

# 어린 백련어의 성장에 대한 동, 식물플랑크톤의 먹이기여도

김 백 호\* · 최 민 규 · 高村典子<sup>1</sup>

(원광대학교 환경과학연구소, <sup>1</sup>일본국립환경연구소)

**Dietary Contributions of Phytoplankton and Zooplankton to Young Silver Carps. Kim, Baik-Ho\*, Min-Kyu Choi and Noriko Takamura<sup>1</sup> (Institute for Environmental Science, Wonkwang University, 344-2 Shinyong-dong, Iksan, Chollabuk-do 570-749, Korea, <sup>1</sup>National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-0053, Japan)**

Two-monthold silver carps were cultured with seven algal species and zooplankton (*Moina macrocopa*) in the laboratory. The carps were reared in 10 L translucent cylindrical aquaria with algae and zooplankton for 8 days. The *Moina* effectively fed almost cultured algae: perfectly removed *Cryptomonas* (NIES-282) within 60 min. Both algal diets *Cryptomonas* and *Fragilaria* (NIES-391) significantly increased the *Moina* population ( $r^2 > 0.93$ ,  $p < 0.005$ ), while *Microcystis* (NIES-90) and *Oscillatoria* (NIES-204) reduced the zooplankton ( $r^2 = 0.97$ ,  $p < 0.001$ ). Fish removed about 50% of all algae for 52 hrs, even 60% of *Microcystis* still remained: all algae reduced ca. 5~12% of initial weight. Furthermore, a continuous supply of algae with same density resulted in the death of fish, e.g. 11 days in cyanobacteria *Microcystis*. Therefore, the growth limitation of silver carp by algae indicates that zooplankton is of direct dietary contributor in planktivores feeding behavior.

**Key words : Fish growth, Two-month old silver carp, Cultured algae, *Moina macrocopa*, Food quality**

## 서 론

식물플랑크톤은 동물플랑크톤과 함께 어류의 중요한 영양원이며, 특히 높은 불포화지방산 DHA (docosa-hexaenoic acid)이나 EPA (eicosapentaenoic acid) 등을 함유한 고영양조류는 (Ahlgren *et al.*, 1990; Støttrup and Jensen, 1990; Norsker and Støttrup, 1994) 최근에 들어 굴 (Waldock and Holland, 1984), 새우 (Kanazawa *et al.*, 1977), 게 (Levine and Sulkin, 1984), 어류 (Watanabe *et al.*, 1983)의 양식에 이용되고 있다. 식물플랑크톤의 불포화지방산은 일반적으로 남조류나 녹조류에 비해 규조류, 황색편모조류, 와편모조류 등에서 높지만 (Ahlgren *et al.*, 1990; Brette, 1993; Stutzman 1995; Brette and

Müller-Navarra, 1997), 동일종일지라도 그 성장조건에 따라 차이가 있으며, 각종 환경요인- 온도 (Harwood and Jones, 1989), 빛 (Thompson *et al.*, 1990; Sicko-Goad and Andresen, 1991), 질소 (Pierreck and Pohl, 1984; El-Fouley *et al.*, 1985), 인 (Reitan *et al.*, 1994; Ahlgren *et al.*, 1997), 용존산소 (Harwood and Jones, 1989) 및 성장 단계 (Webb and Chu, 1982; Borowitzka, 1988)에 따라 화학적 조성의 차이를 보인다. 이러한 고영양조류의 분포는 수중 내 동물플랑크톤이나 어류의 변동을 유도하기도 한다 (Hama *et al.*, 1992; Gulati and deMott, 1997).

초식성어류인 백련어는 동위원소로 표지된 남조류 *Microcystis* (Zhu and Deng, 1983)와 *Anabaena* (Herodek *et al.*, 1989)를 잘 섭취하였고, 부영양화에 설치한 enclosure에서 남조류 수화현상을 효과적으로 제어하였다

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

(Shei and Liu, 1990; Kim *et al.*, 2000; Fukushima *et al.*, 1999, 2000). 그러나 유사한 다른 실험들에서는 어류가 불가피하게 섭취하거나 회피하며 (Vovk, 1974), 또는 남조류나 녹조류에 비해 규조류를 더욱 선호하는 다른 결과도 있다 (Prowse, 1964; Xie and Takamura, 1996). 백련어의 먹이습성에 대한 논란의 여지는 많으나 많은 실험들에서 백련어는 조류의 종이나 서식환경에 상관없이 잘 성장하였는데, 남조류 수화현상의 발생 여부보다는 어류자체의 밀도에 의존한 성장을 보였다 (Fukushima *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2000). 이것은 초식성 filter-feeder인 백련어의 성장이 실제 조류에 의존되기보다는 조류를 섭취하는 1차소비자인 동물플랑크톤, heterotrophic nanoflagellates (HNF), protozoans 등에 의해 결정될 가능성이 높다는 것을 의미한다 (Brette and Muller-Navarra, 1997).

