

서로 다른 영양조건의 농업용 저수지에서 말조개의 수질개선능 비교

유영훈 · 이송희 · 황순진 · 김백호[†]

건국대학교 환경과학과

Comparisons of Water Quality Improvement Activities of Indigenous Freshwater Bivalve *Unio douglasiae* in Two Different Trophic Agricultural Reservoirs

Young-Hun You · Song-Hee Lee · Soon-Jin Hwang · Baik-Ho Kim[†]

Department of Environmental Science, Konkuk University

(Received 10 February 2010, Revised 19 May 2010, Accepted 25 May 2010)

Abstract

A indigenous freshwater bivalve *Unio douglasiae* was introduced to compare the differences in the efficacy of algal bloom control and the appearances of mussel-mediated adverse effects between two different reservoirs such as mesotrophic (Shingu r.) and hypertrophic (Seokmun r.). We constructed the study mesocosm in the shore of each reservoir, stocked the mussel at density of 30 indiv./m³ for 7 days, and measured daily the phytoplankton density and water quality. In mesotrophic reservoir, even though approximately 38% of suspended solids and chlorophyll-*a* was reduced by stocked bivalves for the first 3 days, algal density, ammonia and soluble reactive phosphorus gradually increased with increasing mussel death. In hypertrophic reservoir, mussels strongly inhibited suspended solids and chlorophyll-*a* by the termination of study with no increase of mussel death and nutrient, especially ammonia concentration. In both reservoirs, a strong selectivity showed mussels preferred to diatom rather than cyanobacteria and green algae without algal density and nutrient level. Our results indicate that an introduction of freshwater bivalve *U. douglasiae* is more strategic to improve water quality of hypertrophic than mesotrophic reservoir, but many preliminary studies on the treatment method and the selection of target water system are required.

keywords : Agricultural reservoir, Freshwater bivalve, Hypertrophic, Mesotrophic, *Unio douglasiae*, Water quality

1. 서론

담수산 이때에는 수중이나 바닥의 다양한 크기의 입자성 물질(seston)을 수확하고 배설물을 생산하여 수체와 퇴적층과의 기능적 가교(pelagic-benthic coupling) 역할을 수행하며(Jack and Throp, 2000; Vaughn and Hakenkamp, 2001), 수환경 전체에 중요한 영향을 미친다(Caraco et al., 1997; Phelps, 1994). 최근 이러한 패류들의 생리-생태학적 특성을 이용하여 부영양 저수지나 하천의 수질을 개선하려는 생물조절(biomanipulation)에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며(Dionisio Pires et al., 2005), 오염된 연못의 수질개선은 이미 잘 알려진 사실이다(Kehde and willm, 1972; Weber and Lodge, 1990). 그러나 생물조작이 물리-화학적 기술보다 반응속도가 느리며 생태계 교란 가능성이 제기되면서 현장적용에 대한 논란이 계속되고 있다.

국내에 분포하는 담수패류에는 주로 채첩, 말조개, 필조개, 콩조개, 대칭이, 칼조개, 민물담치, 귀이빨대칭이, 도끼조개 등이며 전국의 하천이나 호수의 연안에 다양한 밀도로 분포한다(권오길 등, 1993). 특히 채첩, 말조개, 필조개

등은 수온, 용존산소 및 오염내성 범위가 매우 넓고, 단위 시간당 유기물 여과율이 다른 패류에 비해 상대적으로 높아 유기물 제어 연구에 집중적으로 이용되고 있다(이연주 등, 2008a; Hwang et al., 2004). 그러나 이들 연구의 대부분은 실험실 수준에서 이루어졌으며 조류발생 수역 - 다양한 영양수준, 퇴적물 유무, 적용수심에서의 유기물 제어능과 수환경 변화에 대한 연구는 빈약한 편이다. 따라서 패류를 현장에 적용할 경우 발생할 수 있는 다양한 변화에 대한 현장실험이 절대적으로 필요하다 하겠다.

본 연구는 영양수준이 서로 다른 농업용 저수지에 퇴적물을 포함한 mesocosm을 설치하고 실내 실험에서 높은 제어능을 보였던 말조개(박구성 등, 2008; 유영훈, 2008; 이연주 등, 2008a, 2008b)를 동일한 밀도로 적용한 다음 유기물 제어능과 수환경의 변화를 비교 조사하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상 저수지

연구대상 저수지는 충남지역의 농업지대에 위치한 저수지 중 패류가 서식가능하고 영양염 농도차가 심한 두 인공저수지를 선정하였다(Table 1). 신구지(Shingu reservoir)는 보령시 주산면 신구리(N36° 17' 20", E126° 61' 20")에 위

[†] To whom correspondence should be addressed.
oel@konkuk.ac.kr

Table 1. Water environmental characteristics of two study reservoirs

Parameters	Unit	Shingu reservoir	Sukmoon reservoir
Study sites		Boryeong City	Dangjin-gun
Sampling time		2008.7.2	2008.9.30
Water temperature	°C	26.8	20.5
Electric conductivity	μS cm ⁻¹	210	540
pH		8.6	9.1
Total nitrogen	mg L ⁻¹	1.2	3.8
Total phosphorus	μg L ⁻¹	55.0	253.0
Chlorophyll-a	μg L ⁻¹	24.0	64.0
Suspended solids	mg L ⁻¹	23	81
Total phytoplankton	10 ³ cells mL ⁻¹	17,500	301,600
First and second dominant species		<i>Scenedesmus ecornis</i> <i>Staurastrum</i> sp.	<i>Anabaena spiroides</i> <i>Microcystis aeruginosa</i>

