

수온에 따른 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*; Bivalvia) 의 여과율과 섭식을 변동

이서이, 신현출

전남대학교 해양기술학부

The Influence of Water Temperature on Filtration Rates and Ingestion Rates of the Blue Mussel, *Mytilus galloprovincialis* (Bivalvia)

Seo E Lee and Hyun Chool Shin

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Korea

ABSTRACT

This study was performed to describe the influence of temperature on the clearance rate and ingestion rate of the blue mussel, *Mytilus galloprovincialis* with three food organisms and habitat location (shell size) of mussel. Food organisms used in this experiments were *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros didymus* and *Prorocentrum dentatum*. The size of mussels inhabiting higher midlittoral zone was smaller than those of lower midlittoral zone. Regardless of the kind of food organisms, filtration rates and ingestion rates of higher midlittoral mussels were higher than those of lower midlittoral mussels in experiment temperature conditions. The variation of filtration rate and ingestion rate showed same tendency with temperature. Filtration rates and ingestion rates increased with temperature, and recorded maximum values at 20-25°C of temperature, and thereafter decreased gradually. Theoretical optimum temperatures showing maximum filtration rates and ingestion rates estimated from polynomial regression curves were also in the range of 20-25°C. Blue mussels showed different variation of filtration rate and ingestion rate with the kind of food organisms. Filtration rates and ingestion rate based on cell number were similar regardless of habitat location (tidal elevation) and food organisms. Ingestion rates based on carbon content showed very high values in case of *P. dentatum* beside *I. galbana* and *C. didymus* as food organism.

Keyword : filtration rate, clearance rate, ingestion rate, water temperature, food organism, tidal elevation, *Mytilus galloprovincialis*

서 론

여과섭식성 이매패류는 수서생태계를 정화하거나, 식물플랑크톤의 생물량을 조절하는 중요한 생물학적 구성원으로써 수서생태계의 기능적, 구조적 측면에서 매우 중요한 역할을 담당

하고 있다 (Foster-Smith, 1975; Dame, 1996). 이매패류는 수중의 식물플랑크톤, 박테리아, 입자성 유기물 등을 제거하고 이를 다시 배설물로 생물퇴적시킴으로써 수질정화 및 영양염 순환에 중요한 역할을 한다. 부유물섭식 이매패류는 해수를 여과하는 과정에서 유무기물을 구별하지 않고 여과하기 때문에 (Foster-Smith, 1975), 물리적으로 5 μ m 이하의 미립자를 강제로 침강시킴으로써 해수를 정화하는 중요한 역할을 담당하고 있다. 또한 부유물 섭식 이매패류를 포함한 저서동물의 섭식 활동이 여름과 가을에 식물플랑크톤의 생물량을 조절하는 역할을 수행하는 등 수서생태계의 먹이망 구조에도 영향을 미친다 (Asmus and Asmus, 1993; Cloern, 1982).

이매패류의 여과율에 관한 연구는 국내외에서 비교적 많이 이루어져 왔다. 예를 들면, *Hiatella arctica* (Ali, 1970), 재

Received: August 27, 2015; Revised: September 20, 2015;
Accepted: September 30, 2015

Corresponding author : Shin Hyun Chool

Tel: +82 (61) 659-7145 e-mail: shinhc@jnu.ac.kr
1225-3480/24585

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

첩류 (Boltovskoy *et al.*, 1995; Hwang *et al.*, 2001; Hwang *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2004; Lim *et al.*, 2005), 갈색새알조개 (Lee *et al.*, 2003), 바지락 (Shin and Lim, 2003), 말백합 (Lim *et al.*, 2008), 개조개 (Lee *et al.*, 2012), 동죽 (Kang *et al.*, 2014), 민물담치 (Sylvester *et al.*, 2005), 진주담치 (Schulte, 1975; Foter-Smith, 1975), 지중해담치 (Okmus *et al.*, 2002) 등이 있다.

본 연구 대상 생물인 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*) 는 매우 유용한 양식 대상종으로 유럽에서는 13세기부터 양식이 시작되었다 (Hra-Brenko, 1973). 우리나라의 경우 양식시설물 및 양식장의 오손 생물로서 취급되기도 하지만 (Je *et al.*, 1988), 수하식 양식이 매우 활발하게 이루어져 2005년의 양식생산량은 32,625 M/T으로 이매패류 전체 양식생산량의 약 10%를 차지하고 있다 (해양수산부, 2006). 특히 최근 들어 가두리 양식장 등 해상 시설물이 증가하여, 서식 조건이 호전되면서 현재는 국내 전 연안에 걸쳐 서식하고 있다 (Yoo *et al.*, 1990). 지중해담치는 해수 중의 유기물을 걸러 흡수하는 여과식자로서 환경 적응성이 빠르다는 특성과 유기물이 포함되어 있는 독성물질이나 오염물질을 조직 속에 농축하는 특성을 이용하여 해역간의 오염정도를 측정하는 지표생물로 활용하기도 한다 (Lee and Lee, 1984; Fischer, 1988). 이미 유럽의 경우 오랜 기간 양식 활동이 이어지면서, 장기모니터링을 통한 성장관련 연구 뿐 아니라 생리학적인 연구가 수행되었다 (Fuentes *et al.*, 1994; Comesana *et al.*, 1998; Martinez *et al.*, 1998).

본 연구는 수온에 따른 지중해담치의 여과율과 섭식율의 변화를 파악하고자 한다. 이 때 먹이생물의 종류에 따라, 그리고 조건대에서의 서식위치 (혹은 개체 크기) 에 따라 여과율과 섭식율이 어떠한 차이를 보이는지 파악하고자 한다.

