

## 저온기 구조 발생억제를 위한 패류의 혼합적용

이 송 희 · 황 순 진 · 김 백 호\*

(건국대학교 생명환경과학대학 환경과학과)

Combined Effects of Biological Control Agent Two Native Shellfish on the Hibernial Diatom Bloom of Eutrophic Water. Lee, Song-Hee, Soon-Jin Hwang and Baik-Ho Kim\* (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

Grazing effects of two freshwater shellfish, *Unio douglasiae* (UNIO) and *Cipangoplaudina chinese malleata* (CCM), on the hibernial diatom communities in eutrophic water was examined in a laboratory. Two animals having different feeding types used in the study were collected from Keum River (Boryeong, Korea), acclimatized in the artificial management system in a laboratory over at least one month, and starved in a laboratory for 2 days before the experiment. Experimental waters, which dominated by *Synedra ulna-Scenedesmus* sp. (ca. 80%), was collected from eutrophic lake, Lake Ilgam (Seoul) in Feb., 19, 2008 at AM 10:00, and used in the study after the filtration with 1 mm Nylon mesh. Feeding experiments were largely divided into three kinds of animal treatments; five densities of UNIO (U0, U1, U2, U3, U4) and CCM (C0, C1, C2, C3, C4), and four combined densities of two shellfish (M0, M1, M2, M3). U0 and C0 were control (no addition of UNIO or CCM), U1 or C1 (each animal density at 0.5 ind. L<sup>-1</sup>), U2 or C2 (1.0 ind. L<sup>-1</sup>), U3 or C3 (1.5 ind. L<sup>-1</sup>), and U4 or C4 (2.0 ind. L<sup>-1</sup>), respectively. Four combined treatments were consisted of M0 (no animals), M1 (U1+C3), M2 (U2+C2), and M3 (U4+C1), respectively. Under the presence of animal, the concentration of Chl-*a* and algal abundance were clearly decreased with the increase of UNIO density and the treated time, while in combined group a strong decrease of algal density showed with the increase of UNIO density. Total phytoplankton density shifted as the similar patterns to that of Chl-*a* concentration ( $r=0.6527$ ,  $p<0.0001$ ), however, there showed the differences following a species. There were strong decreases of dominant species *Synedra ulna*, *Scenedesmus* sp., *Ankistrodesmus falcatus* in UNIO treatment group, *Diatoma vulgare* in combined group, while *Cryptomonas ovata* in high density of CCM increased about 20% in algal density. Grazing rates (GRs) based on the concentration of Chl-*a* was depend on the kind of shellfish and treatment time; a strong feeding of CCM showed in the initial stage, and four hours later, UNIO and combined group with high UNIO density showed the high GRs. Interestingly, faeces production of shellfish was highest in combined group with high density of CCM, while their size over 60  $\mu\text{m}$  was much higher in production magnitude than that less 60  $\mu\text{m}$ . Collectively, these results suggest that two domestic shellfish and its combined treatment have a strong potential as an effective biological controller of diatom bloom in cold eutrophic waters.

**Key words :** eutrophic water, diatom bloom, cold season, bivalve, snail, combined shellfish, grazing

\* Corresponding author: Tel: 02) 452-3749, Fax: 02) 452-3749, E-mail: white-t@hanmail.net

## 서 론

온대성 호수 및 하천에서 저온기 동안 규조류의 높은 성장은 일반적이며 (Wetzel, 1983; Kilham *et al.*, 1986; Leitao, 1995), 국내에서도 부영양 하천 (Cho *et al.*, 1998; Ha *et al.*, 2002; 서 등, 2005) 및 호수 (Han *et al.*, 2002; Hong *et al.*, 2002; Kim and Hwang, 2004)에서 규조류 대발생이 일어나고 있다. 이들은 여름철 남조류 대발생과는 다르게 조류독소를 발생하거나 수중생물이나 가축 심지어 인간에게까지 피해를 입힌 사례는 보고된 바 없으나 정수과정에 문제를 일으키고 물 냄새를 유발하는 등 원활한 수자원공급에 어려움을 주고 있다 (Oksiyuk, 1965; Sakevich, 1970; 임 등, 2000).

지금까지 조류발생을 억제하기 위한 다각적인 연구가 시도되고 있으며 가장 효과적인 방법으로 알려진 물리·화학적 방법 (Kasai *et al.*, 1993; Jeong *et al.*, 2000; Ahn *et al.*, 2003)은 기술적용 이후 빠른 제어효과를 보인다는 점에서 장점은 있으나 불가피한 처리시설 및 공간확보, 반복처리로 인한 2차 오염 발생 등으로 새로운 기술개발이 요구되고 있는 실정이다. 최근 대안으로써 조류제어능을 갖는 생물을 이용하려는 이른바, biomanipulation 기법 (Gosselain, 1998; Sigeo *et al.*, 1999; Bettarel *et al.*, 2003; Kim and Hwang, 2004)이 각광을 받고 있으며, 수중 내 영양물질 흡수를 통한 조류성장 억제와 같은 간접적인 방법 (전과 김, 1999; 신과 박, 2001)도 적용되고 있다. 그러나 이러한 연구들의 대부분은 주로 남조 *Microcystis* (Kim *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2005)나 와편모조 *Peridinium* (Kang *et al.*, 2005) 등에 제한되어 있고, 저온기 규조류를 대상으로 하는 연구로서 한강과 낙동강의 *Stephanodiscus* 제어를 위한 살조세균 개발과 같은 단편적인 연구가 있을 뿐이다 (Kang *et al.*, 2005; Jeong *et al.*, 2007).

일반적으로 담수에서 서식하는 이매패류 (bivalve)는 박테리아에서 동물플랑크톤에 이르기까지 다양한 크기의 생물 혹은 무생물적 입자들을 무선택적으로 섭식한다 (Dame *et al.*, 1985; Vaughn and Christine, 2001; Hwang *et al.*, 2004). 이들의 섭식활동은 크게 수중에 분포하는 크고 작은 플랑크톤을 여과하는 과정 (Vaughn and Christine, 2001; Dionisio pires *et al.*, 2005)과 소화하기 어렵거나 불필요한 입자들은 아가미를 통해 점액질과 혼합한 후 배설물 형태로 배설하거나 (Dionisio Pires *et al.*, 2005), 무기태 영양염으로 배출하는 과정을 갖는다 (Davis *et al.*, 2000).

한국산 말조개 (*Unio douglasiae*)는 오래 전부터 재첩과 함께 우리나라 대부분의 하천과 호수에 서식하는 대표적인 담수산 패류이며  $100 \text{ ind. m}^{-2}$  밀도로 분포하고 있다 (길, 1976; 권과 최, 1982). 또한 낮은 수온이나 용존 산소, 그리고 유기물 오염에 대해 비교적 저항성이 강하고, 다른 패류에 비해 단위시간당 유기물 섭식율이 높으며 (Hwang *et al.*, 2004), 최근 남조 *M. aeruginosa*와 같은 유해조류 제어를 위한 유용생물로 이용되고 있다 (김 등, 2008; 박 등, 2008; 이 등, 2008).

