

Cyanobacteria의 증식에 따른 대청호 생태계내의 생물군집 변화

김명운 · 김민호 · 조장천 · 김상종
(서울대학교 자연과학대학 미생물학과)

Changes of Biological Community by Cyanobacterial Bloom in Daechung Reservoir

Kim, Myeong Woon, Min Ho Kim, Jang Cheon Cho and Sang Jong Kim
(Department of Microbiology, College of Natural Sciences,
Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

ABSTRACT

The changes of primary producer, zooplankton, and characteristics of bacterial community were compared with the bloom of *Microcystis aeruginosa* in the Chusori, Daechung Reservoir where conventional summer bloom was observed. Primary producer changed from diatoms at spring to *M. aeruginosa* with the concentration of 4.6×10^8 cells l^{-1} at summer. Zooplankton changed into large-sized copepod. Difference of the total bacterial number between pre-bloom and blooming period was not large. The saprophytic number was average of 1.27×10^4 CFUs ml^{-1} that was 0.12% of the total bacterial number. Bacterial production rate was $3.95 \mu gC l^{-1} hr^{-1}$ before July and $2.77 \mu gC l^{-1} hr^{-1}$ during blooming period. Characteristics of bacterial community showed bacteria did not readily use increased organic compound.

Key words: Primary producer, *Microcystis aeruginosa*, zooplankton, bacterial community, Daechung Reservoir

서 론

호수생태계내의 생물군집은 빛에너지를 이용하여 광합성을 수행하는 1차생산자와 이를 먹이로 하는 소비자인 동물플랑크톤, 그리고 영양염류의 순환에 기여하는 분해자로서의 세균군집이 기본을 이룬다. 1차생산자인 식물플랑크톤은 광량, 수온, 영양염류와 같은 환경요인에 의해 주로 그 종류와 군집의 구성이 변화하는 상향식(bottom-up)의

압력을 받으며 포식자인 동물플랑크톤의 농도는 이들 1차생산자에 의해 다시 결정된다. 또한 동물플랑크톤에 의한 섭식도 1차생산자의 변화를 유발하는 또다른 하향식(top-down)의 압력을 가할 수 있다. 인구증가와 산업화에 따른 오염물질이 호수생태계내로 유입이 되면서 생기는 부영양화 현상은 상향식의 압력과 관련하여 호수내의 1차생산자 군집을 근본적으로 변화시키는 요인으로 제기되고 있다. 우리나라의 경우도 호수의 부영양화 현상이 심각해지면서 1차생산자 군집이 원핵생물인

cyanobacteria로 주로 바뀌어 가고 있으며 이에 따른 농, 공업 및 생활용수 문제가 심각해지고 있다. 수자원의 이용이라는 측면과는 달리 1차생산자 군집이 이상증식(bloom)을 일으키게 됨에 따라 나타나는 생물군집의 변화는 생태계의 안정성이라는 측면에서 또다른 문제점이 될 수 있다(Dawidowicz, 1990; Starling, 1993).

우리나라의 호수는 대부분이 다목적댐의 건설을 통한 인공호이며 수지형(dendritic type)의 호수 형태에서 오는 하천적 성격, 규모의 대형화, 다양한 오염원 유입경로 등으로 그 통제가 어려운 것으로 많은 연구자들은 보고하고 있다(Choi *et al.*, 1989; 허, 1992; 한국수자원공사, 1990; 정, 1985). 수도권 상수원으로 기능하는 한강유역의 경우 소양호나 팔당호 등에 대한 다양한 연구는 심화되어가는 부영양화에 따라 생물군집의 조성이 변화하는 현상을 알려주고 있다(김, 1993; 박 등, 1992; 조 등, 1989). 반면 중부권의 주된 수자원인 금강유역의 대청호 등에 대하여는 상대적으로 연구보고된 결과가 적으며 그 대부분도 생물군집에 대한 포괄적인 연구를 결여하고 있다. 또한 생태계 조사의 경우 현실적인 어려움 때문에 잦은 현장조사를 수행하지 못하고 있으며 호수 전체지역을 대상으로 하는 집중적인 조사라는 두가지를 동시에 행하기는 힘든 상황이다.

본 연구에서는 cyanobacteria인 *Microcystis*의 이상증식이 문제가 되고 있는 대청호(김 등, 1994)에서의 생물군집 변화에 대한 파악이라는 측면에서 정기적으로 이상증식이 관찰되는 지역을 대상으로 이들 1차 생산자 군집의 변화가 다른 생물군집에 어떠한 영향을 미치는지를 주로 관찰해 보았다.

재료 및 방법

1. 조사 지역

대청댐 저수지의 상류에 위치한 충청북도 옥천군 군북면 추소리 유역(Fig. 1)은 매년 7월부터 10월까지에 걸쳐 Cyanobacteria인 *Microcystis aeruginosa*의 대발생이 관찰되는 지점이다. 조사

지점은 cyanobacteria의 증식이 매년 정기적으로 관찰되어 증식전후의 변화를 비교하기 위한 대상 지역으로 적합한 지역이며 1993년 3월 봄철 수층의 혼합이 일어난 시기부터 현장조사를 시작하여 6월 갈수기까지는 2주간의 간격으로, 장마철인 7월이 지나 수온이 상승한 후부터는 1주일 간격으로 총 13회의 현장 조사를 수행하였다.

