

대청호 하류에서 환경요인과 *Anabaena cylindrica* 생장억제세균의 계절별 분포 변화

김 철 호* · 이 정 호¹

(진주산업대학교 이공학부 미생물공학과, ¹대구대학교 사범대학 생물교육과)

Seasonal Variations of Environmental Factors and Distribution of *Anabaena cylindrica* Growth-Inhibiting Bacteria in the Lower Daechung Reservoir. Kim, Chul-Ho* and Jung-Ho Lee¹ (Department of Microbiological Engineering, College of Sciences & Engineering, Chinju National University, Chinju, Kyungnam 660-758, and ¹Department of Biology Education, College of Education, Taegu University, Kyungsan, Kyungpook 712-714, Korea)

The authors surveyed the seasonal variations of environmental factors, the distributions of heterotrophic bacteria and *Anabaena cylindrica* growth-inhibiting bacteria at each water layer in Daechung Reservoir to verify the role of bacteria during the extinction of bloom. Average water depth at site 1, 2, and 3 were 25.5 m, 15.0 m and 12.3 m, respectively. Water temperature showed a typical pattern seasonally. The variation of DO was relatively inverse proportional to that of water temperature, although it was irregular during summer time. DO decreased gradually to early May, fluctuated sharply after then, and followed by gradual increasement after middle of September. This variation pattern was notable at surface layer. There was remarkable difference in DO concentraion between surface layer and the other water layers during the period in which DO irregularly varied. The variation range of chlorophyll-*a* concentraion at surface layer in summer time was broad, and it was relatively high when DO was high. The population size of heterotrophic bacteria was high from Spring to Autumn, and declined after September when the water temperature droped rapidly. Especially this variation pattern was prominent at the surface layer. Bacteria that inhibit the growth of *A. cylindrica* was almost not detected by June, and its distribution increased in July. Afterward, it showed different variation pattern between each site. The distribution of *A. cylindrica* growth-inhibiting bacteria was higher at the middle and bottom layer than the surface layer in July and October, when it was larger at all sites for the study period. This result suggests that the antagonistic bacteria exhibit higher activity when host activity drops. These results also suggest that natural water bacteria control the distirbution of cyanobacteria, especially its activity as controller is remarkable when cyanobacterial growth declines.

Key words : Heterotrophic bacteria, Environmental factors, *Anabaena cylindrica*, Growth-Inhibition

* Corresponding author: Tel: 0591) 751-3395, Fax: 0591) 755-2553, E-mail: chkim@cjcc.chinju.ac.kr

서론

우리나라의 연평균 강수량은 1,274 mm으로 세계 평균 970 mm와 비교할 때 매우 높은 수준이지만 연강수량의 65%에 해당하는 많은 양이 6~9월에 집중될 뿐만 아니라 높은 인구밀도로 인하여 국제사회에서는 물부족 국가로 분류되고 있다. 따라서 정부에서는 부족한 물을 충당하기 위하여 전국에 30여개의 댐과 170여개의 인공 호수를 축조하였다. 하지만 국내의 대부분 호소는 유역 면적이 넓어 비점오염원의 조절이 어려워 부영양화에 매우 취약하고, 호소 유역에 농장, 골프장, 각종 산업시설, 유원지 등의 오염원이 산재하고 있어 갈수해였던 1994년을 경계로 해마다 수화 발생이 증가하고 있다(환경부, 1999).

수계가 부영양화 됨으로써 나타나는 현상인 수화(water-bloom)는 전세계에 걸쳐 담수생태계에서 발생하는데, 대부분의 수화는 남조세균(cyanobacteria)의 대발생에 의한다(Reynolds and Walsby, 1975). 수생태계에서 남조세균이 대발생할 경우 수표면에 scums을 형성하거나 산소의 고갈, 이취미의 발생, 야생동물의 폐사 등 생태계 유지에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 인간의 생명도 위협할 수 있는 요인으로 알려져 있다(Gorham and Carmichael, 1980; Falconer, 1989; Himberg *et al.*, 1989; Carmichael, 1994).

남조세균은 광합성과 질소고정을 통하여 생태계의 물질순환에 있어 매우 큰 역할을 담당하는데, 수생태계에서 이들이 합성하는 물질들은 수중 미생물의 생장에 필요한 에너지원과 질소원으로 작용함으로써 그 성장을 촉진하는 것으로 알려져 있다(Fay, 1992; Khan *et al.*, 1994).

일반적으로 우리나라와 같은 온대지역에서 발생하는 남조세균에 의한 수화는 수온이 하강하는 시기에 갑자기 소멸하는데, 이러한 현상에는 광량의 감소나 수온의 하강, 영양염류의 고갈, 자연침강 등의 요인과 함께 세균이나 곰팡이, 바이러스 등의 미생물학적인 요인이 관여하는 것으로 알려져 있다(Granhall and Berg, 1972; Rheinhermer, 1985). 국내외적으로 실험실에서 시안세균에 대해 길항성을 갖는 세균에 대한 연구는 일부 이루어진 바 있지만(Shilo, 1970; Burnham *et al.*, 1981; Sallal, 1994) 자연수계에서의 길항성 세균 분포에 대한 연구는 매우 드물다.

