

## 부영양호의 enclosure내에서 어류의 밀도조절이 수질 및 플랑크톤 군집에 미치는 영향

김백호\* · 최민규 · 황수옥<sup>1</sup> · 高村典子<sup>2</sup>

원광대학교, <sup>1</sup>한국수자원공사, <sup>2</sup>일본국립환경연구소

Effects of Stocking and Removal of Silver Carp on Plankton Communities in a Shallow-hypertrophic Lake. Kim, Baik-Ho, Min-Kyu Choi, Su-Ok Hwang<sup>1</sup> and Noriko Takamura<sup>2</sup> (Institute for Environmental Science, Wonkwang University, 344-2, Shinyong-dong, Iksan, Chollabuk-do 570-749, Korea, <sup>1</sup>Juam Dam Office, Korea Water Resources Corporation, 212-1 Yongkae-ri, Sangsa-myeon, Suncheon 540-860, Korea, and <sup>2</sup>National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-0053, Japan)

To evaluate the influences of stocking and removal of silver carp on plankton communities and physicochemical parameters, fish biomanipulation was conducted in six enclosures constructed on the coast of a hypertrophic lake during the summer of 1997. Of these, three enclosures were established for the fish-stocking experiment; one fishless enclosure used as a control and two enclosures with high and low densities of fish. The other three enclosures for the fish-removal experiment were prepared in an entirely converse process compared to that for fish stocking. The results of randomized intervention analysis ( $\alpha = 0.05$ ) showed significant changes in several physicochemical parameters and plankton communities after fish stocking and removal. Fish stocking decreased water transparency, DO, pH and chl-*a* ( $>40 \mu\text{m}$ ), while increasing the concentration of nitrogen and chl-*a* ( $<2 \mu\text{m}$ ). However, water transparency did not increase by fish removal. Small plankton communities, such as picocyanobacteria, eukaryotic picoplankton and ciliates ( $<20 \mu\text{m}$ ) showed significant reciprocal changes after both fish treatments: increase by the presence of fish and decrease by the absence of fish. No count of large sized phytoplankton and zooplankton showed significant change in the presence of fish, while large zooplankton, *Diaphanosoma*, *Cyclopoïda* and nauplii were significantly increased by fish removal. Although the frequent heavy-winds and endless supply of phosphorus from the lake sediment strongly disturbed the fish behavior and enclosure management, the stocking and removal of silver carp showed an obvious reciprocal influences on plankton communities and its physico-chemical parameters in a shallow-hypertrophic lake.

**Key words :** Fish biomanipulation, Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.), Cascade effect, Aquatic organism, RIA analysis

\* Corresponding author: Tel: 063) 850-7162, Fax: 063) 852-9115, E-mail: tigerk@gaebyok.wonkwang.ac.kr

## 서 론

수중생태계의 상위영양단계에 속하는 어류의 도입 또는 제거는 하위생물그룹에 대한 섭식압력이 점차적으로 전달되어 최종적으로 식물플랑크톤의 감소를 유도하거나 (top-down), 어류나 동물플랑크톤에 의해 소화과정 및 섭식과정을 통해 생성된 다양한 크기의 유, 무기물이 다시 박테리아나 미소플랑크톤을 거쳐 상위그룹에 먹이를 재공급하는 (bottom-up), 이른바 trophic cascade를 보인다 (Brooks and Dodsons, 1965; Shapiro *et al.*, 1975; Carpenter and Kitchell, 1984; Post and McQueen, 1987). 생물조작 (Biomanipulation)은 포식성 어류가 1차적으로 수중 동물플랑크톤을 섭취하는 어류를 제어함으로써 지금까지 섭식압력을 받아왔던 대형동물플랑크톤이 상대적으로 양적 증가하게 되고 (Gliwicz and Pijanowska, 1989), 이들은 다시 연쇄적으로 조류의 현존량, 투명도, 인, 질소 등의 농도변화를 유도하게 한다 (Post and McQueen, 1978; Horn, 1991; Sarnelle, 1992).

최근에 이런 조작기술은 중위도 지역을 경계로 하는 여러 나라에서 부영양호수나 연못 등의 수질회복에 응용되고 있다 (Shapiro and Wright, 1984; Carpenter *et al.*, 1985, 1987; McQueen, 1990; Shapiro, 1990; Findlay *et al.*, 1994).

수중내 어류투입은 조류와 같은 하위그룹의 생물량을 인위적으로 감소시킴으로서, 수질변화와 경제성을 동시에 추구하지만, 최근 외래어나 외래성 갑각류 등을 도입한 결과, 고유종의 소멸, 새와 포유류 감소, 부영양화의 유도 등 생태계의 혼란 (Morgan *et al.*, 1978; Rieman and Falter 1981; Spencer *et al.*, 1991; Goldschmidt *et al.*, 1993)은 물론 어류투입 이후 뚜렷한 효과가 없다는 보고도 있다 (DeMelo *et al.*, 1992).

