

수온과 먹이생물의 농도 변화에 따른 재첩의 여과율 변동

임경훈, 신현출, 양재삼¹

여수대학교 해양시스템학부, ¹군산대학교 해양정보과학과

The Influence of Water Temperature and Food Concentration on the Filtration Rates of the Asiatic Clam, *Corbicula fluminea*

Kyeong Hun Lim, Hyun Chool Shin, and Jae Sam Yang¹

Division of Ocean System, Yosu National University, Yeosu, 550-749, Korea,

¹Department of Ocean Information Science, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

ABSTRACT

This study was undertaken with the intent to describe the influence of water temperature and food concentration on the filtration rates of the Asiatic clam, *Corbicula fluminea*. The clams were collected at Lake Geumho near Yeongsan river, during March 2001. Food organism, *Scenedesmus* sp. (KMCC FC-34), was indoor-cultured in f/2 medium, and was used to measure the filtration rate of the clams. Filtration rate of the clams was measured by indirect method. Cell concentrations of food organisms were determined by direct counting cells using the hemacytometer under the light microscope.

The filtration rate of the clams increased with water temperature up to circa 25°C. Above this temperature, the filtration rate decreased rapidly. The minimal filtration rate of the clams was recorded at 5°C. Thermal coefficient, Q₁₀ values at low temperature range were much higher than those at high temperature range. These results indicate the asiatic clam is more sensitive in cold water like most of marine bivalves. There was a strong reversed correlation between filtration rate and food concentration. Filtration rate of the clams was reduced as food concentration was increased.

Keywords: *Corbicula fluminea*, Filtration rate,

Temperature, Food concentration.

서론

재첩, *Corbicula fluminea*는 우리나라 담수 및 기수역에 서식하는 소형 이매패류로서 연체동물 문 (phylum Mollusca), 이매패 강 (class Bivalvia), 백합 목 (order Veneroida), 재첩 과 (family Corbiculidae) 에 속하며, 식용 이매패류로서 상업적 가치가 대단히 높은 중요한 수산자원이 다. 뿐만 아니라 재첩과 같은 여과식 이매패류 (filter-feeding bivalve) 는 수서생태계의 기능적, 구조적 측면에서 매우 중요한 의미와 역할을 가지며 (Dame, 1996), 수서생태계를 정화 하거나 (Foster-Smith, 1975), 식물플랑크톤의 생물량을 조절하는 중요한 요인이다 (Asmus and Asmus, 1993). 이와 같은 이매패류에 의한 수질정화에 대한 연구는 대부분이 해산 이매패류를 대상으로 이루어져 왔으나, 담수산 이매패류 역시 수중의 식물플랑크톤, 박테리아, 입자성 유기물 등을 제거하고 이를 다시 배설물로 생물퇴적 (faeces and pseudofaeces) 시 킴으로써 수질정화 및 영양염 순환에 중요한 역할을 한다 (Vaughn and Hakenkamp, 2001). 비록 해산 이매패류의 경우, 해양환경의 특성상 현장에서의 수질 개선효과는 미미하였지만 (Nelson *et al.*, 2004), 담수산 이매패류 중 특히 얼룩말조개 (*Dreissena polymorpha*) 는 식물플랑크톤을 섭식함으로써 호수의 투명도를 증가시키고, chlorophyll-a의 농도를 효과적으로 감소시킨다고 알려졌으며 (Reeders *et al.*, 1989), 최근까지 비교적 중소규모의 부영양화된 호수나 강에서 재첩이나 얼룩말 조개의 수질 개선 효과 및 퇴적물-수 경계면에서의 생태적 역할을 파악하고자 하는 노력이 이루어지고