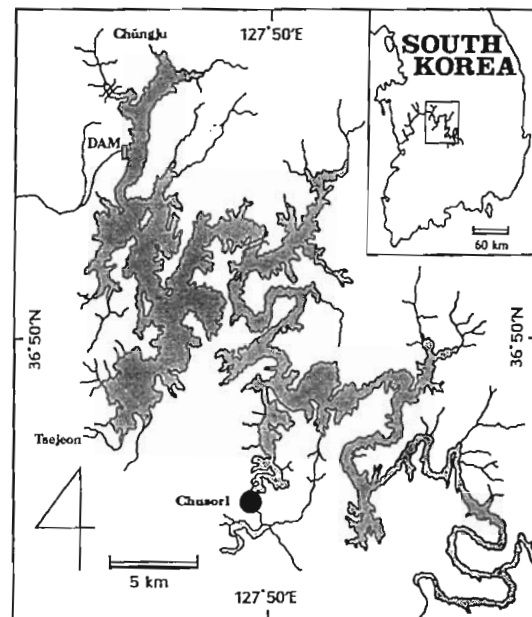


Fig. 1. Map of research area.

2. 시료의 채취 및 분석

오전 9시에서 10시 사이에 Niskin 채수기를 사용하여 채수하였으며 현장에서 수온과 pH, Secchi disk 투명도, 용존산소농도(YSI model 58)를 측정하였다. 식물플랑크톤과 동물플랑크톤의 측정을 위한 시료는 각각 지름 30cm(mesh size 20 μ m)의 conical tow형 net와 45cm(mesh size 200 μ m)의 WP-2 type net를 수직에인하여 채취하였다. 여과한 시료의 양은 net의 구경과 수직에인 거리를 곱하여 산출하였다. 채취한 시료 중 총세균수 측정을 위한 시료는 dark bottle에 최종농도 2%의 formalin(Jusei Chemical Co.)으로 고정하였고 식물플랑크톤의 시료는 2%의

lugol solution을, 동물플랑크톤 시료는 4%의 formalin을 사용하여 고정하였다. 그 밖의 시료는 모두 멸균된 polypropylene bottle(Nalgene Chemical Co.)에 담아 4°C로 냉장운반한 후 즉시 분석하였다.

시료의 화학적 분석은 Standard methods (APHA, 1992)와 Limnological analysis(Wetzel and Likens, 1991)에 따라 분석하였다. 식물플랑크톤의 지표로 사용되는 엽록소와 페오파이틴 양의 측정은 분광광도계를 사용하였다(김 등, 1994). 식물플랑크톤의 종류와 분포는 플랑크톤 채집기(net)로 여과 채집한 시료의 일정량을 150-1,500배 배율의 현미경(Balplan, Bausch & Lomb)을 사용하여 종(species)까지 동정하였다(山岸 and 秋, 1984; Fukuyo *et al.*, 1990). 식물플랑크톤에 의한 일차생산은 방사능 동위원소법을 사용하여 현장에서 측정하였다(Parsons *et al.*, 1984). 플랑크톤 net를 사용하여 채취한 동물플랑크톤의 동정과 계수는 시료를 5µm의 membrane(Nuclepore Co.)을 사용하여 여과한 다음 lugol solution으로 염색 후 150배와 300배의 현미경(Bausch & Lomb)하에서 수행하였다(山岸 and 秋, 1984; Fukuyo *et al.*, 1990; Sl de ek, 1991).

총세균수(total bacterial number, TBN) 측정은 AODC(Acridine Orange Direct Count)법을 사용하여 형광현미경(Zeiss Axioscop, ×1,600)하에서 관찰하였다(Watson *et al.*, 1977; 강과 김, 1991). 증속영양세균수(saprophyte number)는 증류수로 대체된 Zobell 한천 배지 2216e에 pour-plate법으로 접종한 후 20°C에서 2주일간 배양하여 성장한 군체(colony)의 수를 세어 측정하였다(김 등, 1994). 세균생산량은 ³H-thymidine이 DNA에 편입(incorporation)되는 속도로부터 측정하였다(Fuhrman and Azam, 1982; Simon and Azam, 1989; 김 등, 1990). Thymidine 흡수량을 세포생산량으로 전환시킬 때 사용되는 전환상수는 측정된 평균값인 6.55×10¹⁸ cells mol⁻¹을 사용하였다. 세균군집이 유기물을 이용하는 정도를 나타내는 전환시간(turnover time)은 ¹⁴C-acetate(specific activity 58 Ci mol⁻¹)

를 6.9µM의 최종농도로 사용하여 측정하였다(Gocke, 1977).