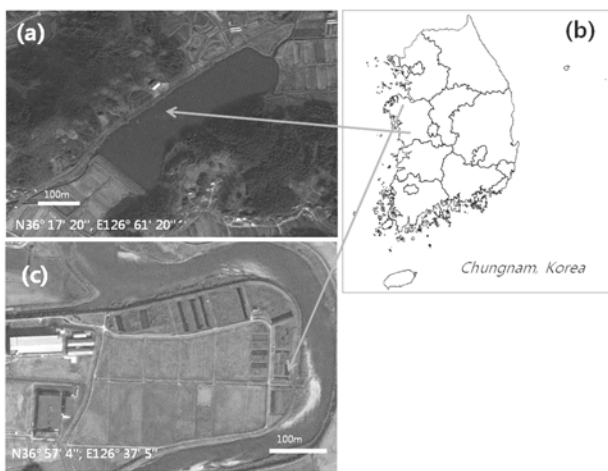


Fig. 1. Two study reservoirs. (a) Shingu reservoir, (b) Whole map of South Korea, (c) Seokmun reservoir

치하며, 전형적인 농업용 저수지로 농가에서 발생된 생활 및 축산폐수의 유입으로 인하여 부영양 상태이고, 수질은 각각 Chl-a 24 μg L⁻¹, TN 1.2 mg L⁻¹, TP 55.0 μg L⁻¹였으며, *Scenedesmus ecornis*, *Staurastrum* sp. 와 같은 녹조류가 전체의 70% 이상 우점하였다(농림수산식품부, 2008). 석문지(Seokmun reservoir)는 당진군 고대면 석문 간척지구 (N36° 57' 4"; E126° 37' 5")에 위치하며 주변의 농경지로부터 유입된 침출수와 오랜 기간 동안 쌓인 퇴적물로 인한 인하여 과영양 상태이고, 수질은 각각 Chl-a 64.0 μg L⁻¹, TN 3.8 mg L⁻¹, TP 253 μg L⁻¹였으며, 남조 *Anabaena spiroides*, *Microcystis aeruginosa* 가 전체의 90% 이상 우점하였다(농림수산식품부, 2008).

2.2. 패류채집 및 관리

실험에 사용된 국내 담수산 패류 말조개(*Unio douglasiae* Griffith & Pidgeon)는 금강하류에서 채집하여 곧바로 실험실로 운반하여 탈염 수돗물로 2회 이상 세척한 후 자체 제작한 순응조에 넣었다(이연주 등, 2008a). 순응도중 패각이 열려있거나 섭식활동이 현저히 떨어진 개체는 제거하였으며, 실험에는 건강상태가 양호한 개체만을 선별하여 사용하였다. 패류 먹이는 실험 2일 전부터 공급을 중단하였다.

2.3. 실험디자인

실험은 2008년 여름 두 저수지에서 퇴적물을 포함한 mesocosm를 설치하였고 신구지에서는 2008년 7월 2일부터 8일까지, 석문지에서는 9월 30일부터 10월 6일까지 동일한 기간(7일간) 동안 실시하였으며 실험 동안 강우의 영향은 없었다. 신구지 실험은 실험 2개월 전 저수지 연안대에 박스형 4기의 mesocosm(1.2 × 1.2 × 1.5 m)을 설치하고 mesocosm내 지속적인 조류발생을 유도하기 위하여 저수지의 퇴적물을 각 mesocosm당 70 cm³씩 넣었다. 실험은 크게 패류를 처리하지 않은 2개의 대조군과 동일한 조건에 패류를 처리한 2개의 실험군으로 구성하여 실시하였다. 패류 처리밀도는 실내 실험(이송희 등, 2008)에서 얻은 경험치를 기준으로 mesocosm 체적을 고려하여 말조개(0.03 indiv. L⁻¹)를 stainless steel로 만든 격자망(0.5 × 0.5 cm)에 넣고 mesocosm의 수심 50~80 cm 위치시켰다. 석문지 실험은 실험 1주일 전에 4기의 격자형 mesocosm(10 × 5 × 1 m)를 설치하고 mesocosm 바닥은 퇴적층이 노출되도록 제작하였다. 단 각 mesocosm 하단부에 금속 추를 달아 퇴적층 약 5 cm 정도에 묻히게 하였다. 패류 처리밀도는 신구지와 동일하며, 어망용 그물(1 × 1 cm)을 mesocosm 수심 50~80 cm 위치에 설치하여 패류가 신구지 실험처럼 저수지 바닥으로부터 떨어지게 위치시켰다. 실험은 신구지와 동일하게 2개의 대조군과 2개의 실험군으로 구성하고 실험군에는 말조개(0.03 indiv. L⁻¹)를 처리하였다. 두 실험에서 패류 처리 후 각 mesocosm의 수환경 변화를 파악하기 위하여, 환경요인 측정과 시료채취는 매일 동일한 시간(AM 11:00)에 실시하였다. 수질 및 생물시료는 column 채수기로 채수한 다음 현장에서 고정하고 ice box에 넣어 곧바로 실험실로 운반하였다. 영양염 및 Chl-a 분석은 실험실로 운반한 후 1 주일 이내에 분석하였다.