백련어는 식물플랑크톤을 섭취하는 어류로서 중위도에 위치한 많은 나라들의 저수지 수질정화에 그 중요성이 인정되어 왔으나 (Smith, 1985; Laws and Weisburd, 1990; Starling, 1993; Lieberman, 1996), 모든 영양단계의 호수에 직접 적용되거나 조류의 종 구성이나 분포에 상관없이 폭 넓게 사용된 사례는 아직 보고된 바 없다. 특히, 호수의 영양에 따른 조류 밀도차가 백련어의 성장에 직접적인 영향을 주지 않았고 (Cremer and Smitherman, 1980), 조류밀도 증가에 따른 어류성장에 대한 증거는 아직 없다 (Manandhar, 1977). 최근 연구에서도 식물플랑크톤이 백련어의 성장에 주는 기여도는 물론 이들의 상호관계를 단순화하기가 매우 어려웠으며, 증거로서 1) 어류의 존재에도 불구하고 높은 체적을 갖는 조류가 다른 그룹보다 더 높게 분포하거나 (Fukushima *et al.*, 1999, 2000), 2) 어류의 먹이선택이나 선호도 등이 실제 식물플랑크톤의 형태적 특성과 매우 낮은 관계를 나타냈다 (Fukushima *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2000). 그러므로 초식성 어류인 백련어가 비록 식물플랑크톤을 효과적으로 섭취한다고 하더라도 어류성장에 직접 기여할지 불분명하다.

따라서 본 연구에서는 어류와 식물플랑크톤간의 섭식관계를 보다 단순화시켜 수중에 발생한 남조류 수화현상에 효과적인 제어기구로서 어류의 기능을 이해하고자 반응성이 빠른 어린 백련어를 이용하여 어류와 식물플랑크톤 또는 어류와 동물플랑크톤간의 먹이관계, 그리고 식물플랑크톤과 동물플랑크톤의 혼합먹이가 어류성장에 주는 먹이기여도를 실험실내에서 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 어류배양

본 실험에 사용된 어류는 부화된 지 2개월 정도의 백련어로서 일본 사이다마현 수산시험장으로부터 분주받아 실험실에서 시판용 사료 (New Carp Mash, Nihon Nosankukyo, Ltd. Yokohama)를 사용하여 실험종료까지 유지하였으며, 사료의 화학적 조성 (Table 1) 및 사료투입에 따른 백련어의 성장율은 Table 2과 같다. 모든 배양 실험은 실내온도 25°C, 명암주기 12 : 12h (dark : light)가 자동조절된 실험실 (4 × 8 × 3 m)에서 실시하였으며, 배양수조는 10 L용 둥근 반투명 아크릴제로 (직경 32.5 cm), 먹이를 포함한 수조의 물은 항상 9 L로 유지하였다. 사용된 모든 어류는 실험시작 전 2~3일 동안 아무런 먹이를 주지 않았으며, 어류의 손실을 막기 위하여 수조상부를 철 그물 (0.5 × 0.5 cm mesh)로 덮었다. 사육수는 가정용 상수를 활성탄을 통과시키고 3~4일 동안 기포발생기로 폭기하여 염소를 제거한 후 2일마다 교환하였다. 실험동안 증발로 인한 물의 손실량은 중간에 평균증발량 140 mL를 각각 보충하였다. 먹이로 사용된 식물플랑크톤은 성장 최고기에서 수집하여 저온 (4°C)에서 보

**Table 1.** Compositions of commercial diets (New Carp Mash) for sustaining silver carp.

Group	Content	%
Major elements	Water	45
	Protein	30
	Starch	12
	Cellulose	5
	Lipid	2
	Minor elements	P(1), Ca(1), Biotin, Colin, CuSO <sub>4</sub> , Ethoxythin, FeSO <sub>4</sub> , Inositol, MgCO <sub>3</sub> , Nicotinic acid, p-aminosalicylic acid, Pantothenic acid, Vitamin A, Vitamin B <sub>1</sub> , Vitamin B <sub>2</sub> , Vitamin B <sub>6</sub> , Vitamin C, Vitamin E, Vitamin K <sub>3</sub> , ZnCO <sub>3</sub>

\*New Carp Mash is produced by Nihon Nosankukyo, Ltd. Yokohama, Japan

**Table 2.** Growth of silver carp by New Carp Marsh™.

Input (g)	No. fish	Growth (%)*
0	5	died within 48 day
0.294	5	1.07 ± 2.88
0.588	5	4.34 ± 3.70
0.882	5	5.52 ± 4.57
5.656	5	14.15 ± 3.49

\*P < 0.05 for all.

**Table 3.** Summary of seven cultured algae used for zooplankton and silver carp.

Species (Abbreviation)	Strain Code	Culture	Media*
<i>Oscillatoria agardhii</i> (OSL)	NIES-204	Axenic, clonal	CT
<i>Microcystis aeruginosa</i> (MCY)	NIES-90	Axenic, clonal	CT
<i>Scenedesmus quadricauda</i> <sup>TM</sup> (SCD)	-	Xenic, clonal	C
<i>Chlorella vulgaris</i> <sup>TM</sup> (CHL)	-	Xenic, clonal	C
<i>Chlamydomonas monadina</i> (CHM)	NIES-438	Axenic, clonal	C
<i>Fragilaria capucina</i> (FRG)	NIES-391	Unialgal, clonal	Csi
<i>Cryptomonas tetrapyrenoidsa</i> (CRY)	NIES-282	Axenic, clonal	VT

<sup>TM</sup> Two green algae have been used for 10 years in laboratory.