특히 기존 연구들은 대부분 어류의 도입효과에 따른 생물-환경요인들의 변화에 국한되었을 뿐, 어류의 제거 효과에 대한 연구는 빈약하며 (Tuzun and Mason, 1996), 실제 자연조건에 방류할 어종, 투입밀도, 수확량과 시기, 다른 생물군과 먹이관계 등, 그 어류관리 및 운용에 어려움도 많다 (Fukushima *et al.*, 1999).

본 연구는 백련어의 도입-제거 조작이 수중 플랑크톤 군집 및 환경에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 하계에 남조 및 규조가 집중 발생하는 과영양호수 연안대에 6 enclosure를 설치하고, 어류도입 및 제거 전후의 bacteria, picocyanobacteria (PCB), autotrophic nanoflagellates (ANF), heterotrophic nanoflagellates (HNF), eu-

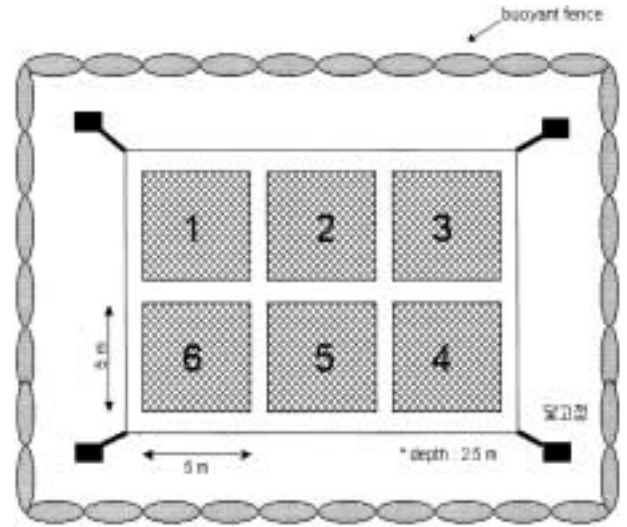


Fig. 1. Diagram showing six enclosures constructed for fish biomanipulation.

karyotic picoplankton (EPP), 등, 식물플랑크톤, 섬모충 등의 현존량 및 물리화학적 환경요인의 변화를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. Enclosure의 설치

본 실험에 이용된 enclosure는 일본의 대표적인 과영양호의 하나인 Kasumigaura호의 연안대(수심 2.5~3.0 m)에 설치하였다. 각 enclosure의 크기와 체적은 가로-세로-수심이 5×5×2.5 m인 총 62.5 m<sup>3</sup>이다 (Fig. 1). 설치장소는 바람의 영향을 최소화하기 위하여, 이 호수의 정기조사선이 정박하는 dock의 한 중앙으로, 각 enclosure의 모서리에 선박용 로프로 묶고 닻을 이용하여 잠수부가 직접 호수바닥에 고정시켰다. Enclosure의 외측으로부터 4~5 m 정도 떨어진 부근에는 큰 파도와 부유물 접근을 차단하기 위해 연결부표를 설치하였다. 또한 호수의 생물 및 물의 교류를 막기 위하여, 백색의 polyester-teflon 막을 수면위로 50 cm 나오게 하고, 막의 아래쪽은 퇴적층 안까지 파묻어 호수와는 enclosure바닥을 통하여 물의 교환이 가능하게 제작되었다 (Ravera, 1989). 투입된 어류의 손실 및 호수로부터 어류의 침입을 막기 위하여, 막의 안쪽을 1층의 그물 망(mesh size, 5 mm)으로 싸고, enclosure의 윗부분 역시 그물 망(mesh size, 1 cm)으로 덮었다. 시료의 채취, 침전 및 광합성 실험을 위해 윗 그물의 중앙에 직경 50 cm 정도의 구멍을

**Table 1.** Summary of fish stocking and removal experiments in six enclosures.

Enclosure	Fish density	Fish biomass (g/m <sup>3</sup> )	Experimental period	Experiments
1	15	20.9	5/22~7/23	Stocking
2	57	78.8	5/22~7/23	Stocking
3	-	-	-	Stocking control
4	38	22.0/56.3	5/22~9/18	Removal control
5	57	37.4	7/23~9/18	Removal
6	15	9.1	7/23~9/18	Removal

뚫었으며, enclosure 중앙까지는 폭 30 cm 철사다리를 설치하였다. 실험기간 동안 전 enclosure의 윗 그물에 의한 빛의 차단은 약 78% 정도이며, 호소의 연평균 총인 및 총질소의 농도는 각각 0.095 mg/L와 1.150 mg/L이다 (Takamura *et al.*, 1996).