재료 및 방법

1. 지중해담치 *Mytilus galloprovincialis*

지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*) 는 분류학적으로 홍합목 (Order Mytiloida), 홍합과 (Family Mytilidae) 에 속한다. 실험에 사용된 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*) 는 전라남도 여수시 오천동 (- 58 cm MSL, Lower Midlittoral Zone : Large shell size) 과 돌산읍 방죽포 (+ 5 cm MSL, Higher Midlittoral Zone : Small shell size) 에서 2014년 10월-2015년 2월 사이에 채집하였다. 방죽포 (higher midlittoral zone) 에서 채집된 지중해담치의 평균 각고 (shell height) 는 9.53 ± 0.68 mm, 육질부 건중량은 0.006 ± 0.001 g dw이었으며, 오천동 (lower midlittoral zone) 에서 채집된 지중해담치의 평균 각

고는 35.35 ± 3.32 mm, 육질부 평균 건중량은 0.16 ± 0.06 g dw이었다.

채집한 지중해담치는 채집 후 즉시 실험실로 운반하여 여과지 (Whatman's GF/C filter) 로 여과한 해수를 사용하여 깨끗이 세척하고, 배양조에서 최소 2일에서 7일간 순응 시켰다. 사육조는 여과해수를 채운 컨테이너상자를 사용하였으며, 순응시에 수온 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 염분 30 ± 1 psu을 유지하였다. 수온과 염분은 각각 디지털수온측정기 (SUMMIT SDT8A) 와 염분측정기 (YSI 30-10FT) 를 이용하여 확인하였다. 먹이생물은 식물플랑크톤 *Isochrysis galbana*를 실내에서 단일종 배양하여 하루에 한번 씩 공급하였다.

2. 먹이생물

현장에서 채집한 피검생물인 지중해담치의 실내 순응 시 필요한 먹이로 공급하거나 여과율 측정 실험 시 농도 감소 지표 물질로서 사용하기 위해 3 종의 식물플랑크톤을 실내에서 단일종 배양하였다.

실험에 사용된 먹이생물은 한국해양미세조류은행 (Korea Marine Microalgae Culture Center; KMMCC) 에서 황색편모조강 (Haptophyceae) 에 속하는 *Isochrysis galbana* (KMMCC 12), 규조강 (Bacillariophyceae) 에 속하는 *Chaetoceros didymus* (KMMCC 1199), 와편모조강 (Dinophyceae) 에 속하는 *Prorocentrum dentatum* (KMMCC 1101) 의 15 mL의 seed를 분양받아서 사용하였다.

먹이생물의 seed는 멸균 해수 배지 (sterilized sea water medium) 300 mL 삼각플라스크에 접종하여 1차 배양하였으며, 이때 온도는 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 광주기 (LD cycle) 는 L24:D0, 염분은 33 ± 1 psu, pH는 7.9 ± 0.1 로 조절하였다. 1차 배양 후, 3 L 플라스크, 20 L 아크릴 수조 순으로 접종하여 대량 배양하였다. 그리고 300 mL 플라스크의 배양액은 하루 2-3회 흔들어서 줌으로써 산소공급을 하였고, 3 L 이상의 소규모 대량 배양에서부터는 유리관이나 튜브를 이용하여 산소공급기로 통기시켰다.

먹이생물 배양 시 액체배지는 Guillard and Ryther (1962) 의 f/2 배지를 사용하였다. 조제된 배지는 천일염과 증류수를 사용하여 염분을 30 ± 1 psu로 조절하였고, 1N HCl 과 1N NaOH를 사용하여 pH를 7.9 ± 0.1 로 조절하였으며, membrane filter (pore size $0.2 \mu\text{m}$) 로 여과하고 autoclave로 120°C , 15 psi 하에서 20여분간 멸균하여 사용하였다. 염분 측정은 환경모니터링시스템 (YSI 600XLM) 을 사용하였고 pH 측정은 pH 측정기 (Orion) 를 사용하였다.

3. 여과율 측정

모든 실험 생물들은 여과율을 측정하기 전에 24시간 동안

실험온도 (5-35°C) 와 실험염분 (30 psu) 에서 순응을 시킨 후 측정하였으며, 실험 전 24시간 동안은 실험 조건의 표준화를 위해서 절식시켰다.

수온은 5°C 간격으로 모두 7구간 (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35°C) 을 설정하였고, 수온 조절은 냉각기와 가열막대를 사용하였다. 수온은 디지털수온측정기 (SUMMIT SDT8A) 를 사용하여 각각의 실험조건을 확인하였다.

실험조는 1 L 비커를 사용하였으며, 각 비커에는 3개체의 지중해담치를 넣었고, 각 실험구간별로 3개의 반복 실험조를 두었다. 먹이 투여는 미리 농도 값이 산출된 먹이생물 배양액을 홉피렛 (50 mL) 을 이용하여 투여하였으며, 투여 60분 후 오토마이크로피렛을 이용하여 10 mL의 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 루골용액을 이용하여 루골용액 농도가 최종 0.4%가 되게 고정하고 냉장보관하면서 혈구계산판을 이용하여 광학현미경하에서 3회 반복 계수한 후 평균을 산출하였으며, 이 평균값을 해당 실험조의 먹이생물 농도 값으로 적용하였다.

실험 종료 후, 실험 생물인 지중해담치의 각고와 육질부 습중량 및 육질부 건조량을 측정하였고, 각 실험조의 여과율을 산출한 후, 3개의 반복 실험조에서 산출된 여과율의 평균값을 해당 실험구의 여과율 값으로 적용하였다. 여과율 측정 실험에 의해 산출된 모든 여과율 및 섭식율 값은 각 피검생물의 건조량당 (min·g dw) 로 환산하여 나타내었다.