\* Kinds of media based on NIES-collection center (NIES)

**Table 4.** Density and carbon content of seven cultured algae used for a diet.

Species	Density		Unit volume (mm <sup>3</sup> )	Total carbon (×10 <sup>6</sup> picogram)*
	Avg (×10 <sup>4</sup> cells/mL)	SD (×10 <sup>4</sup> cells/mL)		
OSL	16.9	2.9	177.21	1.2
MCY	22.7	3.4	28.73	0.3
SCD	2.8	0.4	1446.80	3.7
CHL	15.5	1.1	1022.65	14.5
CHM	8.0	0.3	1168.97	8.7
FRG	0.4	0.1	1015.03	0.4
CRY	0.6	0.1	3964.84	2.2

SD: standard deviation

\* Calculation of carbon based on the equation of Montagnes *et al.* (1994)

관하였으며 저장밀도는 Table 3, 4와 같다. 동물플랑크톤은 배양중인 *Moina*를 200 µm net로 여과하여 동일 밀도로 조절하고 2일마다 교환하였다. 어류는 8일 동안 배양되었으며 동·식물플랑크톤에 대한 어류의 먹이섭식율을 측정하였다. 식물플랑크톤은 어류투입 전·후의 물을 2~3 mL를 취하여 665 nm에서 흡수도 차이를 측정하였고, 동물플랑크톤은 어류투입 전·후의 개체수 변화를 조사하였다. 또한 먹이의 종류에 따른 어류의 성장차이를 확인하기 위하여 어류투입 전·후의 체중과 체장을 각각 측정하였다.

## 2. 조류배양

어류의 먹이로서 사용된 식물플랑크톤은 남조류

(*Oscillatoria agardhii* (NIES-204), *Microcystis aeruginosa* (NIES-90)), 녹조류 (*Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris*, *Chlamydomonas monadina* (NIES-438)), 규조류 (*Fragilaria capucina* (NIES-391)), 편모조류 (*Cryptomonas tetrapyrenoidsa* (NIES-282))이다. 이중 녹조류 *Scenedesmus*와 *Chlorella*은 지금까지 10여년 동안 본 실험실에서 실험동물의 먹이로 사용하고 있는 비교적 안정된 형질로서, 3~4일에 한 번씩 계대 및 집적배양을 하였으며, 나머지 5종은 일본국립환경연구소 (NIES)의 미생물보존센터로부터 분주받아 집적배양하였다. 조류배양은 온도 20±0.5°C, 빛 80~85 µm<sup>-2</sup> S<sup>-1</sup> 그리고 12:12 h 명암주기로 자동으로 조절된 TOMY incubator (Cu-351, Tokyo)에서 실시하였으며, 배양플라스크는 2~3일에 한번씩 인위적으로 흔들어 주었다. 배양기간동안 세포의 밀도는 각 배양플라스크에서 2~3 mL의 시료를 꺼내 Lügol iodide solution으로 고정하고, Utermol 침전법 (Utermöl, 1958)을 이용하여, 독립현미경 하에서 (Nikon 114) 검경하였다. 각 조류세포의 체적 및 탄소량의 환산은 각각 Wetzel and Lickens (1991), Motagenes *et al.* (1986)의 방법에 따라 계산하였다.

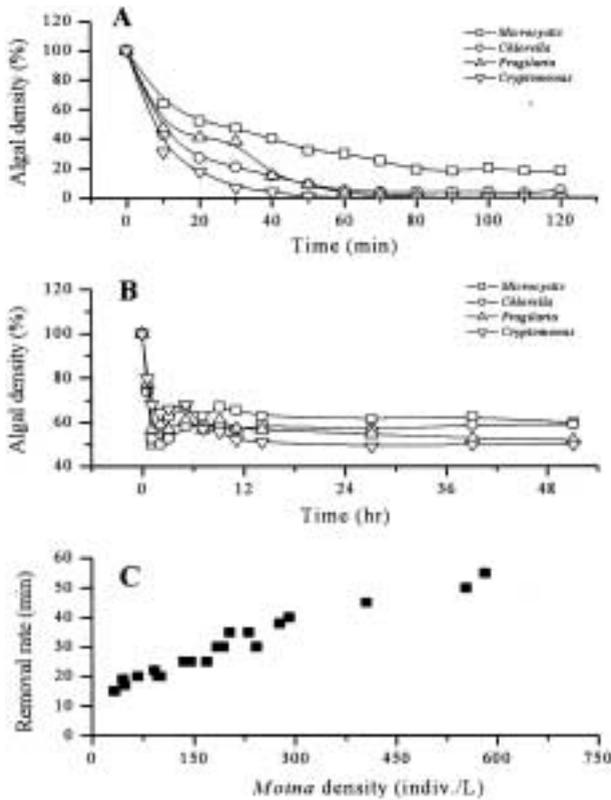
## 3. 동물플랑크톤배양

배양중인 *Moina macrocopa*은 실험당일 수확하여 200 µm의 망을 사용하여 어린 것은 제거하고, 일정한 밀도 (Table 6)로 조절하여 배양수조에 투입하였다. 식물플랑크톤 제거율 및 어류의 성장에 대한 기여도를 조사하기 위하여 사용된 동물은 200 µm 이상의 개체만 투입하였으며, 배양조류를 이용한 *Moina* 개체군의 발달실험에서는 200 µm 이상의 개체만을 투입하고, 후에 성장을 계산에는 크기에 상관없이 모든 개체를 합하여 계산하였다.

## 결 과

### 1. 어린 백련어와 동물플랑크톤의 먹이섭식능력

동물플랑크톤 *Moina macrocopa* (크기: >200 µm)는 식물플랑크톤을 포함한 수조에 투입한 후 10분이내에 *Cryptomonas*의 70%를, 1시간까지 98%를 제거하였다. 또한 *Fragilaria*와 *Chlorella*에 대해서도 강한 섭식능을 보였는데, 1시간동안 약 90%를 제거하였다. 반면, *Microcystis*는 30분동안 50% 정도가 감소되었으나, 120분 이후에도 약 20%가 계속 수조 내에 남았다 (Fig. 1A). 어린 백련어는 투입 60분내에 4종의 배양조류를 30~50%를



**Fig. 1.** Three grazing patterns of predators. A: Effects of *Moina* grazing on algae, B: algal grazing by young silver carp (2 months), C: zooplankton removal time by silver carp (Time = 15.4 + 0.07 × density, r<sup>2</sup> = 0.95, p < 0.0001).

