

대청호 남조류 대발생기의 동물플랑크톤相 및 *Microcystis aeruginosa*와 물벼룩류 개체군 변동의 상관관계

이지민 · 이정준¹ · 박종근² · 이정호¹ · 장천영* · 윤성명³

(대구대학교 자연과학대학 생명과학부, ¹대구대학교 사범대학 생물교육과, ²수자원연구소 수질환경부, ³조선대학교 사범대학 생물교육과)

Zooplankton Fauna and the Interrelationship Among Cladoceran Populations and *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) during the Cyanobacterial Blooming Season at Daechong Lake, South Korea. Lee, Ji Min, Jung Joon Lee¹, Jong Geun Park², Jung Ho Lee¹, Cheon Young Chang* and Seong Myeong Yoon³(Division of Life Natural Science, Daegu University, Gyeongsan 712-714; ¹Department of Biology Education, Daegu University, Gyeongsan 712-714; ²Water Resources Research Institute, KOWACO, Daejeon 306-711; ³Department of Biology Education, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea)

Fifty-four zooplankton species from Daechong Lake were identified during the research period from June to October 2001. The representative zooplanktons mostly comprised the index species indicating the intermediate stage from oligosaprobity to β -mesosaprobity. During the blooming season of blue-green algae, the population of large cladocerans like *Daphnia galeata* precipitously decreased in size, while rotifers and small cladocerans like *Bosmina longirostris* increased in population size. Therefore, soon after the peak of the blooming of blue-green algae, whole zooplankton standing crop and number of species showed the tendency of recovery, or even the sharp increase. The population size of *Daphnia galeata* was affected very sensitively by the change of cyanobacterial density.

Key words : *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia galeata*, *Bosmina longirostris*, cyanobacterial blooming, zooplankton fauna, Daechong Lake, South Korea

서 론

최근 오염원의 확대 등 다양한 원인에 의하여 국내 대부분의 댐과 저수지의 수질은 급격히 부영양화되고 있으며, 이에 따른 남조류의 대발생이 고수온기마다 연례화하고 있는 실정이다(이 등, 1998). 대청호 역시 남조류 수화가 매년 발생하여 수질관리는 물론 정수처리 등 수자원이로서의 이용에 지대한 장애를 초래하고 있다(김 등, 1996; 이 등, 1997, 1998; 이, 1999; 이와 박, 2000).

이와 같은 남조류 수화를 효과적으로 제어하기 위해서는 수화의 발달 과정과 그 유발인자에 대한 면밀한 조사가 무엇보다 필요하다. 특히 남조류를 비롯한 식물플랑크톤의 포식자인 동물플랑크톤과의 상호관계에 대한 조사는 남조류 수화 발달 및 소멸 기작을 이해하는 데 있어 필수적으로 요구되는 사항이 아닐 수 없다(Horne and Goldman, 1994; Sellner *et al.*, 1996; Urabe *et al.*, 1996; 임 등, 1997; 김 등, 1999; 김 등, 2000).

특히 최근에는 동물플랑크톤의 섭식을 이용하여 남조류의 대발생을 조절하려는 생물제어(bio-manipulation)

* Corresponding author: Tel: 053) 850-6454, Fax: 053) 850-6459, E-mail: cychang@daegu.ac.kr

기법이 세계적으로 활발히 연구되고 있는 등 댐과 저수지의 수질관리에 있어 동물플랑크톤 조사의 중요성이 크게 주목받고 있다(USEPA, 1990; Hanazato, 1991; Klapper, 1991; 김 등, 1996).

그러나 국내 댐과 저수지에 대한 동물플랑크톤의 조사는 매우 미미한 수준의 연구 축적만이 있을 뿐이며, 특히 대청호에 대해서는 단지 김 등(1996)의 단순 동물플랑크톤상 보고가 유일한 실정이다.

본 연구는 대청호에서 남조류 대발생 기간 동안 동물플랑크톤 군집 변화를 추적하여, 남조류 대발생에 따른 동물플랑크톤 군집 동태와의 상관관계를 고찰하고자 하였다.

재료 및 방법

대청호는 금강의 중류부에 위치하며 (Fig. 1), 총저수량 약 15억 m³, 유역면적 4,184 km², 유로 총연장 250 km이다. 저수면적은 72.8 km²로, 평균 수심 25 m, 평균 수리학적 체류시간은 248일이다 (한국수자원공사, 1998). 대청호

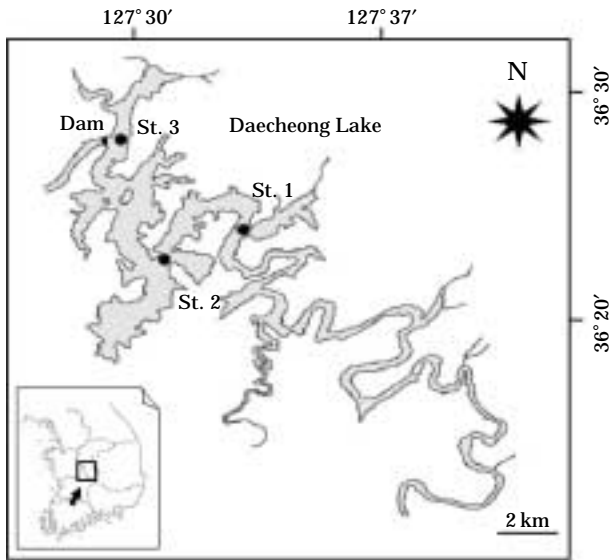


Fig. 1. A map showing the sampling stations in Daechong Lake. St. 1, Hoinam; St. 2, Naetap; St. 3, Dam.

내의 회남교 부근 (St. 1), 내탑 (St. 2), 대청댐 본댐 (St. 3) 등 3개 조사정점을 대상으로 2001년 6월 22일부터 10월 29일까지 1~2주 간격으로 각 조사정점에서 12회씩 시료를 채취하였다. 조사의 유의성을 높이기 위하여 동일한 조사일에 3개 조사정점에 대한 조사를 수행하였다. 채집지의 수온, pH 및 DO 등의 기본적인 이화학적 환경요인을 현장 수질측정기인 Quanta multiprobe (HYDROLAB)로 측정하였다 (Table 1).

각 조사정점에서는 매 회의 조사마다 동일한 위치에서 망목(網目) 64 μm (mesh no. 25)인 plankton net를 바닥부터 표층까지 수직 예인하여 시료를 채취한 뒤 현장에서 4% 중성 포르말린액으로 고정하였다. 이와 함께 남조류가 주로 분포하는 표층 시료의 분석을 보완하기 위하여 비이커를 이용, 조사정점별로 표층수를 10 L씩 채수하여 소형 plankton net (망목 64 μm)로 거른 뒤 고정하였다.

채취한 시료는 실험실에서 40~100배의 실체현미경을 사용하여 Bogorov식 계수반 위에서 종별로 계수하고, 1 m³ 당 동물플랑크톤 개체수를 환산하였다. 종 동정은 동물플랑크톤 표본을 lactophenol mounting 위에서 해부한 뒤 400~1,000배의 미분간섭현미경 (differential interference contrast microscope with Normarski optics)을 이용, 미세형질을 면밀히 관찰하여 유행동물은 Koste (1978), Song and Kim (1989), Mizuno and Takahashi (1991), 물벼룩류는 Kim (1988), 요각류는 Shen (1979), Chang and Kim (1986), Kim and Chang (1989), Ishida (2002), Ueda and Reid (2003), Lee et al. (2005) 등의 관련 전문문헌에 의거 동정하였다.

각 분류군의 국명은 <한국동물명집> (한국동물분류학회, 1997)을 따랐다.

결과 및 고찰

1. 동물플랑크톤의 종류상

조사기간 동안 윤충류 21종, 물벼룩 15종, 요각류 14종을 비롯하여 총 54종의 동물플랑크톤이 출현하였다 (Table 2-4).

Table 1. The environmental factors in Daechong Lake during the study period.

Factors	Date	6/22	6/27	7/9	7/16	8/6	8/23	9/3	9/10	9/24	10/15	10/24	10/29
	WT (°C)		25.6	24.0	24.6	26.9	28.4	27.2	27.3	27.5	23.8	21.3	19.4
pH		8.6	8.1	9.4	9.0	9.9	10.1	9.6	9.5	8.0	7.8	7.9	8.2
DO		10.0	9.7	9.9	10.1	11.7	11.3	10.1	7.5	7.5	9.1	9.3	9.9

부유성 원생동물로서는 유각근족충류에 속하는 3종의 *Diffugia* 아메바가 출현하였다. 이 중에서 조사기간 중 지속적으로 출현하였고 서식밀도가 높았던 종은 *Diffugia corona* (왕관벌레)였는데, 남조류인 *Microcystis aeruginosa*가 대발생하면서 이 종은 3개 조사정점 모두에서 개체군 크기가 급감한 것으로 나타났다. 다른 2종의 아메바류인 *D. urceolata*, *D. acuminata*는 상대적으로 개체군 크기가 작았으며, *D. corona* 개체군이 감소할 때 일시적으로 나타나는 것으로 보아 상호 경쟁관계에 있는 종들로 보인다. 이들 유각근족충류는 6월 말에서 9월 초까지 대체로 고수온기의 부영양화시기에 표층수 부근에서 개체군의 크기가 증가하지만, 남조류 *Microcystis*의 밀도가 일정 수준 이상으로 대발생할 때에는 일시적인 저해를 받아 급감하며, 수온이 낮아지는 9월 이후에는 개체군의 크기가 감소하는 것으로 추정된다.

