

북한강 수계에 분포하는 말조개의 남조류 섭식특성

이 연 주 · 김 백 호 · 황 순 진*

(건국대학교 생명환경과학대학 환경과학과)

Grazing Effects of Freshwater Bivalve *Unio douglasiae* of the North Han River on the Cyanobacterial Bloom Waters. Lee, Yeon-Ju, Baik-Ho Kim and Soon-Jin Hwang* (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

A freshwater bivalve (*Unio douglasiae*) was examined to assess the filtering rate (FR) on the cyanobacterial assemblage in a hypertrophic lake. Animal *U. douglasiae* used in the present study was collected using a hand-operated dredge from the North Han River (Gapyeong, Korea). The FR was measured at different feeding conditions such as feeding interval (1, 4, 7, and 24 h), mussel size (4.2~8.1 cm, n=23), prey concentration (506.7, 409.8, 327.5, 199.7 and 88.6 $\mu\text{g L}^{-1}$), and mussel density (0.5, 1.0 and 1.5 indiv. L^{-1}). On the applied feeding interval, the maximum FR ($0.21 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and minimum feces production (FP, $0.12 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) were observed at 1 and 24 hr, respectively. Both weight-based FR and FP were not correlated with the mussel size, and the values lied in a limited range with some degree of variation. Likewise, no significant relations between FR and FP were observed in the mussel size. The FR values were negatively correlated with food concentration, but positively with FP. For the food concentrations, the maximum FR ($0.41 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and FP ($0.16 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) were $88.6 \mu\text{g L}^{-1}$ and $327.5 \mu\text{g L}^{-1}$, respectively. These results indicate that *U. douglasiae* collected from the North Han River, although the filtering rate were slightly less than Keum River mussel, may be applied as a strategic bio-filter to mitigate cyanobacterial bloom in eutrophic lake.

Key words : freshwater bivalve, *Unio douglasiae*, cyanobacterial bloom, grazing rate, feces production

서 론

고온기 부영양 호수에서 남조류 대발생은 21세기 환경 문제의 새로운 화두이며, 사회-경제 분야에 미치는 영향을 정확히 추정하는 것조차 불가능할 정도이다. 특히 상수원으로 이용되는 호수에서의 조류발생은 1차적으로 경관적 불쾌감을 물론 각종 이, 취미 발생으로 인한 소비자의 불만을 유발하고, 처리과정에 사용되는 약품의 반복적 사용으로 인하여 2차 오염, 생태계 파괴 및 비경제적 정수과정 등 악순환이 매년 계속되고 있다(한강수계관리

위원회, 2004). 최근 호수내 조류를 포함한 다량의 유기물을 제거할 수 있는 다양한 물리·화학적 방법들이 개발되고 있으나, 이들의 단점을 보완할 수 있는 생태친화적이고 지속 가능한 기술개발에 대한 요구가 증가하고 있다(박 등, 2008).

일반적으로 패류는 식물플랑크톤에 대해 높은 섭식능(Heath *et al.*, 1995; Hwang, 1996; Soto and Mena, 1999)과 수환경의 다양한 질적 변화·투명도 증가, 엽록소 감소, 플랑크톤 감소(Leach, 1993; Nicholls and Hopkins, 1993)를 유도하기 때문에 종종 오염된 수계의 수질개선을 위한 유용생물로 이용되고 있다(Reeders *et al.*, 1989,

* Corresponding author: Tel: 02) 450-3748, Fax: 02) 456-5062, E-mail: sjhwang@konkuk.ac.kr

1990).

최근 국내에서도 수질개선과 관련하여 재첩 (황 등, 2002; 김 등, 2004), 말조개 (김 등, 2008; 박 등, 2008; 이 등, 2008), 논우렁이 (황 등, 2008) 등의 연구가 활발하게 진행 중이다. 그러나 조류 발생에 의한 유기물 오염이 심한 호수나 하천의 수질개선을 위한 패류의 적용은 무엇보다도 여과율이 뛰어난 생물종을 선택해야 하는데, 선행 연구에 사용되었던 패류의 대부분은 국내 기수역 (섬진강)이나 금강유역에서 채집된 패류로서 한강수계에 분포하는 말조개를 대상으로 하는 조류섭식 연구는 아직 보고된 바 없다. 지금까지 패류의 섭식활동 (여과율 및 배설물 생산)은 종간 (inter-specific) 또는 종내 (intra-specific) (Cranford, 2001), 지리적 차이 (Cohen *et al.*, 1984; Caraco *et al.*, 1997; Dionisio Pires *et al.*, 2005), 심지어 개인차 (De Bruin and Davids, 1970; Dame, 1996)가 있음이 보고되고 있다.