한편 논우렁이 (*Cipangopaludina chinensis malleata*) 역시 한강, 낙동강, 금강 등 전국 대부분의 수계에 고르게 분포하는 토착종으로 (권 등, 1985), 농약, 중금속 및 외래종 유입 등에 의해 비교적 낮은 개체수를 보이고 있으나 (박 등, 1997), 수온에 대한 내성이 강하고, 주로 하천과 호수의 부착조류와 쇠설물 등을 섭식하기 때문에 오염된 연못이나 하천의 수질정화에 종종 응용되기도 한다 (Osenberg, 1989; Weber and Lodge, 1990). 국내에서도 논우렁이를 이용한 남조 *Microcystis* 제어 연구가 시도된 바 있으며 (황 등, 2008), 두 패류는 종종 서식처를 공유하기 때문에 부영양 하천이나 호수의 유기물 (조류) 제어에 유용한 생물로 사료되고 있다.

본 연구는 고온기 조류 대발생의 대표적인 남조 *Microcystis aeruginosa*에 대한 섭식능이 이미 밝혀진 국내산 말조개 (김 등, 2008; 이 등, 2008; 박 등, 2008)와 논우렁이 (황 등, 2008)를 대상으로, 저온기 규조류에 대한 패류의 조류제어능 및 섭식율을 이해하고자 규조류가 우점하는 현장수를 수조에 넣고 두 패류를 단독 또는 혼합 적용하고, 수조내 엽록소량, 조류현존량, 먹이섭식율, 배설물 생산 등의 변화를 각각 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 패류 채집 및 유지

실험에 사용한 패류는 말조개 (*Unio (Nodularia) douglasiae* (Gray in et Pidgeon))와 논우렁이 (*Cipangopaludina chinensis malleata* Reeve)로서 금강수계 (보령)유역의 농수로에서 저인망 그물을 이용하거나 손으로 직접 채집하였다. 채집한 말조개와 논우렁이는 실험실로 가져온 다음 탈염한 수돗물로 2~3회 세척한 후 자체적으로 제작한 순응조 (원수조, 배양조, 정화조)에 넣어 1개월 이상 순응시켰다. 원수조는 일감호 (N37°03'150"; E127°005'10")의 표층수를 채수하여 1주일 간격으로 20 L씩 공급하고 산소를 공급하였다. 배양조는 경안천 상류에서

채취한 모래를 깨끗하게 세척하여 바닥에 넣고 말조개는  $200 \text{ ind. m}^{-2}$ , 논우렁이는  $50 \text{ ind. m}^{-2}$  밀도로 각각 넣었다. 정화조는 배양조에서 유입된 비교적 투명하지만 부유물이나 배설물 덩어리가 포함되어 있어 시중에서 판매하는 수족관용 여과기로 여과한 후 전기펌프를 이용하여 원수조로 이동시켰다. 순응조에 이용된 용기는 모두 PVC재질로 제작되었고, 유량은 분당 8 L 정도이며, 증발에 의한 손실량은 일평균 5 L 정도였다. 저온기에는 온도조절계(AH-100 아마존 자동히터, 중국)를 설치하여  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였다. 순응도중 패각이 열려있거나 섭식활동이 현저히 떨어진 개체는 제거하였으며, 실험에 사용된 패류는 채집 후 최소 1개월 이상 실험실에서 순응한 것으로 건강상태가 양호한 개체만을 선별하여 사용하였으며, 실험 2일 전부터 아무런 먹이를 공급하지 않았다.

## 2. 실험 디자인

실험에 사용한 실험수는 실험당일(2008. 2. 19. 수온  $4.7^\circ\text{C}$ ) 일감호의 표층수를 채수하여  $500 \mu\text{m}$  mesh로 부유물을 제거한 후 3 L 수조에 각각 2 L씩 채우고, 광도  $64.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ , 수온  $18 \sim 19^\circ\text{C}$ 로 유지하였다. 현장수의 초기 조류 밀도는  $17,100 \text{ cells mL}^{-1}$ 이었으며, *Synechococcus ulna* (62.4%), *Scenedesmus* sp. (16.7%), *Chroococcus turgidus* (6.0%), *Ankistrodesmus falcatus* (3.5%), *Diatoma vulgare* (1.6%), *Stephanodiscus hantzschii* (0.9%) 등이 우점하였다.

섭식실험은 크게 말조개 단독처리군, 논우렁이 단독처리군, 그리고 말조개-논우렁이 혼합처리군으로 구성하였다. 각 처리군은 패류밀도에 따라 다시 말조개는 U0(말조개를 처리하지 않은 대조군), U1 ( $0.5 \text{ ind. L}^{-1}$  말조개), U2 ( $1.0 \text{ ind. L}^{-1}$ ), U3 ( $1.5 \text{ ind. L}^{-1}$ ), U4 ( $2.0 \text{ ind. L}^{-1}$ ), 논우렁이는 C0(논우렁이를 처리하지 않은 대조군), C1 ( $0.5 \text{ ind. L}^{-1}$  논우렁이), C2 ( $1.0 \text{ ind. L}^{-1}$ ), C3 ( $1.5 \text{ ind. L}^{-1}$ ), C4 ( $2.0 \text{ ind. L}^{-1}$ ), 그리고 말조개와 논우렁이를 혼합 처리한 실험군은 두 패류를 교차 비율로 혼합하였는데 M0(패류를 처리하지 않은 대조군), M1 ( $0.5 \text{ ind. L}^{-1}$  말조개:  $1.5 \text{ ind. L}^{-1}$  논우렁이), M2 ( $1.0 \text{ ind. L}^{-1}$  말조개:  $1.0 \text{ ind. L}^{-1}$  논우렁이), M3 ( $1.5 \text{ ind. L}^{-1}$  말조개:  $0.5 \text{ ind. L}^{-1}$  논우렁이) 등으로 구성되었다. 모든 실험은 3회 반복하여 실시하였으며, 실험도중 패류가 사망할 경우, 해당 수조의 나머지 실험은 더 이상 진행하지 않았다.

패류처리 후 각 실험수조의 엽록소 및 조류현존량 변화는 동일한 방법으로 분석하였는데, 시료는 패류처리 후 각각 0, 1, 4, 7시간째 교란을 최소화하면서 피펫으로 표

층 10 cm 하부를 채취하여, 엽록소-a 및 조류현존량 등을 각각 분석하였다. 엽록소-a는 각 시간별로 채수한 시료를 GF-C필터로 여과하고 90% 아세톤 10 mL으로 24시간 동안  $4^\circ\text{C}$  암상태 하에서 추출하였다. 각 시료는 다시 20 분간 500 g 속도로 원심분리하여 상층액을 꺼내 분광광도계로 흡광도를 측정하였다(APHA, 1995). 조류현존량은 시간별로 각각 1 mL씩 채취하여 Lugol 액으로 고정하고 균일하게 혼합시킨 다음 12시간 이상 정치시킨 후 Sedgwick-Rafter chamber를 이용하여 광학현미경(Axio-star plus, ZEISS, Germany)하에서 계수하였다. 출현종의 동정은 종 수준까지 하였고, 미동정 종에 대해서는 sp.로 처리하였다.