윤충류는 부영양성인 수역에도 적응할 수 있는 종의 비율이 물벼룩류에 비해 상대적으로 많았다. 윤충류는 물벼룩류에 비해 남조류 독성에 대해 상대적으로 내성이 큰 것으로 알려져 있으며 (Fulton and Paerl, 1987; Fulton, 1988), 실제로 본 연구에서 남조류 대발생시 개체군의 크기가 증가하는 종이 많았다. 조사기간 중 남조류 대발생기에 우점적으로 나타난 윤충류는 *Euchlanis dilatata* (넓은배수족윤충), *Brachionus calyciflorus* (꽃받침원미윤충), *Keratella cochlearis* (중성거북등윤충) 등이다.

*E. dilatata*는 남조류가 많은 수역에서 자주 관찰되는 종으로, 이번 조사에서도 남조류, 특히 *Microcystis*와 밀접한 출현 상관성을 보였다. 즉, 이 종은 본 조사기간 동안 지속적으로 출현하였으며, 남조류 대발생기 중에 개체군 크기가 증가하거나 높은 수준을 유지하였다. *B. calyciflorus*는 흔히 부영양수역에서 우점적으로 나타나는 종으로서, 물벼룩류가 증가하면 개체군의 크기가 민감하게 감소하는 경향을 보인다 (장과 송, 2000). Fulton and Paerl (1987)에 의하면, 이 종은 *M. aeruginosa* 독소에 영향을 받지 않으며, 수화 수준의 남조류 밀도에서도 섭식율을 유지하는 것으로 알려졌다. 그리고 이 종을 물벼룩류인 *Daphnia*류와 혼합하여 배양 실험한 결과 (Fulton and Paerl, 1988), 남조류를 투입하였을 때 *Daphnia*류와의 경쟁력이 개선되었지만, 결국 *Daphnia*류에 의해 완전히 제압당한 것으로 보고된 바 있다. 본 연구에서는 외견상 *B. calyciflorus*와 남조류와의 종 출현 상관성이 뚜렷하지는 않은 것으로 나타났는데, 이는 *B. calyciflorus*가 남조류보다는 물벼룩류 (*Daphnia galeata*, *Bosmina longirostris* 등)와의 상관관계에 따라 개체군 크기의 변화를 보였기 때문인 것으로 추정된다. *K. coch-*

*learis*와 *Polyarthra vulgaris* (보통다우윤충)은 우리나라의 각종 담수역에서 흔한 보통종들로서, 주로 표층에 분포하는 소형종들이다. 두 종 모두 *M. aeruginosa* 남조류의 대발생 기간 동안 개체군 크기의 감소가 현저하여 남조류 독성의 저해를 받는 것으로 나타났다. 특히 *K. cochlearis*는 비교적 빈영양 수역을 선호하는 종으로서 남조류 대발생과는 뚜렷한 상반성을 보였다.

물벼룩 집단에서는 조사기간 동안에 *Daphnia galeata* (유리물벼룩)-*Diaphanosoma dubium* (긴팔긴꼬리물벼룩)-*Bosmina longirostris* (긴뿔물벼룩)-*Ceriodaphnia cornuta* (뾰족코물벼룩)의 순으로 우점종의 천이가 뚜렷하였다. 전반적으로 물벼룩류는 수질이 양호할 때 출현하는 종이 많았으며, 내성의 범위도 작아서 환경의 변화에 민감한 종이 많았다. *D. galeata*는 과거 국내에서 *D. longispina* 또는 *D. hyalina*로 동정되었던 종으로서 우리나라 대형 담수역의 대표적인 종이며, *Daphnia*류로서는 대형 담수역에 서식하는 거의 유일한 종이다. 주로 초여름~늦가을까지 출현하며, 호소의 부영양화시에는 높은 밀도로 출현하기도 한다. 이 종은 여름철에 뾰족한 뿔이 솟아 있는 모양의 두갑을 가지는 변이형을 나타낸다. *Diaphanosoma dubium* (과거 국내에서는 *D. brachyurum*으로 주로 기록되었음)과 *B. longirostris*는 *D. galeata*와 함께 대형 담수역의 대표적인 물벼룩 종들인데, 부영양화시 일시적으로 아주 높은 밀도를 나타내는 경우가 있다. *Moina weismanni* (시궁모이나물벼룩)는 우리나라에서 보고된 모이나물벼룩류 가운데 대형수역에 출현하는 유일한 종으로서, 기수역과 유기오염이 심한 곳에서도 분포하는 비교적 넓은 환경 내성 범위를 가지고 있는 종이다. 대청호에 대한 본 연구에서는 남조류가 대발생한 8월의 St. 1 (회남)에서 이 종이 출현하였다. *C. cornuta*는 대형 담수역에 우세하게 분포하는 *Ceriodaphnia*속의 종으로서, 대청호에서는 수온이 낮아지는 10월에 개체군 크기가 증가하는 경향을 나타냈다. *Leptodora kindtii* (렙토물벼룩)는 몸길이 1.7 mm 내외의 대형종으로, 이 종이 속하는 렙토물벼룩과 (Leptodoridae)에는 전세계적으로 1속 1종만이 기록되어 있다. 이 종은 담수 물벼룩류로서는 유일한 포식성 종으로, 거의 빈영양성 대형 수역에서만 출현한다. 이밖에 *Alona rectangularis* (등근배큰씨물벼룩), *A. quadrangularis* (사각배큰씨물벼룩), *A. costata* (줄무늬큰씨물벼룩), *Biapertura affinis* (털발톱물벼룩), *Disparalona rostrata* (짧은배씨물벼룩), *Pleuroxus hamatus* (줄무늬긴코물벼룩) 등은 모두 씨물벼룩류 (chydoridae)로서, 주로 물가장자리 수초 틈이나 바닥의 부식질 틈을 선호하는, 표생저서성 (epibenthic) 동물플랑크톤이

다. 따라서 대청호와 같은 대형수역에서는 호수의 가장자리를 제외하면 서식밀도가 매우 낮은 종들이다.

요각류는 부영양성인 수역에도 적응할 수 있는 종의 비율이 물벼룩류에 비해 상대적으로 많았다. *Thermocyclops crassus* (유리온넌검물벼룩)는 과거 국내의 각종 육수학적 조사 등에서 *T. hyalinus*로 잘못 기록된 종으로서, 봄과 가을철의 비교적 대형 수역에서 상대적으로 높은 서식밀도를 보이는 종이다. 이에 비해 *T. taihokuensis* (온난검물벼룩)는 연못과 관개용 저수지 등 소형 부영양 수역에서 흔하며, 여름철에 서식밀도가 증가한다. 대청호에서는 5월 하순~10월 초까지 위의 두 종이 혼서하였으며, 수온이 낮을 때는 상대적으로 *T. crassus*의 비율이 높았고, 수온이 높거나(8월) 부영양성인 지점(St. 1, 회남)에서는 *T. taihokuensis*의 비율이 상대적으로 증가하였다. 조사기간 중 대청호에서는 보통검물벼룩류(*Mesocyclops*속)로서 3종(*M. pehpeiensis*, *M. dissimilis*, *M. woutersi*)이 확인되었다. *Mesocyclops dissimilis* (꼭지보통검물벼룩)는 3종 중 가장 부영양화가 덜한 호수 중심부 수역에서 서식밀도가 높았고, *M. pehpeiensis* (갈고리보통검물벼룩)과 *M. woutersi* (민가시보통검물벼룩)는 고수온기의 부영양화가 많이 진행된 곳(8월, 회남)에서 출현하였다. *Cyclops kikuchii* (참검물벼룩)는 다양한 담수역에 서식하는 광온 광염성 요각류로서, 국내에 출현하는 검물벼룩류 가운데 가장 큰 대형종(몸길이 1.2~1.5 mm)이다. 과거 국내의 각종 육수학적 조사에서 *C. vicinus*로 보고되었던 종의 거의 대부분이 이 종의 오동정임이 확인되고 있다. 이 종은 연중 출현하지만 주로 한겨울철에 번식하고 5월 하순 이후 수온이 높아지면 흔히 copepodite 유생형으로 성장을 멈추는(일종의 휴면, diapause) 경우가 많다. 성체일 경우는 비교적 물이 맑은 빈영양성 수역에서 β-중영양성 수역에 걸쳐 서식하지만, 유생 시기에는 환경 변화에 대한 적응성이 커져 강부수성 수역에서도 종종 보고된다. 조사기간 중 대청호에서는, 5월 중순 경까지는 *C. kikuchii*와 *T. crassus*가 가장 흔한 종이었고, 수온이 상승함에 따라 *M. dissimilis*, *T. taihokuensis* 등의 검물벼룩류와 *Heliodiaptomus kikuchii* (햇님노벌레) 등의 노벌레류가 증가하는 경향을 나타내었다.

주요 동물플랑크톤의 출현 특성과 수질 지표성을 검토한 결과, 본 조사기간 중 대청호의 동물플랑크톤 군집은 빈영양성~β-중영양성 지표를 보이는 종들로 주로 구성되었으나(Sládeček, 1991), 일시적으로 부영양화된 정점에서는 *M. weismanni*과 *M. pehpeiensis* 등 적응성이 강한 종이 출현하기도 하였다. 조사기간 동안(2001년 6월~10월) *Asplanchna priodonta* (앞니쌘지윤충), *K. coch-*

learis, *E. dilatata*, *D. galeata*, *B. longirostris*, *T. crassus* 등이 우점하였는데, 이들은 한국의 대형 댐에서 흔히 출현하는 종들이다.