따라서 본 연구는 북한강 (가평)에 서식하고 있는 말조개 (*Unio douglasiae*)를 채집하여 매년 남조대발생을 일으키는 부영양호수의 현장수를 대상으로 섭식 시간, 개체 크기, 먹이밀도 그리고 개체밀도에 따른 말조개의 섭식특성을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 동물채집 및 관리

실험에 사용된 패류는 여과섭식 이매패인 말조개 (*Unio (Nodularia) douglasiae*)로 전국 대부분의 하천에 서식하며, 작은말조개, 귀이빨대칭이, 재첩, 논우렁이 등과 함께 유사한 분포특성을 갖는다 (권, 1986). 말조개 채집은 출현밀도가 비교적 높은 북한강 수계 (가평)에서 직접 채집하였으며, 수확된 패류는 곧바로 Ice box에 넣어 실험실로 옮긴 다음, 탈염시킨 수돗물로 2~3회 부드럽게 세척한 후, 임의로 제작한 패류 관리조에 넣어 순응시켰다. 패류 관리조는 크게 먹이를 공급하는 원수조, 패류 사육조, 그리고 사육조를 통과한 물을 폭기 및 여과하여 원수조에 재공급하는 유지조 등 3개조로 구성되었다. 원수조→사육조→유지조는 소형펌프 (UP-400, 협신펌프, 한국)와 낙차를 이용하여 물을 이동시켰으며, 유지조에서 원수조로 분당 8L속도로 재순환시켰다. 사육조는 동물 채집현장에서 동시에 수집한 가는 자갈과 모래를 3~4 cm 두께로 바닥에 깔았으며, 월 1회씩 탈염수로 세척하였다. 유지수는 주로 일감호 (서울) 현장수를 원수조에 20L씩 공급하였으며, 증발로 손실된 부분은 탈염-폭기수로 채웠다.

패류의 먹이로는 현장수 이외에 녹조 *Chlorella*TM ((주)대상, 한국)를 5일 간격으로 제공하였다.

실험에 사용된 패류는 건강상태가 양호한 성체 (4~8 cm)를 대상으로 하여, 실험 3일 전부터 먹이 공급을 중단하였다.

2. 패류의 여과율 및 배설물 생산

패류의 유기물함량 (ash-free dry-weight; AFDW)을 구하기 위하여, 먼저 크기가 다양한 (3.7~14.4 cm, n=142) 패류를 선별하여 탈염수돗물로 2~3회 정도 세척하고 불순물을 최대한 제거한 다음, 길이와 무게를 측정하였다. 측정이 끝난 패류는 해부용 칼을 이용하여 패각 (shell)과 내장을 포함한 근육부위를 각각 분리하고, 패각을 제외한 모든 부분을 계측된 도가니에 담아 100°C dry oven (OF-11, JEIO TECH, 한국)에서 48시간 동안 건조시킨 다음, 유기물을 포함한 도가니의 총 무게를 측정하였다 (W_1). 건조량을 잰 도가니를 500°C furnace (HY-8000S, YUYU SCIENTIFIC M.F.G, 한국)에 넣어 30분간 태운 다음, 다시 100°C dry oven으로 옮겨 48시간 방치시킨 후 무게를 측정하였다 (W_2). 최종적으로 말조개의 유기물 함량은 W_1 과 W_2 의 차이로 구하였다. 한편 실험에 사용된 패류의 AFDW는 앞에서 얻은 각 패류의 유기물함량과 길이의 관계식 (regression function)을 이용하여 추정하였다 ($AFDW = 0.0295L^2 - 0.0824L - 0.2625$, $r^2 = 0.85$, $p < 0.0001$).

패류의 여과율 (Filtering rate: FR)은 일정시간 (t) 동안 섭식실험을 진행한 다음, 수층내 엽록소-a 농도의 변화를 유기물함량으로 나눈 값을 의미하며, 앞에서 언급한 바와 같이 사용된 패류의 유기물함량 (AFDW, g)은 패각의 길이 (cm)를 이용하여 추정한 값을 사용하였다. 수층의 엽록소-a 측정을 위한 시료 채수는 표층으로부터 5 cm 위치에서 동일하게 실시하였다. FR ($L g^{-1} h^{-1}$) 산출식은 다음과 같다.

$$FR = (M/n) [(\ln C_1 - \ln C_2)/t]$$

M은 수조의 부피 (L), n은 유기물함량 (g), C_1 과 C_2 는 수층내 초기 또는 최종적인 엽록소 농도 ($\mu g L^{-1}$), t는 배양시간.