2.4. 환경요인과 식물플랑크톤분석

패류 처리에 따른 수환경 변화는 크게 환경요인과 생물요인으로 구분하여 조사하였다. 환경요인 - 수온, 용존산소, pH, 전기전도도, 탁도 등은 다항목 수질측정기(YSI-6920 MDS, Yellow springs instruments, USA)를 이용하여 현장에서 직접 측정하였다. 영양염은 각 mesocosm에서 column 채

수기로 채수하여 4 L PE병에 넣고 ice box에 넣어 실험실로 운반하였다. NO₂-N은 Colorimetric법, NO₃-N은 cadmium reduction법, NH₃-N는 phenate법, TN은 cadmium reduction법, PO₄-P은 ascorbic acid법, TP은 persulfate 분해 후 ascorbic acid법으로 용존무기인 농도를 측정하였다(APHA, 1995). 부유물질(SS)은 시료를 미리 무게를 잰 GF/C filter(Whatman Inc., England)로 filtering한 후 dry oven에서 24시간 건조한 후 filter paper의 무게차이를 측정하는 방법을 이용하였다. 식물플랑크톤 세포수는 시료 100 mL를 채취하여 Lugol로 고정하고 균일하게 혼합시킨 후 Sedgwick-Rafter chamber를 이용하여 광학현미경(Axiostar plus, ZEISS, Germany)하에서 계수하였다.

2.5. 자료분석

패류 처리에 따른 환경 및 생물요인의 변화를 파악하기 위하여 SPSS package(SPSS inc., 2004 release)를 이용하여 ANOVA를 실시하였고, 유의수준은 P<0.05으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수환경의 변화

패류 처리 이후 두 저수지 실험에서 공통적으로 뚜렷한 전기전도도 증가를 보였으며 다른 요인들은 저수지에 따라 차이를 나타냈다(Fig. 2). 신구지의 경우, 실험초기에는 용존산소(DO), pH 및 부유물질(SS) 감소가 뚜렷하였으나 시

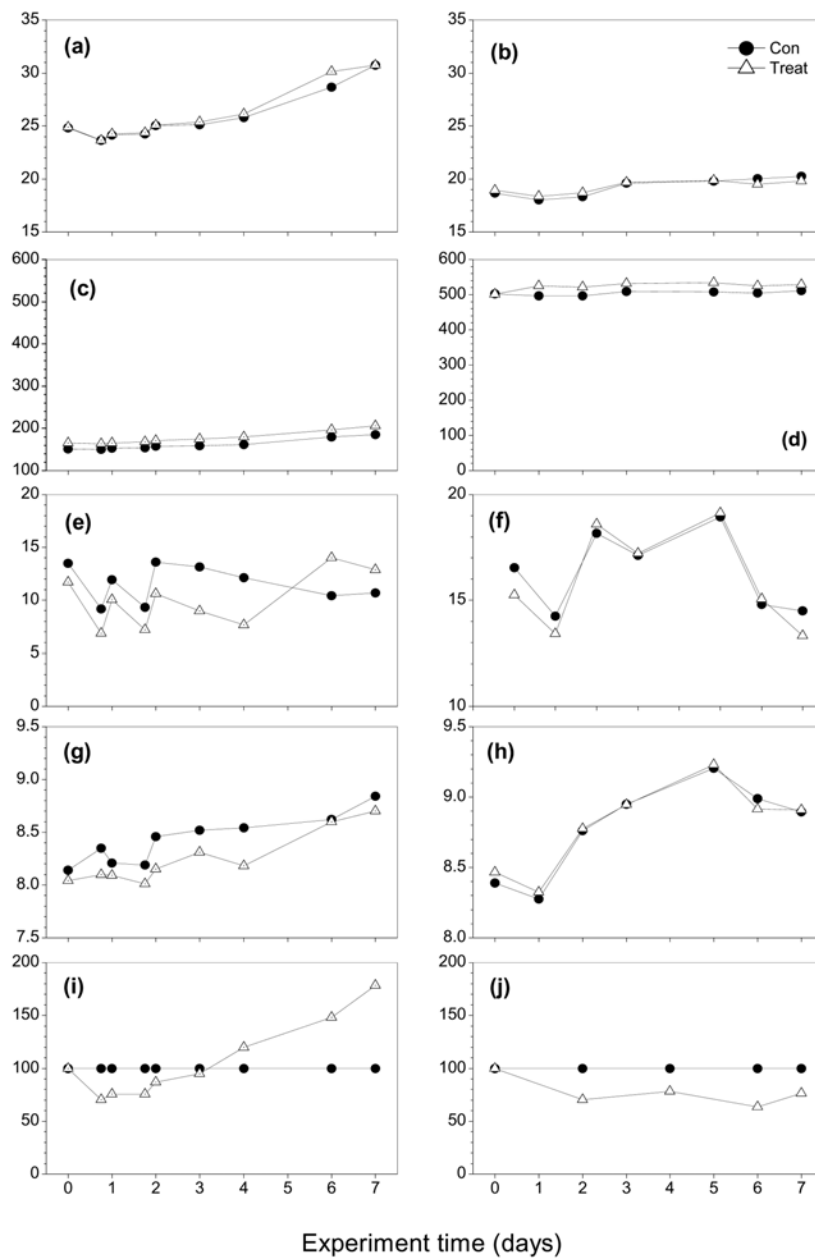


Fig. 2. Changes in water temperature (°C; a, b), electric conductivity (µS cm⁻¹; c, d), dissolved oxygen (mg L⁻¹; e, f), pH (g, h), and suspended solids (%; i, j) in the absence (Con) and presence (Treat; 0.03 ind. L⁻¹) of bivalve *Unio douglasiae* for 7 days. Alphabets in left and right figures were of Shingu reservoir and Seokmun reservoir, respectively.