조사정점들 사이의 출현종수와 분류군별 조성을 비교하였을 때, 출현종은 St. 1(회남)에서 46종으로 가장 많았으며, St. 3(댐축)이 35종으로 가장 적었다. 분류군별 조성은 St. 1(회남)에서 윤충과 요각류의 비율이 높은 대신 물벼룩류의 종수는 적었다. 이와 대조적으로 St. 3(댐축)에서는 상대적으로 물벼룩류 종수의 비율이 높았다. St. 2(내담)에서는 윤충과 물벼룩류, 요각류의 출현종수가 고른 편이었다.

2. 동물플랑크톤 군집의 개체군 동태와 조사정점간 비교

조사정점별 동물플랑크톤 군집의 생물량과 출현종수의 변화를 함께 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 조사기간 동안 동물플랑크톤 군집의 평균 생물량은 15,344개체·m⁻³(St. 3, 댐축)~80,173개체·m⁻³(St. 1, 회남)이었다. 남조류의 대발생이 가장 먼저 나타났으며 대발생기 내내 가장 수화 정도가 심했던 St. 1(회남)에서 군집 생물량이 가장 많았는데, 대발생이 시작되었던 6월 말에 아메바류의 일종인 *D. corona* 개체군의 생물량이 449,000개체·m⁻³로 폭발적인 증가를 보였다. 반면, 대발생기 이전(6월 하순 이전)과 대발생기 이후(10월 중순 이후)에는 3개 정점 모두에서 군집 생물량이 상대적으로 작았고, 정점간 차이도 크지 않은 것으로 나타났다. 군집 생물량의 변동 폭은 회남에서 가장 컸던 반면에 댐축에서의 변동 폭은 상대적으로 작았다.

조사정점별 동물플랑크톤 군집의 출현종수는 최저 12종(댐축, 6월 22일)에서 최고 26종(회남, 9월 24일)으로

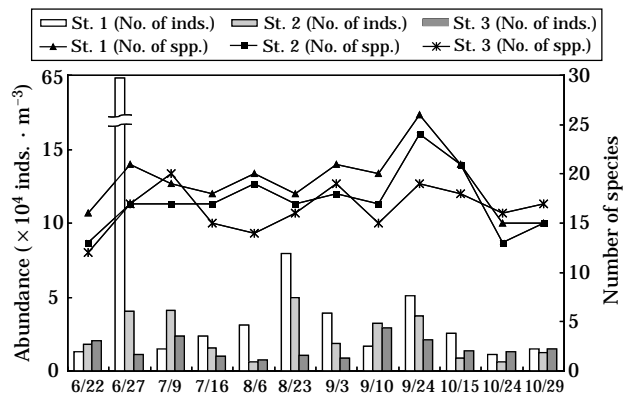


Fig. 2. Fluctuations of zooplankton abundance and number of species at three stations of Daecheong Lake.

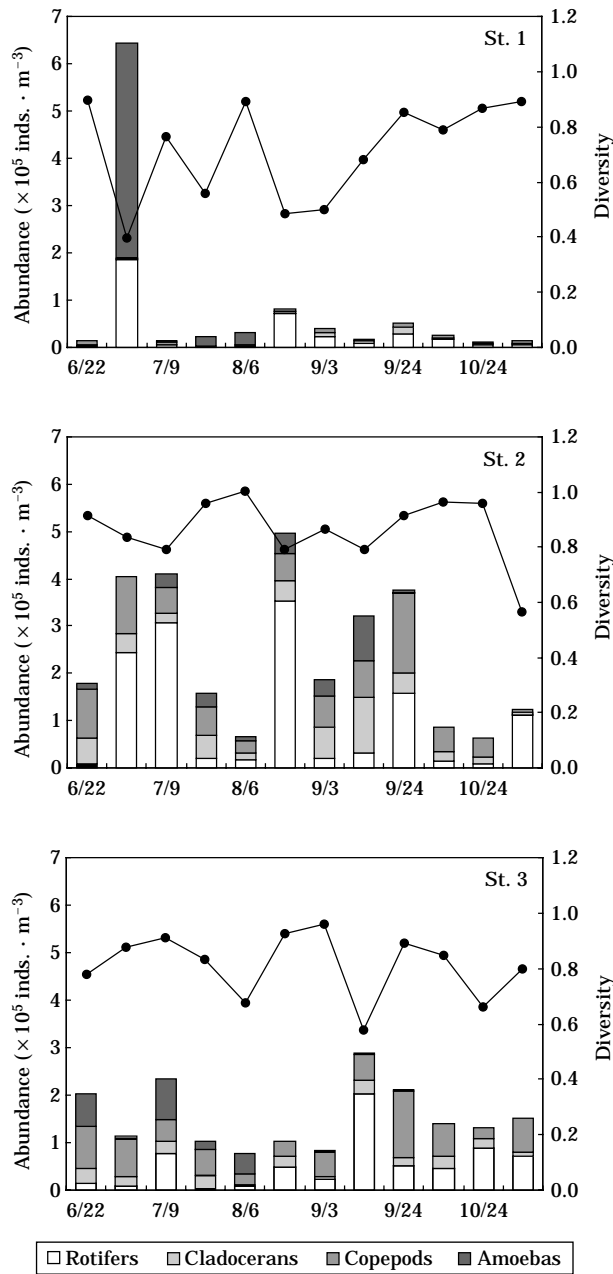


Fig. 3. Fluctuations of zooplankton abundance and diversity at each station of Daechong Lake.

서, 조사기간 중 평균 17종(담축)~19종(회남)의 범위를 나타냈다. 7월 9일의 조사 외에는 남조류 대발생기 내내 남조류 수화의 정도가 가장 심했던 회남 수역에서 출현 종수가 가장 많았고, 남조류 개체군이 거의 소멸된 10월 하순부터는 담축에서 출현종수가 많았다. 출현종수의 변동 폭은 회남에서 가장 컸던 반면에 담축에서의 변동 폭은 상대적으로 작았다. 시기적으로 보면, 6월 하순과 10

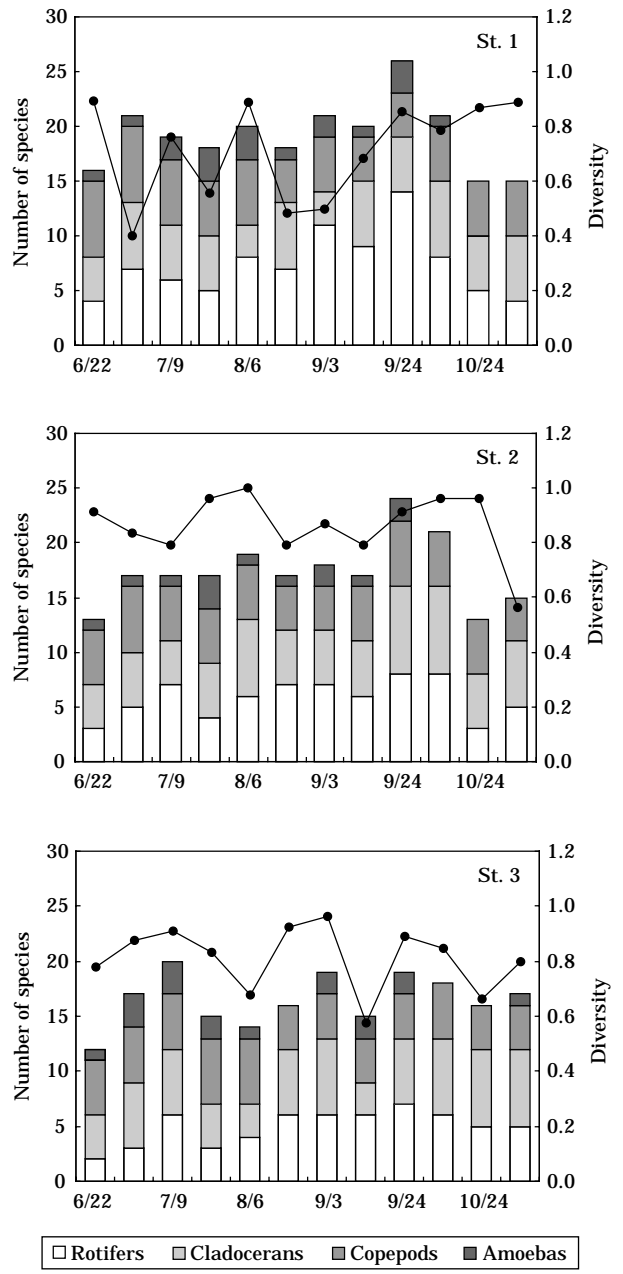


Fig. 4. Fluctuations of number of zooplankton species and diversity at each station of Daechong Lake.

월 하순에 출현종수가 다소 작았고, 남조류 수화가 심했던 9월 하순에 가장 높았다.

동물플랑크톤 군집 생물량의 변화와 출현종수의 변화 사이에 뚜렷한 상관관계는 드러나지 않았다. 회남과 내담 간에는 서로 유사한 변화 패턴을 보였으나, 담축과는 차이를 나타냈다. 즉, 회남과 내담의 두 조사정점에서는 생물량과 출현종수의 변화폭이 컸고 8월 중순에서 9월 사

이에 많은 생물량을 나타낸 것에 비해, 댐측에서는 생물량과 출현종수의 변화폭이 작았고 9월 중순~10월에 많은 군집 생물량을 보였다.