## 2. 실험개요

Enclosure 실험에 사용된 어류와 전체적인 실험개요는 Table 1과 같으며, 실험은 크게 전기 (1997, 5/22~7/23)와 후기 (1997, 7/23~9/18)로 구분하여 실시하였다. 어류의 투입 및 제거분기점은 투입되지 않았던 enclosure에 어류투입과 미리 투입된 enclosure에서의 어류제거를 의미하며, 본 실험의 중간 지점인 7월 23일에 동시에 이루어졌다. 또한 실험도중 각 enclosure로부터 어류손실의 확인 및 보충을 위하여, 7월 14일과 8월 13일에 각각 1회씩 확인조사를 실시하였다. 조사는 소형그물을 이용하여 enclosure내 어류의 숫자 확인 및 호수바닥을 통해 유입된 다른 어종의 제거작업과 동시에 어류의 체중 및 체장을 측정하였다. 어류의 투입실험(실험 1)은 북쪽의 enclosure 1, 2 및 3에서, 제거실험(실험 2)은 남쪽의 enclosure 4, 5 및 6에서 각각 실시되었다. 실험1은 5월 22일 부터 7월 23일까지 어류가 없었던 enclosure 1(저밀도)과 enclosure 2(고밀도)에 어류를 투입하였으며, 대조군인 enclosure 3은 실험이 끝나는 9월 18일까지 어류를 투입하지 않았다. 실험 2는 5월 22일부터 7월 23일 동안 enclosure 5(고밀도)와 6(저밀도)에 각각 어류를 투입하여 배양하다가, 7월 23일 동시에 제거하였으며, 대조군인 enclosure 4는 enclosure 5와 6의 중간밀도의 어류를 투입 실험종료일까지 계속 배양하였다.

## 3. 물리화학적 환경요인 조사

현장조사는 1997년 5월 22일부터 동년 9월 18일까지 주 2회씩 총 35회를 실시하였으며, 실험동안 5회의 태풍

과 초속 10 m/sec 이상의 바람이 약 20회 정도 불었다.

전기실험동안 태풍에 (17.9 m/sec, 6월 20일) 의한 enclosure 1과 2의 일시적인 침수가 있었으나 24시간 이내에 복구하였다. 풍향은 NE, ENE, E, SSW, SW, WSW 등이 60% 이상을 차지하였고, 이 중 ENE, E, SW가 가장 높은 빈도를 보였다. 각 enclosure의 광도, 투명도, 수온, pH, DO는 현장에서 직접 측정하였으며, 수온 및 용존산소는 각각 0 m(수면바로 밑), 1 m 및 2 m에서 휴대용 측정기(YSI model 58), pH는 휴대용 pH meter (TOA HM-12p), 투명도는 Secchi disc(직경 30 cm)를 이용하여 측정하였다. 광도는 Quantum sensor LI-1000가 부착된 DataLogger LI-COR ( $\mu\text{mols}^{-1} \text{m}^{-2}$  per  $\mu\text{A}$ )를 이용하여, 그물 위, 그물 밑, 10-20, 25, 50, 75, 100, 150, 200 cm, 그리고 호소바닥까지 측정하였다.

실험현장의 풍향 및 풍속의 자료는 일본 국립환경연구소 임호실험실에 설치된 자동측정기를 이용하였다.

## 4. 시료 및 생물체집

생물시료 및 영양염류 분석을 위한 채수는 각 enclosure의 중앙 홀을 통해, 직경 5 cm, 길이 218 cm 수직채수기(체적 4.7 L, 투명 아크릴제)를 사용하였으며, 시료의 저장 및 운반을 위해 얼음을 채운 Ice box을 이용하였다. 영양염은 Standard methods (APHA, 1995)에 따라 분석하였고, bacteria, PCB, ANF, HNF, EPP 및 식물플랑크톤의 산정은 Takamura *et al.* (1996)의 방법에 따라 계수하였다. Chl-*a*는 크기별로 4단계로 분획하여 (>40  $\mu\text{m}$ , 10~40  $\mu\text{m}$ , 2~10  $\mu\text{m}$ , <2  $\mu\text{m}$ ), 90% methanol로 -20°C에서 24시간 추출하고 HPLC법으로 측정하였다 (Takamura *et al.*, 1996). 동물플랑크톤은 수직채수기로 1회 채수하여 플랑크톤 net (NXXX25, ca.94  $\mu\text{m}$ )로 여과한 후, 10% sugar formalin으로 고정하여, 해부현미경(Nikkon, Tokyo)하에서 동정 및 개체수를 계수하였다. 식물플랑크톤의 계수는 Lügol iodine액으로 고정한 후, Utermöhl (1958)에 따라 도립현미경(Nikon, Tokyo)하에서 동정 및 개체수를 산정하였다. 섬포충류는 2% glutaraldehyde로 고정하고, 50 mL를 12시간동안 침전시킨 후, 도립현미경(Nikon, Tokyo)하에서 검경하였다.