4. 여과율, 섭식율 및 수온계수 Q₁₀ 산출

지중해담치의 여과율을 측정하기 위하여 Coughlan (1969) 의 여과율 계산식을 적용하였다. 즉 농도와 양을 알고 있는 부유물의 입자 제거율에 근거하여 여과율을 추정하는 간접 측정 방법이다 (Coughlan, 1969). 간접 측정 방법으로 여과율을 측정하기 위해서는 반드시 정제된 수조를 사용해야 하며 수조 내의 실험액 양이 변화해서는 안된다 (Coughlan, 1969). 또한 이러한 정수식 시스템 하에서 수행되는 여과율 측정 실험의 경우, 입자의 농도 감소는 증력에 의한 침강과 피검실험생물의 섭식여과에 의한 것이며, 피검실험생물의 pumping rate는 실험기간동안 일정하고, 실험액은 실험기간동안 균질하다는 가정을 기초로 한다. 본 연구에서 적용한 Coughlan (1969) 의 여과율 산출식은 다음과 같다.

$$FR = V \cdot \ln (C_{t0} / C_{t1}) / t$$

FR : 여과율 (mL/min)

V : 실험액의 용량 (mL)

C_{t0} : 초기먹이생물농도 (cells/mL)

C_{t1} : 시간 t₁ 에서의 먹이생물농도 (cells/mL)

t : 실험시간 (min)

섭식율 (Ingestion Rate) 은 아래와 같이 Foster-Smith (1975) 가 제안한 식을 적용하여 산출하였다.

$$IR = C^* \cdot CR$$

IR : 섭식율 (cells/g/min)

C* : (C₀+C_t) / 2 (cells/mL)

C₀ : 초기 세포 농도 (cells/mL)

C_t : 시간 t₁ 경과 후 세포 농도 (cells/mL)

CR : Clearance rate (mL/g/min)

그리고 위 식에서 구한 세포 단위의 섭식율을 탄소량으로 환산, 표현하기 위하여 Strathmann (1967) 이 제안한 식을 이용하여 먹이생물 세포 농도를 탄소량으로 환산하였다.

규조류 $\log C = 0.758 (\log V) - 0.422$

그 외 종류 $\log C = 0.866 (\log V) - 0.460$

C : 탄소 함량 (pgC)

V : 총 세포 부피 (μm³)

생물체 부피 (μm³) : $V = 4/3 \pi (ESD/2)^3$

ESD : Estimated spherical diameter (추정 구체 직경)

각각의 여과율 측정 실험결과에 대해 다항회귀분석 (polynomial regression analysis) 을 실시하여 수온·염분 변화에 대한 피검생물들의 전반적인 여과율 및 섭식율 변동의 경향성을 파악하였으며, 일원분산분석 (one-way ANOVA) 을 통해 수온 변화에 따른 각 피검생물들의 여과율 변동에 대한 유의성을 판별하였다. 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 : 수온 T₁, T₂ 에서의 여과율 및 섭식율

결 과

1. 여과율, 섭식율 변동

돌산도 방죽포의 Higher Midlittoral Zone (+ 5 cm MSL, HMZ) 과 여수시 오천동의 Lower Midlittoral Zone (- 58 cm MSL, LMZ) 두 지역에서 채집된 각각 크기가 서로 다른 지중해 담치의 수온에 따른 여과율과 섭식율의 변동을 살펴보면 Fig. 1과 같다. 채집 조고와 먹이생물의 종류에 관계없이 항상 최저 실험 수온인 5°C에서 가장 낮은 값을 기록하였고, 이 후 수온이 증가하면서 여과율 및 섭식율 역시 증가하다

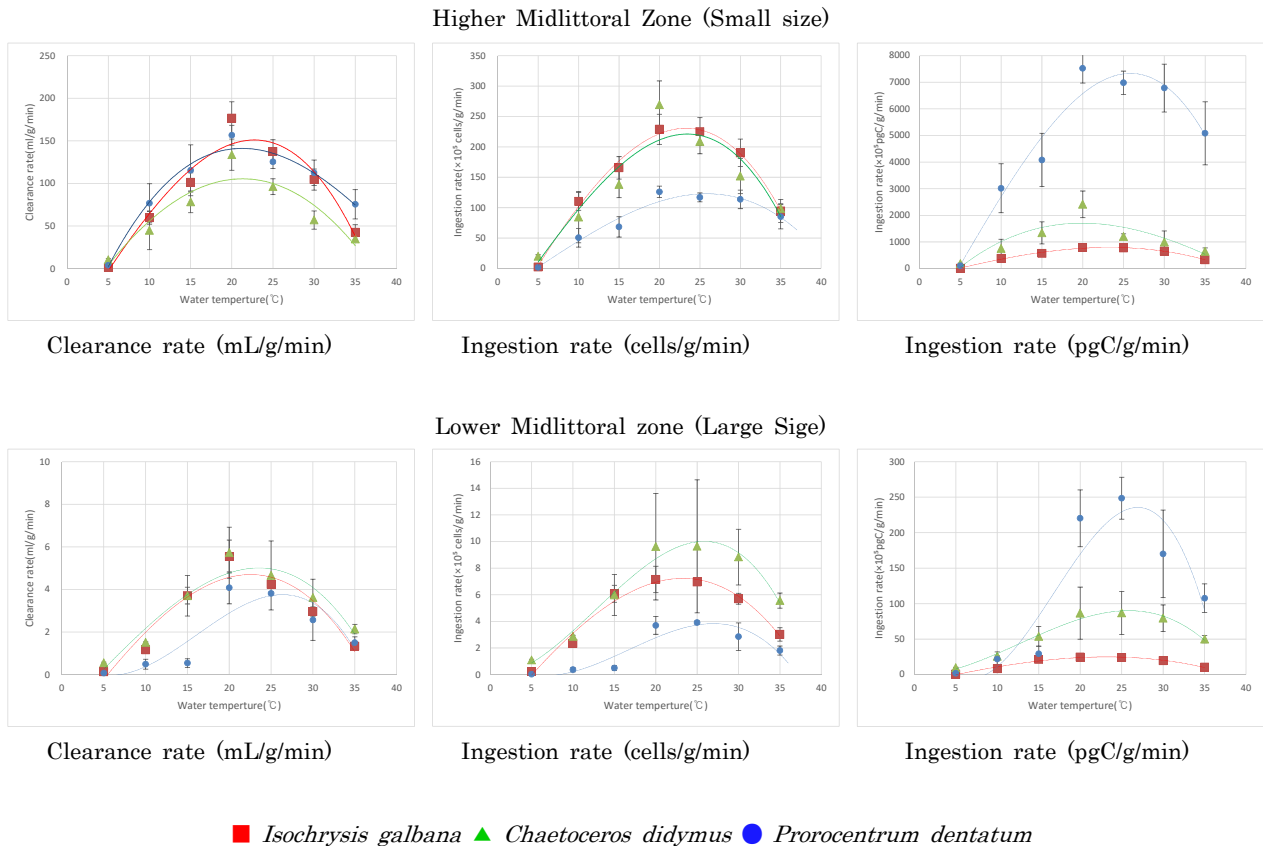


Fig. 1. Influence of water temperature on filtration rate (FR), ingestion rate (IR) of blue mussel *Mytilus galloprovincialis*.