조사정점별 군집 생물량과 종다양도의 변화(Fig. 3), 출현종수와 종다양도의 변화(Fig. 4) 및 동물플랑크톤 각종 개체군의 생물량 분포자료(Table 2~4)를 통해서 남조류 대발생 기간 전후의 조사정점별 동물플랑크톤 군집 동태를 간략히 고찰하면 다음과 같다.

1) St. 1 (회남)

남조류의 대발생이 아직 시작되지 않은 6월 22일의 조사와 27일 조사에서는 *P. vulgaris* 등의 윤충류와 *D. galeata*, *B. longirostris* 등의 물벼룩류, *T. crassus*, *C. kikuchii* 등의 요각류가 우점하였으며, 3개 조사정점 중에서 가장 먼저 부영양화가 진행되었다. 6월 27일 조사에서는, *D. corona*가 대량 출현하였으며($449,000$ 개체 \cdot m^{-3}) 그 결과 군집의 종다양도가 낮았다. 7월 들어 남조류의 대발생이 본격화하면서 종다양도가 감소하였는데, 남조류와 출현 상관성이 높은 것으로 추정되는 *E. dilatata*와 같은 윤충류 개체군의 크기가 증가하였고, 윤충류와 더불어 일부 물벼룩류 및 검물벼룩류(*T. crassus* 및 유생 등) 종들에 의해 군집이 유지되었다. 남조류 대발생기인 7월 말~9월 중순에는, 부영양화에 강한 내성을 보이는 윤충류(*B. calyciflorus* 등)와 물벼룩류(*M. weismanni* 등)가 다수 출현하여 동물플랑크톤 군집의 출현종수와 종다양도가 오히려 증가하였다. 이 기간 동안 *D. galeata* 개체군의 크기가 급감하여 결국 소멸되었고, 대신 *B. longirostris* 개체군의 크기가 급증하였다. 또한 *E. dilatata*는 8월 말에 개체군의 크기가 크게 증가하였다가 남조류의 밀도가 감소하기 시작하는 9월 중순 이후에는 급감하였다. 9월 하순에는 *P. vulgaris*, *Keratella*류와 같은 윤충류, *B. longirostris*, *D. dubium* 등의 물벼룩류 및 *T. crassus*의 개체군 크기가 증가하였고, 동물플랑크톤 군집의 출현종수와 종다양도가 높은 수준에 도달하였다. 10월에는 *D. galeata*가 다시 출현하였고, 이와 더불어 *B. longirostris*와 *D. dubium* 등은 점차 개체군 크기가 감소한 반면, *C. cornuta* 개체군의 크기는 증가하였다. 또한 *C. kikuchii*도 출현하였다. 이 시기의 동물플랑크톤 군집 생물량과 출현종수는 매우 낮았으나, 특정 종의 대발생이 없어 종다양도는 조사기간 중 가장 높았고, 남조류 대발생이 소멸되어 동물플랑크톤 군집이 안정을 회복하는 양상을 보였다(Figs. 3, 4, 5; Table 2).

2) St. 2 (내탑)

내탑에서는 7월 중순 들어서서 회남과 약 일주일에서

10일 정도의 시차를 두고 남조류가 대발생하기 시작하였다. 6월 하순부터 7월 상순까지는 *A. priodonta*, *B. calyciflorus* 등의 윤충류와 *D. galeata*, *B. longirostris* 등의 물벼룩류, *T. crassus*가 우점하였고, 비교적 출현종들의 생물량이 많았다. 이후 남조류의 밀도가 급증한 8월 초까지는 동물플랑크톤 군집의 생물량이 급감하였으나 종수는 변함이 없어 종다양도는 오히려 증가하였다. 군집 생물량이 급감한 이유는 *A. priodonta*, *B. calyciflorus* 등의 윤충류와 *D. galeata*의 개체군 크기가 급감하였기 때문이다. 8월 23일의 조사에서는 다시 군집 생물량이 급증하였는데, 이는 *D. galeata* 등과 같은 대형 동물플랑크톤의 공백기에 *P. vulgaris*, *Keratella*류, *E. dilatata* 등과 같은 윤충류, 그리고 *B. longirostris* 등의 소형 물벼룩이 대량 출현하였기 때문이다. 9월 중순과 하순의 남조류 대발생 후기에는 *P. vulgaris*, *B. longirostris*, *D. galeata*, *C. cornuta* 등의 개체군 크기가 증가하거나 새로 출현하였고, 동물플랑크톤 군집의 출현종수와 종다양도도 증가하였다. 9월 말 이후에는 앞서의 윤충류, 특히 *E. dilatata*와 소형 물벼룩류의 개체군 크기가 급감하였고 출현종수와 종다양도도 대폭 감소하였다. 10월에는 *D. dubium*과 *H. kikuchii*, *C. kikuchii*, *T. crassus* 등의 요각류가 우점하였다(Figs. 3, 4, 6; Table 3).

3) St. 3 (댐측)

St. 3 (댐측)에서는 다시 St. 2 (내탑)와 약 10일의 시차를 두고 7월 하순 들어서서 남조류가 대량 발생하기 시작하였다. 남조류 대발생 이전에는 *D. corona*, *P. vulgaris*, *A. priodonta*, *Filinia terminalis* (맨끝삼지윤충), *D. galeata*, *B. longirostris*, *T. crassus* 개체군의 크기가 컸고, 비교적 종다양도가 높았다. 이후 남조류가 급증한 8월에는 동물플랑크톤 군집의 생물량이 급감하였고, 윤충류와 물벼룩류의 종수가 감소하였으며 종다양도 역시 감소하였다. 그러나 유리물벼룩 개체군이 소멸된 9월 중순부터 *P. vulgaris*, *B. longirostris*, *T. crassus* 등의 개체군 크기가 급증하였고, *E. dilatata*와 *D. dubium* 개체군 크기도 계속 증가하여 조사기간 중 가장 많은 군집 생물량($21,252 \sim 28,954$ 개체 \cdot m^{-3})을 나타내었다. 10월 들어서서는 동물플랑크톤 군집은 $15,000$ 개체 \cdot m^{-3} 미만의 생물량을 유지하였는데, 이때의 동물플랑크톤 군집은 주로 *T. crassus* 등의 요각류와 *B. longirostris*, *D. dubium* 그리고 *P. vulgaris* 등으로 이루어졌다. 10월 중순 이후에는, *C. cornuta*, *Keratella*류, *C. kikuchii*의 개체군 크기가 증가하거나 새로 출현하였다(Figs. 3, 4, 7; Table 4).

Table 2. Abundance (inds. m⁻³) of zooplanktons at St. 1 (Hoinam) of Daecheong Lake during the cyanobacterial blooming season in 2001.

Species	Date	6/22	6/27	7/9	7/16	8/6	8/23	9/3	9/10	9/24	10/15	10/24	10/29
	Amoebas												
<i>Diffugia corona</i>		31	449,000	113	4,800	23,815	984	57	892	679	85	0	0
<i>Diffugia urceolata</i>		0	0	28	14,400	1,100	0	0	0	150	0	0	0
<i>Diffugia acuminata</i>		0	0	0	0	200	0	10	0	50	0	0	0
Rotifers													
<i>Brachionus angularis</i>		0	40	0	0	0	0	0	200	14	0	0	0
<i>Brachionus calyciflorus</i>		0	1,200	156	0	106	1,227	42	0	71	1,543	127	184
<i>Brachionus quadridentatus</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	170	0	0
<i>Brachionus diversicornis</i>		0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Keratella valga</i>		0	0	0	10	0	410	10	0	10	0	0	0
<i>Keratella cochlearis</i>		0	400	0	21	200	54	1,600	2,100	4,650	6,340	1,200	400
<i>Diurella similis</i>		10	82,400	20	30	0	0	0	28	28	0	0	0
<i>Polyarthra vulgaris</i>		1,600	98,400	127	42	531	56,160	18,100	3,650	21,650	9,500	4,400	5,120
<i>Platyas patulus</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	0	0
<i>Synchaeta lakowitziana</i>				3									
<i>Lecane luna</i>		0	0	0	0	0	1,600	10	0	0	0	0	0
<i>Asplanchna priodonta</i>		16	800	0	0	71	202	71	28	42	42	28	0
<i>Asplanchna sieboldi</i>		0	0	0	0	3	0	3	0	2	0	0	0
<i>Filinia terminalis</i>		0	2,100	0	0	0	0	10	42	609	0	0	0
<i>Filinia opoliensis opoliensis</i>		0	0	0	0	0	0	0	9	95	2	0	0
<i>Euchlanis dilatata</i>		0	0	4,388	28	318	12,267	2,194	722	495	793	439	127
<i>Ploesoma hudsoni</i>		0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca cylindrica</i>		10	0	0	0	10	0	20	400	350	0	0	0
<i>Monostyla bulla bulla</i>		0	0	0	0	0	0	10	0	14	0	0	0
Cladocerans													
<i>Daphnia galeata</i>		2,847	984	5,874	156	460	40	0	0	0	127	184	410
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	241	28	297	510
<i>C. quadrangula</i>		0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
<i>Diaphanosoma dubium</i>		2	81	99	35	0	849	42	241	212	382	127	495
<i>Moina weismanni</i>		0	324	28	382	0	0	0	0	637	651	0	0
<i>Bosmina longirostris</i>		2,406	1,287	962	1,550	1,451	1,024	9,993	6,171	12,965	1,062	1,670	2,477
<i>Bosminopsis deitersi</i>		0	0	0	0	0	40	0	71	0	0	0	0
<i>Scapholeberis mucronata</i>		0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Alona rectangula</i>		0	0	0	0	35	0	0	0	0	14	0	0
<i>Chydorus sphaericus</i>		0	0	0	0	0	40	71	85	0	0	0	14
<i>Leptodora kindti</i>		2	34	14	21	0	27	0	14	28	14	4	14
Copepods													
<i>Heliodiaptomus kikuchii</i>		79	13	184	35	495	512	835	538	594	1,670	1,005	1,189
<i>Elaphoidella bidens</i>		0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Canthocamptus japonicus</i>		31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paracyclops fimbriatus</i>		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Cyclops kikuchii</i>		566	34	28	21	0	0	0	0	0	1019	410	906
<i>Mesocyclops woutersi</i>		0	34	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mesocyclops dissimilis</i>		204	81	71	21	106	229	71	28	42	99	85	25
<i>Mesocyclops pehpeiensis</i>		0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thermocyclops crassus</i>		2,029	1,907	1,076	800	743	566	3,793	977	2,902	1,316	878	1,925
<i>T. taihokuensis</i>		550	714	623	587	637	863	1,387	99	1,146	156	71	170
<i>Tropocyclops prasinus</i>		0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
copepodite		928	1,078	764	446	531	1,671	410	212	2,166	326	297	793
nauplius		2,029	505	269	78	212	526	156	85	1,062	226	170	439
Mysids		0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Abundance (inds. m ⁻³)		13,340	641,477	14,858	23,470	31,039	79,291	38,896	16,606	50,918	25,579	11,392	15,198
No. of species		16	21	19	18	20	18	21	20	26	21	15	15
Species diversity (H')		0.90	0.40	0.76	0.56	0.48	0.50	0.68	0.85	0.79	0.87	0.89	0.93