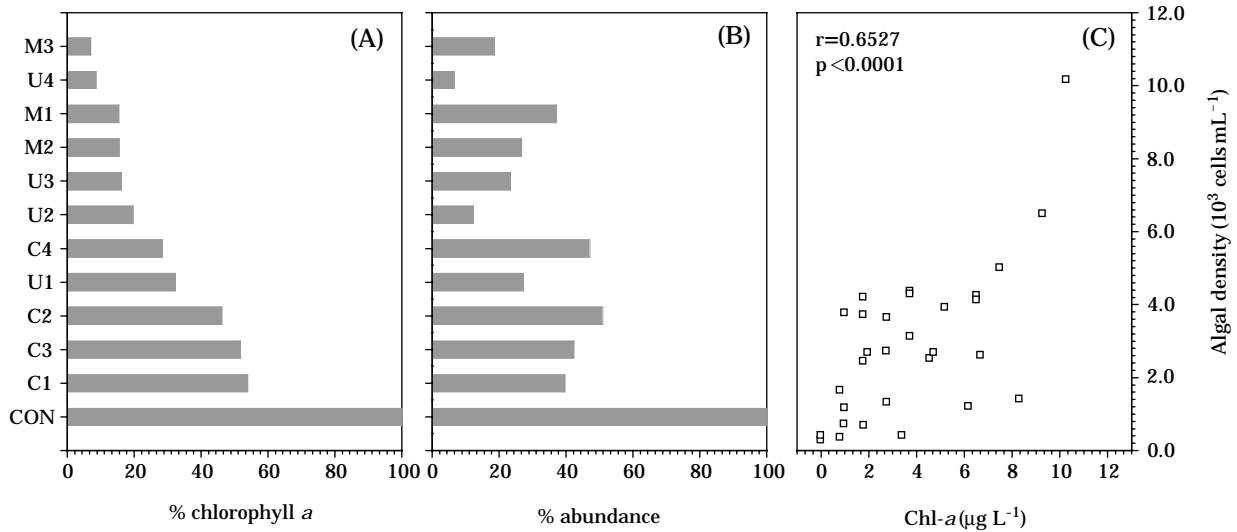
## 3. 패류크기와 건중량

실험에 사용된 말조개와 논우렁이의 건중량(AFDW)을 구하기 위하여, 먼저 크기가 다양한 패류를 선별하여 탈염수돗물로 2~3회 정도 세척하여 불순물을 제거한 후 패류 길이와 무게를 측정하고 해부용 칼을 이용하여 패각과 내장-근육 부위를 분리하였다. 패각을 제외한 모든 부분을 미리 측정한 도가니에 담고  $100^\circ\text{C}$  dry oven에서 48시간 동안 건조시킨 다음 도가니의 무게를 측정하였다(W<sub>1</sub>). 측정된 도가니를  $500^\circ\text{C}$  furnace(HY-8000S, YUYU SCIENTIFIC)에 넣고 30분간 다시 태운 다음,  $100^\circ\text{C}$  dry oven으로 옮겨 48시간 방치시킨 후 무게를 측정하였다(W<sub>2</sub>). 패류의 건중량은 두 도가니의 무게 차(W<sub>1</sub>-W<sub>2</sub>)로 계산하였으며, 실험에 사용된 패류의 건중량은 앞에서 구한 건중량과 당시 패류의 길이와의 1차 회귀식을 이용하여 추정하였다.

## 4. 조류 섭식능 및 배설물 생산

실험에 사용된 패류의 조류섭식율(GR)은 섭식실험 동안 시간별로 채수한 대조군과 패류 처리군의 엽록소 농도와 패류의 건중량(회귀식에 의해 구한 값)을 이용하여 계산하였다. GR의 계산식은 다음과 같다.  $GR (\text{L g}^{-1} \text{ h}^{-1}) = M \times [\ln(T_t/T_0) - \ln(C_t/C_0)]/B \cdot t$ , 여기서, M은 수조의 부피,  $C_t$ ,  $C_0$ 는 대조군의 초기와 처리시간(t)에서의 엽록소-a의 농도,  $T_t$ ,  $T_0$ 는 처리군의 초기와 처리시간(t)에서의 엽록소-a 농도, B는 말조개 및 논우렁이의 건중량이다.

말조개 및 논우렁이의 배설물 생산(FP)은 실험 종료시(7 hr)에 실험수조의 바닥에 가라앉은 배설물을 모두 채취하여 GF/F 여과지로 여과한 다음  $100^\circ\text{C}$ 에서 24시간 건조하여 각각의 무게(SS)를 측정하였다(APHA, 1995).



**Fig. 1.** Relative chlorophyll-*a* concentration (A) and algal abundance of hibernial diatom (B) and their relationship (C) in the presence of alone and combined of shellfish *Unio douglasiae* (UNIO), *Cipangopaludina chinensis malleata* (CCM), and mixed shellfish after 7 hours of cultivation. CON (no addition of UNIO or CCM), U1, U2, U3 and U4 (addition of UNIO at density of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ind. L<sup>-1</sup>), C1, C2, C3 and C4 (addition of CCM at density of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ind. L<sup>-1</sup>), and M1 (mixed with 0.5 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 1.5 ind. L<sup>-1</sup> CCM), M2 (mixed with 1.0 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 1.0 ind. L<sup>-1</sup> CCM) and M3 (mixed with 1.5 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 0.5 ind. L<sup>-1</sup> CCM), respectively.

FP의 계산식은 다음과 같다.  $FP = (M/n) (S_1 - S_2) / t$ , 여기서, M은 수조의 부피(L), n은 패류의 건중량, S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>는 대조군과 처리군의 SS농도, t는 배양시간이다.

## 결 과

### 1. 엽록소-a 및 조류현존량

말조개와 논우렁이를 각각 단독 또는 혼합 처리한 후 엽록소 농도 변화를 조사한 결과 모든 처리군에서 뚜렷한 엽록소 농도가 감소하였으나, 패류 종류와 처리밀도에 따라 감소 패턴의 차이를 나타내었다 (Fig. 1A). 패류적용 7시간 경과 후 말조개 처리군의 평균 엽록소-a 농도는 대조군의 19.1% (범위: 8.5~32.3), 논우렁이 처리군 45.0% (28.4~53.8), 혼합 처리군 12.6% (6.9~15.4) 등으로 각각 나타나, 혼합 처리시 가장 높은 엽록소 감소를 유도하였다. 말조개만 처리할 경우, U1 (32.3%), U2 (19.6%), U3 (16.1%), U4 (8.5%) 순으로 패류밀도가 증가할수록 높은 엽록소-a의 감소를 보였으나, 논우렁이 처리군은 C1 (53.8%), C3 (51.8%), C2 (46.2%), C4 (28.4%) 등으로 밀도에 따른 엽록소 감소현상은 뚜렷하지 않았다. 한편 두 패류의 혼합 처리군에서는 M1 (15.4%), M2 (15.4%), M3 (6.9%) 순으로 논우렁이보다 말조개의 혼합밀도가 높을

수록 더 높은 엽록소-a의 감소를 나타내었다 (Fig. 1A).