Received February 14, 2005; Accepted May 28, 2005

Corresponding author: Shin, Hyun Chool

Tel: (82) 61-659-3145 e-mail: shinhc@yosu.ac.kr

1225-3480/21103

© The Malacological Society of Korea

있다 (Cohen *et al.*, 1984; Thorp and Casper, 2002; Descy *et al.*, 2003). 또한 재첩은 정수성 및 유수성 서식지 (lentic and lotic habitats) 에 광범위하게 적응할 수 있는 기회주의적 종이며, 여과섭식과 퇴적물섭식을 병행하는 종으로서 담수생태계의 환경과수꾼으로써 높게 인식되고 있다 (Vidal *et al.*, 2002; Way *et al.*, 1990). 더욱이 재첩은 해양생태계에서의 진주담치 (*Mytilus edulis*) 처럼 유기오염물질이나 중금속을 생체농축 (bioaccumulation) 시킨 이후 그에 대한 아주 뚜렷한 반응을 나타내기 때문에 담수생태계의 훌륭한 생화학적 지표자로서 연구의 대상이 되어져 왔다 (Basack *et al.*, 1998; Vidal *et al.*, 2001).

국내에서도 담수산 이매패류인 재첩의 상업적 중요성 뿐만 아니라, 생물생태학적 중요성 역시 높게 인식되어 재첩의 수산 자원학적 연구 (Kwon *et al.*, 2002a), 생식주기 (Kim and Yoo, 2000), 성장모수 추정 (Kwon *et al.*, 2002b), 여수작용 및 산소소비 (Jung *et al.*, 1997), 대사생리에 미치는 중금속 오염원의 급성독성 영향 (Jung *et al.*, 1998), 환경오염원이 참재첩의 섭이율에 미치는 영향 (Choi *et al.*, 1998), 섭식활동이 호수 수질 및 식물플랑크톤에 미치는 영향 (Hwang *et al.*, 2001, 2002), 참재첩을 이용한 부영양화의 수질개선 (Kim *et al.*, 2004) 등의 연구가 진행되어 왔다.

그러나 해산 이매패류와 마찬가지로 담수산 이매패류의 여과율 역시 종, 개체 크기, 수온, 먹이의 입자크기 및 농도, 유속 등에 영향을 받기 때문에 (Vaughn and Hakenkamp, 2001), 생태적 연구 및 수질 개선에 이용하고자 하는 노력뿐만 아니라 주기적인 자연환경 요인에 의한 단기간의 생리활성 (여과율, 호흡율 등) 을 종별, 개체 크기별로 파악하여야 할 필요가 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 이러한 재첩의 기초 생물생태학적인 정보의 하나로써, 수온 및 먹이생물의 농도가 변함에 따라 재첩의 크기별 여과율이 어떻게 변동하는지 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재첩

실험에 사용된 재첩 (*Corbicula fluminea*) 는 전남 목포시 영산강 금호호에서 2001년 3월에 채집하였다. 채집 당시 금호호의 수온은 8.7°C, pH는 7.8, 그리고 염분은 1.5 psu 이었다. 채집 후 즉시 채집지역의 퇴적물과 담수를 채운 컨테이너 상자에 재첩을 보관하여 실험실로 운반하였고, 다시 증류수로 깨끗이 세척하고 미리 준비된 배양조에서 7일간 순응시켰다. 실험에 사용하기 전 재첩의 각장을 기준으로 작은 개체 (small specimens; 각장 15.4 ± 0.5 mm), 중간 개체 (middle specimens; 각장 17.4 ± 0.3 mm), 큰 개체 (large specimens; 각장 19.9 ± 0.9 mm)로 각각 구분하고 이를 재

첩의 크기별 여과율 측정 실험에 사용하였다. 이때 배양조의 조건은 수온 20 ± 1°C, pH 7.8 ± 0.1, 염분 1.5 ± 0.1 psu 이었으며, 하루 한번 먹이생물을 공급하였다.

2. 먹이생물

실험에 사용된 먹이생물은 강 뿐만 아니라 못, 늪, 호수 등과 같은 담수에 흔히 출현하는 *Scenedesmus* sp. (KMCC FC-34) 를 실내에서 배양하여 사용하였다. 먹이생물 배양시 액체배지는 f/2 배지 (Guillard and Ryther, 1962) 를 사용하였으며 배지를 교체할 때 여과해수 대신 증류수를 사용하였다. 배양조건은 온도 20 ± 1°C, 광주기 24 L : 0 D, 염분 1 ± 0.1 psu, pH 7.8 ± 0.5로 조절하였다. 염분 측정은 환경 모니터링시스템 (YSI 600XLM) 을 사용하였고 pH 측정은 pH 측정기 (Orion 420A) 를 사용하였다.