가, 20-25°C 정도의 수온에서 최대값을, 이후 점차 감소하는 경향을 보였다. 단, 채집 조고에 따라서, 그리고 먹이생물의 종류에 따라서는 실험 수온별 여과율과 섭식율의 절대 값은 큰 차이를 보였다. HMZ에 부착 서식하는 지중해담치 (각장 9.53 ± 0.68 mm) 의 여과율 및 섭식율은 LMZ에 부착 서식하는 지중해담치 (각장 35.35 ± 3.32 mm) 에 비해 거의 20-30배 정도 높은 값을 보였다. 대체적으로 먹이생물 *Isochrysis galbana*와 *Chaetoceros didymus*에서는 상대적으로 유사한 값을 보이지만, *Prorocentrum dentatum*은 다른 먹이생물과 차이를 보였다.

1) Higher Midlittoral Zone (+ 5 cm MSL)

돌산도 방죽포의 Higher Midlittoral Zone (Small shell size) 에서 먹이생물이 *Isochrysis galbana*일 때 수온에 따른 여과율은 5°C에서 1.42 mL/g/min 으로 최저 여과율이 나타났으며, 20°C에서 176.63 mL/g/min 으로 최대 여과율이 나타났다. 20-25°C를 기점으로 점차 여과율은 감소하였다. 세포수 기준 섭식율은 5°C에서 2.48 cells/g/min 으로 최저 섭식율을 보였고, 20°C에서 228.88 cells/g/min 으로 최대 섭식율을

보였다. 탄소화산 섭식율 역시 5°C에서 8.51 pgC/g/min 으로 최저 섭식율을 보였고, 20°C에서 787.34 pgC/g/min 으로 최대 섭식율을 보였다.

먹이생물이 *Chaetoceros didymus* 일 때 여과율은 5°C에서 10.33 mL/g/min 으로 최저 여과율을 보였고, 20°C에서 133.71 mL/g/min 으로 최대 여과율을 보였으며 20-25°C 이상에서는 점차 여과율이 감소하였다. 세포수 기준 섭식율은 5°C에서 20.08 cells/g/min 으로 최저 섭식율을 보였고, 20°C에서 269.38 cells/g/min 으로 최대 섭식율을 보였다. 탄소화산 섭식율에서는 5°C에서 180.71 pgC/g/min 으로 최저 섭식율을 보였고, 20°C에서 2,412.24 pgC/g/min 으로 최대 섭식율을 보였다.

먹이생물이 *Prorocentrum dentatum* 일 때 여과율은 5°C에서 3.93 mL/g/min 으로 최소 여과율이 나타났고, 20°C에서 156.53 mL/g/min 으로 최대값이 나타났으며, 25°C에서도 비교적 높은 값이 나타났으며, 25°C 이상의 고온에서는 여과율이 감소하였다. 세포수 기준 섭식율은 5°C에서 1.75 cells/g/min 으로 최저 섭식율을 보였고, 20°C에서 126.09 cells/g/min 으로 최대 섭식율을 보였다. 탄소화산 섭식율 역시 5°C에서

104.31 pgC/g/min 으로 최저 섭식률을 보였고, 20°C에서 7,523.61 pgC/g/min 으로 최대 섭식률을 보였다.

2) Lower Midlittoral Zone (- 58 cm MSL)

여수시 오천동의 Lower Midlittoral Zone (Large shell size) 에서 먹이생물이 *Isochrysis galbana* 일 때 수온에 따른 여과율은 5°C에서 0.13 mL/g/min 으로 최저 여과율이 나타났고, 20°C에서 5.55 mL/g/min 으로 최대 여과율이 나타났다. 세포수 기준 섭식률은 5°C에서 0.23 cells/g/min 으로 최저 섭식률이 나타났고, 20°C에서 7.15 cells/g/min 으로 최대 섭식률이 나타났다. 탄소환산 섭식률은 5°C에서 0.78 pgC/g/min 으로 최저 섭식률이 나타났고, 20°C에서 24.60 pgC/g/min 으로 최대 섭식률이 나타났다.

먹이생물이 *Chaetoceros didymus* 일 때 여과율은 5°C에서 0.55 mL/g/min 으로 최저 여과율이 나타났고, 20°C에서 5.73 mL/g/min 으로 최대 여과율이 나타났다. 세포수 기준 섭식률은 5°C에서 1.08 cells/g/min 으로 최저 섭식률이 나타났고, 20°C에서 9.61 cells/g/min 으로 최대 섭식률이 나타났고, 탄소환산 섭식률은 5°C에서 9.74 pgC/g/min 으로 최저 섭식률이 나타났고, 20°C에서 86.46 pgC/g/min 으로 최대 섭식률이 나타났다.

먹이생물이 *Prorocentrum dentatum* 일 때 여과율은 5°C에서 0.07 mL/g/min 으로 최저 여과율이 나타났고, 20°C에서 4.08 mL/g/min 으로 최대 여과율이 나타났다. 세포수 기준 섭식률은 5°C에서 0.03 cells/g/min 으로 최저 섭식률이 나타났고, 20°C에서 3.69 cells/g/min 으로 최대 섭식률이 나타났고, 탄소환산 섭식률은 5°C에서 1.90 pgC/g/min 으로 최저 섭식률이 나타났고, 20°C에서 220.36 pgC/g/min 으로 최대 섭식률이 나타났다.