본 연구에서는 매년 수화가 발생하는 대청호 하류의 주요 정점에서 주요 환경요인과 중속영양세균 군집,

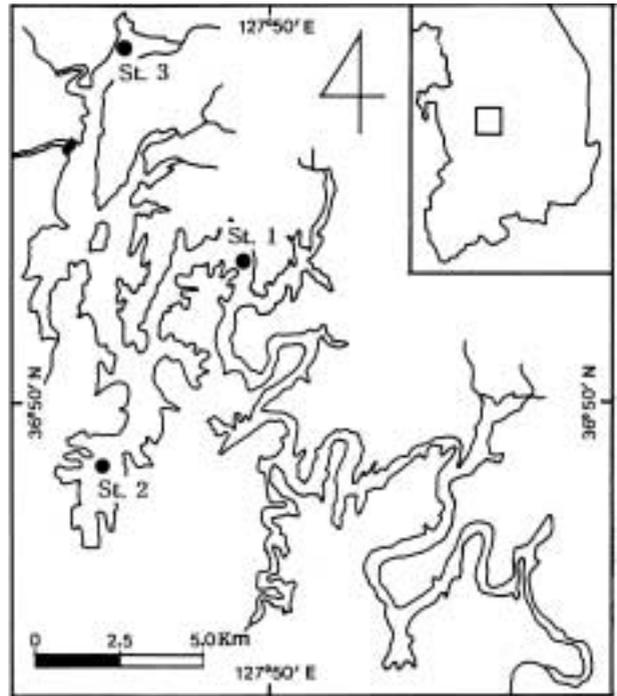


Fig. 1. A map showing the sampling sites in Daechung Reservoir.

Anabaena cylindrica 생장억제세균의 수층별 연중 변화를 조사하였다. 이러한 연구는 수화의 발생과 소멸 과정에 대한 다른 미생물학적인 요인의 영향을 밝히는데 있어 중요한 기초자료를 제공하게 될 것이다.

재료 및 방법

1. 조사 정점 및 시료의 채취

연구 대상 정점으로는 충청북도 보은군 회남면 회남교 아래(정점 1)와 대전광역시 동구 추동에 위치한 대전취수탑 부근 수역(정점 2), 그리고 충청북도 청원군 문의면 소재의 청주취수탑 부근 수역(정점 3)을 설정하였다. 정점 1은 대청호 본류의 중류로서 연구가 시작된 1997년까지도 가두리 양식이 이루어졌던 곳이며, 정점 2와 3은 각각 대전광역시와 청주시의 상수도 공급을 위한 취수 지점에 해당한다.

미생물분석을 위한 시료는 1997년 3월부터 12월 사이에 월 1회씩 Van Dorn 채수기를 이용하여 채취하였으며, 표층은 수심 20 cm, 하층은 바닥으로부터 1 m 상부, 중층은 상층과 하층의 중간 깊이에서 채취하였다. 시료는 멸균된 용기에 담아 ice box에 넣어서 실험실로 운반한 후 즉시 분석을 진행하였다.

환경요인은 1997년 2월 23일부터 12월 29일 사이에 약 1주일 간격으로 조사하였는데, 클로로필 *a*의 농도는 표층에서만 측정하였다.

2. 환경요인의 분석

수심은 각 조사정점에서 Van Dorn 채수기를 이용하여 시료를 채취하는 과정에서 측정하였고, 수온과 용존산소량은 YSI 58 측정기 (Yellow Springs Instrument Co. Inc.)을 이용하여 현장에서 직접 측정하였다. 클로로필 *a* (chlorophyll-*a*)의 농도는 Standard method (APHA, 1992)에 따라 정량하였다.

3. 종속영양세균의 분포 측정

종속영양세균의 분포는 R2A 고체배지 (Difco)에 1/10 단위로 희석한 일련의 시료 0.1 ml을 접종하여 도달한 후 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 배양기에서 5일간 배양하여 형성되는 콜로니를 계수하여 colony forming units (CFUs)로 측정하였다 (김 등, 1998a, b).

4. *Anabaena cylindrica* 성장억제세균의 분포 측정

남조세균 성장억제세균의 분포는 *Anabaena cylindrica*를 숙주로 이용하여 double-layered agar법 (Mitsutani et al., 1987; Kim et al., 1997)으로 측정하였으며, plaque forming unit (PFUs)로 확인하였다.

결 과

1. 환경요인의 변화

각 조사정점에서의 수심 변화는 Fig. 2에 나타낸 바와 같으며, 수심별 온도 변화는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 수온의 경우 하절기에 높고 동절기에 낮은 전형적인 수온변화 양상을 보였다.

용존산소량은 Fig. 4에서와 같이 하절기를 제외하고 수온과 비교적 반비례적인 양상으로 변화하였다. 대체적으로 모든 정점에서 5월 초순까지 점차 감소하던 용존산소량은 이후에는 매우 불규칙적인 변화 양상을 보이다가 9월 중순 이후에는 점차 증가하였으며, 특히 이러한 양상은 표층에서 더욱 뚜렷하게 나타났다.