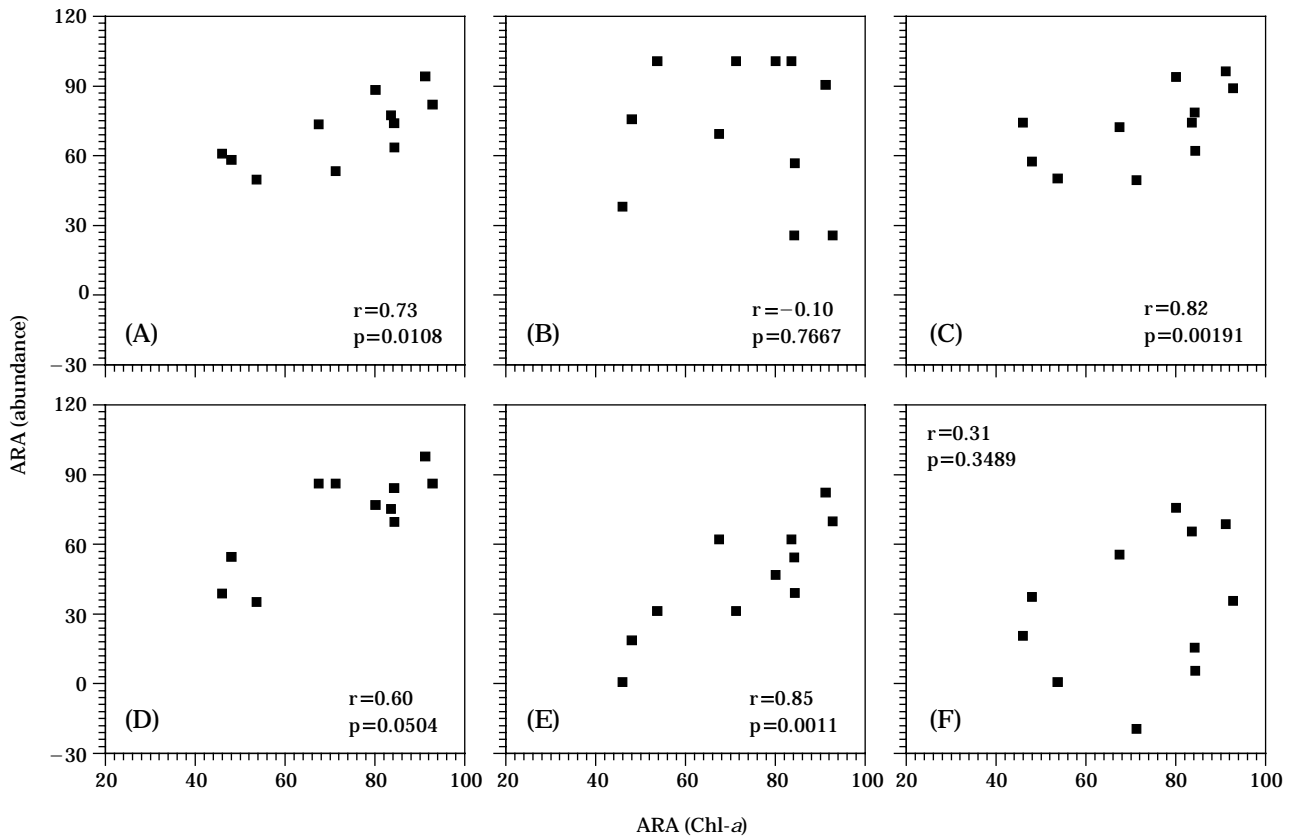
조류현존량은 전체적으로 엽록소 농도의 감소패턴과 유사한 경향을 보였으나 ( $r=0.6527$ ,  $p<0.0001$ ) (Fig. 1C), 패류밀도에 따라 다소 차이를 나타냈다 (Fig. 1B). 말조개 처리군은 평균 17.3% (범위: 6.5~27.2), 논우렁이 처리군 45.0% (39.7~51.0), 혼합 처리군 27.4% (18.5~37.0) 등으로 말조개 처리군에서 비교적 높은 현존량 감소를 보였으며, 특히 엽록소 농도의 감소가 가장 높았던 말조개 처리군(U4)에서 조류 현존량(6.5%) 역시 가장 높게 감소하였다. 그러나 말조개 처리군에서는 U1 (27.2%), U2 (12.3%), U3 (23.3%), U4 (6.5%)였고, 논우렁이 처리군에서는 C1 (39.7%), C2 (51.0%), C3 (42.3%), C4 (47.1%) 등으로 밀도에 따른 뚜렷한 차이는 보이지 않았으며, 혼합 처리군에서는 M1 (37.0%), M2 (26.7%), M3 (18.5%) 등의 순서로 말조개의 혼합밀도가 높을수록 높은 현존량의 감소를 나타내었다 (Fig. 1B).

### 2. 패류의 조류 제어능

패류의 단독 및 혼합 처리 후 각 출현종에 대한 패류의 조류 제어능은 조류 종에 따라 차이를 나타냈다 (Table 1). 실험수에서 가장 높은 밀도를 보였던 우점종들에 대한 패류의 조류 제어능은 다음과 같다. 제1우점종이었던 *Synedra ulna*는 말조개 처리군(U4) 95.7%, 혼합 처리군

**Table 1.** Algal removal ability (ARA) of shellfish *Unio douglasiae* (UNIO) and *Cipangopaludina chinese malleata* (CCM) on the hibernial diatom communities. ARA (%) =  $(1 - \text{experiment/control}) * 100$ . Hereafter, U1, U2, U3 and U4 (addition of UNIO at density of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ind. L<sup>-1</sup>), C1, C2, C3 and C4 (addition of CCM at density of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ind. L<sup>-1</sup>), and M1 (Mixed with 0.5 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 1.5 ind. L<sup>-1</sup> CCM), M2 (Mixed with 1.0 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 1.0 ind. L<sup>-1</sup> CCM) and M3 (Mixed with 1.5 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 0.5 ind. L<sup>-1</sup> CCM), respectively. Negative value means the increase of algal density by the introduction of shellfish.