실험기간 동안 패류에 의해 생성된 배설물량 (Feces production: FP)은 대조군 및 패류 처리군의 수조 바닥에 가라앉은 pellet을 포함한 자연침전물 모두를 소형펌프 (DOA-V130-BN, GAST, 미국)를 이용하여 조심스럽게 수거하여 500 μm mesh로 여과한 다음, 다시 GF/F 여과지로 걸러 건조량을 측정 후, 대조군 (S_1)과 처리군 (S_2)의

평균 무게차이를 유기물함량으로 나눈 값으로 산정하였다. 남조류 중 군체의 크기가 500 µm 이상일 경우, 본 연구의 FP는 다소 낮게 계산될 수 있다. FP (mg g⁻¹ h⁻¹)는 다음과 같은 식에 의하여 계산하였다.

$$FP=(M/n) (S_1 - S_2)/t$$

M은 수조의 부피 (L), n은 유기물함량 (g), S₁과 S₂는 대조군과 처리군의 바닥층 SS (Suspended solid) 농도 (mg L⁻¹), t는 배양시간 (h).

이때 바닥층에 포함된 섭식되지 않은 조류에 대해서는 대조군을 이용하여 보정하였다.

3. 패류의 섭식실험

1) 실험수

섭식실험은 매년 6월부터 11월 초까지 남조류 *Microcystis aeruginosa* 대발생이 일어나는 소형저수지 (일감호, 서울)의 현장수 또는 저니층을 대형 유리수조 (50×65×120 cm)에 넣고, 수온 25°C±1.0, 광도 78 µmol m⁻² s⁻¹, 광주기 12L : 12D 조건하에 CB배지를 넣어 인공적으로 조류 발생을 일으킨 실험수를 사용하였다. 실험수의 90% 이상이 *M. aeruginosa*가 우점하였으며, 각 섭식실험에서는 이를 적절한 농도로 조절하여 사용하였다.

2) 실험디자인

모든 섭식실험은 가로, 세로, 높이가 각각 19×12×14 cm인 투명한 아크릴수조 (3L)를 사용하였으며, 실험수 2 L, 수온 25°C±1.0, 광도 70 µmol m⁻² s⁻¹, 광주기 14 L : 10D 조건하에서 실시하였다. 시료는 정해진 시간에 교란

이 일어나지 않도록 표층으로부터 5 cm 아래에서 각각 50 mL씩 채취하여 엽록소-a의 경시적 변화로 측정하였다. 엽록소-a는 채취한 시료를 잘 혼합하여 GF/F 여과지 (47 mmø, Whatman Inc., 영국)로 여과한 후, 90% 아세톤을 넣고 24시간 냉암소에서 추출한 뒤 원심분리기 (VS-5000N, 비전과학, 한국)로 20분간 분리하여 흡광도를 측정하였다 (APHA, 1995). 말조개의 배설물 생산량 (FP)을 조사하기 위하여 1, 4시간 시료 채취 후 마지막 실험종료인 7시간째에는 중층 (표층으로부터 5 cm)을 포함하여 표층 (수면으로부터 0.5 cm)과 바닥층 (표층으로부터 11 cm)을 모두 채취하고, GF/F 여과지로 SS를 측정하였다.