## 5. 자료분석 및 통계처리

어류의 투입 및 제거의 효과분석은 인위적 실험조작 이후 각 수중요인들의 시간적 변화의 유의성을 검정하는데 이용되는 Randomized Intervention Analysis (RIA)을 실시하였다 (Carpenter *et al.*, 1989). RIA 분석은 어류 투입의 경우, 어류가 없었던 enclosure (1, 2)에 어류를

투입하고 어류를 계속 투입하지 않았던 enclosure (3)와 의 각 요인들의 차이를 통계적으로 검정하였고, 제거실험의 경우, 이미 어류를 투입하였던 enclosure (5, 6)로부터 어류를 제거한 후, 실험종류까지 계속적으로 어류를 투입한 enclosure (4)와의 차이를 분석하였다. 분석항목으로는 각 enclosure의 투명도, DO, pH, 질소(NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N), 인산(PO<sub>4</sub>-P), 크기별 엽록소 분획(>40 µm, 40~10 µm, 10~2 µm, <2 µm), bacteria, PCB, EPP, ANF, HNF, 우점플랑크톤, 예를들면, *Aphanocapsa*, *Lyngbya*, *Merismopedia*, *Oscillatoria*, *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Cyclopoida*, *Calanoida*, *Nauplii*, 섬모충(<20 µm, 20~60 µm) 등이었으며, 통계적 유의수준은 0.05이었다.

## 결 과

### 1. 물리화학적 환경요인에 미치는 영향

어류투입이후, 투명도는 어류밀도와 관계없이 뚜렷하게 감소하였으며, 고밀도에서만 유의한 용존산소 및 pH 감소를 보였다(Table 2). 예상했던 대로, 고밀도 어류의 투입은 질소(NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N)를 증가시킨 반면, 대형조류(chl-*a* >40 µm)의 감소와 소형조류(chl-*a* <2 µm)의 증가 등이 분명하였다. 어류의 제거와 투입실험은 대체적으로 정반대현상을 보였으나, 인이나 식물플랑크톤(세포수)은 유의한 변화를 보이지 않았다. 전자의 경우, 실험기간 중 지속적인 바람에 의해 호수의 퇴적층으로부터 지속적인 인의 공급이 그 주된 원인으로 사료되며, 후자는 실험기간동안 조류천이(남조에서 녹조로)에 따른 결과로 판단된다.

### 2. 수중생물군집에 미치는 영향

실험기간중 두 가지 조작의 영향을 가장 분명하게 나타낸 그룹은 PCB(<2 µm)와 섬모충(<20 µm) 등의 소형플랑크톤이었다(Table 3). 이들은 어류의 투입에 강한 밀도증가를 보인 반면, 제거에 따라 다시 유의하게 감소되는 특징을 보였다. 후자는 어류의 섭식으로부터 해방된 동물플랑크톤같은 상위그룹에 의한 다시 억제되는 것으로 사료된다. 또한 저밀도 어류투입에 증가를 보였던 EPP, ANF, HNF, 섬모충(<20 µm) 등의 소형플랑크톤은 제거이후 다시 유의하게 감소하였다. 어류투입시 유의한 변화를 보이지 않았던 *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Cyclopoida* 등이 제거이후 강하게 증가하였다.