Exp.	U1		U2		U3		U4		C1		C2		C3		C4		M1		M2		M3														
	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7	1	4	7											
<i>Synedra ulna</i>	35.3	35.3	71.6	49.5	54.1	93.2	20.1	41.7	73.6	37.3	81.5	95.7	3.6	48.6	73.6	22.1	3.6	49.6	33.8	18.1	56.8	31.0	11.5	48.8	24.0	45.0	61.6	27.0	44.4	78.0	24.2	57.4	88.4		
<i>Scenedesmus</i> sp.	22.8	37.6	85.5	46.5	67.1	76.4	37.6	64.7	74.5	24.8	85.4	97.1	19.8	69.4	38.2	22.8	3.5	34.5	-16.8	38.8	53.9	58.4	45.8	85.5	-7.9	76.5	69.1	48.5	60.0	83.6	7.9	78.8	85.5		
<i>Cryptomonas</i>	9.1	61.1	55.0	13.6	38.9	75.0	63.6	50.0	65.0	59.1	55.6	68.0	22.7	22.2	20.0	50.0	11.1	0.0	31.8	33.3	36.7	81.8	-11.1	-20.0	0.0	61.1	5.0	0.0	66.7	15.0	45.5	5.6	35.0		
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	50.0	100.0	42.9	0.0	75.0	92.9	100.0	12.5	92.9	41.7	30.0	91.4	0.0	50.0	50.0	16.7	37.5	64.3	-33.3	75.0	57.1	83.3	62.5	57.1	33.3	50.0	85.7	50.0	25.0	100.0	-66.7	12.5	85.7		
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	38.9	-27.3	61.5	55.6	18.2	46.2	33.3	0.0	61.5	38.9	70.9	81.5	38.9	9.1	0.0	0.0	-109.1	30.8	44.4	-27.3	17.9	22.2	0.0	30.8	33.3	-27.3	38.5	-5.6	-18.2	53.8	44.4	-9.1	69.2		
<i>Diatoma vulgare</i>	-87.5	57.1	69.2	-100.0	85.7	76.9	-75.0	85.7	92.3	-81.3	65.7	81.5	12.5	78.6	46.2	-25.0	42.9	7.7	-12.5	64.3	74.4	12.5	35.7	53.8	12.5	64.3	69.2	62.5	28.6	84.6	-37.5	92.9	100.0		
<i>Tetraedron</i> sp.	50.0	85.0	88.2	70.0	65.0	88.2	90.0	80.0	94.1	35.0	94.0	100.0	30.0	55.0	82.4	-10.0	90.0	76.5	60.0	60.0	72.5	40.0	90.0	70.6	20.0	80.0	94.1	-30.0	80.0	64.7	20.0	90.0	94.1		
<i>Chroococcus turgidus</i>	44.2	5.0	68.8	51.2	20.0	100.0	-14.0	75.0	100.0	59.3	96.0	90.0	-14.0	70.0	37.5	20.9	45.0	100.0	69.8	75.0	75.0	20.9	35.0	100.0	51.2	20.0	56.3	83.7	5.0	25.0	83.7	55.0	25.0		
<i>Aulacoseira granulata</i>	50.0	100.0	100.0	33.3	100.0	100.0	-33.3	100.0	100.0	-25.0	100.0	92.0	-50.0	100.0	40.0	0.0	100.0	100.0	66.7	100.0	100.0	100.0	40.0	0.0	66.7	100.0	100.0	-16.7	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0		
<i>Pediastrum simplex</i>	-39.3	-100.0	100.0	100.0	69.2	100.0	75.0	-61.5	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	61.5	100.0	100.0	0.0	100.0	42.9	100.0	100.0	71.4	100.0	100.0	71.4	100.0	85.7	46.2	100.0	100.0	-7.7	100.0	25.0	100.0	100.0
<i>Nitzschia</i> sp.	-50.0	-	-	25.0	-	-	100.0	-	-	75.0	-	-	25.0	-	-	100.0	-	-	-	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula</i> sp.	-	-200.0	100.0	-	100	-200.0	-	100.0	-100.0	-	100.0	100.0	-	100.0	-200.0	-	100.0	100.0	-	100.0	-33.3	-	100.0	100.0	-	100.0	100.0	-	0	-100.0	-	-	-100.0	-200.0	



**Fig. 2.** Relationship between chlorophyll-*a* and each dominant algal abundance after 7 hr treatment of alone and combined of shellfish *Unio douglasiae* and *Cipangopaludina chinensis malleata*. A: Total phytoplankton density, B: *Chroococcus turgidus*, C: *Synedra ulna*, D: *Scenedesmus* sp., E: *Ankistrodesmus falcatus*, F: *Cryptomonas ovata*.

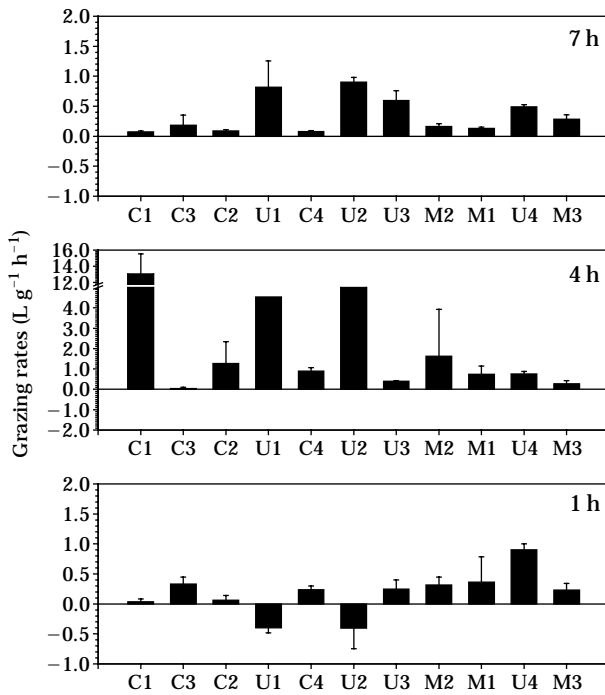
(M3) 88.4%, 논우렁이 처리군 (C4) 48.8% 등으로 말조개가 조류 제어능이 높았다. *Scenedesmus* sp.는 말조개 처리군 (U4)에서 97.1%로 가장 높았고, 논우렁이 (C4)와 혼합군 (M3)에서는 공히 85.5%로서 비교적 높은 조류제어능을 나타냈다. *Ankistrodesmus falcatus*는 말조개 처리군 (U4) 81.5%, 혼합 처리군 (M3) 69.2%, 논우렁이 처리군 (C4) 30.8% 등으로 역시 말조개 처리군에서 제어능이 높았다. *Diatoma vulgare*는 혼합 처리군 (M3) 100.0%, 말조개 처리군 (U4) 81.5%, 논우렁이 처리군 (C4) 53.8% 등으로 실험 종료시 혼합 처리군에서 조류세포가 거의 관찰되지 않았으며, *Cryptomonas*는 말조개 처리군 (U4) 68.0%, 혼합 처리군 (M3) 35.0%, 논우렁이 처리군 (C4) -20.0% 등으로 논우렁이 처리군에서는 오히려 약간의 성장을 나타내었다.

각 출현종의 현존량과 엽록소 농도의 변화간의 관계는 종에 따라 다소 차이를 나타냈다 (Fig. 2). 실험수의 우점종이었던 *Synedra ulna* ( $r=0.82$ ,  $p=0.00191$ ), *Scenedes-*

*mus* sp. ( $r=0.60$ ,  $p=0.0504$ ), *Ankistrodesmus falcatus* ( $r=0.85$ ,  $p=0.0011$ )의 상관성은 유사한 반면 (Fig. 2C, 2D and 2F), *Chroococcus turgidus* ( $r=-0.10$ ,  $p=0.7667$ )와 *Cryptomonas ovata* ( $r=0.31$ ,  $p=0.3489$ ) 등의 상관성은 낮았다 (Fig. 2B and 2E).