간이 경과함에 따라 오히려 증가하였다. 이러한 현상은 패류 처리 4일 이후부터 일어났으며 SS 역시 실험종료일에는 대조군의 약 180% 정도 높은 수준을 나타냈다. 한편, 석문지에서는 실험기간 동안 DO와 pH는 유의한 변화를 보이지 않은 반면(ANOVA, P>0.5), SS는 대조군에 비해 실험종료까지 25~45% 낮은 수준을 보였다(Fig. 2). 이에 반해 석문지에서는 DO는 크게 변하지 않았고 SS 감소 역시 크지 않았는데 이는 남조류 발생과 같은 높은 식물플랑크톤 밀도가 생산하는 DO와 SS가 패류의 호흡이나 섭식활동에 크게 영향을 받지 않았음을 추정할 수 있었다. 한편 신구지에서는 3일째부터 사망된 패류가 관찰되었는데 4일 이후 식물플랑크톤의 증가(DO, SS 증가)가 패류의 배설물 및 사

체에서 용출된 영양염이 식물플랑크톤 성장에 영향을 준 것으로 판단된다(농림수산식품부, 2008). 패류의 주된 사망 원인은 아직 정확하게 알 수 없으나 mesocosm에 넣었던 신구지 퇴적물(수심 2.0 m)과 패류 서식환경(모래퇴적물)의 차이에서 비롯된 것으로 판단되었다.

3.2. 질소와 인 농도 변화

패류 처리이후 수중내 질소계열 영양염의 변화는 두 저수지에서 뚜렷한 차이를 나타냈다(Fig. 3). 신구지에서는 총질소와 암모니아 농도가 시간의 증가에 따라 점차 증가한 반면, 질산과 아질산은 유의한 변화를 보이지 않았다. 이에 반해 석문지에서는 총질소와 암모니아는 물론 질산과 아질