3) 다양한 조건에서의 여과율 및 배설물 생산

말조개의 섭식실험은 크게 시간별, 개체크기, 먹이밀도, 개체밀도 4가지 조건하에서 실시하였다. 시간별 여과율은 각 측정시간별로 실험군을 회수하는 방법으로 엽록소 변화와 배설물 생산량을 동시에 측정하였다. 실험은 실험수 (엽록소-a 421.0 µg L⁻¹)를 각각 동일하게 넣고, 패각의 길이 및 폭이 유사한 말조개 (6.5~8.0 cm, 평균 7.2 cm)를 1 indiv. L⁻¹로 각각 투입한 다음 시간별로 (1, 4, 7, 24시간) 회수하여 말조개의 섭식율 및 배설물 생산량을 측정하였다. 처리군은 3반복, 대조군은 2반복으로 각각 시행하였다. 말조개 개체크기에 따른 여과율은 크기가 다른 말조개 (4.2~8.1 cm, n=23)를 선별하여 실험수 (엽록소-a 347.4 µg L⁻¹)가 들어있는 수조에 0.5 indiv. L⁻¹ 밀도로 투입한 다음 1, 4, 7시간 간격으로 말조개의 섭식율과 배설물 생산량을 각각 측정하였다. 단, 말조개를 넣지 않은 대조군은 3회씩 반복 실험하였다. 말조개 먹이밀도 (엽록소-a 농도)에 따른 여과율은 실험수 (엽록소-a 506.7 µg L⁻¹)를 탈염시킨 수돗물로 20%씩 5단계 (엽록소-a 88.6, 199.7, 327.5, 409.8, 506.7 µg L⁻¹)로 희석하여, 실험군에 동일한 밀도의 말조개 (1 indiv. L⁻¹)를 투입한 다음, 말조개의 섭식율과 배설물 생산량을 각각 측정하였다. 대조군 및 실험군은 모두 3회씩 반복 실험을 실시하였다. 말조개 개체 밀도에 따른 조류제어율은 패각의 길이와 폭이 유사한 말조개 (7.1~8.4 cm, 평균 7.7 cm)를 선별하여, 실험수 (엽록소-a 283.5 µg L⁻¹)에 밀도를 0.5, 1.0, 1.5 indiv. L⁻¹ 3단계로 나누어 투입한 다음, 시간별 엽록소-a의 변화를 관찰하였다. 말조개를 투입하지 않은 대조군 및 실험군은 모두 3회씩 반복실험을 실시하였다.

Table 1. Numerical characteristics of experiments of freshwater bivalve *Unio douglasiae* in the study.

	Feeding interval	Mussel size	Food density	Mussel density
Tank	3L	3L	3L	3L
Replica	3×5	1×45	3×5	3×3
Mussel densities (indiv. L ⁻¹)	1.0	0.5	1.0	0.5 1.0 1.5
Initial chl-a conc. (µg L ⁻¹)	421.0	347.4	506.7 409.8 327.4 199.7 88.5	347.4
Sampling interval (h)	0, 1, 4, 7 and 24	0, 1, 4 and 7	0, 1, 4 and 7	0, 1, 4 and 7

4. 자료분석

각 3회씩 반복 실험한 실험군과 대조군 엽록소-a량의 차이를 비교하기 위하여 ANOVA 를 실시하였으며, 자료

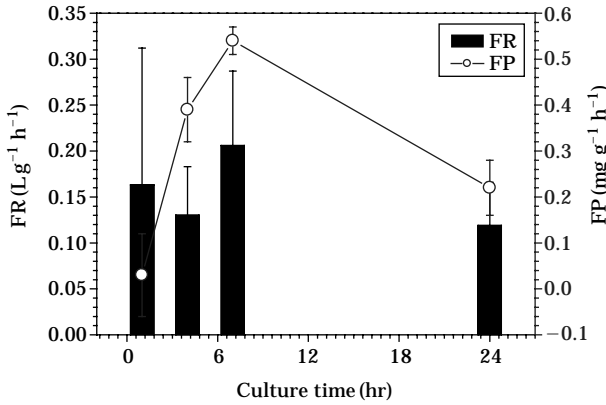


Fig. 1. Filtering rate (FR) and feces production (FP) of freshwater bivalve *Unio douglasiae* at different feeding interval.

분석은 SPSS (ver. 12.0, Korea) 소프트웨어를 이용하였고, 통계적 유의 수준은 $p < 0.05$ 를 기준으로 하였다.

결 과

1. 시간별 여과율 및 배설물 생산량

패각 길이가 평균 6.6 cm인 말조개를 대상으로 시간에 따른 여과율 및 배설물 생산량을 측정된 결과, 7시간째 최고 여과율 ($0.21 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)을 보였으며 점차적으로 감소하여 24시간째 가장 낮은 여과율 ($0.12 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)을 나타냈다 (Fig. 1). 이와 마찬가지로 배설물 생산량도 7시간째 최고치 $0.54 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 를 보였으며, 평균 $0.30 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 의 수준을 보였다. 결과적으로 말조개의 여과율은 투입 후 4시간까지는 곧바로 섭식활동을 하지 않고, 4시간 이후부터 증가함을 보였으며, 7시간에 최고치를 나타내고, 이후부터는 서서히 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 배설물 생산량은 실험초기부터 급격히 증가하여 투입 후 7시간째에 가장 많은 배설물을 생산했으며, 이후에는 서서히 감소하였다.