클로로필 *a*의 농도는 Fig. 5에서와 같이 변화하였으며, 다른 정점에 비하여 정점 3에서는 매우 큰 변화를 나타내었다.

각 정점에서 수층별 주요 환경요인의 최대값과 최소값, 평균, 표준편차는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

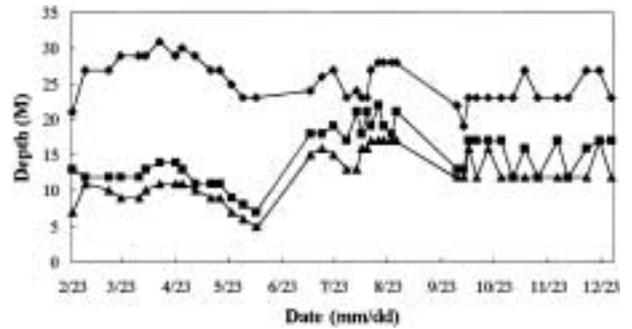


Fig. 2. Seasonal variation of the water depth in Dae-chung Reservoir. ◆, Site 1; ■, Site 2; ▲, Site 3.

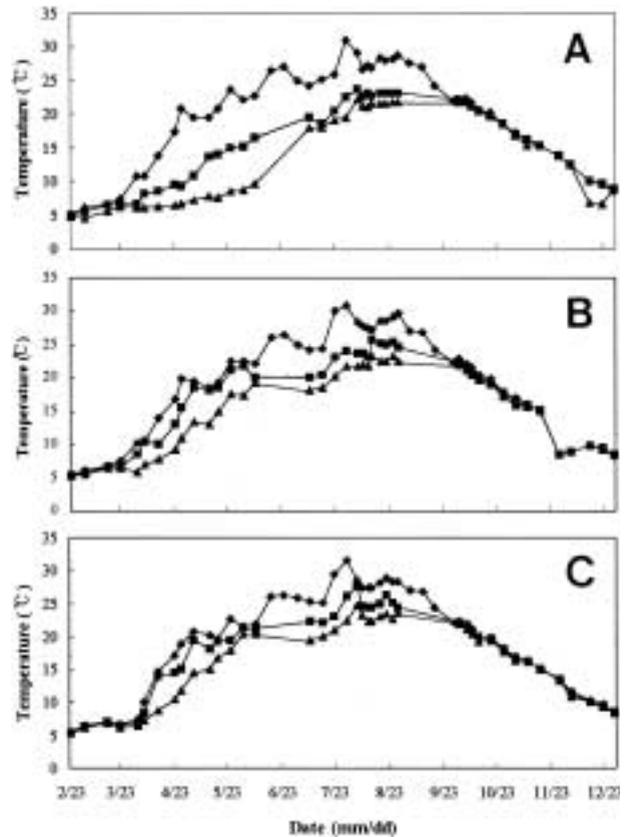


Fig. 3. Seasonal variation of water temperature in Dae-chung Reservoir. A, Site 1; B, Site 2; C, Site 3. ◆, Surface; ■, Middle; ▲, Bottom.

2. 종속영양세균의 월별 분포 변화

종속영양세균의 분포도는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 봄부터 가을까지는 대체로 높게 유지되다가 수온이 급격히 하락하는 9월 이후에는 매우 낮은 개체군 크기를 보였다. 정점 1의 표층과 중층, 하층에서는 3월에 각각

Table 1. Some cardinal values of environmental factors in Daechung Reservoir.

Site	Depth (M)		Layer ^a	Factor ^b	Ater temp. (°C)		DO (mg/l)		Chl-a (mg/m ³)	
	Factor ^b	Value			Date (mm/dd)	Value	Date (mm/dd)	Value	Date (mm/dd)	Value
1	Max	31.0	Sur	Max	07/30	31.0	07/09	12.8	08/18	42.4
				Min	02/23	5.1	09/29	4.5	11/28	1.6
				Ave		20.1		9.6		11.0
				SD		7.1		2.3		9.4
	Min	19.0	Mid	Max	08/05	23.7	02/23	12.0		
				Min	02/23	4.9	08/21	2.9		
				Ave		15.7		7.4		
				SD		6.1		2.5		
	Ave	25.5	Bot	Max	08/05	22.1	02/23	11.7		
				Min	03/03	4.5	10/02	0.5		
				Ave		13.9		6.9		
				SD		6.6		2.9		
2	Max	22.0	Sur	Max	07/30	30.9	07/30	13.2	08/13	38.8
				Min	02/23	5.4	09/29	6.2	03/16	0.9
				Ave		19.9		9.7		10.1
				SD		7.5		1.9		9.2
	Min	7.0	Mid	Max	08/13	25.8	02/23	12.2		
				Min	02/23	5.3	08/28	2.0		
				Ave		17.0		8.4		
				SD		6.4		2.6		
	Ave	15.0	Bot	Max	08/13, 25	23.3	02/23	12.0		
				Min	02/23	5.3	08/28	1.0		
				Ave		15.4		7.0		
				SD		6.1		3.0		
3	Max	17.0	Sur	Max	08/21	28.9	07/30	15.8	08/13	131.8
				Min	02/23	5.5	09/18	6.2	03/16	1.0
				Ave		20.0		9.6		15.1
				SD		7.4		1.7		21.2
	Min	5.0	Mid	Max	08/05	27.6	02/23	12.1		
				Min	02/23	5.4	08/28	3.0		
				Ave		17.6		8.3		
				SD		6.5		2.3		
	Ave	12.3	Bot	Max	08/05	24.8	02/23	12.0		
				Min	02/23	5.3	08/25	0.3		
				Ave		16.1		7.4		
				SD		6.0		3.0		

^a Sur, Surface; Mid, Middle; Bot, Bottom.