결 과

1. 환경요인의 변화

조사기간 중 수심은 심한 변화를 나타내어 6월 17일까지는 수심이 2.5m까지 점차 감소하고 7월 이후로는 증가하여 평균 10.8m의 수심을 기록하였다(Fig. 2). 수심의 변화는 온대지방의 기후적 특성에 따른 다목적댐의 홍수조절기능과 관련을 맺는다(한국수자원공사, 1992). 대청댐의 경우 매년 7월 이전에 방류를 통하여 수위를 최저로 유지시켜 홍수에 대비하고 7, 8월의 장마기간 동안 물을 담수하여 이를 유역의 용수공급원으로 사용하고 있어 댐 수위변화가 대청호 전체 수위변동의 원인으로 작용한다. 수위에 따른 수심 변화는 다른 항목들의 변화에 대한 기본적인 원인으로 작용할 수 있는데 광량의 전달 정도, 상하 수층의 혼합, 오염물의 희석효과 등에서 차이를 가져올 수 있다(Gasith and Gafny, 1990). 이러한 수심의 변화와 여름철의 수온상승 등이 복합적으로 작용하여 7월 이전과 이후의 조사 결과는 큰 차이를 보였다. 한편 7월 이후에는 *Microcystis*의 대량증식이 관찰되었는데 이같은 차이로부터 *Microcystis*의 대발생 이전 시기와 대발생 시기로 구분(t-test F'=0.29, p<0.01), 비교하였다.

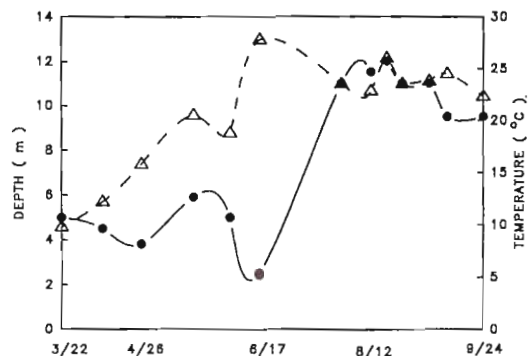


Fig. 2. Variations of water depth (closed circle) and water temperature (open triangle) at the sampling site.

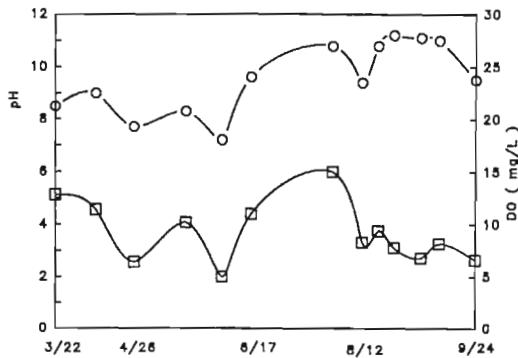


Fig. 3. Variations of pH (open circle) and concentration of dissolved oxygen (DO, open box) at the sampling site.

수온은 계절에 따른 차이로 대발생 이전시기에는 9.8~27.8°C의 큰 차이가 관찰되었으나 대발생 시기에는 평균 23.8°C (22.3~26.0°C)의 안정된 수온이 유지되었다(Fig. 2). 수온의 상하차이는 대발생 이전시기 중 기온이 높은 때에 크게 관찰되었고 수심이 깊어진 대발생 시기에는 별다른 수온차이가 나타나지 않는 안정된 수층 상태를 유지하였다.

pH는 전 조사시기 동안의 상층 평균값이 9.55로 측정되어 약알칼리 상태를 보여주었다. 그러나 *Microcystis*의 대발생 이전시기에는 7.2~9.6의 범위에서 심하게 변동하였으며 대발생 시기 동안에는 10 이상의 값을 유지하였다(Fig. 3). Cyanobacteria의 증식에 따른 pH 상승은 일반적인 현상으로 수체내의 CO₂ 이용도 증가에 따른 것으로 알려져 있다(Jeffries and Mills, 1990).

용존산소의 농도는 전체적으로 심한 차이를 보여 평균 9.14mg l⁻¹ (30% s.d.)를 기록하였다(Fig. 3). *Microcystis* 대발생 이전과 이후 사이의 차이는 크지 않았으며 용존산소농도가 감소하는 경향을 보였다. 대발생 이전 시기에 용존 산소의 농도가 높은 수층혼합의 결과이며 용존 산소의 감소현상은 수온의 상승이 주된 원인으로 파악되어진다. 또한 *Microcystis*의 증식이 용존산소의 증가로 이어지지 않은 데에는 표층에서 성장하는 cyanobacteria의 생태학적 특성 때문으로 분석된다

(Mann and Carr, 1992).

