivalve filter feeder material fluxes in estuarine ecosystem. In: *Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes*. (ed. by Dame, R.F.) pp. 245-269. NATO, A.S.I. Series, Vol. G33. Springer-Verlag, Berlin.
- Dame, R.F. (1996) *Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach*. 254 pp. CRC Marine Science Series. CRC Press, Boca Raton.
- 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.
- Gerdes, D. (1983) The Pacific Oyster *Crassostrea gigas* Part I. Feeding behaviour of larvae and adults. *Aquaculture*, **31**: 195-219.
- Gosling, E. (2003) *Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and Culture*. 443 pp. Fishing News Books, Blackwell Publishing, Oxford.
- 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. 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.
- 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.
- Haure, J., Penisson, C., Bougrier, S. and Baud, J.P. (1998) Influence of temperature on clearance and oxygen consumption rates of the flat oyster *Ostrea edulis*: determination of allometric coefficients. *Aquaculture*, **169**: 211-224.
- Jeng, S.S. and Tyan, Y.M. (1982) Growth of the hard clam *Meretrix lusoria* in Taiwan. *Aquaculture*, **27**: 19-28.
- Kim, W.S. (1994) Population Dynamics and Energy Budget of *Ruditapes philippinarum* (Adams and Reeve, 1850) (Bivalvia: Veneridae) in Garolim Bay, Yellow Sea, Korea. 134 pp. Ph.D Thesis of Kiel University, Germany.
- Kim, Y.S. (1995) Filtering rate model of farming oyster,

- Crassostrea gigas* with effect of water temperature and size. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **28**: 589-598. [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 decussatus* L.) and Manila clams (*Tapes philippinarum* Adams & Reeve) to low temperature. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **195**: 267-285.
- Lee, J.Y. (1996) Study on the oxygen consumption of surfclam, *Macra veneriformis* Reeve. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **29**: 614-619. [in Korean]
- 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]
- 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]
- 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.
- McLusky, D.S. and Elliott, M. (1981) The feeding and survival strategies of estuarine molluscs. In: Feeding and survival strategies of estuarine organisms. (ed. by Jones, N.V. and Wolff, W.J.). pp. 109-121. Marine Science Vol. 15, Plenum Press, New York.
- 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 temperature 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.
- 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.
- Ryu, D.K., Chung, E.Y. and Kim, Y.M. (2006) Age and growth of the hard clam, *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae) on the West Coast of Korea. *The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography*, **11**: 152-157. [in Korean]
- 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.
- 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 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., Yentsch, C.M. (1985) Particle selection, ingestion, and absorption in filter-feeding bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **91**: 77-92.
- Sivalingham, P.M. (1977) Aquaculture of the green mussel *Mytilus viridis* Linnaeus, in Malaysia. *Aquaculture*, **11**: 297-312.
- Suh, H.L., Soh, H.Y. and Cha, S.S. (1991) Salinity and distribution of zooplankton in the estuarine system of Mankyong River and Dongjin River. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, **26**: 181-192. [in Korean]
- Walne, P.R. (1979). Culture of Bivalve Molluscs: Fifty Years' Experience at Conwy. 189 pp. Fishing News Books Ltd. Farnham, Surrey.
- Winter, J.E. (1969) Über den Einfluß der Nahrungskonzentration und anderer Faktoren auf Filtrierleistung und Nahrungsausnutzung der Muscheln *Actica islandica* und *Modiolus modiolus*. *Marine Biology*, **4**: 87-135.

- 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.
- Yang, X.X., Lin, X.T., Ji, X.L., Ahong-neng, X.U. and Huang, C.J. (2000) The effects of light intensity, temperature and salinity on the filtration rate of *Perna viridis*. *Chinese Journal of Marine Science*, **24**: 36-38. [in Chinese]
- 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 meretrix* Linnaeus. *Aquaculture*, **252**: 584-590.
- 相良順一郎 (1965) アサリ. *In*: 農林圖書出版ユンサルタント(編集), 浅海養殖 60種. pp. 219-227. 大成出版社.