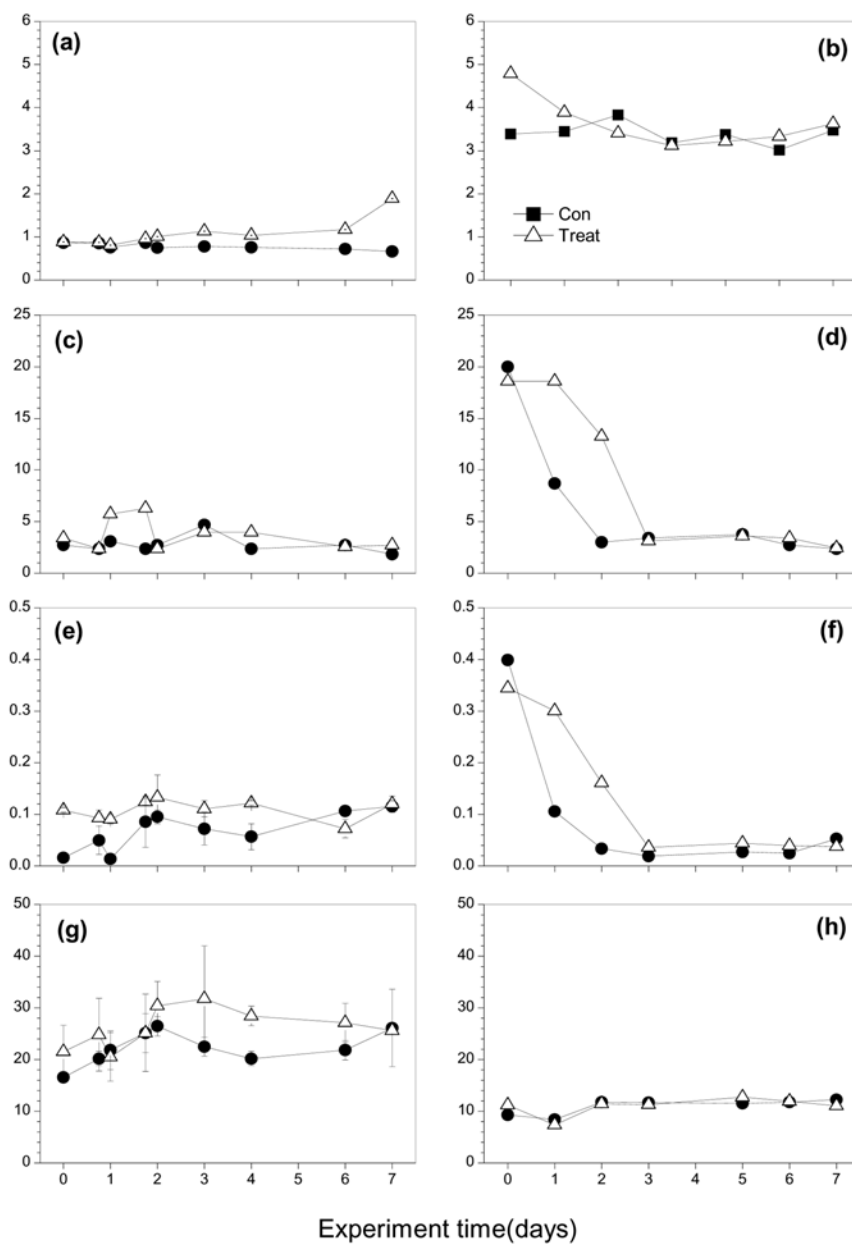


Fig. 3. Changes in total nitrogen (mg L⁻¹; a, b), NO₂-N (µg L⁻¹; c, d), NO₃-N (µg L⁻¹; e, f), and NH₃-N (µg L⁻¹; g, h) in the absence (Con) and presence (Treat; 0.03 ind. L⁻¹) of freshwater bivalve *Unio douglasiae* for 7 days. Alphabets in left and right figures were of Shingu reservoir and Seokmun reservoir, respectively.

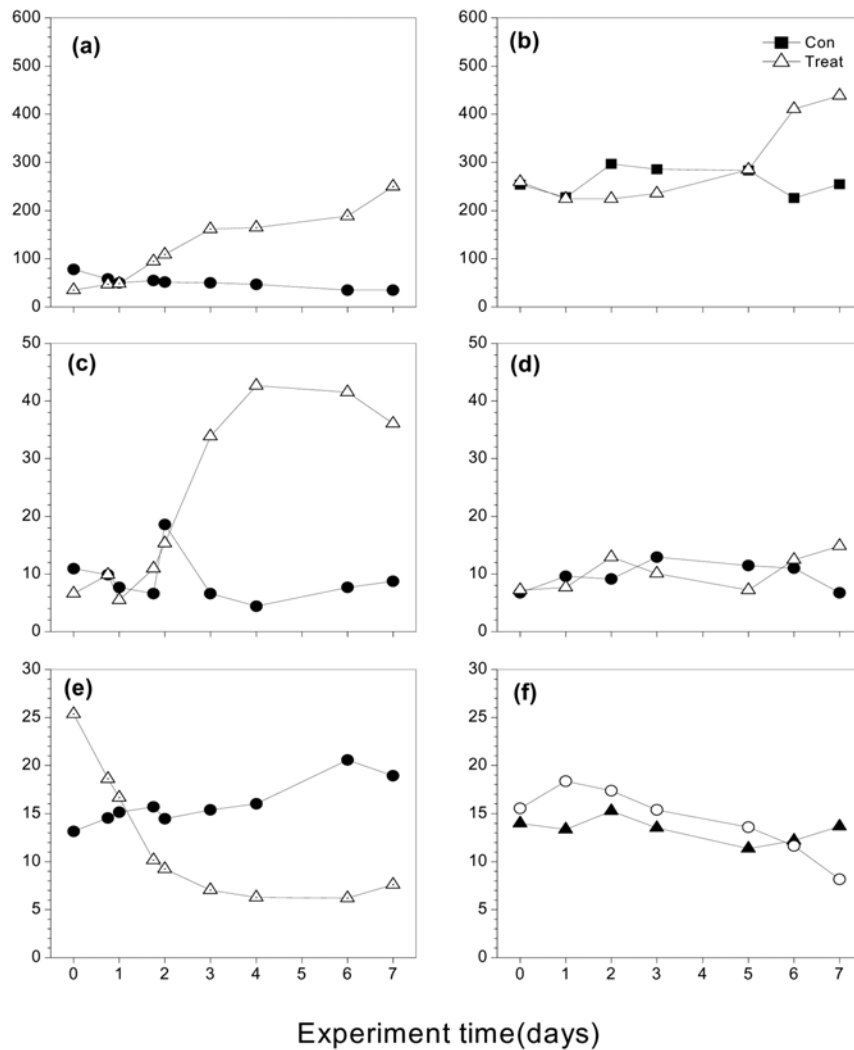


Fig. 4. Changes in total phosphorus ($\mu\text{g L}^{-1}$; a, b), $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g L}^{-1}$; c, d), and N/P ratios (e, f) in the absence (Con) and presence (Treat; 0.03 ind. L^{-1}) of bivalve *Unio douglasiae* for 7 days. Alphabets in left and right figures were of Shingu reservoir and Seokmun reservoir, respectively