제거하였으나, 15시간이 경과하여도 유의한 변화를 보이지 않았다. 특히 *Microcystis*는 투입초기에는 30분까지 점차적으로 감소하는 경향을 보였으나, 장시간이 경과하여도 약 60%가 계속하여 남았다. 나머지 3종의 녹조 역시 8시간 이후에도 50~60%가 남았다(Fig. 1B). *Moina*에 대한 어린 백련어의 섭취능은 투입되는 *Moina* 밀도에 의존하여 직선적으로 제거하였다(r<sup>2</sup> = 0.97, p < 0.0001; Fig. 1C).

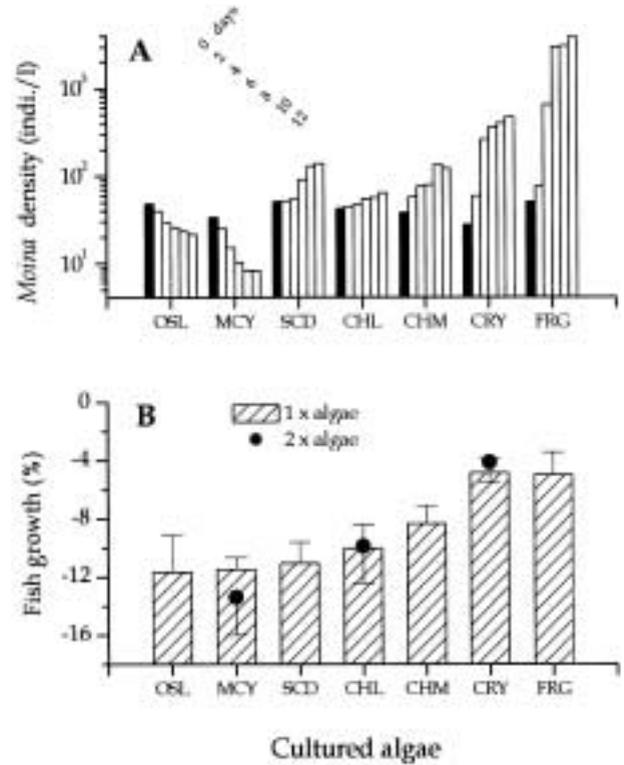
**2. 식물플랑크톤에 의한 *Moina* 및 어류성장**

동물플랑크톤 *Moina* 개체군의 밀도는 남조류 *Oscillatoria* 및 *Microcystis*를 제외한 다른 조류 중의 존재하에서 증가하였는데 (Table 5, Fig. 2A), 규조 *Fragilaria*가 가장 높은 효과를 보였으며 (최고치 3,798.7 개체수/L, r<sup>2</sup> = 0.99, p < 0.001), 남조 *Microcystis*는 역으로 가장 강하게 억제하였다 (최저치 8.29 개체수/L, r<sup>2</sup> = 0.97, p <

**Table 5.** Linear developments of zooplankton *Moina* by seven cultured algae.

Species	b	a	r	P
OSL	29.95	-2.14	-0.96	0.0008
MCY	44.14	-2.14	-0.97	0.0007
SCD	32.19	8.12	0.91	0.0047
CHL	40.61	1.69	0.95	0.0008
CHM	41.75	7.04	0.91	0.0046
FRG	2.72	39.7	0.99	<0.0001
CRY	-581.5	353.7	0.93	0.0021

Y = b + aX, X; algae shown in Table 5



**Fig. 2.** Algae induced growth patterns of predators. A: Development of *Moina* population with seven microalgae for 12 days. All black boxes are the algal starting density, as described in Table 4. B: Growth induction of silver carp by algae for 8 days. Black circle is the double of each algal density. OSL: *Oscillatoria*, MCY: *Microcystis*, SCD: *Scenedesmus*, CHL: *Chlorella*, CHM: *Chlamydomonas*, CRY: *Cryptomonas*, FRG: *Fragilaria*.

0.001). 전체적으로 식물플랑크톤은 어린 백련어의 성장을 5~12%를 감소시켰는데, 먹이밀도를 2배로 증가할 경우 *Cryptomonas*와 *Fragilaria*에서만 어류의 체중감소가 다소 완화되었을 뿐, *Microcystis*에서는 더욱 심하