Table 3. Abundance (inds. m⁻³) of zooplanktons at St. 2 (Naetap) of Daecheong Lake during the cyanobacterial blooming season in 2001.

Species	Date	6/22	6/27	7/9	7/16	8/6	8/23	9/3	9/10	9/24	10/15	10/24	10/29
Amoebas													
<i>Diffugia corona</i>		1,260	0	2,880	2,633	835	4,381	3,524	9,299	410	0	0	0
<i>Diffugia urceolata</i>		0	0	0	28	0	0	0	0	14	0	0	0
<i>Diffugia acuminata</i>		0	0	0	99	0	0	14	0	0	0	0	0
Rotifers													
<i>Brachionus angularis</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	700	0	1,300
<i>Brachionus calyciflorus</i>		0	4,600	16,100	184	14	630	0	0	28	127	524	42
<i>Brachionus diversicornis</i>		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Keratella valga</i>		0	0	0	0	0	2,050	150	0	0	0	0	0
<i>Keratella cochlearis</i>		0	1,830	700	500	21	850	500	1,200	6,300	100	0	2,300
<i>Polyarthra vulgaris</i>		0	300	300	790	300	25,150	500	810	9,400	300	0	7,500
<i>Synchaeta lakowitziana</i>		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane luna</i>		0	0	0	0	0	550	300	0	0	14	0	0
<i>Asplanchna priodonta</i>		793	17,300	9,500	0	573	70	42	28	28	42	42	0
<i>Asplanchna sieboldi</i>		0	0	0	0	3	0	2	0	2	0	0	0
<i>Filinia terminalis</i>		28	350	0	0	0	0	0	14	42	0	0	0
<i>Filinia opoliensis opoliensis</i>		0	0	0	0	0	0	0	4	12	2	0	0
<i>Euchlanis dilatata</i>		21	0	4,100	524	729	6,106	637	1,019	99	28	200	57
Cladocerans													
<i>Daphnia galeata</i>		2,972	3,013	1,083	3,482	241	94	0	0	0	57	28	71
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	2,166	269	127	42
<i>C. quadrangula</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
<i>Diaphanosoma dubium</i>		4	263	21	71	28	728	42	382	708	1,288	467	156
<i>Moina weismanni</i>		0	0	0	42	0	0	0	0	410	14	0	28
<i>Bosmina longirostris</i>		2,604	728	764	1,302	1,076	3,141	6,497	11,224	807	538	778	127
<i>Bosminopsis deitersi</i>		0	61	0	0	0	94	0	0	28	0	0	0
<i>Scapholeberis mucronata</i>		0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
<i>Alona rectangula</i>		0	0	0	0	85	0	1	0	0	0	0	0
<i>Leydigia leydigi</i>		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>L. ciliata</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0
<i>Chydorus sphaericus</i>		0	0	0	0	1	0	14	113	14	14	0	0
<i>Leptodora kindti</i>		28	61	14	42	7	40	42	14	28	28	28	14
Copepods													
<i>Heliodiaptomus kikuchii</i>		28	101	149	510	113	1,658	1,826	2,703	2,251	2,151	1,019	297
<i>Canthocamptus kitaurensis</i>		0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Mesochra suiifunensis</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Cyclops kikuchii</i>		2,095	505	85	42	0	0	0	0	0	184	85	42
<i>Megacyclops viridis</i>		0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Microcyclops varicans</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Mesocyclops dissimilis</i>		99	425	127	0	85	121	212	212	127	42	42	14
<i>Thermocyclops crassus</i>		3,439	4,145	3,284	3,015	1,437	2,062	2,958	3,355	7,912	1,939	1,472	85
<i>T. taihokuensis</i>		212	263	149	396	269	391	453	354	439	184	156	0
<i>Tropocyclops prasinus</i>		0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0
copepodite		2,194	3,902	1,578	1,868	460	1,119	821	934	3,878	326	878	71
nauplius		2,010	2,487	92	198	226	485	241	354	2,435	156	467	127
Mysids		0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abundance (inds. m ⁻³)		17,787	40,340	40,930	15,728	6,507	49,720	18,776	32,035	37,541	8,507	6,313	12,273
No. of species		13	17	17	17	19	17	18	17	24	21	13	15
Species diversity (H')		0.91	0.84	0.79	0.96	1.00	0.79	0.87	0.79	0.91	0.96	0.96	0.56

Table 4. Abundance (inds. m⁻³) of zooplanktons at St. 3 (Dam) of Daecheong Lake during the cyanobacterial blooming season in 2001.

Species	Date	6/22	6/27	7/9	7/16	8/6	8/23	9/3	9/10	9/24	10/15	10/24	10/29
Amoebas													
<i>Diffugia corona</i>		6,879	50	1,650	1,684	4,388	0	368	326	364	0	0	184
<i>Diffugia urceolata</i>		0	10	650	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diffugia acuminata</i>		0	200	6,500	14	0	0	50	30	80	0	0	0
Rotifers													
<i>Brachionus calyciflorus</i>		0	0	0	170	28	0	28	0	0	28	42	170
<i>Brachionus diversicornis</i>		0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diurella similis</i>		0	0	0	0	0	0	650	0	0	0	0	0
<i>Keratella valga</i>		0	0	0	0	0	3,600	0	0	0	0	0	42
<i>K. cochlearis</i>		0	0	0	0	0	0	0	10	0	20	1,650	400
<i>Polyarthra vulgaris</i>		0	600	6,250	0	609	1,200	1,200	18,400	4,650	4,400	7,100	6,400
<i>Ploesoma hudsoni</i>		0	0	0	0	0	0	0	350	0	0	0	0
<i>Synchaeta lakowitziana</i>		0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane luna</i>		0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0
<i>Asplanchna priodonta</i>		170	244	400	42	0	0	0	0	27	14	14	0
<i>Asplanchna sieboldi</i>		0	0	0	0	2	0	2	0	4	0	0	0
<i>Filinia terminalis</i>		1,400	10	600	0	0	10	0	10	40	71	0	0
<i>Filinia opoliensis opoliensis</i>		0	0	0	0	0	0	0	5	19	33	0	0
<i>Euchlanis dilatata</i>		0	0	400	57	255	142	410	1,500	391	0	14	127
<i>Monostyla bulla bulla</i>		0	0	0	0	0	13	0	0	13	0	0	0
Cladocerans													
<i>Daphnia galeata</i>		1,500	1,210	2,364	2,661	156	1,210	99	0	0	14	7	42
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	202	439	71	184
<i>C. quadrangula</i>		0	0	0	0	0	0	28	0	0	7	0	0
<i>Diaphanosoma dubium</i>		0	74	28	14	1	862	85	127	526	1,189	340	297
<i>Moina weismanni</i>		0	0	28	0	0	0	0	0	27	14	0	42
<i>Bosmina longirostris</i>		1,585	658	255	283	226	103	269	2,604	998	835	1,727	382
<i>Bosminopsis deitersi</i>		0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
<i>Alona rectangula</i>		14	0	1	0	0	51	1	0	13	0	4	7
<i>Alona qudrangularis</i>		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chydorus sphaericus</i>		0	0	0	0	0	13	42	0	0	0	0	0
<i>Leptodora kindti</i>		28	106	7	28	0	39	14	14	27	28	7	42
Copepods													
<i>Heliodiaptomus kikuchii</i>		28	21	99	170	113	540	807	1,175	2,372	2,902	1,104	1,203
<i>Cyclops kikuchii</i>		1,090	403	198	170	28	0	0	0	0	28	7	42
<i>Mesocyclops dissimilis</i>		42	127	127	99	42	219	156	57	202	184	14	0
<i>Thermocyclops crassus</i>		1,118	2,070	2,335	3,015	1,161	862	2,435	3,482	4,677	2,519	552	3,482
<i>T. taihokuensis</i>		71	117	326	538	184	553	396	212	297	269	0	170
<i>Tropocyclops prasinus</i>		0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0
copepodite		439	1,454	1,005	977	382	656	1,288	552	4,624	609	326	1,430
nauplius		5,902	3,822	297	241	156	322	71	99	1,698	297	142	552
Abundance (inds. m ⁻³)		20,266	11,188	23,526	10,165	7,734	10,405	8,409	28,953	21,251	13,900	13,125	15,198
No. of species		12	17	20	15	14	16	19	15	19	18	16	17
Species diversity (H')		0.78	0.88	0.91	0.83	0.68	0.93	0.96	0.58	0.89	0.85	0.66	0.80