2. 패각크기에 따른 여과율 및 배설물 생산량

패각 길이 4.2~8.1 cm인 ($n=23$) 말조개의 단위 무게당 여과율은 $-0.36 \sim 5.89 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (평균 $0.35 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)의 범위로 나타났으며, 배설물 생산량은 $-0.66 \sim 16.38 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (평균 $1.10 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)의 범위를 보였다 (Fig. 2). 패류 크기가 5 cm보다 작은 개체에서 여과율 및 배설물 생산량이 최고치를 나타냈으며 ($5.89 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $16.38 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$),

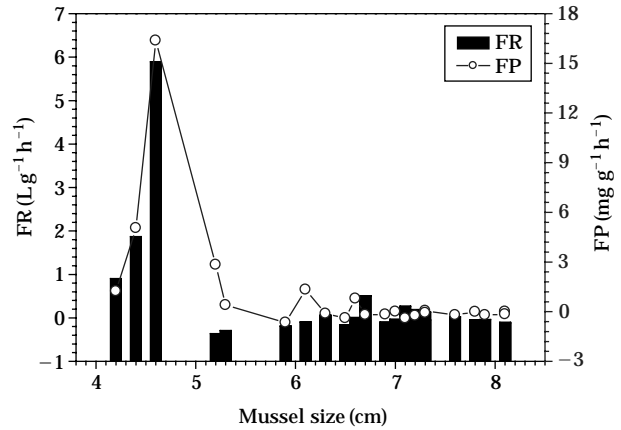


Fig. 2. Filtering rate (FR) and feces production (FP) of freshwater bivalve *Unio douglasiae* with different body size (4.2 ~ 8.1 cm, $n=23$).

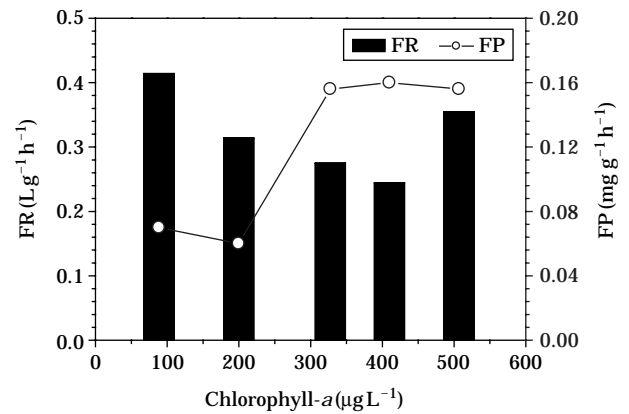


Fig. 3. Filtering rate (FR) and feces production (FP) of freshwater bivalve *Unio douglasiae* at different prey density.

5 cm보다 큰 개체에서는 크기에 상관없이 거의 비슷한 여과율 및 배설물 생산량 (평균: $-0.03 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $0.13 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)을 보였다.

3. 먹이농도에 따른 여과율 및 배설물 생산량

말조개의 여과율은 엽록소-a $88.5 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 최고 여과율 ($0.41 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)을 보였고, 엽록소-a $409.8 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 최저 여과율 ($0.24 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)을 나타내다가, 엽록소-a $506.7 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서는 다시 증가 ($0.36 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)하는 경향을 보였다. 배설물 생산량은 적용한 엽록소-a $88.5 \mu\text{g L}^{-1}$, $199.7 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서 최저치 ($0.07 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $0.06 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)를 보였고, 엽록소-a $327.5 \mu\text{g L}^{-1}$ 에서는 최대 배설물 생산량

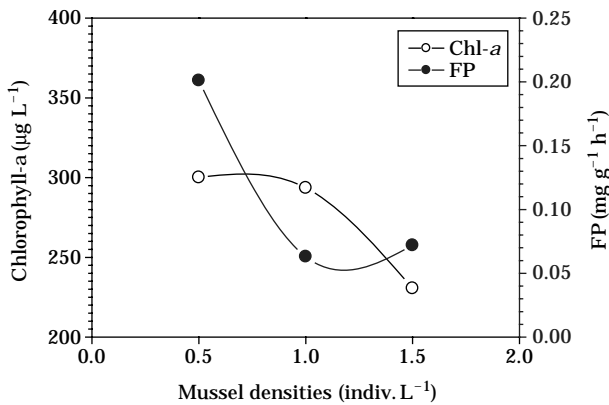


Fig. 4. Variations of chlorophyll-*a* concentration and feces production (FP) in the presence of mussel *Unio douglasiae* at different densities on the cyanobacterial water.

($0.16 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)을 나타냈다 (Fig. 3). 따라서 먹이농도가 아주 낮거나, 높을 때 비교적 높은 여과율을 보였으며, 배설물 생산량은 일정 먹이농도 이상에서는 더 이상 증가하지 않았다.