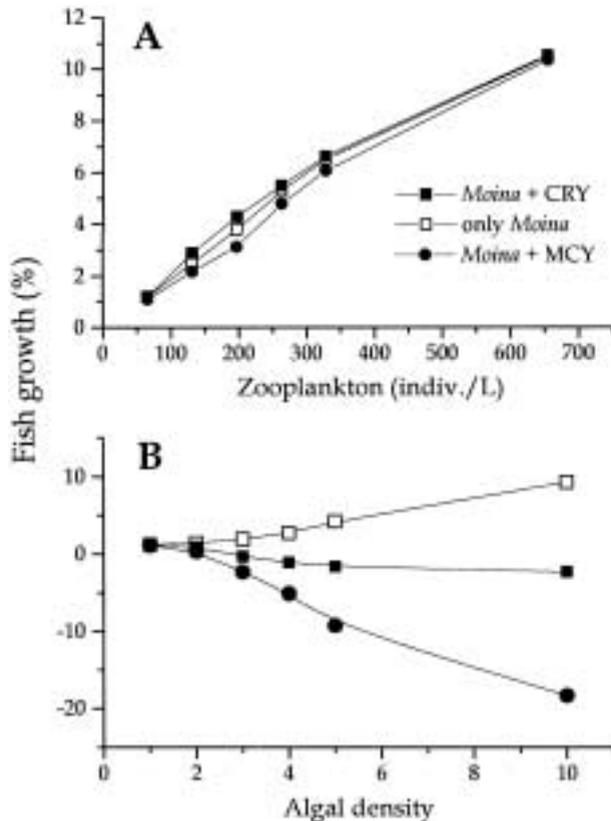
**Table 6.** The growth rate of young silver carp in relation to various density of *Moina* (>200  $\mu\text{m}$ ) during 8 days.

Tank	Density (indiv./L)	A		B	
		Avg.	SD	Avg.	SD
X0.5	65.5	0.19	0.08	-8.39	4.73
X1	131.1	2.50	0.20	-7.3	4.9
X2	262.2	5.75	0.37	-8.0	3.9
X3	393.2	8.38	1.16	-3.9	20.0
X4	524.3	11.98	0.55	-0.2	7.3
X5	655.4	15.46	0.73	2.9	5.4
X10	1310.8	26.80	3.24	9.9	6.5

A: one fish, B: five fishes

Diets were totally introduced by 4 times.

SD: standard deviation



**Fig. 3.** Percent growth of silver carp induced by zooplankton. A: Fish growth with different *Moina* density and constant algae. B: Fish growth with different algal density and constant *Moina*. The density of algae and *Moina* are described in Table 4 and 6. MCY: *Microcystis*, CRY: *Cryptomonas*.

게 감소하였다 (Fig. 2B). 또한 실험에 사용된 밀도로 계속적으로 공급한 결과, *Microcystis*에서 배양 11일,

*Chlorella*에서 배양 49일, *Fragilaria*와 *Cryptomonas*에서는 각각 64, 78일만에 어류가 사멸하였다.

### 3. 동물플랑크톤에 의한 어류성장

어류 1개체가 포함된 사육조에 동물플랑크톤 *Moina*의 밀도를 변화(0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 10배)시킬 경우, 어린 백련어는 *Moina*의 밀도에 의존하여 1차 함수적으로 유의한 성장을 보였다 ( $r^2 = 0.99$ ,  $p < 0.0001$ ,  $t$ -test; Table 6). 동일한 조건하에서 *Microcystis*와 *Cryptomonas*를 각각 일정한 농도로 넣어주면 전자 (*Moina*+MCY)는 초기에 점차 감소하다가 다시 증가하여 대조군 (*Moina*만 투입)과 유사한 경향을 보였으며, 후자 (*Moina*+CRY)는 초기에는 약간 증가하다가 결국 다시 감소하여 대조군에 접근하는 특징을 보였다 (Fig. 3A). *Moina*만을 일정농도로 (262.2 indiv./L) 8일 동안 투입할 경우, 어류는 5% 정도가 성장한 반면, *Microcystis*처리군에서는 18% 감소를 보였다 (Fig. 3B). 어린 백련어 5개체가 들어있는 수조에서 동물플랑크톤 *Moina*를 넣었을 경우, 어류의 성장은 각 개체에 따라 불규칙한 성장을 보였는데, 5개체의 평균성장은 1개체의 경우보다 5배 이상의 *Moina*를 투입하여도 1개체보다는 매우 낮았다 (Table 6).

## 고 찰

어린 백련어의 성장은 모든 배양조류에 의해서 유도되지 않았고, 동일한 밀도로 계속하여 투입할 경우, 대부분 어류는 2개월 전후로 사망에 도달하였다. 이러한 현상은 남조류에서 더욱 심하였고, *Fragilaria*와 *Cryptomonas*에서는 남조류에서 보다 약 50% 정도가 완화되었으나 결국 단일배양 조류가 어류성장에는 비효과적인 먹이로 판명되었다. 이에 비해 동물플랑크톤 *Moina macrocopa*는 밀도가 증가할수록 어류의 빠른 성장을 유도하였으며 ( $r^2 = 0.99$ ,  $p < 0.0001$ ), *Moina*가 들어있는 수조에 배양조류를 첨가하여도 어류성장에는 큰 영향을 주지 않았다. 결과적으로 어류 성장에 있어서 배양 조류 간에 다소 먹이기여도의 차이가 있으나 식물플랑크톤보다는 동물플랑크톤이 더욱 중요한 먹이로 사료되었다.

동물플랑크톤 *Moina* 성장에 대한 배양조류의 기여도는 *Fragilaria*와 *Cryptomonas*가 뚜렷한 효과를 보인 반면 남조 *Microcystis*와 *Oscillatoria*는 역으로 강한 억제 효과를 나타냈다. 이러한 차이는 *Fragilaria*와 *Cryptomonas* 등과 같이 높은 불포화지방산을 함유한 조류의 전형적인 특징으로 보여지며 (Ahlgren *et al.*, 1990; Brette,

1993; Stutzman 1995; Brette and Muller-Navarra, 1997), 남조의 경우, 저온에서 소량의 지방산합성이 이루어지긴 하나 절대량이 다른 조류에 비해 매우 낮고 (Yongmanitchai and Ward, 1989; Molina Grima, 1991, 1993, 1994), 녹조 *Scenedesmus*와 *Chlamydomonas* 등 역시 인의 농도가 높은 수역에서만 주로 어류의 영양원으로 사용된다는 점으로 보아 (Mitchell *et al.*, 1992; Sommer 1992; Sterner and Hessen, 1992), 동물플랑크톤 성장이 식물플랑크톤의 종에 따라 강하게 의존됨을 시사해 준다고 사료된다.