3. 남조류 *Microcystis aeruginosa*의 대발생과 물벼룩류 개체군과의 상관성 및 물벼룩류의 개체군간 상호관계

본 조사기간 중 물벼룩류의 출현 양상을 살펴보면, 3개 조사정점 모두에서 군집 내에서의 종별 천이가 유사한 패턴으로 나타남을 볼 수 있다(Figs. 5-7). 이것은 Hanazato

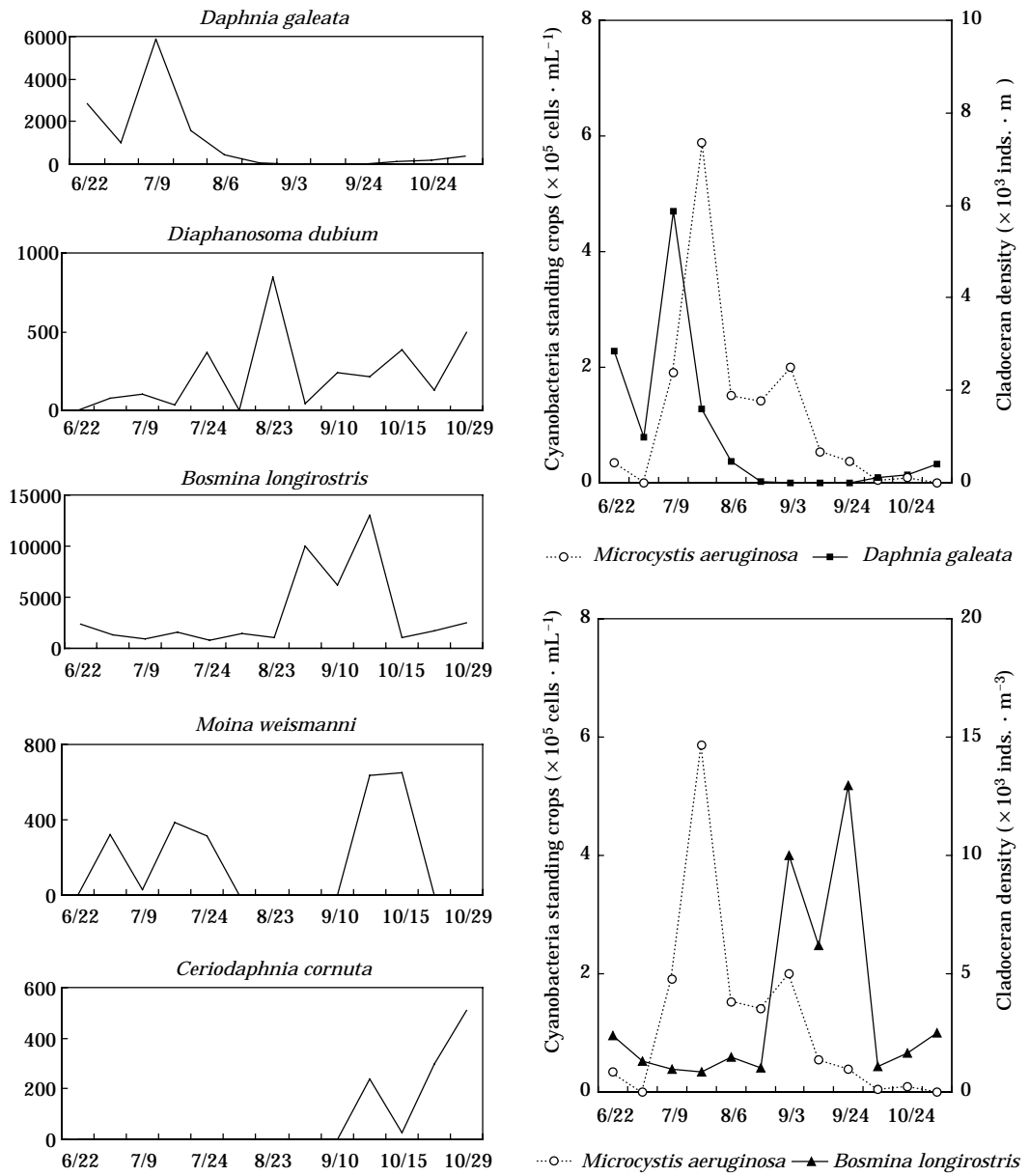


Fig. 5. Seasonal changes in density of cladoceran species and standing crops of the dominant blue-green alga, *Microcystis aeruginosa* at St. 1 (Hoinam) of Daechong Lake during the cyanobacterial blooming season in 2001.

(1991)가 일본의 여름철 부영양 호수에서 관찰한 물벼룩 집단의 종별 천이 결과와 거의 일치한다.

D. galeata 개체군은 5~6월에 번성하다가 남조류의 대발생이 시작하면서 곧바로 소멸하고, 남조류의 밀도가 줄어든 10월 들어 다시 증가하게 되는데, 이러한 유리물벼룩 개체군의 동태가 수온 변화에 따른 것인지 아니면 남조류에 의한 저해 때문인지는 명확히 단정할 수는 없다. 그러나 남조류가 *Daphnia*류의 생육에 저해를 미친다

는 실내 배양실험 결과 (Gliwicz, 1990; Hanazato, 1991)가 다수 있는 것으로 보아 남조류가 직간접적으로 *Daphnia*류의 개체군 성장을 저해하는 것으로 추정된다. 따라서 *Daphnia*류로서는 우리나라의 대형 댐에 유일하게 서식하는 것으로 알려져 있는 *D. galeata* 개체군 크기의 급감은 6월 하순경의 남조류 대발생을 예고하는 경보 지표로서 활용 가능할 것으로 보인다. 또한, 이 종은 향후 남조류와 동물플랑크톤 군집의 상관성을 연구할 때 우선