4. 패류밀도에 따른 조류제어 효과 및 배설물 생산량

말조개의 밀도가 증가할수록 엽록소-*a*의 농도는 뚜렷하게 감소하였는데, $1.0 \text{ indiv. L}^{-1}$ 이상에서 엽록소-*a*의 농도가 급격한 감소를 보여 $1.5 \text{ indiv. L}^{-1}$ 에서 최고치(제어율 약 37%)를 나타내 가장 높은 조류제어 효과를 보였다. 배설물 생산량은 $0.5 \text{ indiv. L}^{-1}$ 에서 많은 양이 관찰되었으며, $1.0 \text{ indiv. L}^{-1}$ 까지 급속히 감소하다가, 그 이상의 패류 밀도에서는 다시 증가함을 보였다 (Fig. 4).

고 찰

일반적으로 패류의 섭식활동은 이들의 여과능에 영향을 주는 요인-수온 (Reeders and Vaate, 1990; Fanslow *et al.*, 1995), 수질 (Englund and Heino, 1996; Soto and Mena, 1999), 먹이종류 및 밀도 (Hwang, 1996; Hwang *et al.*, 2001) 등에 의하여 성장은 물론 서식분포까지 결정적인 영향을 미친다. 본 연구에서 패류의 시간에 따른 여과율은 7시간째에 최고치를 나타냈고, 24시간 후에는 낮은 여과율 및 배설물 생산량을 보였는데, 이는 체내의 먹이 저장능력, 제한된 먹이, 실험수로 사용된 남조 *M. aeruginosa* 독소 등이 주된 원인일 것이라고 사료되었다.

패각 크기에 따른 섭식실험은 5 cm 이하의 크기에서

Table 2. Comparisons of grazing characteristics of freshwater bivalve *Unio douglasiae* collected at different sites (Keum River and North Han River) on cyanobacterial water (mainly *Microcystis aeruginosa*) in eutrophic lake. Numbers in parenthesis is average.

Contents	Keum River* (Boryung)	North Han River (Gapyeong)
Body size (cm)	5.6 ~ 13.3 (9.4)	4.2 ~ 14.5 (8.3)
Body weight (g)	15.15 ~ 192.2 (80.65)	9.10 ~ 403.01 (76.03)
AFDW (g)	0.20 ~ 3.88 (1.72)	-0.09 ~ 4.77 (1.24)
Filtering rate ($\text{L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	0.06 ~ 0.80 (0.39 ± 0.19)	-0.36 ~ 5.89 (0.27 ± 0.93)
Feces production ($\text{mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	-1.05 ~ 5.35 (1.12 ± 1.15)	-0.66 ~ 16.38 (0.57 ± 2.58)

*Lee *et al.* (2008)

여과율 및 배설물 생산량이 높은 상관성을 나타냈다. 말조개의 여과율은 일정 크기를 경계로 소형종이 대형종보다 높다는 것을 알 수 있으며, 유사한 다른 패류의 동일종에서 크기가 작을수록 여과능력이 뛰어날 수 있다는 선행연구 (Franslow *et al.*, 1995; Hwang, 1996; Hwang *et al.*, 2001)와도 일치하는 결과이다. 그러나 크기가 작은 말조개가 성체보다 투입초기에는 낮은 여과율을 보였으며, 8.5 cm 이상의 개체에서 변이가 적다는 이 등 (2008)의 연구와는 큰 차이를 보였다.

말조개는 먹이농도가 아주 낮거나, 높을 때 상대적으로 높은 여과율을 나타냈으며, 일정한 농도 이상에서는 배설물 생산량의 변화가 거의 없었다. Hwang *et al.* (2001)은 동일한 패류일지라도 조류의 밀도 차이가 여과율의 변화를 야기할 수 있다고 밝힌 바 있으며, 이는 선행 연구에서 보고하였던, 식물플랑크톤 밀도가 낮은 영양상태의 수체에서 높은 여과율 (Sprung and Rose, 1988; Reeders and Vaate, 1990; Bontes *et al.*, 2007)을 나타내고, 먹이농도가 높을수록 많은 배설물을 생산 (이 등, 2008)한다는 결과와 다소 차이를 보였다.

또한 패류의 밀도에 따른 조류 제어효과는 밀도가 높을수록 많은 양의 식물플랑크톤을 효과적으로 제어할 수 있으며 (Sprung, 1988; Nalepa and Schloesser, 1993; Nalepa, 1995), 자연계에서도 얼룩말 조개가 많이 서식한 곳에 식물플랑크톤 생체량이 감소되었다고 제시한 것 (Macisaac, 1996)과 일치된다.