3. 대조구 먹이생물 농도 변화 검증

실험액의 농도가 피검생물인 재첩의 여과에 의하지 않은, 먹이생물 자체의 증감으로 인한 오차를 보정하기 위하여, 실험조에 먹이생물 배양액만을 넣고 재첩을 넣지 않은 상태에서 먹이생물 농도 변화를 관찰하였다. 실험 시작시의 초기 먹이생물 농도와 2시간 후의 먹이생물 농도를 각 수온별로 계수하여 산출한 후, 분산분석 (ANOVA) 을 통해 각 수온별 먹이생물 농도의 유의성을 판별하였다. 먹이생물의 세포 계수는 광학현미경 (CarlZeiss AxioLab) 하에서 혈구계산판 (hemacytometer) 을 사용하여 직접 계수하였고 이를 3 회 반복 계수하여 평균값을 사용하였다. 자료 분석에는 SPSS 10.0-통계패키지를 사용하였다. 실험 전 먹이생물의 초기 세포농도는 3.03 × 10⁶ cell/ml 이었고 염분은 1.5 psu이었으며, pH는 7.3이었다. 각 수온별로 (5-35°C) 대조구를 두어, 2시간이 경과한 후 각 수온별 대조구의 먹이생물 농도를 3회 반복 계수하고 평균값을 산출한 결과, 2.76-3.59 × 10⁶ cell/ml의 농도를 나타내었다. 분산분석의 결과 각각의 수온 구간에서 2시간동안 먹이생물의 세포농도 변화는 거의 없는 것으로 나타났으므로 초기 먹이생물의 세포농도와 2시간 후 각 수온별 먹이생물의 세포농도는 모두 동일하다고 볼 수 있었다 (p = 0.085). 그러므로 본 연구에서 여과율 산출시 재첩의 여과활동에 의하지 않은 먹이생물의 세포농도 증감은 없는 것으로 간주하였다.

4. 실내 실험 방법 및 여과율 산출

여과율 측정 실험시, 실험조건의 표준화를 위해 재첩을 24시간동안 절식시켰다 (Way *et al.*, 1990). 먹이생물 농도변화에 따른 재첩의 여과율 변동을 알아보기 위하여 먹이생물의 농도를 모두 8 구간 (2.84 × 10⁶, 1.42 × 10⁶, 5.68 × 10⁵, 2.84 × 10⁵, 5.68 × 10⁴, 5.68 × 10³, 5.68 × 10², 56.8 cells/ml) 으로 설정하였고, 염분은 1.5 psu, pH는 7.4 수온

은 25℃ 이었다. 먹이생물 농도별 여과율 측정 실험에 사용된 재첩의 각장은 18.13 ± 0.14 mm 이었다.

수온의 변화에 따른 재첩의 여과율 변동을 알아보기 위한 수온별 여과율 측정실험에서는 수온을 모두 7구간 (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35℃) 으로 설정하였고 염분은 1.5 ± 0.1 psu, pH는 7.4 ± 0.1 이었다. 수온조절은 냉각기와 가열막대를 사용하였고 염분 조절은 천일염과 증류수를 사용하였다. 이후 여과율 측정 실험방법은 Shin and Lim (2003) 과 동일하였다. 여과율 산출에는 Coughlan (1969) 의 표준식을 변형하여 Kim (1995) 이 제안한 (1) 식을 적용하였다.