2. 일차생산자 군집의 변화

식물플랑크톤의 계절별 천이 양상은 녹조류, 규조류에 이어 *Microcystis*로 이어졌다(Fig. 4). 4월에는 녹조류가 평균 5.15×10⁴cells l⁻¹까지의 수로 우점하였으며 6월에는 규조류인 *Melosira varians*가 4.48×10³cells l⁻¹의 농도까지 증식하였다. 6월 이후에는 *Microcystis*에 의해 우점의 양상이 바뀌었으나 규조류의 개체수는 6월 17일까지는 1.7×10⁴cells l⁻¹까지 증가하였다. 7월 이후 *Microcystis*는 표층에서 개체수가 최고 4.6×10⁸ cells l⁻¹까지 도달하였다. 또다른 cyanobacteria인 *Anabaena*종도 *Microcystis*와 함께 출현하다가 *Microcystis*의 수가 감소하기 시작한 8월말 이후에 증가하는 현상을 나타내었다. 관찰된 *Anabaena*종들은 *A. flos-aqua*와 *A. macrospora*였다.

엽록소 *a*의 농도는 전 조사시기에 걸쳐 평균 55.63mg m⁻³의 값을 기록하였다. *Microcystis*의 대발생을 전후하여 엽록소 *a*의 농도변화는 7월 이전에 평균 29.55mg m⁻³이었던 것이 *Microcystis*의 증식이 최대에 달하였던 8월 19일에는 167.57mg m⁻³까지 증가하였다(Fig. 5). *Microcystis*의 증식이 있기 이전 시기에는 4월에 56.77mg m⁻³까지,

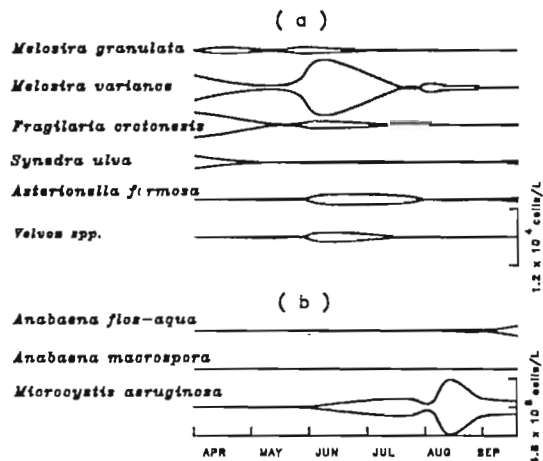


Fig. 4. Changes of phytoplankton (a) and cyanobacteria (b). The scale of (b) is 40,000 times larger than that of (a).

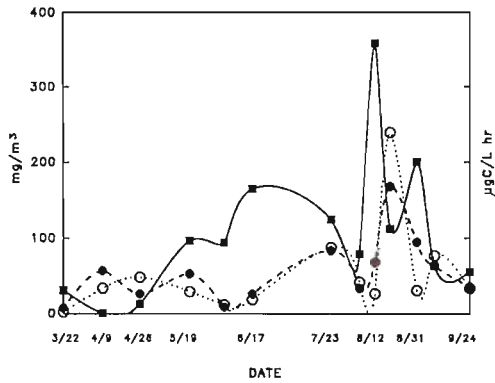


Fig. 5. Variations of chlorophyll *a* (closed circle), phaeophytin *a* (open circle), and primary productivity (closed box) during the research period.

5월에 52.66mg m⁻³까지 상승한 엽록소 *a*의 값이 측정되기도 하였는데 이 시기는 각각 녹조류와 남조류의 우점이 관찰된 시기였다. 페오파이틴 *a*의 농도는 엽록소 *a*와 유사한 경향을 나타내어 엽록소 *a*의 최대값이 관찰된 8월 19일에 238.7mg m⁻³의 최대값이 측정되었다.

1차 생산량은 *Microcystis*의 생장 이전 시기와 이후 시기 사이에 큰 차이를 나타내었다(Fig. 5). 7월 이전 규조류나 녹조류가 우점하던 시기에는 평균 66.49µgC l⁻¹hr⁻¹의 일차생산량을 나타내었으나 *Microcystis*의 증식기에는 최대 358.43µgC l⁻¹hr⁻¹(평균 141.62µgC l⁻¹hr⁻¹)까지 그 값이 증가하였다. 일차생산량의 최대값이 관찰된 시기는 엽록소 *a*와 일차생산자의 수가 최대값을 보인 시기 직전으로서 광합성과 함께 1차생산자의 생물량도 증가하였음을 알 수 있다.

3. 동물플랑크톤 군집의 변화

동물플랑크톤은 지각류(cladocera)와 요각류(copepoda)에 속하는 것들이 주로 분포하였다. 개체수로는 4월에 988ind. m⁻³, 5월에 3,810ind. m⁻³의 낮은 값을 보였으나 8월 *Microcystis*의 증식 이후에는 16,000ind. m⁻³ 이상으로 증가하였다(Fig. 6). 7월 이전의 시기에는 *Daphnia hyalina*, *Bosmina longistris*와 같은 작은 크기의 지각류가

우점하여 50% 이상의 개체수를 기록하였으나 8월 이후에는 큰 크기의 요각류로 우점의 양상이 바뀌었다. 8월 *Microcystis*의 대발생 이후 증가한 종들은 지각류 중 *Diaphanosoma brachyurum*과 요각류는 *Canthocamptus bidens*, *Cyclops strenuus*와 같은 대형의 종이였다.