^b Max, Maximum; Min, Minimum; Ave, Average; SD, Standard Deviation.

1,500.0 × 10³ CFUs/ml, 3,450.0 × 10³ CFUs/ml 및 636.0 × 10³ CFUs/ml의 최고값을 기록하였으며, 12월에는 각각 0.1 × 10³ CFUs/ml, 0.5 × 10³ CFUs/ml 및 0.4 × 10³ CFUs/ml의 최저값을 보였다. 표층과 중층, 하층의 종속 영양세균 군집의 연평균값은 각각 168.8 × 10³ CFUs/

ml, 431.5 × 10³ CFUs/ml 및 161.6 × 10³ CFUs/ml였고, 표준편차는 각각 444.1 × 10³ CFUs/ml, 1,008.7 × 10³ CFUs/ml 및 186.2 × 10³ CFUs/ml였다.

정점 2의 표층과 하층에서는 3월에 각각 588.0 × 10³ CFUs/ml과 1,022.0 × 10³ CFUs/ml의 수준을 나타냄으로

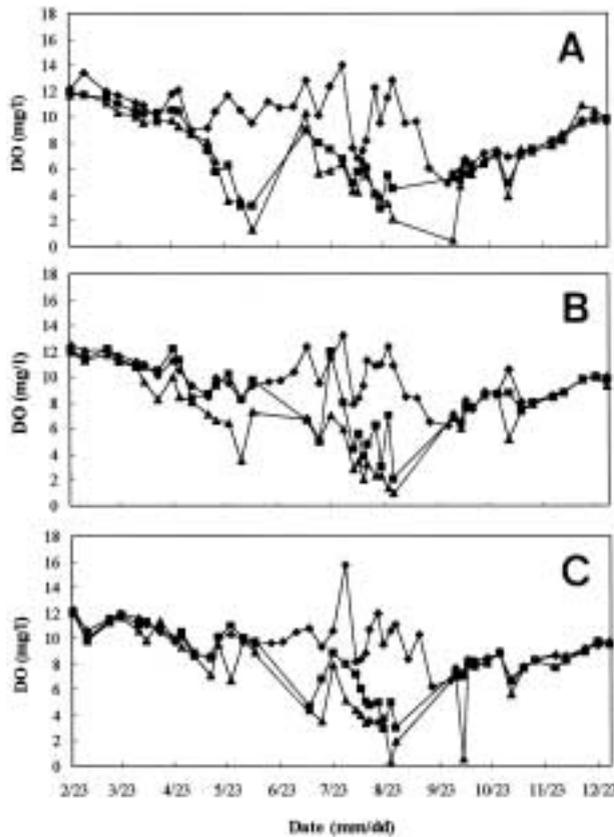


Fig. 4. Seasonal variation of Dissolved oxygen (DO) in Daechung Reservoir. A, Site 1; B, Site 2; C, Site 3. ◆, Surface; ■, Middle; ▲, Bottom.

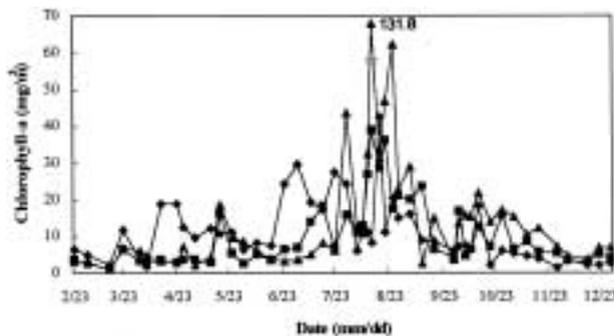


Fig. 5. Seasonal variation of chlorophyll-a concentration in Daechung Reservoir. ◆, Site 1; ■, Site 2; ▲, Site 3.