그리고, 여과율에 미치는 수온의 영향을 파악하기 위한 수온계수 (Q₁₀) 는 다음의 (2) 식을 이용하여 구하였다 (Beiras et al., 1995).

$$FR = V \cdot d$$

$$= V \cdot (1 - e^{-Z}) \dots\dots\dots (1)$$

FR: filtration rate (ml/min)
 V: the volume of the suspension (ml)
 d: decreasing rate, 1 - e^{-Z}
 Z: decreasing coefficient, -ln(Ct₁/Ct₀)/t
 t: periods of experiment (min)

$$Q_{10} = (R_2/R_1)^{(10/T_2 - T_1)} \dots\dots\dots (2)$$

R₁, R₂: filtration rate at temperature T₁, T₂, respectively

결 과

1. 수온 변화에 따른 크기별 재첩의 여과율 변동

수온 변화에 따른 크기별 재첩의 여과율 변동은 각각 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3에 나타내었다. 작은 개체인 재첩 (각장 15.4 ± 0.5 mm) 의 수온별 여과율 변동을 살펴보면, 25℃에서 205.72 ± 30.69 ml/min·g dw 로 최대값을 나타내었다. 5℃에서 최소값을 보였으며, 전반적으로 수온이 증가하면서 여과율도 증가하다가 25℃ 이후에서 빠르게 감소하였고 15-30℃ 범위에서 비교적 높은 여과율을 기록하였다 (Fig. 1).

중간 개체인 재첩 (각장 17.4 ± 0.3 mm) 의 수온별 여과율도 작은 개체와 마찬가지로 25℃에서 211.20 ± 37.21 ml/min·g dw로 최대값을 기록하였고 5℃에서 최소값을 나타내었다. 전반적으로 수온이 증가하면서 여과율도 증가하다가 25℃를 넘어서면 급격하게 감소하는 경향은 작은 개체와 유사하였지만 작은 개체에 비해 그 변동 폭은 더욱 컸다.

큰 개체인 재첩 (각장 19.9 ± 0.9 mm) 의 수온별 여과율 역시 마찬가지로 25℃에서 111.54 ± 13.20 ml/min·g dw로

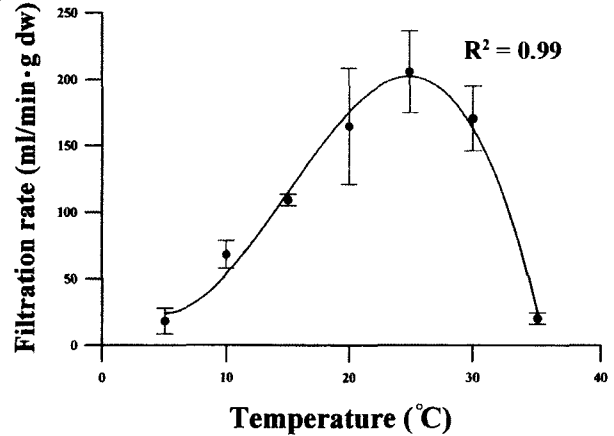


Fig. 1. Influence of temperature on filtration rates of *Corbicula fluminea*, which have 15.4 ± 0.5 mm in shell length; salinity and pH were 1.5 ± 0.1 psu, 7.4 ± 0.1, respectively.

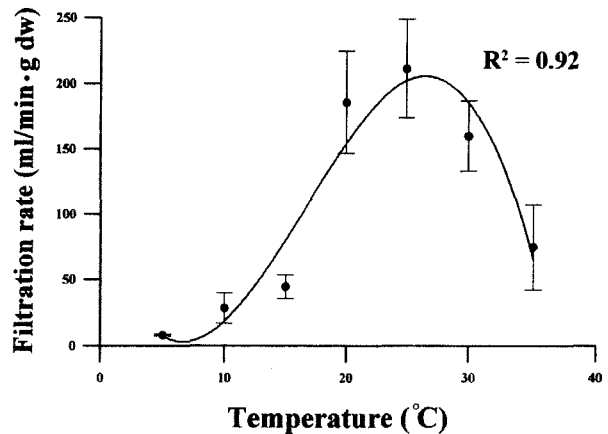


Fig. 2. Influence of temperature on filtration rates of *Corbicula fluminea*, which have 17.4 ± 0.3 mm in shell length; salinity and pH were 1.5 ± 0.1 psu, 7.4 ± 0.1, respectively.