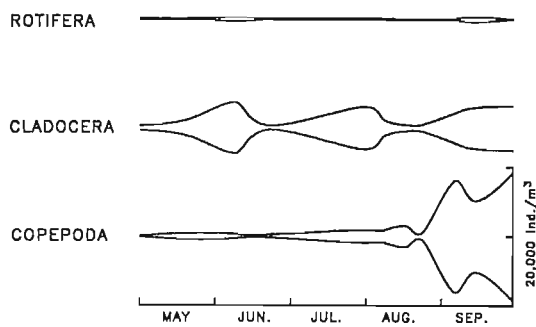


Fig. 6. Change of zooplankton composition at the sampling site.

4. 세균군집의 변화

총 세균수는 1.84-21.1×10⁶cells ml⁻¹(평균 1.13×10⁷cells ml⁻¹)의 범위에서 변화하였다. 전체적으로 총 세균수는 *Microcystis*의 대발생 이전에 1.03×10⁷cells ml⁻¹로 대발생 시기의 평균 1.21×10⁷cells ml⁻¹에 비하여 낮았으나 그 증가의 폭은 크지 않은 것으로 관찰되었다. 특히 *Microcystis*의 최대 개체수가 관찰된 8월의 시기에는 1.17×10⁷cells ml⁻¹의 평균값을 유지하였는데 이는 증가된 유기물의 세균에 의한 이용정도가 크지 않음을 의미한다. 특히 유기물 분해 세균수는 오히려 이전 시기보다 감소하여 평균 1.27×10⁴CFUs ml⁻¹(총 세균수의 0.12%)의 값을 보여 유기물 분해 세균의 활성 또한 *Microcystis*에 의해 감소되는 경향을 나타내었다(Fig. 7a).

측정된 세균의 크기로부터 구한 세균체적을 총 세균수로 나눈 평균 세균 체적은 0.070-0.102µm³cell⁻¹로 측정되었으며 *Microcystis*의 생장이 관찰된 시기에 0.070-0.089µm³cell⁻¹의 낮은 값을 나타내어 유기물의 공급이 세균 생물량 증가와 직접

적으로 관련되지 않았음을 보여주었다.

유기물에 대한 이용률을 파악하는 항목으로서 측정된 acetate의 전환시간에서도 *Microcystis*의 대발생 기간 동안에 이전 시기의 값보다 길어 유기물을 쉽게 이용하지 못하는 특성을 보였다.

세균 생산량의 값은 7월 이전에 $3.95 \mu\text{gC l}^{-1}\text{hr}^{-1}$ 와 7월 *Microcystis*의 대발생 시기에는 $2.77 \mu\text{gC l}^{-1}\text{hr}^{-1}$ 로 계산되었다(Fig. 7b).

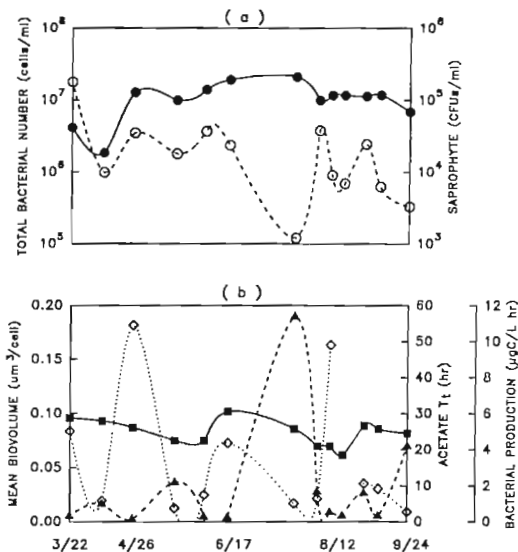


Fig. 7. Variations of total bacterial number (closed circle in a), saprophytic number (open circle in a), bacterial mean biovolume (closed box in b), turnover time of acetate (closed triangle in b), and bacterial production rate (open rectangle in b) at the sampling site.

고 찰

조사대상 지역에서의 각 항목에서 나타나는 특징은 3월부터 7월까지의 큰 변이와 7월 이후 여름철 동안의 안정화로 요약될 수 있다. 이같은 현상의 원인은 기본적으로 수심변동에 따른 수체의 안정성이라고 할 수 있으며 여름철에 높게 유지되는 수온이 또다른 중요한 역할을 담당한다. 1차생산자 군집이 규조류에서 cyanobacteria인 *M. aeruginosa*로 천이되는 데에는 수체의 안정성이

주된 요인으로 작용하며 일단 천이된 후에는 수온과 *M. aeruginosa*의 생태적 특성이 수체내에서의 배타적 성장을 주도하는 것으로 알려져 있다.