써 최고값을 기록하였고, 12월에는 각각 0.1×10^3 CFUs/ml과 5.0×10^3 CFUs/ml의 최저값을 보였다. 반면 중층에서는 5월에 232.0×10^3 CFUs/ml, 12월에 0.1×10^3 CFUs/ml의 분포를 나타냄으로써 각각 최고값과 최저값을 기록하였다. 표층과 중층, 하층에서의 종속영양세균

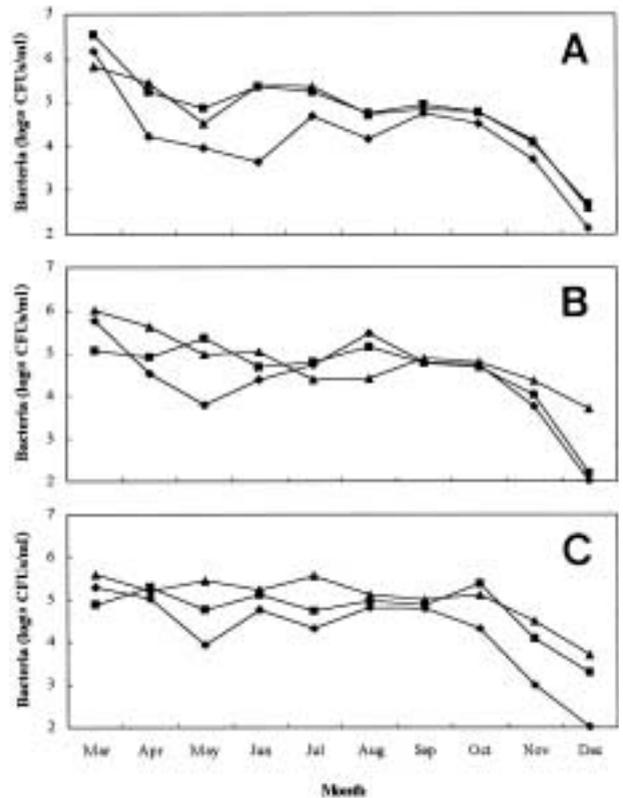


Fig. 6. Seasonal variation of heterotrophic bacterial population size in Daechung Reservoir. A, Site 1; B, Site 2; C, Site 3. ◆, Surface; ■, Middle; ▲, Bottom.

분포도의 평균값은 각각 112.3×10^3 CFUs/ml, 79.6×10^3 CFUs/ml 및 185.1×10^3 CFUs/ml였고, 표준편차는 각각 $178. \times 10^3$ CFUs/ml, 65.1×10^3 CFUs/ml 및 301.3×10^3 CFUs/ml였다.

정점 3의 표층과 하층에서는 3월에 각각 194.0×10^3 CFUs/ml, 396.0×10^3 CFUs/ml의 최고분포값을 기록하였으며, 12월에는 각각 0.1×10^3 CFUs/ml, 5.0×10^3 CFUs/ml의 최저값을 보였다. 중층에서는 4월에 194.0×10^3 CFUs/ml, 12월에 2.0×10^3 CFUs/ml의 분포를 나타냄으로써 각각 최고값과 최저값을 기록하였다. 각 수층에서 종속영양세균의 연평균 분포도는 표층 54.2×10^3 CFUs/ml, 중층 92.5×10^3 CFUs/ml, 그리고 하층 176.1×10^3 CFUs/ml였고, 표준편차는 표층 57.3×10^3 CFUs/ml, 70.5×10^3 CFUs/ml, 122.0×10^3 CFUs/ml으로 조사되었다.

모든 정점의 표층에서는 조사를 시작한 3월부터 5월까지는 종속영양세균의 군집크기가 점차 감소하다가 6월부터 9월까지는 비교적 높아졌으며, 10월부터는 급격

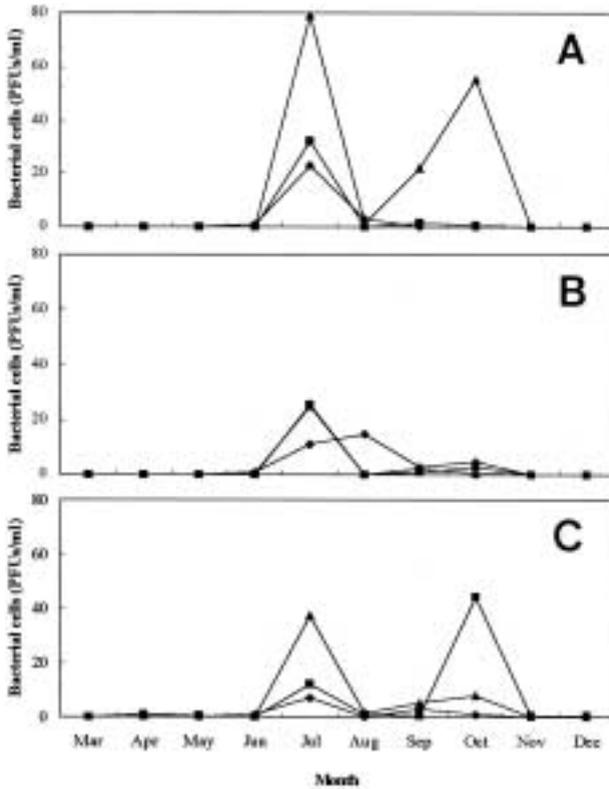


Fig. 7. Seasonal variation of the number of bacteria that inhibit the growth of *Anabaena cylindrica* in Daechung Reservoir. A, Site 1; B, Site 2; C, Site 3. ◆, Surface; ■, Middle; ▲, Bottom.

하게 감소하는 양상을 보였다.