최대값을 기록하였고 5℃에서 최소값을 나타내었다. 대체적으로 재첩의 크기에 관계없이 저온에서 매우 낮은 여과율을 기록하다가 25℃를 전후로 높은 여과율을 보였고 그 이후 급격한 여과율 감소 현상을 보이는 것처럼 크기별로 모두 유사한 경향을 보였다.

재첩의 여과율에 미치는 수온의 영향을 각 수온 범위에서의 온도계수 Q₁₀ 값으로 살펴보면 Table 1과 같다. 각 수온별 재첩의 여과율에 대한 온도계수 Q₁₀ 값은 작은 개체의 경우 5-15℃ 범위에서 5.98로 가장 높았고 이후 온도범위가 증가할수록 Q₁₀ 값은 감소하였으며 중간 개체의 경우는 10-20℃ 범위에서 6.56으로 가장 높았으나, 5-15℃ 범위에서도 5.51로 유사하게 높은 값이었다. 큰 개체의 경우 5-15℃ 범위에서

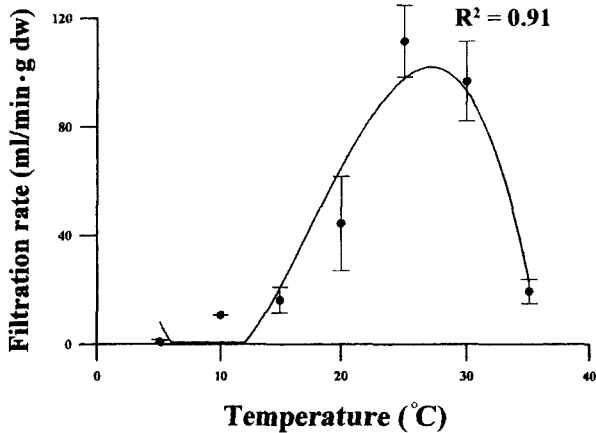


Fig. 3. Influence of temperature on filtration rates of *Corbicula fluminea*, which have 19.9 ± 0.9 mm in shell length; salinity and pH were 1.5 ± 0.1 psu, 7.4 ± 0.1 respectively.

Table 1. Temperature coefficients (Q_{10}) in filtration rates by the *Corbicula fluminea*; shell length of small, middle and large groups were 15.4 ± 0.5 mm, 17.4 ± 0.3 mm, 19.9 ± 0.9 mm in shell length, respectively.

Temperature range (°C)	Q_{10}		
	Small group	Middle group	Large group
5-15	5.98	5.51	19.12
10-20	2.41	6.56	4.11
15-25	1.88	4.74	6.86
20-30	1.03	0.86	2.19
25-35	0.10	0.35	0.17

19.12로 매우 높은 Q_{10} 값을 나타내었다. 이상에서와 같이 수온별 채첩의 여과율에 대한 온도계수 Q_{10} 값은 전반적으로 크기에 관계없이 낮은 수온 범위에서 높은 값이 나타났으며 25°C 이후의 수온범위에서는 온도증가에 대해 여과율이 감소함을 의미하는 1 미만의 Q_{10} 값을 나타내었다.

2. 먹이생물의 농도 변화에 따른 채첩의 여과율 변동

먹이생물 *Scenedesmus* sp.의 세포 농도 변화에 따른 채첩의 여과율 변동은 Fig. 4에 나타내었다. 실험에 사용된 채첩은 연령 및 개체 크기의 차이, 즉 개체간 변이에 의한 실험 오차를 줄이기 위하여 모두 비슷한 크기 (각장 18.13 ± 0.14 mm)의 개체를 사용하였으며, 수온변화에 따른 여과율 측정 실험결과에서 대체적으로 최대 여과율이 기록된 25°C에서 실험을 수행하였다. 염분과 pH는 채첩을 채집할 당시 채집지역의 조건