다목적댐에서의 수심변화는 강수와 인위적 방류의 두가지 원인에 의해 이루어진다. 봄철 강수량이 적은 시기 동안의 수심감소는 용수량 증가에 따른 인위적 방류의 증가가 주된 원인이며 (Natarajan and Pathak, 1987) 낮은 수심에서는 풍속, 기온 등의 환경요인에 의해 상하수체의 혼합이 심화된다(Goldman and Horne, 1983). 상하수체 혼합의 결과로 영양염 등의 수층전체로 공급됨에 따라 온대지방에서 1차생산자 군집 천이가 시작된다. 대부분의 규조류들은 수체의 상하 혼합에 대해 유리한 생태적 지위를 획득한다. 규조류는 세포의 성분이 주로 규소로 이루어져 ($1,500-20,000\text{mg l}^{-1}$, Ehrlich, 1990) 안정된 수층에서는 바닥으로 침강하지만 수층의 교란에 의해 광량이 도달하는 층으로 이동되면 낮은 수온 상태에서도 활발한 성장과 광합성 활동을 수행한다 (Reynolds, 1986). 이때 다른 1차 생산자의 군집은 성장속도에서 규조류보다 우위를 점할 수 없으므로 생태계는 규조류 우점상태로 천이된다.

여름철 기온이 상승하면서 수온약층이 형성되고 수체의 안정화가 이루어지기 시작하면서 규조류 우점의 양상은 변화한다. 수체의 안정화로 규조류는 바닥으로 침강되며 반면, cyanobacteria는 부유성을 특징으로 갖고 있어 (Brock, 1985; Grahame, 1987) 표층으로 부상하게 된다. 또한 수온 상승의 결과 유발된 낮은 CO_2 농도 상태 (Schwoerbel, 1987)에서도 성장할 수 있는 생리적 특성을 이용한다. 규조류에 의해 생성된 광합성 산물의 영향과 감소된 CO_2 농도에 따른 pH의 상승(Natarajan and Pathak, 1987; Shapiro, 1990)은 이러한 cyanobacteria의 성장을 위한 호조건을 추가로 제공한다. Cyanobacteria의 생리적 특징은 생장이 안정화됨에 따라 지속적인 증식에 있어서 유리점을 제공한다. Cyanobacteria는 낮은 CO_2 농도와 높은 pH 이외에 (Shapiro, 1973) 느린 성장속도로 인한 적은 환경변화를 이길 수 있는 점 (Reynolds, 1986)과, 주야의 광량변

화에 대하여 부유성의 조절을 통한 상하수층이동 (vertical migration)을 수행할 수 있다. 또한 여름철 cyanobacteria의 우점시에는 영양염류 중 질소성분과 적은 광량조건시 toxin을 생성하여 (Mann and Carr, 1992) 다른 생물군집에 의한 성장방해를 방지하여 수체에서 배타적인 우점종으로 되며 수온이 감소할 때까지 이러한 배타적인 성장을 계속하는 것으로 알려져 있다. 표층에서의 생장은 직사광선에 의한 photooxidation (Abeliovich and Shilo, 1972)의 피해가 있으나 cyanobacteria는 군집을 형성함으로써 이러한 일정 정도의 희생을 통하여 우점을 유지한다.

1차생산자 군집이 천이함에 따라 소비자인 동물 플랑크톤의 군집도 변화한다. 일반적으로 담수 생태계에서는 해양에 비하여 동물플랑크톤의 종류가 적고 세균이나 작은 크기의 편모충류를 섭식하는 지각류가 주로 분포하는 것으로 알려져 있다 (Pomeroy, 1991). 그러나 *Microcystis*와 같은 cyanobacteria가 증식할 때에는 chain을 형성하거나 scum과 같은 군집을 이룸으로써 구강크기가 작은 지각류에 의해 섭식되는 것을 피하며 이에 따라 식물플랑크톤 군집이 cyanobacteria로 천이하면 동물플랑크톤의 조성도 큰 크기의 요각류로 변화하는 것으로 알려져 있다 (Richman *et al.*, 1990; Cerny and Bytel, 1991). 또한 *Daphnia*와 같은 지각류들은 수체내에 존재하는 독성물질에 민감하게 반응하여 cyanobacteria에 의한 toxin 분비 등에 영향을 받는다 (Shapiro, 1980). 조사 기간 동안 변화한 동물플랑크톤의 군집크기와 조성은 수층의 교란에 따른 섭식의 방해정도 이외에 이처럼 먹이가 되는 식물플랑크톤이나 cyanobacteria의 생물량 등에 의해 영향받은 결과로 생각할 수 있다.

세균군집의 변화에서 볼 수 있는 특징은 *M. aeruginosa*의 증식에 따른 유기물의 증가가 세균군집의 활성을 증가시키기보다는 감소시키는 방향으로 작용하였다는 것이다. 총 세균수의 변화에서는 큰 차이가 관찰되지 않았으나 세균평균체적과 acetate 전환시간, 세균생산량 등에서 공통적으로 나타나는 현상은 7월 이후의 시기에 감소된 세균

군집의 활성이다. 이러한 cyanobacteria의 성장에 의한 세균활성의 억제 현상은 cyanobacteria가 분비하는 2차 대사 산물의 영향으로 보여진다. Cyanobacteria는 여러가지 종류의 toxin을 분비하는데 *Microcystis*의 경우는 많은 종류가 Microcystin이라는 생리 저해 물질을 분비하는 것으로 알려져 있다 (Martin *et al.*, 1990; Mann and Carr, 1992). 이러한 독성 물질은 *Microcystis*로부터 분비된 유기물 속에 포함되어 있어 세균의 이용도가 감소되며 따라서 세균군집의 유기물 이용도와 생장의 효율이 감소할 가능성이 존재하는 것이다.