한편, 남조 *Microcystis*가 *Cladocera*s (de Bernardi and Giussani, 1990; Lampert, 1981)나 *Daphnia* (Lampert, 1982; Jungmann, 1992; Jungmann and Benndorf, 1994) 등에 강한 독성을 준다는 사실은 이미 잘 알려져 왔다. 본 실험에서 사용되었던 *Microcystis* (NIES-90)은 처리 8시간만에 *Moina macrocopa*를 모두 치사할 정도로 매우 높은 독성을 갖는 균주이다 (Yasuno *et al.*, 1988). 그러나 본 실험에서 *Oscillatoria*가 *Microcystis*에 비해 *Moina*의 발달에 더 강한 억제효과를 보인 것이 불포화지방산의 함량차이에 의한 것인지, 조류의 형태적 차이에 의한 섭취조건의 차이에 의한 것인지, 실험결과로는 아직 두 남조 (*Microcystis*, *Oscillatoria*)의 영양순위를 알 수 없기 때문에 보다 세밀한 연구가 요구된다.

백련어는 초식성 어류로서 조류 수화현상의 효과적인 제어자로 알려져 왔으나 (Sirenko *et al.*, 1976; Smith, 1985; Laws and Weisburd, 1990; Starling, 1993; Lieberman, 1996), 본 실험에서는 어떤 배양조류도 어린 백련어의 성장을 직접적으로 증가시키지 못하였다. 뿐만 아니라 동물플랑크톤과 함께 첨가하였을 때에도 *Moina*의 효과를 크게 상회하지 못하였다. 그 원인으로 다음 몇 가지를 예상할 수 있다. 첫째, 특정 조류의 밀도가 너무 높아서 오는 어류성장의 장애로서, 실험에 사용된 조류밀도는 과영양호수인 Kasumigaura호 (Takamura *et al.*, 1996)보다 조류종에 따라 10~50배 정도의 높은 수준이지만, 실제 호수에서 어류가 섭취하는 먹이는 조류 이외도 다양한 크기의 생물이 존재하기 때문에, 제한된 먹이로 인한 영양결핍이 일어날 수 있다. 둘째, 실험동안 2일마다 반복된 물과 먹이의 교체로 인한 스트레스가 원인이 된 성장저해이다. 셋째, 동물플랑크톤과 식물플랑크톤을 동시에 넣은 수조에서 어류와 이들 먹이간의 관계가 자연호수에서처럼 먹이연쇄와 같은 단계적 에너지 전달현상을 기대하기 어렵다고 판단된다. 이에 반해, 과영양호의 enclosure연구에서 (Fukushima *et al.*, 1999, 2000; Kim *et al.*, 2000), 지방산 함량이 낮은 남조류의

우점에도 불구하고 어류의 높은 성장을 보였는데, 이는 결국 다른 크고 작은 플랑크톤의 높은 먹이기여가 있어서 가능했을 것으로 사료된다.

따라서 먹이가 충분히 공급되지 않은 심한 빈영양호나 저영양조류에 의한 조류수화현상이 발생할 경우, 백련어의 성장은 남조류에 의존되기 보다는 동물플랑크톤, 고영양조류 등을 포함한 다양한 크기의 플랑크톤에 의해 가능할 것으로 판단되어 백련어와 유사한 어종을 이용한 인위적 생물조작에 의한 수질정화는 수종의 다양한 생물군들간의 먹이관계를 보다 세밀하게 연구할 필요가 있다고 사료된다.

## 적 요

2개월된 어린 백련어의 성장에 있어서 7종의 배양조류와 동물플랑크톤의 먹이 기여도를 조사하기 위하여 10 L의 원통형 수조에 8일동안 각각 배양하였다. 동물플랑크톤 *Moina*는 대부분의 배양조류를 효과적으로 섭취하였는데, *Cryptomonas*의 경우, 60분동안에 거의 대부분의 조류를 제거한 반면 남조류 *Oscillatoria*와 *Microcystis*는 강하게 *Moina*개체군을 감소시켰다. 어린 백련어는 52시간동안에 배양조류의 약 50% 정도 섭취하였으나, 남조 *Microcystis*의 경우 60% 이상이 여전히 수조에 남았으며, 동시에 어류체중의 5~12%를 감소시켰다. 실험에 사용된 동일한 밀도로 계속적으로 투입할 경우, 어린 백련어는 11~65일만에 사멸하였다. 동물플랑크톤 *Moina*는 투입된 어류밀도에 따라 각 개체의 성장특성이 다소 차이가 있으나 단일배양조류보다 어류성장을 유도하는 가장 직접적인 영양원으로 사료되었다.