선행연구에서 밝혀진 금강수계 (보령)에 분포하는 말조개 (이 등, 2008)와 비교해 보면, 북한강수계 (가평)에 서식

하는 말조개는 6~8 cm 크기의 개체가 가장 많이 분포하고 있었으며, 전자보다 상대적으로 개체 크기가 작고, 무게는 가벼웠다. 다양한 조건(시간별, 개체크기, 먹이밀도, 개체밀도)에서 섭식실험의 결과, 두 지역의 개체 모두 7 시간째에 최대 여과율을 보였으나, 여과율은 북한강수계(가평)의 개체가 $-0.36 \sim 5.89 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 범위(평균 $0.27 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)로 금강수계(보령)에서 채집한 패류의 여과율($0.06 \sim 0.80 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, 평균 $0.39 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)보다 약 1.4배 정도 낮게 나타났다(Table 2).

이처럼 패류는 여러가지 요인들에 의해 섭식활동에 영향을 받으며, 종류마다 또한 같은 종 내에서도 환경적 조건에 따라 여과효율이 다르게 나타난다(황 등, 2002). 따라서 담수이매패 말조개의 조류섭식 특성을 보다 정확하게 이해하기 위하여 본 연구처럼 동일종의 패류일지라도 지리적 분포가 서로 다를 뿐만 아니라 이용된 먹이의 종류(종 조성 및 밀도)와 개인차 등이 있기 때문에 다양한 먹이, 다양한 지역의 패류를 대상으로 충분한 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

적 요

유해남조의 생물학적 제어를 위한 연구의 일환으로 북한강수계(가평)에 서식하는 이매패 말조개(*Unio douglasiae*)의 섭식특성을 조사하였다. 섭식실험은 크게 시간별, 개체크기, 동물밀도, 먹이밀도(엽록소-a 농도) 등에 따라 패류의 여과율 및 배설물 생산량을 각각 측정하였다. 말조개의 여과율은 섭식 후 적용 7시간째 ($0.21 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $0.54 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), 크기 5 cm보다 작은 개체에서 최고 여과율 및 배설물 생산량($5.89 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, $16.38 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)을 각각 나타냈다. 또한 가장 낮은 먹이밀도(엽록소-a $88.5 \mu\text{g L}^{-1}$)에서 $0.41 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 로 최고 여과율을 보였으며, 일정 먹이농도 이상에서는 배설물 생산량이 증가하지 않는 것으로 나타났다. 또한 패류의 조류 제어효과는 개체 밀도가 증가할수록 뚜렷한 효과를 나타냈다. 결국 이상의 결과들은 북한강에 서식하는 이매패 말조개가 부영양호수의 남조류 제어의 유용생물로서 적용 가능성을 입증하였다.

사 사

본 연구는 농림부 핵심 전략 연구과제 “생물조절(먹이연쇄)을 통한 농업용저수지 수질관리 기법개발”(306009-

03-2-CG000)에 의해 수행되었으며, 실험을 도와주신 김난영, 임정연 학생에게 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 권오길, 이상준, 박갑만. 1986. 의암호의 패류에 관한 연구. 한국육수학회지 **19**: 51-56.
- 김건희, 김백호, 박명환, 황순진. 2008. 담수패류(*Unio douglasiae*)와 침수식물(*Potamogeton crispus*)의 유해 남조 *Oscillatoria* sp. 성장억제 효과. 한국하천호수학회지 **41**(S): 68-76.
- 김호섭, 박정환, 공동수, 황순진. 2004. 참재첩을 이용한 부영양호의 수질개선. 한국육수학회지 **37**(3): 332-343.
- 박구성, 김백호, 엄한용, 황순진. 2008. 남조류 대발생 환경에서 수심과 용존산소 변화에 따른 담수산 이매패(말조개)의 생존율, 여과율 및 배설물 생산. 한국하천호수학회지 **41**(S): 50-60.
- 박정환. 2004. 담수산 이매패류가 수생태계의 생태학적 수준의 변화에 미치는 영향에 관한 연구: Mesocosm 연구. 건국대 석사논문.
- 이승희, 황순진, 김백호. 2008. 부영양 하천 및 호소의 저온기 규조군집에 대한 말조개의 섭식특성. 한국하천호수학회지 **41**(2): 237-246.
- 이연주, 김백호, 김난영, 엄한용, 황순진. 2008. 수온, 먹이농도, 패각 크기가 *Microcystis aeruginosa*에 대한 말조개의 여과율 및 배설물 생산에 미치는 영향. 한국하천호수학회지 **41**(S): 61-67.
- 한강수계관리위원회. 2004. 수중생태계 물질순환 및 에너지 흐름 조사.
- 황순진, 김호섭, 최광현, 박정환. 2002. 국내 담수산 조개의 여과 섭식능 비교와 섭식활동이 수질에 미치는 영향. 한국육수학회지 **35**: 92-102.
- 황순진, 전미진, 김난영, 김백호. 2008. 한국산 눈우렁이의 유해조류 섭식율 및 배설물 생산. 한국하천호수학회지 **41**(S): 77-85.
- APHA. 1995. Standards methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Bontes, B.M., A.M. Verschoor, L.M.D. Pires, E. Van Donk and Bas W. Ibelings. 2007. Functional response of *Anodonta anatine* feeding on a green alga and four strains of cyanobacteria, differing in shape, size and toxicity. *Hydrobiologia* **584**: 191-204.
- Caraco, N.F., J.J. Cole, P.A. Raymond, D.L. Strayer, M.L. Pace, S.E.G. Findlay and D.T. Fischer. 1997. Zebra mussel invasion in a large, turbid river: phytoplankton response to increased grazing. *Ecology* **78**: 588-602.