평균세포체적에서 나타난 특성도 증가된 유기물이 세균군집이 쉽게 이용할 수 없는 형태로 주로 존재하였음을 시사해준다. 일반적으로 세균의 크기는 유기물의 증가에 따라 커지는 것으로 알려져 있다 (Albright and McCrae, 1987). 빈영양 환경에서 세균은 표면적의 비율을 늘려 낮은 용존 유기물을 흡수하는데에 효율적으로 변화하고 있는 증가된 세포분열을 통하여 이루어진다 (Chrzanowski *et al.*, 1988). 반면 유기물의 농도가 높은 지역에서는 세균이 분열하기 보다는 자체적인 생물량의 증가쪽으로 성장하게 된다 (Mitchell, 1991). *Microcystis*의 독성물질분비 (Mann and Carr, 1992)나, 이들이 생성한 광합성 산물이 페놀화합물 (Harmansson, 1990)이라는 보고 등은 다른 cyanobacteria에 비해 *Microcystis*의 decomposition이 늦음을 보고한 Fallon과 Brock (1979)의 연구와 함께 이를 뒷받침해준다.

적 요

매년 정기적으로 *Microcystis aeruginosa*의 증식이 일어나는 대청호 추소리 유역에서 증식을 전후한 1차생산자, 동물플랑크톤, 세균군집의 변화를 비교하였다. 수심이 증가하고 수체의 안정화가 이루어진 7월 이후 1차생산자 군집은 봄철 규조류로부터 *M. aeruginosa*로 천이하여 최고 4.6×10^8 cells l⁻¹까지 증가하였으며 동물플랑크톤은 큰 크기의 요각류가 우점하였다. 총 세균수의 변화는

대발생 전후의 차이가 크지 않았으며 유기물 분해 세균의 수는 평균 1.27×10^4 CFUs ml⁻¹로 총 세균 수의 0.12%를 차지하였다. 세균 생산량의 값은 7월 이전에 $3.95 \mu\text{gC l}^{-1}\text{hr}^{-1}$, *M. aeruginosa*의 대발생 시기에는 $2.77 \mu\text{gC l}^{-1}\text{hr}^{-1}$ 로 측정되었으며 미생물군집은 전체적으로 증가한 유기물을 쉽게 이용하지 못하는 특성을 보였다.

사 사

본 연구는 1991년도 교육부 국비해외파견연구비 지원사업으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 강찬수, 김상중, 1991. 소양호에서 *Peridinium bipes*에 의한 적조가 수층 미생물순환고리에 미치는 영향. 한국미생물학회지, **29** : 371-379.
- 김명운, 강찬수, 김상중, 1990. 호수생태계에서 세균 생산량 측정방법의 비교. 한국미생물학회지, **28** : 318-323.
- 김명운, 김민호, 김상중, 1994. 대청호 생태계내에서의 미생물활성과 세균순환고리. 한국육수학회지, **27** : 155-168.
- 김상진, 1993. 팔당호 수질의 미생물학 및 화학적 분석. 한국미생물학회지, **31** : 85-92.
- 박혜경, 천세익, 박승익, 이문호, 유재근, 1992. 국내 주요 담호에 있어서의 계절별 조류종 천이. 한국수질보전학회지, **8** : 150-158.
- 정팔진, 1985. 인공호의 영양분과 엽록소 생산 예측에 관한 연구. 한국수질보전학회지, **1** : 43-53.
- 조규승, 박영춘, 조성주, 1989. 소양호 동물성플랑크톤의 수직분포. 한국육수학회지, **22** : 191-197.
- 한국수자원공사, 1990. 전국 주요수계의 오염원에 관한 조사연구(1차)보고서.
- 한국수자원공사, 1992. 대청다목적댐 관리연보.
- 허우명, 김범철, 안태석, 이기중, 1992. 소양호 유역과 가두리로부터의 인부하량 및 인수지. 한국육수학회지, **25** : 207-214.
- 山岸高旺, 秋山優 編, 1984. 淡水藻類模寫集. 丙田老鶴圖.
- Abeliovich, A. and M. Shilo, 1972. Photooxidative death in blue-green algae. *J. Bacteriol.* **111** : 682-689.
- APHA, 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. New York.
- Albright, L.J. and S.K. McCrae, 1987. Annual cycle of bacterial specific biovolume in Howe Sound, a Canadian West Coast Fjord Sound. *Appl. Environ. Microbiol.* **53** : 2739-2744.
- Bird, D.F. and J. Kalff, 1984. Empirical relationships between bacterial abundance and chlorophyll concentration in freshwater and marine waters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **41** : 1015-1023.
- Brock, T.D., 1985. A eutrophic lake; lake Mendota, Wisconsin. Springer-Verlag.
- Cěrný, M. and J. Bytel, 1991. Density and size distribution of *Daphnia* populations at different fish predation levels. *Hydrobiologia*, **225** : 199-208.
- Choi, K.-S., B.-C. Kim, W.-M. Heo and S.-J. Cho, 1989. The succession of phytoplankton in Lake Soyang. *Kor. J. Limnol.* **22** : 179-189.
- Chrzanowski, T.H., R.D. Crotty and G.J. Hubbard, 1988. Seasonal variation in cell volume of epilimnetic bacteria. *Microb. Ecol.* **16** : 155-163.
- Dawidowitz, P., 1990. The effect of *Daphnia* on filament length of blue-green algae. *Hydrobiologia*, **191** : 265-268.
- Fallon, R.D. and T.D. Brock, 1979. Decomposition of blue-green algal (cyanobacterial) blooms in Lake Mendota, Wisconsin. *Appl. Environ. Microbiol.* **37** : 820-830.
- Fay, P. and V. Baalen, 1987. The cyanobacteria. Elsevier. Amsterdam.
- Fuhrman, J.A. and F. Azam, 1982. Thymidine incorporation as a measure of bacterioplankton production in marine surface waters. *Mar. Biol.* **66** : 109-120.