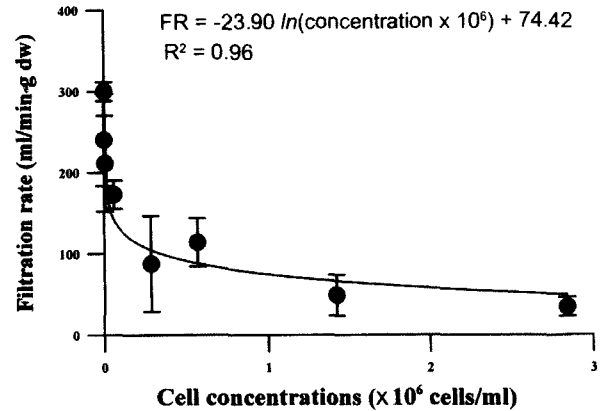


Fig. 4. Filtration rates with cell concentration of food organisms by *Corbicula fluminea*. Similar sized clams were used. Temperature, salinity and pH were 25°C, 1.5 psu, 7.4, respectively.

과 유사한 조건, 즉 염분은 1.5 psu, pH는 7.4로 조절하였다. 먹이생물의 세포 농도 구간은 초기농도 5.68×10^6 cells/ml의 50, 25, 10, 5, 1, 0.1, 0.01, 0.001%로 각각 구분한 것이다. 이상의 8 개 농도 구간에서 여과율 측정 실험을 한 결과, 채첩의 여과율은 먹이생물의 농도 증가에 대해 뚜렷한 지수함수적 감소현상을 나타내었다.

먹이생물의 세포농도가 가장 낮은 56.8 cells/ml에서 여과율이 300.15 ml/min·g dw로 최대값을 기록하였고, 점차 먹이생물의 농도가 증가할수록 여과율은 240.46 ± 56.87 , 211.39 ± 59.15 , 173.03 ± 17.32 , 87.62 ± 58.89 ml/min·g dw 순으로 급격하게 감소하였으며, 5.68×10^5 cells/ml의 농도 이후부터 완만하게 감소하는 경향을 보였다. 즉 먹이생물 농도가 낮은 범위에서 농도 증가에 대한 채첩의 여과율 감소현상이 더욱 뚜렷하였으며 ($p < 0.05$), 먹이생물 농도가 5.68×10^5 cells/ml 이상의 범위에서부터는 완만하게 감소하거나 거의 일정한 여과율을 나타내었다 ($p > 0.05$).

고 찰

수온은 수서생물의 섭식, 성장 등과 같은 여러 가지 생리적 과정에 아주 중요한 영향을 미치는 대표적인 물리적 환경요인 중 하나이다. 대부분의 수서생물은 변온동물이어서 대사과정을 통한 열 발생이 없고 외부의 열에 의지하므로 저온에서는 활동에 많은 제약을 받는다 (Shin and Lim, 2003). 그러므로 본 연구에서도 채첩의 크기에 관계없이 5°C에서 전반적으로 낮은 여과율이 나타난 것으로 생각된다. 온도계수 Q_{10} 값은 낮은 수온 범위에서 높게 나타났는데 (Table 1), 이것 역시 해산 이매패류와 마찬가지로 낮은 수온 범위에서 수온증가에 대해 더욱 민감한 반응을 나타내고 있는 것을 의미한다고 생각된다

(Shin and Lim, 2003). Fig. 1-3에서 보는 것처럼 수온변화에 대한 재첩의 여과율은 대체적으로 20-25℃의 수온 범위에서 높게 나타났다. 대부분의 해산 이매패류들이 본 연구와 같은 수온 범위에서 최대 여과율이 나타났음은 Shin and Lim (2003) 에서 충분히 논의된 바 있다. 또한 본 연구의 피검생물인 재첩과 같은 담수산 이매패류인 얼룩말 조개 역시 25℃에서 최대 여과율이 나타났으며, 5℃에서부터 30℃까지 수온이 변화함에 따른 얼룩말 조개의 여과율 변동은 본 연구에서 재첩의 여과율 변동과 똑같이 일치하였다 (Descy et al., 2003). 그리고 Kwon et al. (2002) 에 의하면 재첩의 산란기는 3-10월까지이나, 주 산란기는 6, 7월이며, 이 시기의 수온은 본 연구에서 최대 여과율이 나타난 수온 범위와 대략적으로 일치함을 알 수 있다. 재첩은 산란을 위해 많은 에너지를 획득해야 할 것이다.