## 인 용 문 헌

- Ahlgren, G., K. Zeipel and I.B. Gustafsson. 1997. Phosphorus limitation effects on the fatty acid content and nutritional quality of a green alga and a diatom. *Verh. Int Verein. Limnol.* **26**: 1659-1664.
- Ahlgren, G., L. Lundstedt, M.T. Brette, and C. Forsberg. 1990. Lipid composition and food quality of some freshwater phytoplankton for cladoceran zooplankters. *J. Plankton Res.* **12**: 809-818.
- Brett, M.T. and D.C. Müller-Navarra. 1997. The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic foodweb processes. *Freshwater Biol.* **38**: 483-499.
- Brett, M.T. 1993. Resource quality effects on *Daphnia*

- longispina* maternal and neonate fitness. *J. Plankton Res.* **15**: 403–412.
- Borowitzka, M.A. 1988. Fats, oils and hydrocarbons, p. 257. *In: Microalgal biotechnology* (M.A. Borowitzka and L.L. Borowitzka, eds.). Cambridge University Press.
- 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.
- de Bernardi, R. and G. Giussani. 1990. Are blue-green algae a suitable food for zooplankton? An overview. *Hydrobiologia* **200/201**: 29–41.
- El-Fouley, M.M., A.M. Youssef, F.K. El-Baz, F.E. Abdalla and M.M. Abdel Hafeez. 1985. Studies on fat accumulation in *Chlorella* and *Scenedesmus*. *Arch. Hydrobiol.* **71**: 439–457.
- Fukushima, M., N. Takamura, L. Sun, M. Nakagawa, K. Matsushige and P. Xie. 1999. Changes in the plankton community following introduction of filter-feeding planktivorous fish. *Freshwater Biol.* **42**: 719–736.
- Fukushima, M., N. Takamura, B.H. Kim, M. Nakagawa, L. Sun and Y. Zheng. 2000. The responses of an aquatic ecosystem to the manipulation of the filter-feeding silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Verh. Int. Verein. Limnol.* **27**, in press.
- Gulati, R.D. and W.R. deMott. 1997. The role of food quality for zooplankton: Remarks on the state-of-the-art, perspectives and priorities. *Freshwater Biol.* **38**: 753–768.
- Hama, T., K. Mastunaga, N. Handa and M. Takahashi. 1992. Fatty acid composition in photosynthetic products of natural phytoplankton population in Lake Biwa, Japan. *J. Plankton Res.* **14**: 1055–1065.
- Harwood, J.L. and A.L. Jones. 1989. Lipid metabolism in algae, p. 1–47. *In: Advances in Botanical Research* (J.A. Callow, eds.). Academic press. London.
- Herodek, S., I. Tatrai, J. Olah and L. Vörös. 1989. Feeding experiments with silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) fry. *Aquaculture* **83**: 331–44.
- Jungmann, D. 1992. Toxic compounds isolated from *Microcystis* PCC7806 that are more active against *Daphnia* than two microcystins. *Limnol. Oceanogr.* **37**: 1777–1783.
- Jungmann, D. and J. Benndorf. 1994. Toxicity to *Daphnia* of a compound extracted from laboratory and natural *Microcystis* spp. and the role of microcystin. *Freshwater Biol.* **32**: 13–20.
- Kanazawa, A., S. Teshima and S. Tokiwa. 1977. Nutritional requirements of prawn-VII effect of dietary lipids on growth. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish* **42**: 849–856.
- Kim, B.H., M.K. Choi and N. Takamura. 2000. Feeding behavior of one-year-old silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, on summer major phytoplankton in a shallow-hypertrophic lake. *Kor. J. Limnol.* **33**: 319–327.
- Lampert, W. 1981. Inhibitory and toxic effects of blue-green algae on *Daphnia*. *Internat. Rev. Ges. Hydrobiol.* **66**: 285–298.
- Lampert, W. 1982. Further studies on the inhibitory effect of the toxic blue-green *Microcystis aeruginosa* on the filtering rate on zooplankton. *Arch. Hydrobiol.* **95**: 207–220.
- Laws, E.A. and R.S.J. Weisburd. 1990. Use of silver carp to control algal biomass in aquaculture ponds. *Progressive Fish-Culturist* **52**: 1–8.
- Levine, D.M. and S.D. Sulkin. 1984. Nutritional significance of long chain polyunsaturated fatty acids to the zoeal development of the brachyuran crab, *Eurypanopeus depressus* (Smith). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **81**: 211–223.
- Lieberman, D.M. 1996. Use of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys nobilis*) for algae control in a small pond: changes in water quality. *J. Freshwater Ecol.* **11**: 391–397.
- Manandhar, H.N. 1977. Digestibility of phytoplankton by silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and three tilapias (*Sarotherodon* spp.) in polyculture with channel catfish (*Ictalurus punctatus*). p. 49. MS Thesis. Auburn Univ. Alabama.
- Mitchell, S.F., V. Trainor, P.H. Rich and C.E. Goulden. 1992. Growth of *Daphnia magna* in the laboratory in relation to the nutritional status of its food species, *Chlamydomonas reinhardtii*. *J. Plankton Res.* **14**: 379–391.
- Molina, E., M.E. Martinez, S. Sanchez, F. Garcia and A. Contreras. 1991. Growth and biochemical composition with emphasis on the fatty acids of *Tetraselmis* sp. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **36**: 21–25.
- Molina Grima, E., J.A. Sanchez Perez, F. Garcia Camacho, J.L. Garcia Sanchez and D. Lopez Alonso. 1993. *n*-3 PUFA productivity in chemostat cultures of microalgae. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **38**: 599–605.
- Molina Grima, E., J.A. Sanchez Perez, F. Garcia Camacho, J.M. Fernandez Sevilla and F.G. Acien Fernandez. 1994. Effect of growth rate on the eicosapentaenoic acid and decosahexaenoic acid content of *Isochrysis galbana* in chemostat culture. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **42**: 23–27.
- Montagnes, D.J.S., J.A. Berges, P.J. Harrison and F.J.R. Taylor. 1994. Estimating carbon, nitrogen, protein, and chlorophyll a from volume in marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* **39**: 1044–1060.