2. 이론적 최대 여과율 및 섭식율

Fig. 1에서 분석한 먹이생물별 여과율 및 섭식율의 3차 다항회귀방정식 회귀곡선의 적합도 (결정계수 R²) 는 0.739-0.970 (평균 0.916) 으로 비교적 적합도가 높았다 (p < 0.05). 이 회귀식으로부터 추정된 최대 여과율 및 섭식율은 Table 1과 같다.

대체적으로 최대 여과율 및 섭식율이 나타나는 수온의 범위는 20-25°C 사이 이었다. 그러나 조고에 따라, 혹은 먹이생물에 따라서 약간의 차이를 보였다. 서식 조고의 경우를 비교해 보면, Lower Midlittoral Zone에서 채집한 지중해담치의 최대 여과율 및 섭식율이 나타나는 수온이 Higher Midlittoral Zone에서 채집한 지중해담치보다 높은 경향을 보이고 있다. 먹이생물별로 비교해보면, HMZ에서는 *C. didymus* > *I. galbana* > *P. dentatum*의 순으로 최대 여과율 및 섭식율을 보이는 수온이 높았으며, LMZ에서는 *I. galbana* > *C. didymus* > *P. dentatum*의 순으로 수온이 높았다.

최대 여과율 및 섭식율은 Table 1에서 보듯이 조고에 따라서 큰 차이를 보였다. 즉 HMZ에서 채집한 소형 지중해담치의 최대 여과율 및 최대 섭식율은 LMZ에서 채집한 대형 지중해담치에 비해 30배 정도 높은 값을 보였다.

3. 먹이생물별 수온 계수 Q₁₀ 값의 비교

여과율과 섭식율에 영향을 미치는 수온의 영향을 파악할 수 있는 Filtration rate (mL/g/min), Ingestion rate (pgC/g/min) 의 수온 계수 (thermal coefficient) 값을 보면 (Table 2), 전반적으로 수온 구간이 증가할수록 Q₁₀ 값은 감소하는 경향을 보여 크기 (연령) 에 관계없이 낮은 수온 구간에서 상대적으로 더 높은 Q₁₀ 값을 나타내는 양상을 보이고 있다. 채집 조고 (크기) 와 먹이생물의 종류에 관계없이 5-15°C에서 가장 높은 값을 보여 낮은 수온 구간에서 수온변화에 대한 여과율 및 섭식율이 매우 민감하게 반응함을 보여주었다. 그리고 20-30°C 이상의 구간에서는 모든 연령군에서 Q₁₀ 값

Table 1. Maximum filtration rates (mL/g/min) and ingestion rates (cells/g/min, pg-C/g/min) of blue mussel collected on the higher and lower midlittoral zone, estimated from polynomial regression curves shown in Fig. 1

Food Organism	Clearence Rate (mL/g/min)		Ingestion Rate (cells/g/min)		Ingestion Rate (pgC/g/min)	
	Temp(°C)	Max.	Temp(°C)	Max.	Temp(°C)	Max.
Higher Midlittoral Zone						
<i>Isochrysis galbana</i>	23.87	162.10	23.79	237.29	23.32	794.67
<i>Chaetoceros didymus</i>	21.77	108.00	23.63	223.65	19.86	1,702.13
<i>Prorocentrum dentatum</i>	20.23	134.53	26.52	127.42	25.89	7,345.84
Lower Midlittoral Zone						
<i>Isochrysis galbana</i>	23.06	4.94	24.03	7.53	23.66	25.71
<i>Chaetoceros didymus</i>	22.34	4.57	28.97	12.31	26.57	95.04
<i>Prorocentrum dentatum</i>	25.61	3.39	27.18	3.92	27.04	238.66

Table 2. Thermal coefficients (Q_{10}) in clearance rates and ingestion rate by the blue mussel, *Mytilus galloprovincialis*

Temperature range(°C)	Q_{10} values (<i>Isochrysis galbana</i>)				
	Clearance rate (mL/g/min)		Ingestion rate (pgC/g/min)		
	Higher Midlittoral Zone (Small size)	Lower Midlittoral Zone(Large size)	Higher Midlittoral Zone (Small size)	Lower Midlittoral Zone (Large size)	
5-15	71.25	28.44	66.90	27.37	
10-20	2.96	4.76	2.07	3.07	
15-25	1.36	1.14	1.36	1.13	
20-30	0.59	0.53	0.83	0.80	
25-35	0.31	0.32	0.42	0.43	
	Q_{10} values (<i>Chaetoceros didymus</i>)				
5-15	7.58	6.68	7.42	5.53	
10-20	2.98	3.80	3.19	3.36	
15-25	1.23	1.26	0.90	1.61	
20-30	0.43	0.63	0.41	0.92	
25-35	0.36	0.46	0.53	0.58	
	Q_{10} values (<i>Prorocentrum dentatum</i>)				
5-15	29.38	7.61	39.14	15.44	
10-20	2.04	8.37	2.49	10.04	
15-25	1.09	7.02	1.71	8.47	
20-30	0.72	0.63	0.90	0.77	
25-35	0.60	0.39	0.73	0.43	

이 1.00 미만의 값을 나타내었는데, Q_{10} 이 1.00보다 낮은 것은 수온이 상승할수록 여과율 및 섭식율이 감소함을 의미한다. 그리고 5-15°C의 저온 구간에서는 HMZ에서의 여과율과 섭식율이 LMZ보다 월등히 높지만, 그 이상의 수온 구간에서는 오히려 LMZ가 HMZ보다 높은 값을 보이고 있는 것이 특징적이다.