이매패류의 여과활동에 의해서 수중의 입자성 물질이 뚜렷하게 감소하는 것은 정수생태계 뿐만 아니라 유수생태계에서도 잘 알려져 있다. Maryland에 위치한 Potomac 강에서 재첩이 높은 서식밀도로 서식할 경우 식물플랑크톤 생물량이 40-60% 감소하였고 (Cohen, 1984), Kim et al. (2004) 은 mesocosm에 참재첩 (*Corbicula leana*) 을 투입하여 부유물질의 농도가 70% 이상 감소하는 결과를 나타내었으며, 이러한 결과들은 본 연구에서 먹이생물 농도 5.68×10^5 cells/ml 이하에서의 제거율 (> 40%) 과 유사하였다. 하지만 본 연구의 결과에서처럼 재첩의 여과율은 먹이생물의 농도변화에 따라 차이를 보인다. Way et al. (1990) 은 부유물질의 농도가 감소할수록 재첩의 여과율은 증가한다고 하여 본 연구 결과의 전반적인 경향과 일치하였다. 반대로 부유물질의 농도가 증가하게 되면, 여과섭식 이매패류는 pumping 시간의 감소 즉, 불연속적인 섭식활동을 하거나, 여과율을 감소시킨다든지 또는 위분(偽糞; pseudofeces) 의 양을 증가시킴으로써 실제 섭식량을 조절하게된다 (Bricelj and Shumway, 1991). Palmer (1980) 는 먹이생물의 농도가 약 1,800 cells/ml 에서 18,000 cells/ml로 증가하게 되면 가리비류 (*Argopecten irradians concentricus*) 의 여과율은 95% 까지 감소한다고 하였다. 또한 Kuenstner (1988) 는 먹이생물 *Thalassiosira weissflogii*의 농도가 1,200 cells/ml에서 12,000 cells/ml로 10배 증가할 경우 *A. irradians* 치패의 여과율이 85% 까지 감소함을 나타내었다. 그리고 보다 더 높은 농도 범위에서의 농도 변화 즉, 먹이생물 농도가 7,500 cells/ml에서 68,000 cells/ml로 증가할 경우에는 조금 더 낮은 56%의 감소를 보였다 (Cahalan et al., 1989). 이상의 결과는 여과섭식 이매패류의 여과율이 먹이생물 농도증가에 대해 지수함수적으로 감소함을 의미하는 것으로 비록 감소율의 차이는 있지만 전반적으로 먹이생물 농도가 낮은 범위에서의 농도 증가에 따른 재첩의

여과율은 급격하게 감소하고, 일정 농도 이상에서부터는 농도 증가에 대해 여과율이 완만하게 감소하거나 거의 일정한 본 연구의 결과와 대체적으로 일치하였다.

요 약

본 연구는 수온 및 먹이생물 농도의 변화가 재첩의 여과율에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수행되었다. 실험에 사용된 재첩은 전남 목포시 영산강 금호호에서 채집하였으며, 먹이생물은 *Scenedesmus* sp.를 실내에서 배양하여 사용하였다. 여과율측정은 Coughlan (1969) 의 간접측정법을 사용하였고 먹이생물의 농도는 광학현미경하에서 혈구계산판을 이용하여 직접 계수하였다.

각각 크기별 재첩의 여과율은 모두 수온이 증가할수록 여과율도 증가하였고 약 25℃ 부근에서 최대여과율이 나타났으며 25℃ 이상에서 대체적으로 급격한 감소를 보였다. 온도계수 Q_{10} 값은 전반적으로 낮은 수온 범위 (5-15℃) 에서 높게 나타났으며, 이는 재첩의 여과활동은 낮은 수온 범위에서 더욱 민감하게 반응함을 의미한다. 먹이생물 농도별 재첩의 여과율은 먹이생물 농도 증가에 대해 전형적인 지수함수적 감소현상을 보였다. 낮은 농도 범위에서 농도증가에 대한 여과율 감소현상은 더욱 뚜렷하게 나타났으며 먹이 생물 농도가 일정 범위를 넘어서게 되면 완만하게 감소하거나 거의 일정한 여과율을 나타내었다.