- Fukuyo, Y., H. Takano, M. Chibara and K. Matsuoka, 1990. Red-tide organisms in Japan—an illustrated taxonomic guide. Uchida Rokakuhoh. Tokyo, Japan.
- Gasith, A. and S. Gafny, 1990. Effect of water level fluctuations on the structure and function of the littoral zone. *In: Large lakes; ecological structure and function* (M.M. Tilzer and C. Serruya *ed.*). Springer-Verlag, Berlin.
- Gocke, K., 1977. Heterotrophic activity. *In: Microbial ecology of brackish water environment* (*ed.* by G. Rheinheimer). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. pp. 198-222.
- Goldman, C.R. and A.J. Horne, 1983. *Limnology*. McGraw-Hill, New York.
- Grahame, J., 1987. *Plankton and Fisheries*. Edward Arnold, Baltimore.
- Harmansson, M., 1990. The dynamics of dissolved and particulate organic material in surface microlayers. *In: The biology of particles in aquatic systems* (R.S. Wotton *ed.*). CRC Press, New York.
- Jeffries, M. and D. Mills, 1990. *Freshwater ecology; principles and applications*. Belhaven Press, London.
- Mann, N.H. and N.G. Carr, 1992. *Photosynthetic prokaryotes*. Plenum Press, New York.
- Martin, C., S. Kaarina, U. Martern, R. Dierstein and J. Wechesser, 1990. Rapid purification of peptide toxins microcystin LR and nodularin. *FEMS Microbiol. Lett.* **68** : 1-6.
- Mitchell, J.G., 1991. The influence of all size on marine bacterial motility and energetics. *Microb. Ecol.* **22** : 227-238.
- Natarajan, A.V. and V. Pathak, 1987. Man-made reservoirs as managed ecosystems in tropical and subtropical India. *In: Managed aquatic ecosystems* (R.G. Michael *ed.*). Elsevier, Amsterdam.
- Pomeroy, L.R., 1991. Relationships of primary and secondary production in lakes and marine ecosystems. *In: Comparative analyses of ecosystems; patterns, mechanisms and theories* (J. Cole, G. Lovett and S. Findlay *ed.*).
- Reynolds, C.S., 1986. Experimental manipulations of the phytoplankton periodicity in large limnetic enclosure in Blelhan Tarn, English Lake District. *Hydrobiologia*, **138** : 43-64.
- Richman, S., D.K. Branstrator and M. Huber-Villegas, 1990. Impact of zooplankton grazing on phytoplankton along a trophic gradient. *In: Large lakes; ecological structure and function* (M.M. Tilzer and C. Serruya *ed.*). Springer-Verlag, New York.
- Schwoerbel, J., 1987. *Handbook of limnology*. Ellis Horwood Limited, Chichester.
- Shapiro, J.H., 1973. Blue-green algae; why they become dominant. *Science*, **179** : 382-384.
- Shapiro, J., 1980. The importance of trophic-level interactions to the abundance and species composition of algae in lake. *In: Developments in hydrobiology vol. 2* (J. Barica and L. R. Mur *ed.*). Dr. Junk Publishers, Hague.
- Shapiro, J., 1990. Current beliefs regarding dominance by blue-greens; the case for the importance of CO₂ and pH. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **24** : 38-54.
- Simon, M. and F. Azam, 1989. Protein content and protein synthesis rates of planktonic marine bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **51** : 201-213.
- 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.
- Watson, S.W., J.T. Novitsky, H.L. Quinby and F. W. Valois, 1977. Determination of bacterial number and biomass in marine environment. *Appl. Environ. Microbiol.* **33** : 940-946.
- Wetzel, R.G. and G.E. Likens, 1991. *Limnological analysis*. 2nd ed. Springer-Verlag, New York.