4. *Anabaena cylindrica* 성장억제세균의 분포 변화

Anabaena cylindrica 성장억제세균은 6월 이전에는 거의 분포하지 않다가 7월에 분포도가 급상승하고, 이후에는 정점별로 상이한 분포도 변화를 보였다 (Fig. 7). 정점 1에서는 모든 수층에서 6월 이전까지 *A. cylindrica* 성장억제세균이 거의 분포하지 않았고, 7월에는 표층에서 23.0 PFUs/ml, 중층에서 32.0 PFUs/ml, 그리고 하층에서 79.0 PFUs/ml가 분포함으로써 각 수층에서의 최고값을 나타내었으며, 8월에는 다시 급격히 감소하였다가 하층에서는 9월에 다시 증가하여 10월에는 55.0 PFUs/ml의 높은 분포를 보였다. 11월 이후에는 모든 수층에서 *A. cylindrica* 성장억제세균이 사라지는 것을 확인할 수 있었다. 정점 1의 표층과 중층, 하층에서 *A. cylindrica* 성장억제세균의 평균 분포값은 각각 2.7 PFUs/ml, 3.4 PFUs/ml 및 15.7 PFUs/ml였으며, 표준편차는 각각 6.81 PFUs/ml, 9.54 PFUs/ml 및 26.97 PFUs/ml로 확인

되었다.

정점 2에서도 5월까지의 모든 수층에서 전혀 관찰되지 않던 *A. cylindrica* 성장억제세균이 6월부터 분포하기 시작하여 7월에 표층에 11.1 PFUs/ml, 중층에서 25.3 PFUs/ml, 하층에서 25.0 PFUs/ml의 높은 분포도를 보였고, 11월 이후에는 거의 완전하게 소멸하는 것을 확인할 수 있었다. 다른 수층과는 달리 표층에서는 8월에도 15.0 PFUs/ml의 높은 분포값을 보였다.

정점 3에서는 봄철에 일부 분포하던 *A. cylindrica* 성장억제세균이 7월에는 표층에서 7.0 PFUs/ml, 중층에서 12.0 PFUs/ml, 하층에서 37.0 PFUs/ml 관찰되었고, 8월에는 분포값이 매우 낮아졌다. 9월에는 표층과 하층에서 각각 2.8 PFUs/ml, 5.0 PFUs/ml의 억제세균이 관찰되었으며, 10월에는 중층에서 최고값인 44.0 PFUs/ml의 높은 분포를 보였다.

모든 정점에서 *A. cylindrica* 성장억제세균의 분포도가 높았던 7월과 10월에는 표층보다는 중층과 하층에서 더 많은 성장억제세균이 검출되었다.

고 찰

정점 1과 2, 3에서 수심의 표준편차는 각각 2.8 m, 3.7 m, 3.3 m로서 정점 2와 3에서 편차가 큰 것으로 나타났으며, 모든 정점에서 수온은 표층에서 비교적 큰 변화를 나타내었다. 표층에서의 수온에 따른 산소의 포화도는 대체적으로 5월 중순부터 9월 초순까지는 과포화상태를 나타내다가 이후에는 저포화 상태가 된다는 것을 확인할 수 있었다 (Wetzel and Likens, 1991).

평균 용존산소량은 표층에서 높았고 표준편차는 하층에서 높게 나타났는데, 이러한 현상은 수온이 낮은 동절기에는 모든 수층에서 비교적 높으면서 유사한 수치의 용존산소량이 분포하다가 수온이 올라가는 것을 계기로 하여 표층에서는 광합성 작용이 왕성해진 반면 하층에서는 광합성 작용이 억제되고 종속영양생물의 활성이 진행되면서 산소가 고갈되기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 모든 정점의 표층에서 7월 30일에 가장 높은 용존산소량을 나타내었는데, 김 등 (1998a, b)의 선행 연구에서 제시된 결과에 의하면 이 시기는 열흘 가량 강우량이 거의 없는 상황에서 수온이 높게 유지됨으로써 식물성플랑크톤의 광합성 작용이 활발히 진행되었기 때문이다.

남조세균의 경우 대체로 수온이 20°C 이상일 때 왕성하게 성장하는 것으로 알려져 있는데 (이, 1999), 본 연구에서는 수온이 20°C 이상으로 올라가는 5월 중순경 이전에는 시간이 경과할수록 용존산소량이 점차 감소하고,

수온이 급감하는 9월 중순 이후에는 점차 증가하는 일정한 양상을 나타내지만 그 사이의 기간에는 일정한 유형 없이 불규칙적으로 큰 변화를 보였으며, 특히 이 기간에는 다른 수층에 비해 표층의 용존산소량이 매우 높게 나타났다.