고찰

1. 수온에 따른 여과율 변동

일반적으로 이매패류와 같은 변온동물은 항온동물과는 달리 대사과정을 통해 열을 생산하는 열발생을 하지 않기 때문에 항온동물에 비해 적은 에너지만으로도 비교적 오랜 시간 동안 생명을 유지할 수 있지만, 이들은 외부의 열에 의지하기 때문에 저온에서 활동이 제한될 수밖에 없다 (Clarke, 1998). 따라서 저온에서 이매패류의 여과율이 뚜렷하게 감소한다는 연구 결과는 다양한 이매패류를 대상으로 국내외에서 많은 연구가 있었다 (Walne, 1979; Bricelj and Shumway, 1991; Numaguchi, 1994; Shin and Lim, 2003; Lim *et al.*, 2008; Shin *et al.*, 2009)

본 연구의 결과에서도 지중해담치의 여과율 (섭식율 포함)은 서식 조고 (크기)에 관계없이, 그리고 먹이생물의 종류에

관계없이 실험 수온 5°C에서 최소값을 나타내었으며 저온의 수온 구간에서 상대적으로 더 낮은 여과율과 섭식율을 기록하였다 (Fig. 1). 이는 낮은 수온은 수관 및 아가미의 섬모운동 저해 등 여과활동에 직접적인 영향을 미쳐 여과식자들의 여과 활동을 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 사례도 많다 (Almada-Villela *et al.*, 1982; Laing and Child, 1996).

온도계수 Q_{10} 으로 살펴 본 여과율과 섭식율 역시 먹이생물이나 서식위치 (크기)에 관계없이 저수온 구간 (5-15°C)에서 가장 높게 나타났다 (Table 2). 이는 기존의 연구결과들과도 일치한다 (Ali, 1970; Winter, 1969, 1978; Schulte, 1975; Shin and Lim, 2003). 저수온 구간에서 Q_{10} 값이 높다는 것은 고수온 구간에 비해 상대적으로 여과율이 더욱 빠르게 증가함을 의미하며 (Winter, 1978), 여과식자들이 저온에서의 온도 변화에 더욱 민감하게 반응함을 암시하는 결과로 해석될 수 있다. 즉, 저수온 구간 (5-15°C)에서 약간의 수온 증가가 뚜렷한 여과율 증가로 직결될 수 있으나, 반대로 살펴보면 이주 적은 폭의 수온 감소에도 뚜렷한 여과율 감소를 초래할 수 있고,

경우에 따라 이들의 생존에 치명적인 영향이 될 수 있음을 암시한다 (Lim *et al.*, 2008). 그리고 온대지방에서 겨울철의 낮은 수온은 여과율 감소를 야기하여 성장이 크게 둔화될 수 있다 (Numaguchi, 1994).

이매패류가 고온에 노출될 경우 생리, 생태학적 이상에 직면하여 성장에 큰 악영향을 받는다는 연구 결과도 많이 있다. 즉 최적온도 이상의 온도에서는 생리적 변화를 일으키고, 결국 단백질 응고가 일어나서 폐사하게 된다 (윤과홍, 1995). 바지락 *Ruditapes philippinarum*은 수온 36°C 이상에서는 아가미 섬모운동을 정지하여 먹이섭취를 거의 하지 않았고 (Won, 1994), Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii*의 종패가 35°C에 노출되었을 경우 매우 높은 사망률을 나타내었다고 하였고 (Numaguchi and Tanaka, 1986), Calafia mother-of-pearl oyster *Pinctada mazatlanica*는 고수온 33°C에 노출될 경우 심한 온도 스트레스에 의해 암모니아 배설율이 급격하게 증가하기도 하였다 (Saucedo *et al.*, 2004). 본 실험 대상 이매패류인 지중해담치 역시 서식 조고나 먹이생물의 종류에 관계없이 최적 수온인 20-25°C 이상의 고수온에 직면할 경우 여과율과 섭식율이 크게 감소하였다 (Fig. 1, Table 1).

2. 서식위치 및 개체 크기에 따른 여과율 변동

서식 조고 (tidal elevation) 에 따라 지중해담치의 여과율 및 섭식율은 큰 차이를 보였다 (Fig. 1). 즉 Higher Midlittoral Zone (+ 5 cm MSL) 에 서식하는 지중해담치의 여과율 및 섭식율이 Lower Midlittoral Zone (- 58 cm MSL) 에 서식하는 지중해담치보다 월등히 높은 값을 보였다. 이는 서식 조고에 다른 지중해담치의 크기 차이와 조간대 특유의 환경인 섭식시간의 차이에 기인한 것으로 보인다. 본 연구에 사용된 지중해담치의 각고 크기는 서식 조고 (tidal elevation) 에 따라 큰 차이를 보였다. Higher Midlittoral Zone에 서식하는 지중해담치의 평균 각고는 9.53 ± 0.68 mm인 반면, Lower Midlittoral Zone의 지중해담치의 평균 각고는 35.35 ± 3.32 mm이었다. 이는 크기가 작은 개체일수록 여과율이 높다는 여러 종류의 이매패류를 대상으로 행한 기존의 연구 결과들과도 일치하고 있다 (Winter, 1978; Shin and Lim, 2003; Lim *et al.*, 2008; Shin *et al.*, 2009). 이는 개체 크기가 커짐에 따라 단위 무게당 대사요구량이 낮아지며, 크기에 대한 아가미 표면적의 비 역시 감소하기 때문에 여수율이 감소하는 것으로 알려져 있다 (Riisgård, 1988; Johns *et al.*, 1992).

뿐만 아니라 Higher Midlittoral Zone과 Lower Midlittoral Zone에 서식하는 지중해담치의 여과율 패턴에 차이가 나는 것은 조고에 따른 섭식시간의 차이와 같은 조간대 특유의 환경 조건에 따른 생리, 생태학적 반응의 결과로 보인다.

다. 조간대에 정착한 이매패류는 서식 조고에 따라 조수간만의 차에 따른 섭식 활동 시간의 제약을 받는다는 것은 잘 알려져 있다 (Nybakken, 2008). 즉 대기노출 시간이 긴 Higher Midlittoral Zone에 서식하는 지중해담치의 경우 Lower Midlittoral Zone에 비하여 짧은 침수 시간 내에 충분한 양의 많은 먹이생물을 섭취해야 하는 반면, Lower Midlittoral Zone에 서식하는 지중해담치는 Higher Midlittoral Zone 보다 침수 시간이 길기 때문에 섭식 시간에 따른 제약을 받지 않으므로 단위시간당 여과율이 높지 않아도 충분히 생장이 가능하다고 사료된다. 이러한 조간대 서식 이매패류의 조고에 따른 개체 크기 및 성장의 차이는 Han *et al.* (2012) 의 연구 결과에서도 잘 나타나고 있다. 즉 조간대 조위별 노출시간에 따른 스트레스 정도가 바지락의 성장과 연령군별 밀도에 영향을 주었다는 연구 결과와 유사한 것으로 사료된다.