REFERENCES

- 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.
- Basack, S.B., Oneto, M.L., Fuchs, J.S., Wood, E.J., Kesten, E.M. (1998) Esterases of *Corbicula fluminea* as biomarkers of exposure to organophosphorus pesticides. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **61**: 569-576
- Beiras, R., Pérez, A.C., Albentosa, M. (1995) Short-term and long-term alterations in the energy budget of young oyster *Ostrea edulis* L. in response to temperature change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **186**: 221-236.
- Bricelj, V.M. and Shumway, S. (1991) Physiology: Energy acquisition and utilization. *In: Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. (ed. by Shumway, S.E.), pp. 305-346, Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Vol. 21, Elsevier Science Publishers.
- Cahalan, J.A., Siddall, S.E. and Luckenbach, M.W. (1989) Effects of flow velocity, food concentration, and particle flux on the growth rates of juvenile bay

- scallops, *Argopecten irradians*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **129**: 45-60.
- Cohen, R.R.H., Dresler, P.V., Phillips, E.J.P. and Cory, R.L. (1984) The effect of the Asiatic clam, *Corbicula fluminea*, on phytoplankton of the Potomac River, Maryland. *Limnology and Oceanography*, **29**: 170-180.
- 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. 254 pp. CRC Marine Science Series. CRC Press, Boca Raton.
- Descy, J.P., Everbecq, E., Gosselain, V., Viroux, L. and Smitz, J.S. (2003) Modelling the impact of benthic filter-feeders on the composition and biomass of river plankton. *Freshwater Biology*, **48**: 404-417.
- 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.
- Guillard, R.R.L. and Ryther, J.H. (1962) Study of marine planktonic diatoms. 1. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Canadian Journal of Microbiology*, **8**: 229-239.
- 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]
- 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, J.H. and Yoo, M.S. (2000) Reproductive cycle of Marsh clam, *Corbicula leana* (Prime) in Hyongsan Estuary. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **33**: 184-191. [in Korean]
- 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]
- Kuenstner, S.H. (1988) The effects of the "Brown Tide" alga on the feeding physiology of *Argopecten irradians* and *Mytilus edulis*. 84 pp. M.S. Thesis, State University of New York at Stony Brook.
- Kwon, D.H., Kang, Y.J., Kim, W.K. and Lee, C.S. (2002a) Population dynamics of *Corbicula* (*Corbicula*) *japonica* Prime from Namdae stream in Yangyang, Korea. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **35**: 686-695. [in Korean]
- Kwon, D.H., Kang, Y.J. and Kim, D.H. (2002b) Estimation of growth parameters of *Corbicula* (*Corbicula*) *papyracea* Heude from Chungpyeong. *Journal of the Korean Fisheries Society*, **35**: 557-562. [in Korean]
- Nelson, K.A., Leonard, L.A., Posey, M.H., Alphin, T.D. and Mallin, M.A. (2004) Using transplanted oyster (*Crassostrea virginica*) beds to improve water quality in small tidal creeks: a pilot study. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **298**: 347-368.
- 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.
- Reeders, H.H., de Vaate, A.B. and Slim, F.J. (1989) The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biology*, **22**: 133-141.
- 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]
- Vaughn, C.C. and Hakenkamp, C.C. (2001) The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology*, **46**: 1431-1446.
- Vidal, M.-L., Bassères, A., Narbonne, J.-F. (2001) Potential biomarkers of trichloroethylene and toluene exposure in *Corbicula fluminea*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **9**: 87-97.
- Vidal, M.-L., Bassères, A., Narbonne, J.-F. (2002) Influence of temperature, pH, oxygenation, water-type and substrate on biomarker responses in the freshwater clam *Corbicula fluminea* (Müller). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* **132**: 93-104.
- Way, C.M., Hornbach, D.J., Miller-Way, C.A., Payne, B.S. and Miller, A.C. (1990) Dynamics of filter feeding in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae). *Canadian Journal of Zoology*, **68**: 115-120.