클로로필 *a* 농도는 7월 23일 이전까지는 정점 1에서 높게 측정되다가 이후에는 정점 2와 3에서 비교적 높은 농도 범위에서 큰 변화를 나타내는 양상을 보였다. 정점 2와 3에서는 상대적으로 수심이 낮고 7월 중순경부터 하층에 용존산소량이 크게 감소함으로써 퇴적층으로부터의 인과 같은 영양원 확산을 유도하는 작용을 함으로써 조류나 남조세균의 성장을 촉진시킨 결과로 생각된다 (Horne and Goldman, 1994). 모든 정점에서 하절기에 클로로필 *a*의 농도는 매우 급격히 변화하였는데, 이는 환경 조건이 적정할 경우에는 식물플랑크톤이 bacteria-free 상태에서 대수생장을 하다가 강우와 같은 환경 변화에 의해 생장이 불리한 경우에는 bacteria에 의해 빠르게 공격받음으로써 개체수가 감소한 결과로 생각할 수 있다 (Horne and Goldman, 1994).

모든 정점의 표층에서는 조사를 시작한 3월부터 5월까지는 중속영양세균의 분포값이 점차 감소하다가 6월부터 9월까지의 비교적 높은 분포값을 나타내었으며, 10월부터는 급격하게 감소하는 양상을 보였는데, 이러한 결과는 조사지역에서 하절기에 남조세균 분포도가 높았다는 보문(김 등, 1998a, b)과 자연수계에서 남조세균이 세균의 성장을 촉진시킨다는 연구결과 (Fay, 1992; Khan *et al.*, 1994)가 이를 뒷받침한다.

6월 이전과 11월 이후에 *A. cylindrica* 성장억제세균이 거의 분포하지 않는 것은 이 시기에 *A. cylindrica*의 분포값이 낮았고(김 등, 1998a, b), 일반적으로 남조세균 성장억제세균은 숙주에 부착하여 생활하다가 숙주의 활력이 떨어질 경우 숙주를 분해함으로써 그 기능을 수행하기 때문 (Daft *et al.*, 1975; Martin *et al.*, 1978)으로 판단된다. 모든 정점에서 *A. cylindrica* 성장억제세균의 분포도값이 높았던 7월과 10월에는 표층보다는 중층과 하층에서 더 많은 성장억제세균이 검출되었는데, 이러한 결과는 숙주인 *A. cylindrica*의 활력이 높아 왕성하게 세포분열을 하는 표층에서는 억제세균이 많이 분포하지 않고, 상대적으로 숙주의 활성이 떨어지는 중층과 하층에 더 많은 억제세균이 분포하는 것을 나타내며, 이는 보문 (Horne and Goldman, 1994)과 일치한다. 특히 정점 1에서는 숙주의 개체수가 많은 7월 뿐만 아니라 숙주가 완전히 소멸하는 9월과 10월에 억제세균이 매우 많이 분포하는 것을 볼 수 있었다. Daft *et al.* (1973, 1975)은

자연수계에서 남조세균 군집과 이의 성장억제세균 군집이 서로 비례적으로 성장한다고 보고한 바 있는데, 본 연구에서는 숙주인 *A. cylindrica*가 상대적으로 많이 분포하는 표층보다는 중층과 하층에 더 많은 성장억제세균이 분포한다는 점에서 차이가 있다.

이상의 결과로부터 자연수계에서 세균은 남조세균의 성장 조절자로서의 역할을 담당하며, 특히 수화의 소멸 과정에는 이들 세균의 역할이 두드러진다는 사실을 알 수 있었다. 또한 숙주인 남조세균이 왕성하게 성장함으로써 수질의 pH와 같은 환경요인이 세균의 성장에 적절하지 않다고 생각되는 표층에서보다 중층과 하층에 더 많은 억제세균이 분포하면서 남조세균의 군집에 영향을 끼친다는 점을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 수계에 분포하는 세균을 이용하여 남조세균에 의한 수화를 조절하기 위해서는 남조세균의 활력을 감소시키는 것이 매우 중요하다고 생각된다.

적 요

수화의 소멸과정에서 수계에 분포하는 세균의 역할을 확인하기 위하여 대청호의 주요 정점에서 환경요인과 중속영양세균 군집, *Anabaena cylindrica* 성장억제세균의 수층별 연중 변화를 조사하였다. 평균수심은 정점 1에서 25.5 m, 정점 2에서 15.0 m, 정점 3에서는 12.3 m였다. 모든 정점에서 수층별 온도는 하절기를 중심으로 하는 온대지방 수계에서의 전형적인 변화를 나타내었다. 용존산소량은 하절기에 불규칙하게 변화하긴 했지만 수온과 비교적 반비례적인 양상으로 변화하였다. 대체적으로 모든 정점에서 5월 초순까지 점차 감소하던 용존산소량은 이후에는 급격한 변화를 나타내다가 9월 중순 이후에는 점차 증가하는 양상을 보였으며, 특히 이러한 변화양상은 표층에서 더욱 뚜렷하였다. 용존산소량이 불규칙적으로 큰 변화를 보이는 하절기에는 다른 수층에 비하여 표층에서 용존산소량이 매우 높았다. 표층에서의 클로로필 *a* 농도는 하절기에 변동폭이 크게 나타났으며, 용존산소량이 높은 시기에 비교적 높은 수치를 나타내었다. 중속영양세균의 분포도는 모든 수층에서 봄부터 가을까지는 대체로 높게 유지되다가 수온이 급격히 하락하는 9월 이후에는 매우 낮은 개체군 크기를 보였다. 특히 모든 표층에서 이러한 변화는 두드러졌다. *Anabaena cylindrica* 성장억제세균은 6월 이전에는 거의 분포하지 않다가 7월에 분포도가 큰 폭으로 증가하였고, 이후부터는 정점별로 상이한 분포 변화를 보였다. 모든 정점에서 *A. cylindrica* 성장억제세균의 분포값이 높았던 7