3. 먹이생물의 종류에 따른 여과율 변동

먹이생물의 종류에 따른 여과율을 비교해보면, Lower Midlittoral Zone (Large size) 에서는 *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros didymus*, *Prorocentrum dentatum* 순으로 여과율이 높게 나타났다 (Fig. 1). 3 종류 먹이생물의 세포 용적은 *I. galbana*, *C. didymus*, *P. dentatum*의 순으로 증가한다. 가리비 (*Patinopecten yessoensis*) 치패의 1일 먹이 섭취량을 조사한 결과를 보면 (Kim, 1994), *Isochrysis galbana*, *Monochrysis lutheri*, *Thalassiosira weissflogii*, *Chaetoceros gracilis*, *Phaeodactylum tricorutum*, *Tetraselmis tetrathele* 순으로 세포 용적이 작을수록 많이 섭취 하였으며, 세포용적이 클 경우 미세조류 운동성이 작은 종류일수록 많이 섭취한 것으로 보인다고 하였다. 즉 Kim (1994)의 연구 결과에서 알 수 있듯이 본 연구 먹이생물 3 종류의 세포 용적 순으로 여과율이 나타난 것으로 볼 수 있다.

그런데 Higher Midlittoral Zone (Small size) 에서는 *I. galbana*, *P. dentatum*, *C. didymus* 순으로 여과율이 높게 나타났다. 이는 Kim (1994) 이 제시한 먹이생물의 세포 용적이 작을수록 많이 섭취 하며, 세포용적이 클 경우 미세조류 운동성이 작은 종류일수록 많이 섭취한 것으로 보인다고 한 연구 결과와 약간 상이하다. 즉 본 연구에 사용한 세 종류의 먹이생물 중 *I. galbana*의 용적이 가장 작으므로 세 먹이생물 중 가장 높은 여과율을 보였다. 그러나 *C. didymus* 와 *P. dentatum* 경우 세포 용적은 *C. didymus* 가 작으나 *P. dentatum*의 여과율이 더 높았다. 그런데 독이 없는 적조생물 *Scrippsiella trochoidea*, *Cochlodinium polykrikoides* 2 종류에 대한 갈색새알조개 (*Glauconome chinensis*)의 여과율 비교 연구 결과 (Lee *et al.*, 2003), *C. polykrikoides*의 여과율이 *S. trochoidea*의 여과율보다 낮게 나타났다. 이는

독소를 갖고 있지 않더라도 사슬을 이루거나 점액질을 분비하여 이때패류가 다루기 어렵든지, 유영속도가 빨라서 쉽게 빠져나갈 수 있다면 이때패류가 잘 여과하지 못한다고 하였다. 즉 본 연구에서 규조류 *C. didymus*의 사슬을 이루는 특성으로 인하여 오히려 비교적 크기가 더 크고 운동성이 있는 *P. dentatum*에 대한 여과율이 높게 나타난 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 먹이생물의 종류와 서식 위치 (패각 크기) 에 따라서 지중해담치의 여과율이 수온에 따라 어떻게 변동하는 지를 알아보고자 하였다. 실험에 사용된 먹이생물은 *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros didymus* and *Prorocentrum dentatum*의 3 종류이다. 지중해담치의 크기 (각고) 는 중부조간대 상부 지역 (+ 5 cm MSL) 에 서식하는 개체가 중부조간대 하부지역 (- 58 cm MSL) 에 서식하는 개체보다 월등히 작았다.

지중해담치의 여수율과 섭식율은 먹이생물의 종류에 상관없이 중부조간대 상부에 서식하는 지중해담치가 중부조간대 하부에 서식하는 지중해담치보다 높은 값을 보였다. 전반적으로 수온에 따른 여수율과 섭식율 변동은 동일한 변동 양상을 보였다. 즉 수온이 상승함에 따라서 여수율과 섭식율도 증가하다가, 수온 20-25°C 정도에서 최대값을 보이며, 이 후 점차 감소하는 경향을 보였다. 다항회귀분석에서 추정된 최대 여수율과 섭식율을 보이는 이론적 적정 수온 역시 20-25°C의 범위 내로 나타났다.

먹이생물의 종류에 따라서는 여수율과 섭식율이 약간 다른 변동을 보였다. 대체적으로 여수율과 세포수 기준 섭식율은 지중해담치의 서식위치 (조고) 나 먹이생물의 종류에 상관없이 거의 유사한 경향을 보였다. 반면에 탄소함량 기준 섭식율의 경우 먹이생물이 *P. dentatum*일 경우가 *I. galbana*나 *C. didymus*일 경우 보다 월등히 높은 값을 보였다.

사 사

이 논문은 2015년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (내만 빈산소 수괴 해소기술개발).