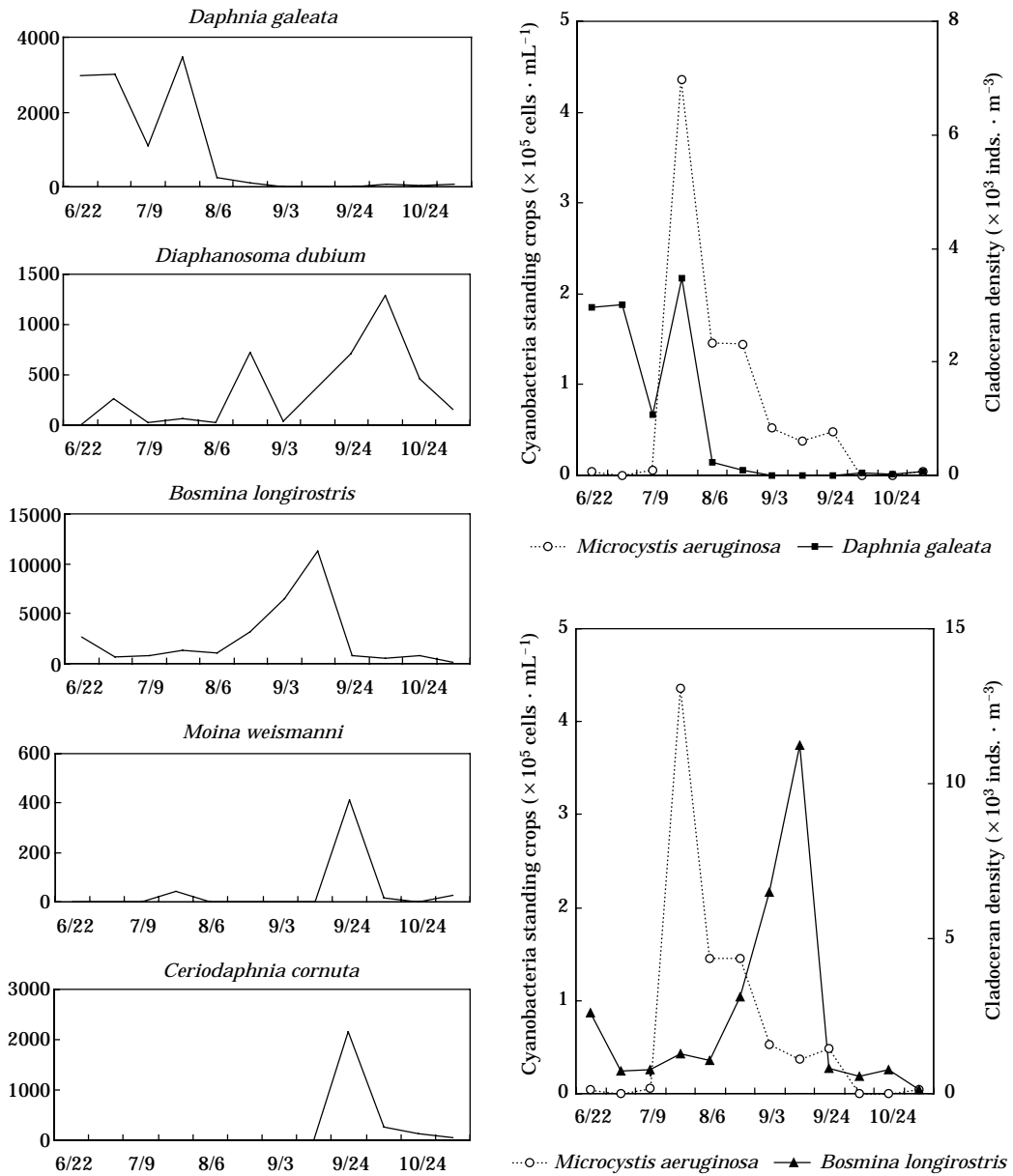


Fig. 6. Seasonal changes in density of cladoceran species and standing crops of the dominant blue-green alga, *Microcystis aeruginosa* at St. 2 (Naetap) of Daecheong Lake during the cyanobacterial blooming season in 2001.

적으로 다루어져야 할 종이라고 하겠다.

D. galeata 개체군의 생장이 남조류에 의해 저해를 받는데 반해, *B. longirostris*와 같은 소형 물벼룩 종은 남조류의 대발생 기간에도 개체군의 크기가 줄어들지 않거나 오히려 증가하는 양상을 보였다. *D. galeata*에 이어 우점적으로 나타난 *D. dubium* 역시 남조류의 대발생 중에 개체군의 크기가 증가하였다.

본 조사에서 남조류의 대발생은 상류쪽(회남)에서부터

내담, 그리고 댐축 쪽으로 가면서 7~10일간 시차를 두고 진행되었으며, 남조류 *M. aeruginosa* 대발생의 경과에 따라 물벼룩류 개체군 크기의 증감이 일치하는 현상은 (Figs. 5~7), 물벼룩류 개체군의 크기가 단순히 수온 등 외부 환경요인의 변화에 의한 것이 아니라, 생물종 간의 상호작용에 의한 것임을 시사해 주고 있다. 이러한 결과는 **Fulton and Paerl (1988)**에 의해 이미 실내 배양 실험에서 확인된 바 있다. 즉, *Daphnia*류와 *D. dubium*, 그리

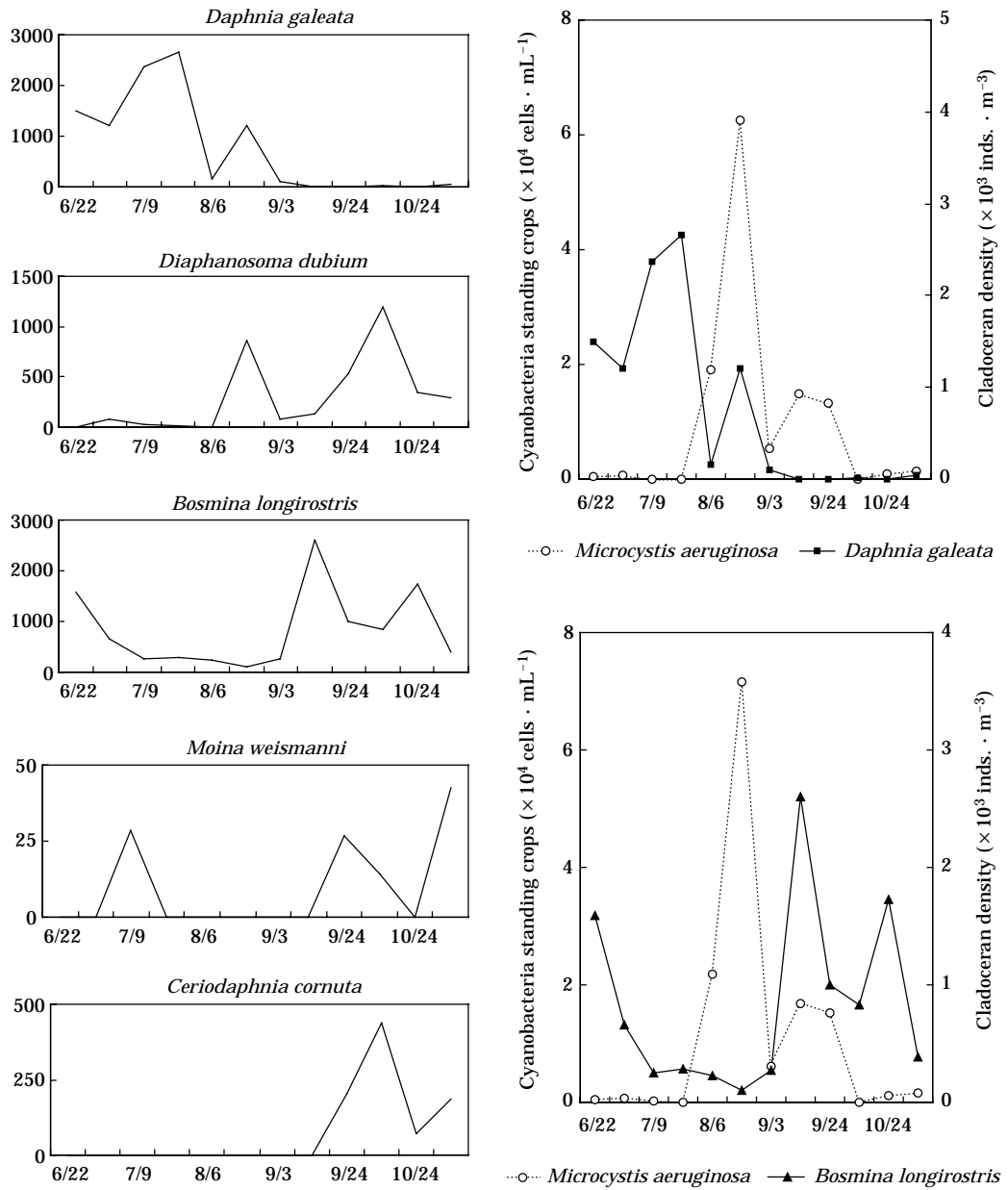


Fig. 7. Seasonal changes in density of cladoceran species and standing crops of the dominant blue-green alga, *Microcystis aeruginosa* at St. 3 (Dam) of Daecheong Lake during the cyanobacterial blooming season in 2001.

고 *Daphnia*류와 *B. longirostris*을 각각 혼합 배양하고 여기에 *M. aeruginosa*를 처리한 결과 *Daphnia*류 개체군 크기는 급감하나 *Daphnia*류와 경쟁관계에 있는 다른 두 종의 개체군은 오히려 증가함이 관찰된 바 있다 (Fulton and Paerl, 1988). 나아가, 본 조사에서 관찰된 바와 같이 남조류 대발생 후 *D. dubium*과 *B. longirostris* 개체군 크기가 급증하고, 이어 *M. aeruginosa*의 밀도가 급감하는 현상은 *D. dubium*과 *B. longirostris*가 이 남조류를

섭식할 가능성도 있는 것으로 추정하게 한다. Hanazato (1991) 역시 남조류 대발생 기간에 *B. longirostris* 개체군 크기가 급증하는 현상을 주목하고, *B. longirostris* 개체군의 크기로 미루어 볼 때 여타 식물플랑크톤의 생산력만으로 이들을 부양할 수 없으므로 *B. longirostris*가 남조류를 섭식하는 것으로 추정하였다. 또한 그는 군체의 크기와 모양 때문에 *B. longirostris*와 같은 소형 물벼룩이 *Microcystis* 군체 덩어리를 그대로 섭식할 수는 없고 수

은이 올라 가면서 남조류 *Microcystis* 군체가 분해될 때 비로소 섭식이 가능할 것으로 추정하였다 (Hanazato, 1991). 이번 연구 결과에서도 확인된 *B. longirostris*가 남조류 대발생 후반부에 급증하는 현상은 남조류 군체가 분해된 후 섭식이 가능하기 때문에 소형 물벼룩인 *B. longirostris* 개체군이 급증한 것이 아닌가 하는 추정을 가능하게 하고 있다.

M. weismanni 개체군은 7월과 9~10월에 일시적으로 증가와 소멸을 반복하였는데, 이 증은 강우 이후 오염 부하량이 일시적으로 크게 증가하였기 때문에 나타난 것으로 보인다. *M. weismanni*는 남조류에 대한 내성이 강한 것으로 알려져 있으나, 섭식 등과 같은 남조류와의 직접적인 상관성은 뚜렷하지 않았다.

*C. cornuta*는 남조류의 밀도가 감소한 9월 하순부터 출현하기 시작하였고, 이 종의 출현과 함께 10월 중순 이후 남조류 대발생이 진정되고부터는 다시 *D. galeata* 개체군의 성장이 두드러졌다. *C. cornuta*는 봄, 가을에 다양한 수역에서 널리 분포하는 종이고, 개체군의 크기가 다른 물벼룩류에 비해 그리 크지 않으므로 남조류와의 상관성은 미미한 것으로 추정된다.