한편, 각 enclosure에 어류투입과 제거조작은 실험기

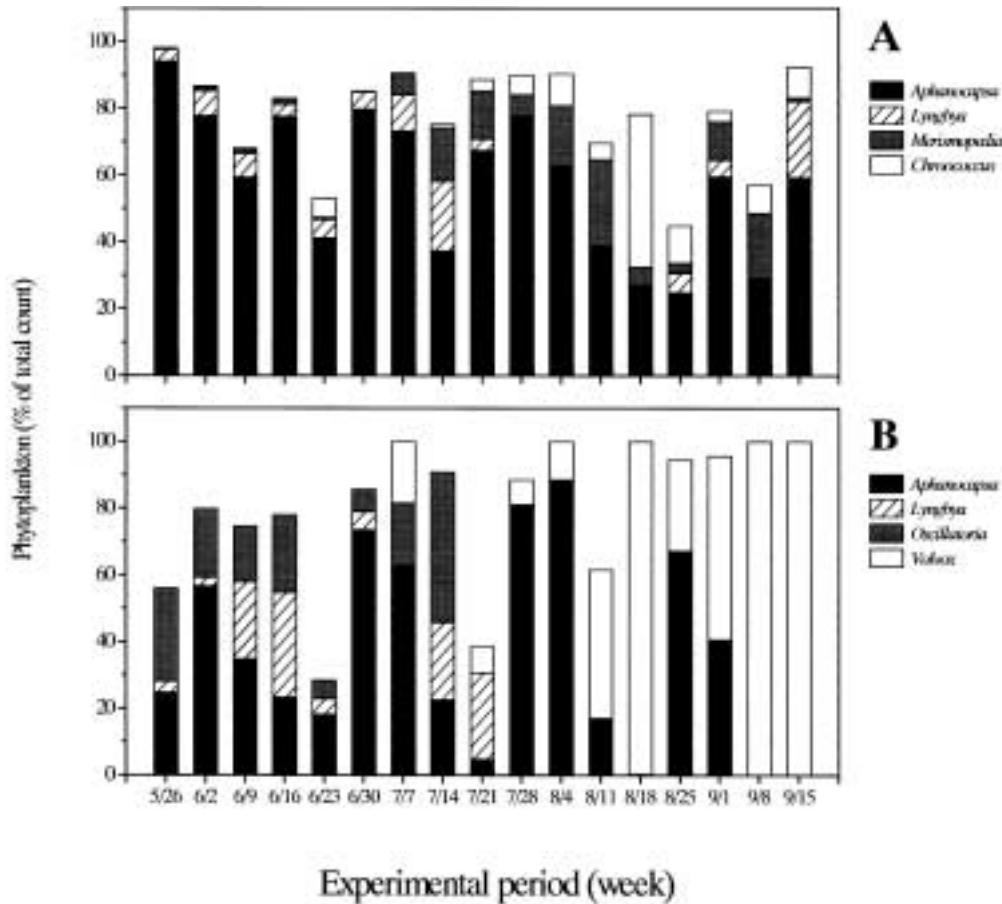
**Table 2.** Effects of fish stocking and removal on physico-chemical characteristics in enclosures. Significant increase and decrease of parameters at a = 0.05 are indicated by upward (increase) and downward (decrease) arrows, respectively. Statistics was analyzed by Randomized Intervention Analysis of Carpenter *et al.* (1989).

Physicochemical parameters	Fish stocking		Fish removal	
	Low	High	Low	High
Transparency	↓	↓	—	—
Dissolved Oxygen	—	↓	↑	↑
pH	—	↓	↑	↑
NO <sub>2</sub> -N+NO <sub>3</sub> -N	—	↑	↓	↓
NH <sub>4</sub> -N	—	↑	—	↓
PO <sub>4</sub> -P	—	—	—	—
chl- <i>a</i> (>40 µm)	↓	↓	↑	↑
chl- <i>a</i> (10~40 µm)	—	—	↑	↑
chl- <i>a</i> (2~10 µm)	↑	—	—	—
chl- <i>a</i> (<2 µm)	↑	↑	↓	↓

**Table 3.** Effects of fish stocking and removal on density changes of bacteria, picocyanobacteria, ANF and HNF, EPP, picoplankton, blue-green algae, zooplankton, and ciliata. Significant increase and decrease of parameters at a = 0.05 are indicated by upward and downward arrows, respectively. Statistics was analyzed by Randomized Intervention Analysis of Carpenter *et al.* (1989).

Aquatic organisms	Fish stocking		Fish removal	
	Low	High	Low	High
Bacteria	↑	—	—	—
Picocyanobacteria (PCB)	↑	↑	↓	↓
Eukaryotic picoplankton (EPP)	↑	—	↓	—
Autotrophic nanoflagellates (ANF)	↑	—	—	↓
Heterotrophic nanoflagellates (HNF)	—	—	↓	—
<i>Aphanocapsa elachista</i>	—	—	—	—
<i>Chroococcus dispersus</i>	—	—	—	—
<i>Lyngbya contorta</i>	—	—	—	—
<i>Merismopedia tenuissima</i>	↓	↓	—	—
<i>Oscillatoria agardhii</i>	—	—	—	—
Other total algae	—	—	—	—
<i>Diaphanosoma</i>	—	—	↑	↑
<i>Bosmina</i>	—	—	—	↑
<i>Cyclopoida</i>	—	—	↑	↑
<i>Calanoida</i>	—	—	—	—
Nauplii	—	—	↑	↑
Ciliata (<20 µm)	↑	↑	—	—
Ciliata (20~60 µm)	—	—	—	—

간동안 호수와 enclosure에 높은 밀도(>10<sup>5</sup> cell/mL)를 보였던 남조-규조의 군체나 사상체는 뚜렷한 변화를 보



**Fig. 2.** Succession of dominant phytoplankton count (>90% of total phytoplankton) in fishless (A) and fish (B) enclosures.

이지 않았다.

### 3. 어류조작이 조류종의 천이에 미치는 영향

어류조작에 전혀 없었던 enclosure 3에서는 *Aphanocapsa*, *Oscillatoria*, *Lyngbya* 등의 남조가 실험초기에 우점하다가 후기로 갈수록 녹조 *Volvox*로의 바뀌는 종 천이가 일어났다(Fig. 2A). 이런 *Volvox* 우점현상은 다음해의 연구에서도 재현되었다(미보고).