### 3. 패류의 조류섭식율

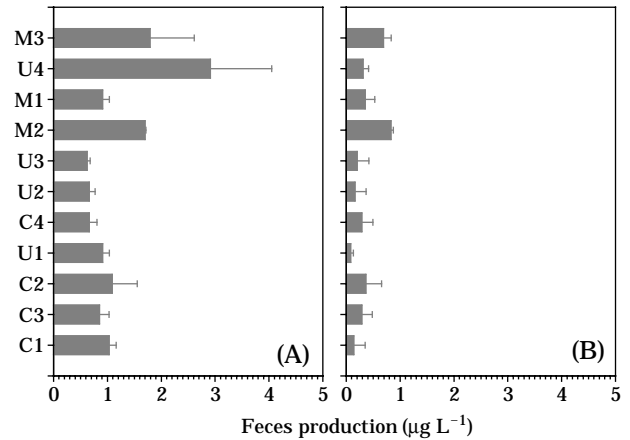
저온기 규조류가 우점하였던 실험수에 대한 패류의 조류섭식율은 처리시간 및 패류밀도에 따라 뚜렷한 차이를 보였다 (Fig. 3). 패류처리 1시간째 조류 섭식율은 각각 말조개 처리군은 평균  $0.09 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (범위:  $-0.40 \sim 0.90$ ), 논우렁이 처리군은  $0.17 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  ( $0.03 \sim 0.33$ ), 혼합 처리군은  $0.30 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  ( $0.23 \sim 0.36$ ) 등으로, 혼합 처리군에서 높았으며, 말조개 밀도가 가장 높았던 U4에서 가장 높은 섭식율 ( $0.90 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )을 나타냈다. 처리 4시간째에 말조개 처리군은 평균  $3.17 \text{ L g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (범위:  $0.39 \sim 7.00$ ), 논우-



**Fig. 3.** Hourly changes in grazing rates of shellfish *Unio douglasiae* (UNIO), *Cipangopaludina chinensis malleata* (CCM), and mixed shellfish on the hibernant diatom community. U1, U2, U3 and U4 (addition of UNIO at density of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ind. L<sup>-1</sup>), C1, C2, C3 and C4 (addition of CCM at density of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ind. L<sup>-1</sup>), and M1 (mixed with 0.5 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 1.5 ind. L<sup>-1</sup> CCM), M2 (mixed with 1.0 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 1.0 ind. L<sup>-1</sup> CCM) and M3 (mixed with 1.5 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 0.5 ind. L<sup>-1</sup> CCM), respectively.

령이 처리군은 0.09 L g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (0.27~1.63), 혼합 처리군은 3.80 L g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (0.04~13.01) 등으로 혼합 처리군에서 높았으며, 논우렁이 밀도가 가장 낮은 C1수조에서 1.63 L g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>로 가장 높았다. 처리 7시간째 조류 섭취율은 말조개 처리군은 평균 0.70 L g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (범위: 0.49~0.90), 논우렁이 처리군은 0.10 L g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (0.07~0.18), 혼합 처리군은 0.19 L g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (0.13~0.28) 등으로 말조개 처리군에서 가장 높았으며, 말조개 처리군 U2에서 가장 높았다.

패류의 조류섭식율은 말조개의 경우, 초기에는 처리밀도에 따라 점차 증가한 반면, 4, 7시간째에는 낮은 밀도일수록 오히려 높은 제어율을 나타냈다. 논우렁이는 C2와 C4에서는 4시간째까지 증가하다가 다시 감소한 반면, C1과 C3는 4시간째까지는 불안정하였으나, 7시간째에는 밀도가 높을수록 높은 제어능을 나타냈다.



**Fig. 4.** Faeces production of shellfish *Unio douglasiae* (UNIO), *Cipangopaludina chinensis malleata* (CCM) on the hibernant diatom community. A: the size larger than 60 µm, B: the size less than 60 µm. U1, U2, U3 and U4 (addition of UNIO at density of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ind. L<sup>-1</sup>), C1, C2, C3 and C4 (addition of CCM at density of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 ind. L<sup>-1</sup>), and M1 (mixed with 0.5 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 1.5 ind. L<sup>-1</sup> CCM), M2 (mixed with 1.0 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 1.0 ind. L<sup>-1</sup> CCM) and M3 (mixed with 1.5 ind. L<sup>-1</sup> UNIO and 0.5 ind. L<sup>-1</sup> CCM), respectively.

#### 4. 배설물 생산

실험 종료 후 패류에 의해 생성된 배설물 순생산량(총 생산량-대조군)을 측정된 결과, 각각 말조개 처리군 평균 1.51 µg L<sup>-1</sup> (범위: 0.82~3.22), 논우렁이 처리군은 1.18 µg L<sup>-1</sup> (0.95~1.45), 혼합 처리군은 2.09 µg L<sup>-1</sup> (1.26~2.53) 등으로 혼합 처리군에서 가장 높은 배설물 생산을 나타냈다. 60 µm보다 큰 배설물은 평균 1.17 µg L<sup>-1</sup> (0.62~2.91)이었으며 (Fig. 4A), 이보다 작은 크기는 평균 0.03 µg L<sup>-1</sup> (0.08~0.83)로 배설물의 크기가 뚜렷한 차이를 나타내었다 (Fig. 4B). 전체적으로 말조개 처리군은 (U4) 3.22 µg L<sup>-1</sup>, 혼합 처리군은 (M2) 2.53 µg L<sup>-1</sup>, 논우렁이 처리군은 (C3) 1.45 µg L<sup>-1</sup> 순이었으며, 말조개 고밀도 처리군에서 가장 높은 배설물을 생산하였으나, 총 배설물량에 있어서는 논우렁이가 말조개보다 많았다.

#### 고 찰

패류를 이용하여 오염된 하천 및 저수지 등의 수질정화에 관한 연구는 오래 전부터 보고되어 있으나 (Kehde, 1972; Osenberg, 1989; Weber and Lodge, 1990), 저온기 규조류가 우점하는 부영양 하천이나 호수의 수질 개선에



대한 연구 사례는 극히 빈약하다. 본 연구는 여과섭식성 이매패 말조개와 유기물을 직접 섭취하는 논우렁이를 단독 또는 혼합 처리하고 이들의 조류섭식능을 조사한 것으로서, 국내에서는 규조를 대상으로 하여 살조세균과 섬모충을 혼합 처리한 연구가 있었으나 (Kim et al., 2006), 섭식특성이 서로 다른 국내산 패류를 이용한 것은 처음이다.

패류의 단독 또는 혼합 처리시 처리된 패류의 종류, 처리시간, 혼합비율에 따라 조류 제어율에 차이가 있었으나, 전체적으로 실험이 종료된 시기에 모든 처리군에서 패류 밀도와 종류에 상관없이 뚜렷한 엽록소-a량(또는 조류현존량)의 감소를 나타냈다. 비록 두 패류가 섭식타입은 다르지만 국내 하천 및 수계에서 종종 서식공간을 공유하기 때문에 (길, 1976; 권, 1982), 동시에 적용할 경우 수생태계에 대한 교란은 그다지 크지 않을 것으로 예상되며, 고온기에도 적용 가능할 것으로 사료된다. 다만, 엽록소-a량은 혼합 처리군(M3)에서 가장 높게 감소한 반면, 조류 현존량은 말조개 처리군(U4)에서 가장 높게 감소한 바, 원인은 정확하게 알 수는 없으나 출현종의 형태적 특성과 개체수 산정에 있어 개인차로 판단된다.