- Cohen, R.R.H., P.V. Dresler, E.J.P. Phillips and R.L. Cory. 1984. The effect of the Asiatic calm, *Corbicula fluminea*, on phytoplankton of the Potomac River, Maryland. *Limnol. and Oceanogr.* **29**: 170-180.
- Dame, R.F. 1996. Ecology of marine bivalves: An ecosystem approach. CRC Press, Boca Raton, 254p.
- Dionisio Pires, L.M., B.M. Bontes, E. Van Donk and B.W. Ibelings. 2005. Grazing on colonial and filamentous, toxic and non-toxic cyanobacteria by the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *J. Plankton Res.* **27**: 331-339.
- Englund, V.P.M. and M.P. Heino. 1996. Valve movement of the freshwater mussel *Anodonta anatina*: a reciprocal transplant experiment between lake and river. *Hydrobiologia* **328**: 49-56.
- Fanslow, D.L., T.F. Nalepa and G.A. Lang. 1995. Filtration rates of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) on natural seston from Saginaw Bay, Lake Huron. *J. Great Lakes Res.* **21**: 489-500.
- Heath, R.T., G.L. Fahnenstiel, W.S. Gardner, J.F. Cavalletto and S.J. Hwang. 1995. Ecosystem-level effects of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): An enclosure experiment in Saginaw Bay, Lake Huron. *J. Great Lakes Res.* **21**: 501-516.
- Hwang, S.J. 1996. Effects of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): on phytoplankton and bacterioplankton: Evidence for size-selective grazing. *Korean Journal of Limnology* **29**: 363-378.
- Hwang, S.J., H.S. Kim and J.K. Shin. 2001. Filter-feeding effect of a freshwater bivalve (*Corbicula leana* PRIME) on phytoplankton. *Korean Journal of Limnology* **34**(4): 298-309.
- Leach, J.H. 1993. Impacts of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) on water quality and fish spawning reefs in western Lake Erie. p. 381-397. *In: Zebra Mussels: Biology, Impact, and Control* (Nalepa, T.F. and D.W. Schloesser, eds.). Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Macisaac, H.J. 1996. Potential abiotic and biotic impacts of zebra mussels on the inland waters of North America. *Am. Zool.* **36**: 287-299.
- Nalepa, T.F. 1995. Zebra mussels in the Saginaw Bay. Lake Huron ecosystem. *J. Great Lakes Res.* **21**: 411-573.
- Nalepa, T.F. and D.W. Schloesser. 1993. Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 832p.
- Nicholls, K.H. and G.J. Hopkins. 1993. Recent changes in Lake Erie (north shore) phytoplankton: cumulative impacts of phosphorus loading reductions and the zebra mussel introduction. *J. Great Lakes Res.* **19**: 637-647.
- Reeders, H.H., A.B. Bij de Vaate and F.J. Slim. 1989. The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biol.* **22**: 133-141.
- Reeders, H.H. and A.B. Bij de Vaate. 1990. Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management. *Hydrobiologia* **200/201**: 437-450.
- Soto, D. and G. Mena. 1999. Filter feeding by the freshwater mussel, *Diplodon chilensis*, as a biocontrol of salmon farming eutrophication. *Aquaculture* **171**: 65-81.
- Sprung, M. and U. Rose. 1988. Influence of food size and food quality of the feeding of the mussel *Dreissena polymorpha*. *Oecologia* **77**: 526-532.

(Manuscript received 5 June 2008,
Revision accepted 27 August 2008)