산 역시 실험초기에는 대조군보다 다소 느리게 감소하였으나 시간의 증가에 따라 거의 비슷한 수준을 유지하였다. 실내실험에서 말조개 처리시 수중내 암모니아의 증가는 이미 보고된 바 있으나(이송희 등, 2009), 신구지에서 처럼 총질소의 증가는 패류의 폐사 또는 이로 인한 낮은 섭식활동이 원인으로 사료되었다. 그러나 석문지에서 패류 처리 이후 총질소와 암모니아 농도의 뚜렷한 변화를 보이지 않은 것은 새로운 사실이다. 최근 이주환 등(2009)은 부영양 저수지의 현장수 실험에서 패류 처리조를 통과한 총질소는 뚜렷하게 감소한 반면, 암모니아 농도는 증가한다고 보고하였다. 결국 실험초기부터 두 영양염의 농도가 높은 수준을 유지하였던 석문지와 같은 조건에서는 패류 도입에 따른 영양염 변화가 크지 않을 것으로 판단되었다. 또한 신구지의 총인 및 용존인 농도는 패류처리 3일 이후부터 뚜렷한 증가를 보인 반면, 석문지에서는 실험후반에 약간 증가하였으며 질소계열처럼 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 3). 한편, 신구지에서는 패류 처리이후 TN/TP비(mass balance)가

25.0~6.0까지 급격하게 감소하였으나 석문지에서는 15.0~10.0까지 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 4). 이상의 결과를 종합하면, 영양염 조건이 뚜렷하게 차이를 보인 두 저수지에서 패류의 도입으로 인한 수환경변화는 질소와 인의 초기농도에 따라 차이를 보이며, 결국 패류의 유기물 제어능 역시 크게 영향을 받을 것으로 판단되었다.

3.3. 식물플랑크톤 밀도 변화

패류 적용에 따른 두 저수지의 식물플랑크톤 현존량은 영양염과 동일하게 저수지에 따라 차이를 나타냈다(Fig. 5). 신구지에서 총 식물플랑크톤 현존량은 패류 처리 1일째부터 크게 감소하다가 실험 5일째부터 대조군과 유사한 수준을 보였다. 현존량 변화 (감소)가 가장 큰 그룹은 남조와 규조였으며, 녹조 *Scenedesmus ecornis* 와 *Staurastrum sp.* 는 초기에만 감소하다가 처리 3일째부터 오히려 크게 증가하였다. 석문지에서는 처리 2~3일 동안에만 일시적인 감소를 보인 반면 그 동안 우점하였던 남조 *Anabena spiroides*,

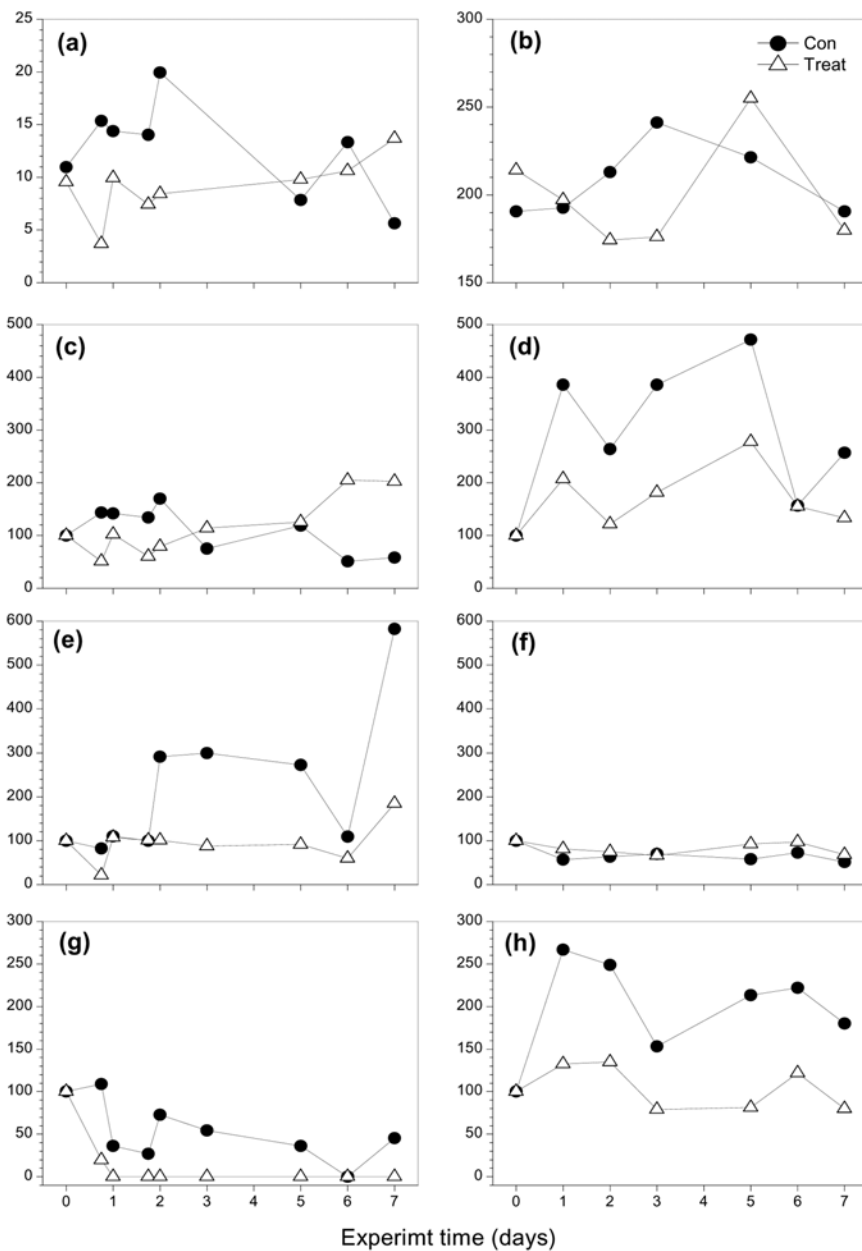


Fig. 5. Changes in total phytoplankton cell density (10^3 cells mL^{-1} ; a, b), green algae (c, d), cyanobacteria (e, f), and diatom (g, h) in the absence (Con) and presence (Treat; 0.03 ind. L^{-1}) of bivalve *Unio douglasiae* for 7 days. Alphabets in left and right figures were of Shingu reservoir and Seokmun reservoir, respectively.