패류 처리 후 조류 현존량은, 실험수에서 우점하였던 *Synedra ulna*, *Scenedesmus sp.*와 *Ankistrodesmus falcatus* 등의 3종은 엽록소-a 농도의 감소패턴과 유사한 반면, *Chroococcus turgidus*와 *Cryptomonas ovata* 등은 매우 낮은 상관성을 보였다. 이러한 결과를 근거로 두 패류의 먹이 선택성을 유추할 수 있으나, 말조개의 일종인 *Atrina zelandica*는 먹이의 모양 및 크기에 따라 선택적인 섭식능력을 갖는다고 보고되고 있으나 (Warwick et al., 1997; Safi et al., 2007), 재첩과 얼룩말 조개 등은 여전히 먹이 선택성에 대한 논란이 있기 때문에 (Hwang et al., 2004), 추후 보다 세밀한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

엽록소량을 근거로 한 패류의 조류섭식율은 실험 1시간째에는 혼합 처리군, 실험 4시간째에는 논우렁이 처리군, 그리고 실험 7시간째에는 말조개 처리군에서 각각 가장 높았다 (Fig. 3). 이러한 현상은 제한된 공간내의 먹이에 대하여 혼합 처리군의 경우 두 생물간의 경쟁적인 섭식활동이라기 보다 운동성이 좋은 논우렁이가 초기에는 보다 빠른 섭식활동을 보이지만, 조류침강율의 증가와 시간의 경과에 따라 바닥층에 있는 말조개의 섭식능이 점차 증가하여 엽록소량은 혼합 처리군에서 가장 높게 감소하였다.

말조개 또는 말조개의 혼합 비율이 높을수록 높은 조류제어능을 보였는데, 혼합 처리군에서 완전히 제어된

*Diatoma vulgare*, 논우렁이 고밀도 처리군에서 제어되지 않고 밀도가 증가한 *Cryptomonas ovata*, 말조개 처리군에서만 높게 제어된 *Synedra ulna*, *Scenedesmus sp.*, *Ankistrodesmus falcatus* 등, 1) 섭식특성이 서로 다른 두 패류 혼합에 의한 조류제어의 상승효과, 2) 유기물을 직접 굶어먹는 논우렁이 처리군에서 운동성 강한 소형편모조의 성장, 3) 논우렁이보다 말조개 혼합 비율이 클수록, 높은 제어율을 보이는 점 등은 지금까지 연구가 매우 빈약한 국내산 패류의 먹이섭식 특성에 관한 새로운 결과로서 추후 연구에 도움이 될 것으로 사료된다.

결국, 국내산 말조개와 논우렁이의 혼합적용은 각 패류의 단독적용보다 저온기 동안 부영양 호수나 하천의 규조류 대발생을 제어하는 데 효과적이며, 이는 섭식특성이 다른 두 패류의 상승작용으로 판단되었다. 따라서 현장수계의 특성을 잘 파악하여 적절한 패류 비율을 적용한다면 오염된 저수지나 하천의 유기물 또는 조류 저감에 매우 효과적일 것으로 사료되었다.

## 적 요

남조류 제어능이 밝혀진 국내산 말조개와 논우렁이를 금강수계에서 채집하여, 저온기 부영양 호수에서 우점하는 규조류에 대한 섭식특성을 파악하고자, 두 패류를 단독 또는 혼합적용하고, 수조내 엽록소-a, 조류현존량, 섭식율 및 배설물 생산량의 변화를 각각 조사하였다. 섭식 실험은 패류밀도에 따라 말조개 단독처리군 5가지, 논우렁이 단독처리군 5가지, 두 패류의 혼합 처리군 4가지 등으로 구분하여 각각 3회씩 반복 실험하였다. 분석결과, 모든 패류 처리군에서 엽록소-a(또는 조류현존량 농도)가 뚜렷하게 감소하였으며, 말조개와 말조개 밀도가 높은 혼합군에서 조류제어율이 높았다. 각 출현종에 대한 패류의 조류제어능은 *Synedra ulna*, *Scenedesmus sp.*, *Ankistrodesmus falcatus* 등은 말조개 밀도가 높을수록, *Diatoma vulgare*는 혼합 처리군에서 각각 높게 제어된 반면, *Cryptomonas ovata*는 고밀도 논우렁이 처리군에서 오히려 20% 성장을 유도하였다. 패류의 섭식율은 패류와 처리시간에 따라 차이를 보였는데, 초기에는 운동성이 좋은 논우렁이가 강한 섭식을 보인 반면, 시간이 경과함에 따라 말조개 및 고밀도 말조개 혼합 처리군에서 섭식율이 높았다. 패류의 배설물 생산은 혼합 처리군에서 가장 높았으며, 60 µm 이상의 크기에서 높게 나타났다. 본 연구에서 국내산 말조개와 논우렁이를 단독 또는 혼합 적용 시 모든 처리군에서 규조류가 뚜렷하게 감소하였으며, 말



조개나 말조개 혼합 비율이 높을수록 제어율이 높았다. 따라서 앞으로 패류들의 현장적용 기술이 개발된다면 저온기 규조류 대발생의 생태친화적 제어가 가능할 것으로 사료되었다.

## 사 사

본 연구는 학술진흥재단 기초연구과제 (KRF-2007-313-F00050)에 의하여 수행되었으며 실험에 도움을 주신 김난영, 이연주, 유영훈님께 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