*L. kindtii*는 몸길이가 2 cm 가까이 되는 대형 부유성 물벼룩으로서, 식성이 포식성(捕食性)이고 대형 빈영양성 수역에 주로 서식하는 종이므로 남조류와의 상관성이 거의 없는 것으로 추정된다. 본 연구에서도, 남조류 대발생 기간을 포함하여 전 조사 기간동안 조사정점에 크게 상관없이 작은 크기의 *L. kindtii* 개체군이 비교적 일정하게 출현하였다. *A. rectangula* 등의 씨물벼룩류는 광온성 종들로서 물가장자리나 바닥 근처에 서식하면서 부식질을 걸러 먹는 종들이므로, 역시 남조류와의 관련성은 매우 적어 보인다.

향후 본 연구에서 검토한, 남조류와의 출현 상관성이 높은 물벼룩 종 (*D. galeata*, *B. longirostris*, *D. dubium*)을 대상으로, 선택적 섭식관계(독성 남조류의 회피 기작 등), 남조류에의 내성 획득과 유사종과의 경쟁관계, 남조류를 먹이원으로 하였을 때의 생육 특성 등의 지속적인 연구를 통해서 남조류 대발생의 생물학적 제어 방안에 보다 가까이 접근할 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

매년 여름철마다 남조류의 대발생이 반복되고 있는 대청호에서, 수화기간 동안 가장 우점적으로 나타난 남조류 *Microcystis aeruginosa*의 밀도변화와 동물플랑크톤 중

환경변화에 민감한 것으로 알려진 물벼룩류 개체군들의 변동과의 상관관계를 조사하였다. 2001년 6월부터 10월 까지 총 12회에 걸쳐 회남, 내담, 본담 앞 등 대청담의 3개 지점을 조사정점으로 하여 시료를 채취하였다. 조사기간 동안 윤충류 21종, 물벼룩 15종, 요각류 14종을 비롯하여 총 54종의 동물플랑크톤이 출현하였다. 본 연구에서 확인된 대부분의 동물플랑크톤 종들은 빈영양성~ β -중부수성의 수질지표를 보이는 종들이었다. 남조류 대발생기 동안 동물플랑크톤 군집의 생물량은 전반적으로 높은 수준을 유지하였고, 남조류 수화가 심한 조사정점에서 오히려 출현종수가 가장 많았다. 남조류 대발생기 동안 물벼룩류 출현종들의 천이 양상은 매우 뚜렷하였다. 물벼룩류 출현종들의 개체군 변동은 수온 등의 이화학적 요인의 변동보다는, 남조류 개체군의 밀도변화에 더 큰 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 즉, 남조류의 대발생이 시작되면 *Daphnia galeata*와 같은 대형 물벼룩류의 개체군 크기가 급감하고 대신 *Bosmina longirostris*와 같은 소형 물벼룩류의 개체군 크기가 증가하였다. 이후 남조류 밀도가 감소하면서 *Diaphanosoma dubium* 개체군의 크기가 증가하는 경향을 보였다. 남조류 밀도가 증가함에 따라 가장 민감하게 개체군 생장의 영향을 받는 종은 *D. galeata*인 것으로 드러났다. 이 종은 남조류에 의해 직접적인 저해를 받는 것으로 추정되며, *D. galeata* 개체군의 크기 변화는 남조류 대발생기 동안 동물플랑크톤 군집 전반의 변동에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

사 사

윤형동물 동정을 감수해 준 송민욱 박사, 현장조사와 시료 채취에 도움을 준 고려대학교 이순자 선생, 대구대학교 대학원의 권정남 선생에게 감사를 드린다.

인 용 문 헌

- 김도한, 이정호, 조주래, 황수옥, 박종근, 김영길, 김범철, 서지은, 박정희, 오희목. 1996. 댐저수지 수중생태계 변화에 관한 연구(2차년도). 한국수자원공사. 342 pp.
- 김범철, 김재욱, 전만식, 황순진. 1999. 소양호 동·식물플랑크톤의 계절 변동, 한국육수학회지 32: 127-134.
- 김의식, 손광수, 지해성, 명남진, 백운화. 1996. 동물 플랑크톤섭식에 의한 인공 연못의 조류 제거, 한국육수학회지 29: 65-69.
- 김호섭, 김범철, 최은미, 황순진. 2000. 부영양호수에서 남조류

- bloom이 동물플랑크톤 군집변화에 미치는 영향, 한국육수학회지 **33**: 366-373.
- 이정호. 1999. 대청호의 년중 식물플랑크톤 군집 동태, 한국육수학회지 **32**: 358-366.
- 이정호, 김도환, 박종근, 백인호. 1998. 취수원 조류군집의 특성에 관한 연구 (1차년도). 한국수자원공사. 166 pp.
- 이정호, 박종근. 2000. 1997년 대청호 남조류 수화의 특성, 대구대학교 기초과학연구 **16**: 147-153.
- 이정호, 황수옥, 박종근, 김영길, 김범철, 서지은, 박정희, 오희목. 1997. 램저수지 수중생태계 변화에 관한 연구 (3차년도). 한국수자원공사. 312 pp.
- 임병진, 김범철, 유광일, 유재근. 1997. 낙동강에서 남조류 대발생시 동물플랑크톤 군집의 변화, 한국육수학회지 **30**: 337-346.
- 장천영, 송성준. 2000. 서낙동강의 동물플랑크톤상, 대구대학교 기초과학연구 **17**: 83-90.
- 한국동물분류학회 편. 1997. 한국동물명집 (곤충제외). 아카데미서적, 서울. 489 pp.
- 한국수자원공사. 1998. 대청다목적댐 관리연보. 451 pp.
- Chang, C.Y. and H.S. Kim. 1986. The freshwater Calanoida (Crustacea: Copepoda) of Korea. *Kor. J. Syst. Zool.* **2**(1): 49-60.
- Fulton III, R.S. 1988. Resistance to blue-green toxins by *Bosmina longirostris*. *J. Plankton Res.* **10**: 771-778.
- Fulton III, R.S. and H.W. Paerl. 1987. Toxic and inhibitory effects of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* on herbivorous zooplankton. *J. Plankton Res.* **9**: 837-855.
- Fulton III, R.S. and H.W. Paerl. 1988. Effects of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* on zooplankton competitive relations. *Oecologia*. **76**: 383-389.
- Gliwicz, Z.M. 1990. *Daphnia* growth at different concentrations of blue-green filaments. *Arch. Hydrobiol.* **120**: 51-65.
- Hanazato, T. 1991. Interrelations between *Microcystis* and Cladocera in the highly eutrophic lake Kasumigaura, Japan. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* **76**: 21-36.
- Horne, A.J. and C.R. Goldman. 1994. *Limnology*. McGraw-Hill Inc., New York. 576 pp.
- Ishida, T. 2002. Illustrated fauna of the freshwater cyclopoid copepods of Japan. *Bull. Biogeogr. Soc. Japan* **57**: 37-106. (in Japanese)
- Kim, I.H. 1988. Key to the Korean freshwater Cladocera. *Kor. J. Syst. Zool. Special Issue*, **2**: 43-65.
- Kim, H.S. and C.Y. Chang. 1989. Freshwater cyclopoid copepods (Cyclopoida, Cyclopoida) of Korea. *Kor. J. Syst. Zool.* **5**(2): 225-256.
- Klapper, H. 1991. Control of eutrophication in inland waters. Ellis Horwood, New York. 337 pp.
- Koste, W. 1978. Die Radertiere Mitteleuropas (begründet von M. Voigt). vols. 1-2. Stuttgart. 673 pp.
- Lee, J.M., J.M. Jeon and C.Y. Chang. 2005. Taxonomy on Genus *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopoida: Cyclopidae) from South Korea. *Kor. J. Syst. Zool.* **23**: (in press).
- Mizuno, T. and E. Takahashi. 1991. An illustrated guide to freshwater zooplankton in Japan. Tokai Univ. Press, 532 pp. (in Japanese)
- Sellner, K.G., M.M. Olson and K. Olli. 1996. Copepod interactions with toxic and non-toxic cyanobacteria from the Gulf of Finland. *Phycologia*. **35**: 177-182.
- Shen, C.J. 1979. Fauna Sinica. Freshwater Copepoda. Science Press, Peking. 650 pp.
- Sládeček, V. 1991. Atlas of freshwater saprobic organisms (transl. by M. Sudzuki). Hokuryukan Co., Tokyo. 301 pp.
- Song, M.O. and H.S. Kim. 1989. Monogonont Rotifers (Monogononta: Rotifera) inhabiting several lowland swamps in Kyongsangnam-do, Korea. *Kor. J. Syst. Zool.* **5**(2): 139-158.
- Ueda, H. and J.W. Reid. 2003. Copepoda: Cyclopoida. Genera *Mesocyclops* and *Thermocyclops*. Backhuys Publishers, Leiden. 318 pp.
- Urabe, J., K. Kawabata, M. Nakanishi and K. Shimizu. 1996. Grazing and food size selection of zooplankton community in lake Biwa during BITEK '93. *Jpn. J. Limnol.* **57**: 27-37.
- USEPA. 1990. Lake and reservoir restoration guidance manual. North American Lake Management Society, Washington, D.C. 326 pp.

(Manuscript received 1 February 2005,
Revision accepted 8 May 2005)