Microcystis aeruginosa 는 거의 감소하지 않았고 녹조와 규조만 뚜렷하게 감소하였다.

지금까지 말조개와 형태적으로 유사한 쌍각조개(*Atrina zelandica*)는 먹이형태나 크기에 따라 선택적인 섭식능력을 갖는다고 알려져 있으나(Safi et al., 2007; Warwick et al., 1997), 재첩과 말조개 등은 아직 불분명하다(Hwang et al., 2004). 본 연구에서처럼 패류의 장 분석을 시도하지 않았으며, 패류도입이후 식물플랑크톤 중 천이가 발생한 경우 먹이선택성 여부를 판단하는 것은 더욱 어렵다. 일반적으로 규조는 다른 분류군에 비하여 상대적으로 불포화지방산 함유량이 높아 동물플랑크톤과 같은 섭식자들이 선호

한다고 알려져 있으나(Brett et al., 1992), 운동성이 낮고 기계적인 여과활동이 강한 패류에서 먹이선택성에 대한 판단은 제한된 먹이를 대상으로 섭식실험을 진행한 다음 장 조사 또는 동위원소 추적과 같은 추후 연구가 필요하다고 판단되었다.

3.4. 패류를 이용한 수질개선의 논란

패류를 이용한 수체내 유기물 제어는 영양염 농도에 상관없이 격리된 mesocosm내에서는 제한적으로 가능하리라 판단되었다. 그러나 현장에 직접 적용할 경우, 생물조작의 효과나 수환경에 미칠 부정적 영향을 제거할 수 있을 지

의문이며 추가적인 연구가 반드시 요구되었다. 첫째, 신구지에서는 처리 3일째부터 패류가 사망하면서 비롯되는 영양물질이나 퇴적물로부터 용출된 용존성 영양염이 오히려 식물플랑크톤 성장을 유도할 수 있기 때문에 대상저수지나 적용방법에 대한 타당성 검토가 필요하다. 신구지의 실험 기간 동안 수온이 상대적으로 높았으며, 처리이후 증가된 암모니아에 의한 패류사망이 더욱 촉진된 것으로 예상되는바(황순진 등, 2010), 처리시기에 대한 예비실험이 절대적으로 요구되었다. 둘째, 남조류가 대발생한 부영양 저수지에 패류를 적용할 경우, 배출된 영양염이 수질이나 패류 사망에 크게 작용하지 않았다. 그러나 유기물 제어능은 크지 않아 추가적인 패류 도입이 요구되었으나 동시에 예상되는 배설물(biodeposition)의 침전으로 인한 혐기화가 예상되었다(황순진 등, 2010). 셋째, 패류를 이용한 생물조작 연구에서 공통적으로 발생한 부작용은 수체내 영양염의 증가이다(Dame, 1993; Stoeck and Albers, 2000). 이는 새로운 조류 발생의 근간이 되며, 독소나 다른 생물에 피해가 적은 분류군으로 천이가 일어나더라도 수체내 유기물량의 절대적인 증가를 가져와 실험목표에 부정적이다. 따라서 패류를 이용한 유기물(조류) 제어와 같은 수질개선 연구는 패류도입 이후 패류자체나 수질에 부정적인 영향을 나타낼 가능성이 높기 때문에 패류와 현장수가 서로 분리된 기술(예, CROM, 김백호 등, 2009)에 대한 연구가 필요하다 하겠다.

4. 결론

영양염 조건이 서로 다른 농업용 저수지(신구지, 석문지)에 mesocosm를 설치하고 국내산 이매패 말조개를 도입한 다음 수질환경의 경시적 변화를 각각 조사하였다.

- 1) 영양염 농도가 낮은 신구지에서는 부유물질이 38% 감소하였으며, 처리후 3일부터 패류와 동시에 용존성 영양염(NH₃-N, PO₄-P)과 입자성 물질(부유물질, 식물플랑크톤 현존량)의 농도가 급증하였다.
- 2) 영양염 농도가 높은 석문지에서는 실험종료일까지 지속적으로 패류의 유기물 제어능을 보였으며 패류의 사망이나 영양염 증가 현상은 나타나지 않았다.
- 3) 말조개는 고밀도의 남조나 녹조보다 저밀도 규조에 대한 제어 효과가 상대적으로 높았다.

따라서 국내산 말조개를 이용한 부영양 농업용 저수지의 수질개선 가능성은 입증되었으나 패류도입 이전에 대상저수지와 처리방법 등에 충분한 조사와 이해가 요구되었다.

사 사

본 연구는 학술진흥재단 기초연구과제(KRF-2008-313-D00587)에 의해 수행되었으며 현장실험에 도움을 주신 박명환 님께 감사드립니다.