REFERENCES

Ali, R.M. (1970) The influence of suspension density and temperature on the filtration rate of *Hiatella arctica*. *Marine Biology*, **6**: 291-302.
 Asmus, R.M. and Asmus, H. (1993) Phytoplankton-

mussel bed interactions in intertidal ecosystems. *In*: Richard F. Dame.(ed.) Bivalve filter feeders in estuarine and costal ecosystem processes. NATO, A.S.I. Series, Vol. G33. Springer-Verlag, Berlin, 57-84.
 Boltvoskoy, D., Izaguirre I. and Correa, N. (1995) Feeding selectivity of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) on natural phytoplankton. *Hydrobiologia*, **312**: 171-182.
 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.
 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.
 Cloernm, J.E. (1982) Does the Benthos Control Phytoplankton Biomass in South San Francisco Bay? *Marine Ecology Progress Series*, **9**: 191-202.
 Comesana, A.S., Posada, D. and Sanjuan, A. (1998). *Mytilus galloprovincialis* Lmk. in northern Africa. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **223**: 271-283.
 Coughlan, J. (1969) The estimation of filtering rate from the clearance of suspensions. *Marine Biology*, **2**: 356-358.
 Dame, R.F. (1996) Ecology of marine bivalves: An ecosystem approach. pp. 254. CRC marine science series. CRC Press, Boca Raton.
 Fischer, H. (1988). *Mytilus edulis* as a quantitative indicator of dissolved cadmium. Final study and synthesis. *Marine Ecology Progress Series*, **48**: 163-174.
 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.
 Fuentes, J., Reyero, I., Zapata, C. and Alvarez, G. (1994) Production traits of the mussel *Mytilus galloprovincialis* cultured in Galicia (NW of Spain): relative effects of source of seed and growing environment. *Aquaculture*, **122**: 19-31.
 Guillard, R.R.L. (1983) Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. *In*: Carl J. Berg, Jr(ed.), Culture of marine invertebrates-selected readings. 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.
 Han, H.s., Ma, C.W. and Kim, J.Y. (2012) Growth patterns of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* at each tidal level in the intertidal

- zone in Tae-an, west coast of Korea. *Korean J. Malacol.*, **28**: 29-35.
- Hra-Brenko, M. (1973) The study of mussel larvae and their settlement in Vela Draga Bay (Pula, The Northern Adriatic Sea). *Aquaculture*, **2**: 173-182.
- Hwang, S.J., Kim, H.S. and Shin, J.K. (2001) Filter-feeding effect of a freshwater bivalve (*Corbicula leana* Prime) on phytoplankton. *Korean Journal of Limnology*, **34**: 298-309.
- Hwang, S.J., Kim, H.S., Choi, K.H., Park, J.H. and Shin, J.K. (2002) Comparison of filtering abilities of Korean freshwater bivalves and their filtering effects on water quality. *Korean Journal of Limnology*, **35**: 92-102. [in Korean]
- Je, J.G., Hong, J.S. and Yi, S.K. (1988) A study on the fouling organisms in the pearl oyster culture grounds in the southern coast of Korea. *Ocean Research*, **10**: 85-105.
- Johons, H.D. Richards, O.G. and Southern, T.A. (1992) Gill dimensions, water pumping rete and body size in the mussel *Mytilus edulis* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **155**: 213-237.
- Kang, J.W., Lee, S.S. and Han, K.N. (2014) Clearance rate and feeding according to water temperature and salinity condition in the surf clam, *Macra veneriformis*. *Kor. J. Malacol.*, **30**: 101-106. [in Korean]
- Kim, H.S., Park, J.H., Kong, D.S. and Hwang, S.J. (2004). Water quality improvement with the application of filter-feeding bivalve (*Corbicula leana* Prime) in a eutrophic lake. *Korean Journal of Limnology*, **37**: 332-343. [in Korean]
- Kim, H.Y. (1994) Live foods for the scallop (*Partinopecten yessoensis*) in the laboratory culture. Fisheries National University of Pusan, M.S.Thesis, 69pp.
- 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, C.H., Song, J.Y. and Chung, E.Y. (2003) Filtration of red tide dinoflagellates by intertidal bivalve, *Glaucanome chinensis* Gray: An implication for the potentials of bivalves in tidal flats. *J. Fish. Sci. Tech.*, **6**: 66-73.
- Lee, C.H., Min, S.D. and Sung, C.G. (2012) Filtration rates of juvenile purple clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby) Feeding on red tide dinoflagellates. *Korean J. Malacol.*, **28**: 349-359.
- Lee, S.H. and Lee, K.W. (1984) Heavy metals in mussels in the Korean coastal waters. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, **19**: 111-117. [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 filtration rates of the hard clam, *Meretrix petechialis*. *Korean J. Malacol.*, **24**: 175-188. [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 J. Malacol.*, **21**: 19-24.
- Martinez, J.C. and Figueras A. (1998) Long-term survey on wild and cultured mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) reproductive cycles in the Ria de Vigo (NW Spain). *Aquaculture*, **162**: 141-156.
- 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]
- Nybakken, J.W. (2008) Marine Biology : An Ecological Approach. Addison-Wesley Edu. Pub.,
- Okumuş, I., Başçınar, N. and Özkan, M. (2002) The effects of phytoplankton concentration, size of mussel and water temperature on feed consumption and filtration rate of the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis* Lmk). *Turk. J. Zool.*, **26**: 167-172.
- 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.
- 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 J. Malacol.*, **19**: 1-8. [in Korean]
- Shin, H.c., Lee, J.h., Jeong, H.J., Lee, J.S., Park, J.J. and Lim, B.H. (2009) The Influence of water temperature and salinity on filtration rates of the Hard clam, *Gomphina veneriformis* (Bivalvia). *Korean J. Malacol.*, **25**: 161-172. [in Korean]
- Strathmann, R.R. (1967) Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnology and Oceanography*, **12**: 411-418.
- Sylvester, F., Dorado, J., Boltovskoy, D., Juárez, Á. and Cataldo, D. (2005) Filtration rates of the invasive pest bivalve *Limnoperna fortunei* as a function of size and temperature. *Hydrobiologia*, **534**: 71-80.
- Walne, P.R. (1979). Culture of bivalve molluscs; 50 years' experience at Conwy. pp. 189. Farnham. Fishing News Books Ltd.
- Winter, J.E. (1969) Über 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. (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]
- Yoo S.K., Lim, H.S. and Chang, Y.J. (1990) On the occurrence of the larvae, spatfall and early growth of mussel *Mytilus edulis*, in Chinhae Bay. *The Korean Journal of Malacology*, 6: 1-10. [in Korean]
- 윤성규, 홍재상, (1995) 해양생물학-저서생물, pp. 412. 아카데미 서적
- 해양수산부 (2006) 전국 품종별 패류생산 통계 (http://fs.fips.go.kr/index3_1.jsp).