한편 지속적으로 어류를 투입한 enclosure 4에서는 투입초기에 *Aphanocapsa*, *Lyngbya*가 우점하였으며, 후기로 갈수록 *Merismopedia*, *Chroococcus* 등이 우점하였다(Fig. 2B).

## 고 찰

본 실험에서 두가지의 어류조작이 수중생물군집과 환경요인에 미치는 효과는 1차적으로 먹이(pre)의 크기와 어류의 소화의 의존되어 나타났다(Fukushima *et al.*,

1999).

그러나 어류투입은 소형플랑크톤에서만 효과가 나타났을 뿐, 대형조류나 동물플랑크톤 등에 대해서는 유의한 영향을 주지 않았다. 실험 1 동안 태풍에 의한 일시적인 enclosure 침수와 강한 바람에 의한 표층수의 혼합, 바닥으로부터 인의 지속적 공급 등이 top-down 효과에 다소 부정적으로 작용할 가능성이 있으나, 수중 투명도, 용존산소, 엽록소 등의 뚜렷한 감소로 보아, 어류투입으로 인한 강한 섭식압의 영향이 확인되었다. 결국 본 실험은 비록 인의 공급이 지속적으로 이루어지는 enclosure이긴 하나 top-down효과가 bottom-up 효과보다 더 크게 작용하는 것으로 판단되며, 어류제거후에도 엽록소나 영양염의 감소가 지속되지 않은 점으로 보아(Pace, 1984), 비교적 실험조건과 어류의 밀도 등이 균형을 잘 유지된 것으로 해석되었다.

본 실험에서는 조류의 현미경적 분석과 엽록소 분석의 결과는 분석에 큰 차이를 보였다. 주로 투입과 제거 실험에 소형플랑크톤이(예, picocyanobacteria) 강하게

반응한 반면, 크고 군체를 형성하거나 사상형 조류군집에 대해 어류는 유의한 효과를 보이지 않았다. 또한 어류도입에 대한 동물플랑크톤의 유의한 반응을 보이지 않은 것인지 설명하기가 어렵다. 이처럼 생물조작은 어류의 종류, 크기, 밀도 뿐만 아니라 수온, 빛의 세기, 바람 등과 같은 외부 환경요인에 의해 크게 영향을 받는 것이 보통이며 (Takamura *et al.*, 1994; Takamura *et al.*, 1996), 실제 어류투입이후 뚜렷한 효과를 보이지 않는 사례도 있다 (DeMelo *et al.*, 1992). 본 저자들은 이에 대해 두 가지 원인을 제시하고자 한다. 첫째는 전기동안 호수에 5차례의 큰 태풍(최고풍속 17 m/sec 이상)과 20 차례 이상의 강한 바람(10 m/sec 이상)으로 인하여 두 enclosure의 표층수 혼합이 어류의 섭식활동 억제와 조류의 현미경분석결과의 통계처리에 부정적으로 작용한 것으로 판단된다. 둘째는 어류의 섭식압이 제거된 이후에도 수온의 변화와 함께 남조의 천이로 인하여 특정조류의 생물량 감소와 증가 등으로 해석되었다. 특히, 본 실험결과의 분석에 대해 이용된 RIA 분석법은 동일한 장소에 서로 다른 조작을 가한 뒤, 시간에 따라 변동되는 요인과 대조군의 평균적 차이에 대한 유의성을 검정하는 방법으로서 (Carpenter *et al.*, 1989), 종의 천이와 같은 요인들(parameters)의 소멸과 생성은 결과 분석에 부정적인 요소로서 정확히 해석을 어렵게 하였다.

호수나 연못에 어류의 새로운 도입은 조류억제와 수질정화 등 이외에 낚시와 같은 레크레이션 활성화, 호수의 새로운 관리 등, 그 효과는 다양하다 (Shapiro *et al.*, 1975; Carpenter and Kitchell, 1984; Shapiro and Wright, 1984; Carpenter *et al.*, 1985, 1995; McQueen, 1990; Shapiro, 1990; Findlay *et al.*, 1994). 그러나 여기에 대해 부정적인 견해도 많다. 예로서, 빅토리아호에 도입된 나일농어(Nile perch)가 고유어종을 소멸시켰으나, 그 동안 식물플랑크톤을 섭취하였던 이들의 소멸이 호소에서 조류현상을 일으키고 있다고 보고하였다 (Goldschmidt *et al.*, 1993). 또한 빙어(pond smelt)의 증산을 위해 먹이로서 *Mysis relicta*를 도입한 이후, 이들이 동물플랑크톤의 지각류를 제거함으로써 어류의 먹이가 감소하여 결국 빙어가 감소하였다 (Morgan *et al.*, 1978; Rieman and Falter, 1981). 이어 어류의 감소가 이것을 먹는 새와 포유류를 포함하여, 이 지역을 방문하는 관광객도 감소시켰다 (Spencer *et al.*, 1991). 또한 본 실험에 사용된 백연은 다양한 크기의 조류를 섭취하는 특징을 갖고 있어, 1970년대부터 호수의 수질회복에 응용되고 있지만 (Sirenko *et al.*, 1976; Cremer and Smitherman, 1980; Smith, 1985; Laws and Weisburd, 1990; Starling, 1993;

Lieberman, 1996), 이러한 연구들은 규모나 운용면에서 아직 실험적이며, 호수의 안정적 수질유지와 경제적인 면이 동시에 성공한 사례는 보고된 바 없다.