참고문헌

권오길, 박갑만, 이준상(1993). *원색한국패류도감*, 아카데미서적.

김백호, 이주환, 김용재, 황수옥, 황순진(2009). 포천천 수질 개선을 위한 패류의 이용 하천형 유기물 제어(S-CROM) 기술의 적용. *한국하천호수학회지*, **42**, pp. 317-330.

농림수산식품부(2008). *생물조절(먹이연쇄)을 통한 농업용저수지 수질관리 기법개발*. 최종보고서(306009-03). 건국대.

박구성, 김백호, 엄한용, 황순진(2008). 남조류 대발생 환경에서 수심과 용존산소 변화에 따른 담수산 이매패(말조개)의 생존율, 여과율 및 배설물 생산. *한국하천호수학회지*, **41**, pp. 50-60.

유영훈(2008). 저온기 부영양 수계의 구조발생에 대한 한국산 논우렁이의 섭식특성. *한국하천호수학회지*, **41**, pp. 338-347.

이승희, 백순기, 황순진, 김백호(2009). 부영양호수의 저온기와 고온기 식물플랑크톤에 대한 말조개의 섭식능 비교. *한국하천호수학회지*, **42**, pp. 115-123.

이승희, 황순진, 김백호(2008). 저온기 구조 발생억제를 위한 패류의 혼합적용. *한국하천호수학회지*, **41**, pp. 402-411.

이연주, 김백호, 김난영, 엄한용, 황순진(2008a). 수온, 먹이농도, 패각 크기가 *Microcystis aeruginosa*에 대한 말조개의 여과율 및 배설물 생산에 미치는 영향. *한국하천호수학회지*, **41**, pp. 61-67.

이연주, 김백호, 황순진(2008b). 북한강 수계에 분포하는 말조개의 남조류 섭식특성. *한국하천호수학회지*, **41**, pp. 367-373.

이주환, 황순진, 박선구, 황수옥, 유춘만, 김백호(2009). CROM를 이용한 부영양 저수지의 유기물제어: 이매패의 종 특이성에 대하여. *한국하천호수학회지*, **42**, pp. 350-363.

황순진, 박구성, 백순기, 김백호(2010). 부영양 저수지에서 국내 담수산 패류가 수질에 미치는 영향. *수질보전 한국물환경학회지*, **26**, pp. 148-155.

APHA. (1995). *Standard methods of the examination of water and wastewater* (19th ed). American Public Health Association, Washington, D. C.

Brette, M., Martin, L., and Kawecki, T. J. (1992). An experimental test of the egg-ratio method: Estimated versus observed death rates. *Freshw. Biol.*, **28**, pp. 237-248.

Caraco, N. F., Cole, J. J., Raymond, P. A., Strayer, D. L., Pace, M. L., Findlay, S. E. G., and Fischer, D. T. (1997). Zebra mussel invasion in a large, turbid river: Phytoplankton response to increased grazing. *Ecology*, **78**, pp. 588-602.

Dame, R. F. (1993). *Bivalve filter feeders in estuarine and coastal processes*. NATO ASI Series G: *Ecology Science*, **33**, Springer.

Dionisio Pires, L. M., Bontes, B. M., Van Donk, E., and Ibblings, B. W. (2005). Grazing on colonial and filamentous, toxic and non-toxic cyanobacteria by the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *J. Plankton Res.*, **27**, pp. 331-339.

Hwang, S. J., Kim, H. S., Shin, J. K., Oh, J. M., and Kong, D. S. (2004). Grazing effects of a freshwater bivalve (*Corbicula leana* PRIME) and large zooplankton on phytoplankton communities in two Korean lakes. *Hydrobiologia*, **515**, pp. 161-179.

Jack, J. D. and Thorp, J. H. (2000). Effects of the benthos suspension feeder *Dreissena polymorpha* on zooplankton in a large river. *Freshwater Biol.*, **44**, pp. 569-579.

Kehde, P. M. and Wilhm, J. L. (1972). The effects of grazing by snail on community structure of periphyton in laboratory streams. *Am. Naturalist*, **22**, pp. 8-24.

Phelps, H. L. (1994). The asiatic bivalve (*Corbicula fluminea*):

- invasion and system-level ecological change in the Potomac River estuary near Washington D. C. *Estuaries*, **17**, pp. 614-621.
- Safi, K. A., Hewitt, J. E., and Talman, S. G. (2007). The effect of high inorganic seston loads on prey selection by the suspension-feeding bivalve, *Atrina zelandica*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **344**, pp. 136-148.
- Stoeck, T. and Albers, B. P. (2000). Microbial biomass and activity in the vicinity of a mussel bed built up by the blue mussel *Mytilus edulis*. *Helgoland Marine Research*, **54**, pp. 39-46.
- Vaughn, C. C. and Hakenkamp, C. C. (2001). The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems. *Freshwater Biol.*, **46**, pp. 1431-1446.
- Warwick, R. M., McEvoy, A. J., and Thrush, S. F. (1997). The influence of *Atrina zelandica* Gray on meiobenthic nematode diversity and community structure. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **214**, pp. 231-247.
- Weber, L. M. and Lodge, D. M. (1990). Periphytic food and predatory crayfish: relative roles in determining snail distribution. *Oecologia*, **82**, pp. 33-39.