- Norsker, N.H. and J.G. Støttrup. 1994. The importance of dietary HUFAs for fecundity and HUFA content in the harpacticoid, *Tisbe holothuriae* Hume. *Aquaculture* **125**: 155–166.
- Pierreck, M. and P. Pohl. 1984. Formation of biomass, total protein, chlorophylls, lipids and fatty acids of freshwater green and blue-green algae during growth phase. *Phytochemistry* **23**: 217–223.
- Prowse, G.A. 1964. Some limnological problems in tropical fish ponds. *Verh. Int. Verein. Limnol.* **15**: 480–484.
- Reitan, K.I., J.R. Rainuzzo and Y. Olsen. 1994. Effects of nutrient limitation on fatty acid and lipid content of marine microalgae. *J. Phycol.* **30**: 972–979.
- Shei, P. and J. Liu. 1990. Studies on the influence of planktivores fishes (silver carp and bighead carp) on the phytoplankton community in a shallow, eutrophic Chinese lake (Donghu Lake) using enclosure method, p. 15–24. *In: Annual report of State Key Laboratory for Freshwater Ecology and Biotechnology of China* (J.K. Liu *et al.*, eds.). International Academic Publisher, Beijing.
- Sicko-Goad, L. and N.A. Andresen. 1991. Effect of growth and light/dark cycles on diatom lipid content and composition. *J. Phycol.* **27**: 710–718.
- 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.
- Sommer, U. 1992. Phosphorus-limited Daphnia: Intraspecific facilitation instead of competition. *Limnol. Oceanogr.* **37**: 966–973.
- Starling, F.L.R.M. 1993. Control of eutrophication by silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in the tropical Paranoa Reservoir (Brasilia, Brazil). *Hydrobiologia* **257**: 143–152.
- Sterner, R.W., J.J. Elser and D.O. Hessen. 1992. Stoichiometric relationships among producers, consumers and nutrient cycling in pelagic ecosystems. *Biochemistry* **17**: 49–67.
- Støttrup, J.G. and J. Jensen. 1990. Influence of algal diet on feeding and egg-production of the calanoid copepod *Acartia tonsa* DANA. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **141**: 87–105.
- Stutzman, P. 1995. Food quality of gelatinous colonial chlorophytes to the freshwater zooplankters *Daphnia pulicaria* and *Diaptomus oregonensis*. *Freshwater Biol.* **34**: 149–153.
- Takamura, N., Y. Ishikawa, H. Mikami, Y. Fujita, S. Higuchi, H. Murase, S. Yamanaka, Y. Nanjyo, T. Igari and T. Fukushima. 1996. Abundance of bacteria, picophyto-plankton, nanoflagellates and ciliates in relation to chlorophyll *a* and nutrient concentrations in 34 Japanese waters. *Jpn. J. Limnol.* **57**: 245–259.
- Thompson, P.A., P.J. Harrison and J.N.C. Whyte. 1990. Influence of irradiance on the fatty acid composition of phytoplankton. *J. Phycol.* **26**: 278–288.
- Utermohl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Int. Verein. Theor. Ang. Limnol. Mitt.* **9**: 1–38.
- Vovk, P.S. 1974. The possibilities of using silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* (Val.) to increase the fish productivity and to decrease the eutrophication of the Dniepr reservoirs. *Vopr. Ikhtiolog.* **14**: 406–414. (in Russian)
- Waldock, M.J. and D.L. Holland. 1984. Fatty acid metabolism in young oysters, *Crassostrea gigas*: polyunsaturated fatty acids. *Lipids* **19**: 332–336.
- Watanabe, T., C. Kitajima and S. Fujita. 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for the mass propagation of fish: a review. *Aquaculture* **34**: 403–409.
- Webb, K.L. and F.L. Chu. 1982. Phytoplankton as a food source for bivalve larvae, p. 272. *In: Biochemical and physiological approaches to shellfish nutrition* (Pruder, G.D., C. Langdon and O. Conklin, eds.). World Mariculture Society Special Publication. 2. Baton Rouge, Louisiana.
- Wetzel, R.G. and G.E. Likens. 1991. *Limnological Analysis*. 2nd ed. Springer-Verlag, New York.
- Xie, P. and N. Takamura. 1996. Impact of filter-feeding silver and bighead carps on the long-term changes in the community structure of *Cladocera* in Lake Donghu. *Acta Hydrobiologia Sinica* **20**: 47–59.
- Yasuno, M., Y. Sugaya, K. Kaya and M.M. Watanabe. 1998. Variations in the toxicity of *Microcystis* species to *Moina macrocopa*, p. 43–51. *In: Advances in Microalgal and Protozoal studies in Asia* (M.M. Watanabe and K. Kaya, eds.). Global Environmental Forum, Isebu Co. Ltd., Japan.
- Yongmanitchai, W. and O.P. Ward. 1989.  $\omega$ -3 fatty acids. Alternative sources of production. *Process Biochem.* **24**: 117–125.
- Zhu, H. and W. Deng. 1983. Studies on the digestion of algae by fish (II) *Microcystis aeruginosa* and *Euglena* sp. digested and absorbed by silver carp and big head. *Trans. Chinese Ichthyol. Soc.* **3**: 77–91.