## 적 요

백련어의 도입 및 제거가 부영양호의 수중생물군집과 환경요인에 미치는 영향을 조사하였다. 생물조작을 위해 호수연안에 6개의 enclosure를 설치하고, 5월 22일부터 7월 23일까지(전기), 7월 23일부터 9월 18일까지(후기) 두 가지 밀도(고, 저)의 어류를 투입 및 제거하였다. RIA ( $\alpha = 0.05$ )의 결과는 어류도입 및 제거가 대부분의 생물군집 및 환경요인에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 각 enclosure의 환경요인에 대해 어류투입은 투명도, 용존산소, 수소이온농도, 큰분획염록소( $>40 \mu\text{m}$ ) 등의 감소와 질소화합물, 소형분획염록소( $<2 \mu\text{m}$ )의 증가를 유도하였으며, 어류제거는 정반대 현상을 보였다. 한편, 수중생물군집에 있어서, 어류투입은 picocyanobacteria 이나 섬모충( $<20 \mu\text{m}$ ) 같은 소형 플랑크톤의 증가가 뚜렷하였고, 어류제거에 의해 다시 유의하게 회복하였다. 그러나 크고, 군체를 형성하거나 긴 사상체 남조나 규조 등은 두 가지 어류조작에 유의한 변화를 보이지 않았으며, 어류제거시만 *Diaphanosoma*, *Cyclopoidea*, naupli 등 동물플랑크톤의 유의한 증가를 나타냈다. 본 연구는 실험기간 동안 강한 바람과 호수바닥으로부터 지속적인 인의 공급 등으로 인하여 결과해석에 부정적으로 작용하였으나, 전체적으로 어류도입 및 제거가 enclosure내 플랑크톤군집과 환경요인에 대해 서로 상반되는 효과를 유도하는 것이 확인되었다.

## 인 용 문 헌

- APHA. 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Brooks, J.L. and S.I. Dodson. 1965. Predation, body size, and composition of plankton. *Science* **150**: 28-35.
- Carpenter, S.R. and J.F. Kitchell. 1984. Plankton community structure and limnetic primary production. *American Naturalist* **124**: 159-172.
- Carpenter, S.R., D.L. Christensen, J.J. Cole, K.L. Cottingham, X. He, J.R. Hodgson, J.F. Kitchell, S.E. Knight, M.L. Pace, D.M. Post, D.E. Schindler and N. Voichick. 1995. Biological control of eutrophication in lakes. *Environmental Science and Technology* **29**: 784-786.