- 권오길, 최준길. 1982. 의암호의 패류에 관한 연구 (2) 의암호의 패류상과 어류의 패류내 산란에 관한 연구. 한국육수학회지 **15**: 39-50.
- 권오길, 박성빈, 조동현. 1985. 담수 이매패의 진주층 형성. 한국육수학회지 **18**: 61-66.
- 길봉섭. 1976. 담수산 이매패의 생태학적 연구-분포와 형태변이. 한국육수학회지 **9**: 29-38.
- 김건희, 김백호, 박명환, 황순진. 2008. 담수패류 (*Unio douglasiae*)와 침수식물 (*Potamogeton crispus*)의 유해 남조 *Oscillatoria* sp. 성장억제 효과. 한국하천호수학회지 **41**(S): 68-76.
- 박갑만, 정영현, 김재진, 정평림. 1997. 한국산 눈우렁이와 큰눈우렁이의 28S rDNA 유전자 염기서열 분석. 한국패류학회지 **13**: 91-96.
- 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.
- 서미연, 김백호, 배경석, 한명수. 2005. 한강하류의 남조류 및 환경요인의 연간 (2000~2003) 변화에 대하여. 한국하천호수학회지 **38**: 315-321.
- 신정이, 박석순. 2001. 하천 수생식물의 영양염류 제거능 산정에 관한 연구. 한국물환경학회지 **17**: 201-213.
- 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.
- 임영성, 송원섭, 조주식, 이홍재, 허종수. 2000. 정수처리 과정에서 응집 및 여과에 미치는 조류의 영향. 한국환경농학회지 **19**: 13-19.
- 전만식, 김범철. 1999. 부레옥잠의 수중영양염 제거 잠재력에 관한 고찰. 한국물환경학회지 **17**: 117-124.
- 황순진, 전미진, 김백호. 2008. 한국산 눈우렁이의 유해조류 여과율 및 유기물 생산. 한국하천호수학회지 **41**(S): 77-85.
- Ahn, C.Y., M.H. Park, S.H. Joung, H.S. Kim, K.Y. Jang and H.M. Oh. 2003. Growth inhibition of cyanobacteria by ultrasonic radiation: Laboratory and enclosure studies. *Environmental Science & Technology* **37**: 3031-3037.
- APHA, 1995. Standard methods of the examination of water and wastewater (19<sup>th</sup> ed). American Public Health Association, Washington, D.C.
- Bettarel, Y., C. Amblard, T. Sime-Ngando, J.F. Carrias, D. Sargos, F. Garabetian and P. Lavandier. 2003. Viral lysis, flagellate grazing potential, and bacterial production in Lake Pavin. *Microbial Ecology* **45**: 119-127.
- Cho, K.J., J.K. Shin, S.K. Kwak and O.H. Lee. 1998. Diatom genus *Stephanodiscus* as eutrophication indicator for water quality assessment. *Korean Journal of Limnology* **31**: 204-210.
- Choi, H.J., B.H. Kim, J.D. Kim and M.S. Han. 2005. *Streptomyces neyagawaensis* as a control for the hazardous biomass of *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) in eutrophic freshwaters. *Biological Control* **33**: 335-343.
- Dame, R., R. Zingmark and D. Nelson. 1985. Filter feeding coupling between the estuarine water column and benthic subsystems, p. 521-526. In: *Estuarine Perspectives* (Kennedy, V.S., ed.). Academic Press, New York.
- Davis, W.R., A.D. Christian and D.J. Berg. 2000. Seasonal nitrogen and phosphorus cycling by three unionid bivalves (Unionidae: bivalvia) in headwater streams. pp. 1-10. In: *Freshwater Mollusk Symposium Proceeding* (R.S. Tankersley, D.O. Warmolts, G.T. Watters, B.J. Armitage, P.D. Johnson and R.S. Butler eds.) Ohio Biological Survey, Columbus, OH, USA
- 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*. *Journal of Plankton Research* **27**: 331-339.
- Gosselain, V., J.P. Descy, L. Virous, C. Joaquim-Justo, A. Hammer, A. Metens and S. Schweitzer. 1998. Grazing by large river zooplankton: a key to summer potamoplankton decline? The case of the Meuse and Moselle rivers in 1994 and 1995. *Hydrobiologia* **369/370**: 199-216.
- Ha, K., M.H. Jang and G.J. Joo. 2002. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities along a regulated river system, the Nakdong River, Korea. *Hydrobiologia* **470**: 235-245.
- Han, M.S., Y.O. Kim, D.S. Yi and S.S. Hong. 2002. Species-specific productivity of *Cryptomonas ovate* (Cryptophy-

- ceae) in the Pal'tang reservoir, Korea. *Journal of Freshwater Ecology* **17**: 521-529.
- Hong, S.S., S.W. Bang and M.S. Han 2002. Effects of rainfall on the hydrological conditions and phytoplankton community structure in the riverine zone of the Pal'tang Reservoir, Korea. *Journal of Freshwater Ecology* **17**: 507-519.
- Hwang, S.J., H.S. Kim, J.K. Shin, J.M. Oh and D.S. Kong. 2004. Grazing effects of a freshwater bivalve (*Corbicula leana* PRIME) and large zooplankton on phytoplankton communities in two Korean lakes. *Hydrobiologia* **515**: 161-179.
- Jeong, J.H., H.J. Jin, C.H. Sohn, K.H. Suh and Y.K. Hong. 2000. Algicidal activity of the seaweed *Corallina pilulifera* against red tide microalgae. *Journal of Applied Phycology* **12**: 37-43.
- Kang, Y.H., J.D. Kim, B.H. Kim, D.S. Kong and M.S. Han. 2005. Isolation and characterization of Bio-agent antagonistic to diatom, *Stephanodiscus hantzschii*. *Journal of Applied Microbiology* **98**: 1030-1038.
- Kasai, F., N. Takamura and S. Hatakeyama. 1993. Effects of simetyrene on growth of various freshwater algal taxa. *Environmental Pollution* **79**: 77-83.
- Kehde, P.M. and J.L. Wilhm. 1972. The effects of grazing by snails on community structure of periphyton in laboratory streams. *American Midland Naturalist* **87**: 2-24.
- Kilham, P., S. Kilham and R.E. Hecky, 1986. Hypothesized resource relationships among African planktonic diatoms. *Limnology and Oceanography* **31**: 1169-1181.
- Kim, B.H., M.K. Choi and N. Takamura. 2003. Phytoplankton preferences of young silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, in hypereutrophic mesocosms during a warm season. *Journal of Freshwater Ecology* **18**: 69-77.
- Kim, B.H. and S.O. Hwang. 2004. The structure of the plankton community and the cyanobacterial bloom during the rainy season in mesoeutrophic lake (Lake Juam), Korea. *Korean Journal of Sanitation* **19**: 51-59.
- Kim, B.H., S.J. Hwang, Y.G. Kim, S.O. Hwang, N. Takamura and M.S. Han. 2007. Effects of biological control agents on nuisance cyanobacterial and diatom blooms in Freshwater systems. *Microbes and Environments* **22**: 52-58.
- Leitao, M. 1995. Eutrophication du Loir et son incidence sur l'usine d'eau potable de La Fleche (Sar the). *Techniques Science Methodes* **1**: 31-37.
- Oksiyuk, O.P. 1965. *Stephanodiscus hantzschii* Grun. as an aromatic organisms capable of giving fish smell to water. *Gidrobiol Zhurnal* **1**: 50-53.
- Osenberg, C.W. 1989. Resource limitation, competition and the influence of life history in a freshwater snail community. *Oecologia* **79**: 512-519.
- Safi, K.A., J.E. Hewitt and S.G. Talman. 2007. The effect of high inorganic seston loads on prey selection by the suspension-feeding bivalve, *Atrina zelandica*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **344**: 136-148.
- Savevich, A.I. 1970. The discovering of methylamines in the culture of *Stephanodiscus hantzschii* Grun. *Gidrobiol Zhurnal* **6**: 98-100.
- Sigee, D.C., R. Glenn, M.J. Andrews, E.G. Bellinger, R.D. Butler, H.A.S. Epton and R.D. Hendry. 1999. Biological control of cyanobacteria: principles and possibilities. *Hydrobiologia* **395/396**: 161-172.
- Vaughn, C.C. and C.C. Hakenkamp. 2001. The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology* **46**: 1431-1446.
- Warwick, R.M., A.J. McEvoy and S.F. Thrush. 1997. The influence of *Atrina zelandica* Gray on meiobenthic nematode diversity and community structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **214**: 231-247.
- Weber, L.M. and D.M. Lodge. 1990. Periphytic food and predatory crayfish: relative roles in determining snail distribution. *Oecologia* **82**: 33-39.
- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*. Saunders College Publishing, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

(Manuscript received 4 July 2008,  
Revision accepted 3 September 2008)