월과 10월에는 표층보다는 중층과 하층에서 더 많은 성장억제세균이 검출되었는데, 이러한 결과는 숙주인 *A. cylindrica*의 활력이 상대적으로 떨어질 때 억제세균의 활성이 높아지는 것을 암시한다. 이상의 결과로부터 자연수계에서 세균은 남조세균 분포에 대한 조절자로서의 역할을 하며, 특히 남조세균의 활력이 떨어질 때 그 역할이 더욱 두드러진다는 사실을 알 수 있었다.

인 용 문 헌

- 김철호, 이정호, 김도한, 최영길. 1998a. 대청호에서 cyanobacteria 수화와 *Anabaena cylindrica* 성장억제미생물 분포도의 상관관계. 한국육수학회지 **31**: 173-180.
- 김철호, 이정호, 최영길. 1998b. 수화와 시안세균(*Anabaena cylindrica*) 성장억제미생물 분포도의 상관관계. 한국미생물학회지 **34**: 188-193.
- 이정호. 1999. 대청호의 년중 식물플랑크톤 군집 동태. 한국육수학회지 **32**: 358-366.
- 환경부. 1999. 환경백서.
- APHA. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (18th ed.). American Public Health Association, Washington D.C.
- Burnham, J.C., S.A. Collart and B.W. Highison. 1981. Entrapment and lysis of the cyanobacterium *Phormidium luridum* by aqueous colonies of *Myxococcus xanthus* PCO₂. *Arch. Microbiol.* **129**: 285-294.
- Carmichael, W.W. 1994. The toxins of cyanobacteria. *Sci. Am.* **270**: 64-72.
- Daft, M.J., S. McCord and W.D.P. Stewart. 1973. The occurrence of blue-green algae and lytic bacteria at a waterworks in Scotland. *Water Treat. Exam.* **22**: 114-124.
- Daft, M.J., S.B. McCord and W.D.P. Stewart. 1975. Ecological studies on algal-lysing bacteria in fresh waters. *Freshwater Biol.* **5**: 577-596.
- Falconer, I.R. 1989. Effects on human health of some toxic cyanobacteria (blue-green algae) in reservoirs, lakes and rivers. *Toxicity Assessment* **4**: 175-184.
- Fay, P. 1992. Oxygen relations of nitrogen fixation in cyanobacteria. *Microbiol. Rev.* **56**: 340-373.
- Gorham, P.R. and W.W. Carmichael. 1980. Toxic substances from freshwater algae. *Prog. Water Technol.* **12**: 189-198.
- Granhall, V. and B. Berg. 1972. Antimicrobial effects of *Cellvibrio* on blue-green algae. *Arch. Mikrobiol.* **84**: 234-242.
- Himberg, K., A.M. Keijola, L. Hiisvira, H. Pyysalo and K. Sivonen. 1989. The effect of water treatment processes on the removal of hepatotoxins from *Microcystis* and *Oscillatoria* cyanobacteria: A laboratory study. *Wat. Res.* **23**: 979-984.
- Horne, A.J. and C.R. Goldman. 1994. Limnology (2nd ed.). McGraw-Hill, Inc.
- Khan, Z.U.M., Z.U.T. Begum, R. Mandal and M.Z. Hossain. 1994. Cyanobacteria in rice soils. *World J. Microbiol. Biotechnol.* **10**: 296-298.
- Kim, C.H., M.H. Leem and Y.K. Choi. 1997. Isolation of a bacterium that inhibits the growth of *Anabaena cylindrica* (Cyanobacterium). *Jour. Microbiol.* **35**: 284-289.
- Martin, E.L., J.E. Leach and K.J. Kuo. 1978. Biological regulation of bloom-causing blue-green algae. pp. 62-67. In Loutit, M.W. and J.A.R. Miles (ed.) *Microbial Ecology*. Springer-Verlag, Berlin.
- Mitsutani, A., A. Uchida and Y. Ishida. 1987. Occurrence of blue-green algae and algal lytic bacteria in lake Biwa. *Bull. JSME* **2**: 21-28.
- Reynolds, C.S. and A.E. Walsby. 1975. Water-blooms. *Biol. Rev.* **50**: 437-481.
- Rheinhermer, G. 1985. *Aquatic Microbiology*. John Wiley & Sons, New York. pp. 145-184.
- Sallal, A.K.J. 1994. Lysis of cyanobacteria with *Flexibacter* spp. isolated from domestic sewage. *Microbios* **77**: 57-67.
- Shilo, M. 1970. Lysis of blue-green algae by *Myxobacter*. *J. Bacteriol.* **104**: 453-461.
- Wetzel, R.G. and G.E. Likens. 1991. *Limnological Analyses* (2nd ed.). Springer-Verlag, New York.