- Carpenter, S.R., J.F. Kitchell and J.R. Hodgson. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. *BioScience* **35**: 634–639.
- Carpenter, S.R., J.F. Kitchell, J.R. Hodgson, P.A. Cochran, J.J. Elser, M.M. Elser, D.M. Lodge, D. Kretchmer, X. He and C.N. von Ende. 1987. Regulation of lake primary productivity by food web structure. *Ecology* **68**: 1863–1876.
- Carpenter, S.R., T.M. Frost, D. Heisey and T.K. Kratz. 1989. Randomized intervention analysis and the interpretation of whole-ecosystem experiments. *Ecology* **70**: 1142–1152.
- Cremer, M.C. and R.O. Smitherman. 1980. Food habits and growth of silver and bighead carp in cages and ponds. *Aquaculture* **20**: 57–64.
- DeMelo, R., R. France and D.J. McQueen. 1992. Biomani-pulation: Hit or myth? *Limnol Oceanogr* **37**: 192–207.
- Findlay, D.L., S.E.M. Kasian, L.L. Hendzel, G.W. Regehr, E.U. Schindler and J.A. Shearer. 1994. Biomani-pulation of Lake 221 in the experimental lakes area (ELA): Effects on phytoplankton and nutrients. *Can J Fish Aquat Sci* **51**: 2794–2807.
- Fukushima, M., N. Takamura, B.H. Kim, M. Nakagawa, L. Sun and Y. Zheng. 1999. The responses of an aquatic ecosystem to the manipulation of the filter-feeding silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). Verh. Int. Verein. Limnol. in press.
- Gliwicz, Z.M. and J. Pijanowska. 1989. The role of predation in zooplankton succession. In: Plankton ecology (ed. U. Sommer), pp. 253–296. Springer-Verlag, New York.
- Goldschmidt, T., F. Witte and J. Wanink. 1993. Cascading effects of the introduced Nile perch on the detritivorous /phytoplanktivorous species in the sublittoral areas of Lake Victoria. *Conservation Biology* **7**: 686–700.
- Horn, W. 1991. The influence of biomass and structure of crustacean plankton on the water transparency in the Saldenbach storage reservoir. *Hydrobiologia* **224**: 115–120.
- Laws, E.A. and R.S.J. Weisburd. 1990. Use of silver carp to control algal biomass in aquaculture ponds. *Prog. Fish-Cult.* **52**: 1–8.
- Lieberman, D.M. 1996. Use of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichtchys nobilis*) for algae control in a small pond: changes in water quality. *J. Freshwat. Ecol.* **11**: 391–7.
- McQueen, D.J. 1990. Manipulating lake community structure: Where do we go from here? *Freshwater Biol* **23**: 613–620.
- Morgan, M.D., S.T. Threlkeld and C.R. Goldman. 1978. Impact of the introduction of kokanee (*Oncorhynchus nerka*) and opossum shrimp (*Mysis relicta*) on a subalpine lake. *J. Fish. Res. Board. Can.* **35**: 1572–1579.
- Pace, M.L. 1984. Zooplankton community structure, but not biomass, influences the phosphorus-chlorophyll a relationship. *Can. J. Fish. Aqu. Sci.* **41**: 1089–1096.
- Post, J.R. and D.J. McQueen. 1987. The impact of planktivorous fish on the structure of a plankton community. *Freshwater Biol* **17**: 79–89.
- Ravera, O. 1989. Enclosure Method: Concepts, Technology, and Some Examples of Experiments with Trace Metals. Aquatic Ecotoxicology: Fundamental Concepts and Methodologies. Vol. I. CRC Press, Boca Raton Florida. pp. 249–272.
- Rieman, B.E. and C.M. Falter. 1981. Effects of the establishment of *Mysis relicta* on the macrozooplankton of a large lake. *Trans. Amer. Fish. Soc.* **110**: 613–620.
- Sarnelle, O. 1992. Nutrient enrichment and grazing effects on phytoplankton in lakes. *Ecology* **73**: 551–560.
- Shapiro, J. 1990. Biomani-pulation : the next phase-making it stable. In Gulati RD, Lammens E, Meijer ML, Van Donk E (eds). Biomani-pulation-tool for water management, Kluwer Academic Publishers, Belgium, pp. 13–27.
- Shapiro, J. and D.I. Wright. 1984. Lake restoration by biomani-pulation: Round lake, Minnesota the first two years. *Freshwater Biol* **14**: 371–383.
- Shapiro, J., V. Lamarra and M. Lynch. 1975. Biomani-pulation : an ecosystem approach to lake restoration. In Proceedings of a Symposium on Water Quality Management Through Biological Control. (ed. by Bresonik PL and Fox JL) pp. 85–96. Gainesville: University of Florida.
- Sirenko, L.A., P.S. Vovk, A.Y. Malyarevskaya and T.I. Birger. 1976. Control of eutrophication of Dnieper Reservoir by algae removal and herbivorous fishes introduction. *Limnologica* **10**: 603–606.
- Smith, D.W. 1985. Biological control of excessive phytoplankton growth and the enhancement of aquacultural production. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **42**: 1940–1945.
- Spencer, C.N., B.R. McClelland and J.A. Stanford. 1991. Shrimp stocking, salmon collapse, and eagle displacement. *BioScience* **41**: 14–21.
- Starling, F.L.R.M. 1993. Control of eutrophication by silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in the tropical Paranoa Reservoir (Brasilia, Brazil): a mesocosm experiment. *Hydrobiologia* **257**: 143–152.
- Takamura, N., Y. Ishikawa, H. Mikami, H. Mikami, Y.

- Fujita, S. Higuchi, H. Murase, S. Yamanaka, Y. Nanjyo, T. Igari and T. Fukushima. 1996. Abundance of bacteria, picophytoplankton, nanoflagellates and ciliates in relation to chlorophyll a and nutrient concentrations in 34 Japanese waters. *Jpn. J. Limnol.* **57**: 245–259.
- Takamura, N., K. Iwata, G.S. Fang, X.B. Zhu and Z.F. Shi. 1994. Feeding habitats of mixed Cyprinid species in a Chinese Integrated fish culture pond: change in planktivorous density induces feeding changes in planktivorous carps. *Jpn. J. Limnol.* **55**: 131–141.
- Tuzun, I. and C.F. Mason. 1996. Eutrophication and its control by biomanipulation : an enclosure experiment. *Hydrobiologia* **331**: 79–95.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* **9**: 1–3.