

소양호에서의 종속영양세균의 종구성 및 Alkaline phosphatase 분비 세균에 관한 연구

이동훈 · 안태석* · 조규송

강원대학교 자연과학대학 생물학과

*강원대학교 자연과학대학 환경학과

Heterotrophic Bacterial Community and Alkaline Phosphatase Releasing Bacteria in Lake Soyang

Lee, Dong Hun, Tae Seok Ahn* and Kyu Song Cho

Department of Biology, Kangweon National University

*Department of Environmental Science, Kangweon National University, Chuncheon, 200-701, Korea

ABSTRACT: The total and heterotrophic bacterial distributions, compositions and alkaline phosphatase activities were analyzed in Lake Soyang from Sep. 1987 to Aug. 1988.

The heterotrophic bacteria was small portion, 0.07-2.63% of total bacterial number which ranged from 3.2×10^5 to 3.2×10^6 cells/ml.

The composition of bacterial community was less diverse in summer and at the fish farm site and *Peridinium* blooming site.

Pseudomonas and *Flavo bacterium* were the dominant genera in all sites.

The highest proportion and activity of alkaline phosphatase was appeared in *Flavobacterium*, while *Pseudomonas* was the most predominant group.

KEYWORDS □ Bacterial distribution, Diversity, Alkaline phosphatase, Community, Lake Soyang

수중 생태계에서 종속영양세균은 유기물의 분해 및 재합성 기능을 수행하여 물질 순환에 기여하며 용존된 영양물질을 생체내에 흡수하여 영양단계가 더 높은 생물들에게 energy를 공급하는 역할을 담당하며(Reinheimer, 1985 ; Wright, 1978). 특히 유기물질의 농도가 낮은 수계에서 세균의 이러한 역할은 매우 중요하다(Wight and Hobbie, 1986 ; Azam and Hodson, 1977 ; Fuhrman and Azam, 1980). 이러한 미생물은 수직적인 분포와 생체량의 분포도 중요하나, 종속영양세균의 종의 구성과 변화는 미생물 상호관계, 동·식물성 플랑크톤과의 관계 및 일반환경의 영향을 밝히는 중요한 요인이 된다. 미생물의 종의 구성은 천이 과정에 따라 달라지는데, 미생물은 계절의 변화와 같은 주위 환경의 변화에 따라 allogenic 한 천이 과정을 거치지만, 스스로 주위 환경을 자신에 맞게 변형시키는 auto-

genic 한 천이 과정도 거친다(Atlas and Bartha, 1986).

국내 최대의 수자원인 소양호는 북한강 상류에 위치하며 1972년 홍수조절 및 전력생산 등 다목적으로 건설된 최대 저수량 29억톤의 인공호로(Kim, 1987), 그 양적인면 뿐만 아니라 수도권 용수의 공급이라는 질적인 면에서도 매우 중요한 호수이다. 소양호의 경우 과거에는 전형적인 빈영양호로 양호한 수질상태를 유지하고 있었으나 최근 일부 지역에서 수질의 변화가 있어 가을철에 *Anabaena* 류가 출현하고, 엽록소 함량이 $15 \mu\text{g/l}$ 에 육박하고(김 등, 1989), 심층에서 무산소층이 형성되고(Kim and Cho, 1989), 저층으로 부터 인산염의 용출이 확인되는 등(안 등, 1989 ; 전과 박, 1989) 부영양화 현상이 나타나고 있다. 특히 계곡수가 유입되는 유역에는 *Peridinium* spp.에 의한 담수

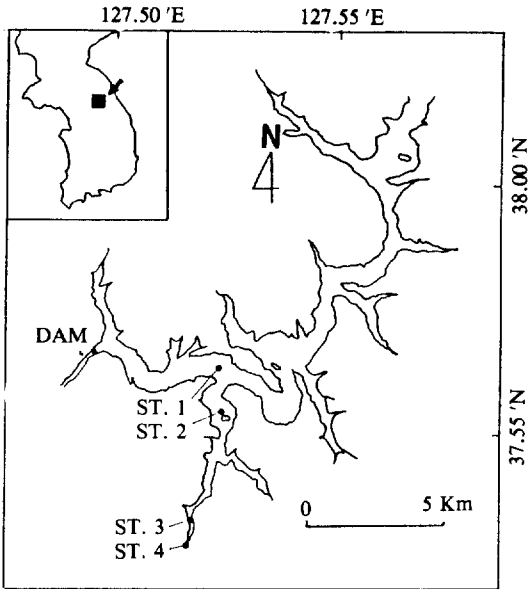


Fig. 1. Map of the research area and sampling sites in Lake Soyang.

적조 현상이 주기적으로 발생하고 있다(Cho et al., 1989).

본 연구에서는 소양호에서 계절과 지역의 변동에 따른 세균의 분포 및 변화를 살펴보고 종속영양 세균의 종 구성의 구조를 확인하여 미생물 군집의 천이 과정을 살펴 보았다. 또 alkaline phosphatase를 분비하는 비율과 활성도를 파악하여 천이에 따른 미생물의 생태학적 기능인 물질 분해능의 변화를 살펴보았다.

재료 및 방법

연구대상 지역

소양호의 4개 조사정점을 선정하였다. 정점 1은 소양호의 본류지역이며 수심이 70m에 달하는 지역으로 인간활동에 의한 영향이 거의 없는 곳이며, 정점 2는 주변에 다수의 양어장이 설치되어 겨울을 제외한 전 계절에 걸쳐 사료가 투입되는 지역이다. 또한 조사 정점 3은 지류에 끝 부분으로 수심이 낮으며(5m 이하), *Peridinium* spp.에 의한 적조현상이 주기적으로 관찰되는 지역이고, 정점 4는 계곡의 유입수로 계절에 따라 수위변동이 심한 지역이며, 주위의 농업활동에 따른 영향을 받는 지역이다(Fig. 1).

채수 방법

시료 채취 및 분석은 1987년 9월 부터 1988년 8월 까지 6회 실시하였다. 시료는 Van-Dorn water

sampler를 이용하여 수면 아래 약 0.5m의 깊이에서 채취한 후 멸균된 Cap tube에 옮긴 후 냉장 보관하여 실험실로 운반, 분석하였다. 총 세균수 분석을 위한 시료는 현장에서 100 ml dark bottle에 담아 acidic lugol solution으로 고정한 후(Pomroy, 1984) 실험실로 운반하여 분석하였다.

미생물 분석

총 세균수(Total Bacterial Number) 측정은 DAPI (4,6-diamidino-2-phenylindole)로 염색하여 형광현미경에서 검경하였다(Porter and Feig, 1980; 안과이, 1989). 종속영양세균(Heterotrophic Bacteria)은 1/10로 농도를 낮춘 Nutrient agar 배지에 희석법으로 접종한 후, 20°C의 항온기에서 7일간 배양하여 30개에서 300개 사이의 colony가 나타난 배양접시(Petri-dish)를 선정하여 종속영양세균의 수를 측정하였다.

미생물 분리 및 동정

배지에 나타난 colony들 중 30개를 무작위로 선택하여 새로운 평판배지에 옮겨 단일 균주로 되었다고 판단될 때까지 배양하여 분리하였다. 순수 분리된 균주는 Shewan 등(1960)의 분류체계와 Bergey's Manual(Krieg and Holt, 1984)에서의 Key diagnostics를 이용하여 형태학적 형질로는 colony 형태, 색, cell의 모양과 운동성, 생화학적 형질로는 aesculine, O/F test, oxidase, nitrate reduction, gelatine 액화능 및 arginine 가수분해능의 10개의 형질 발현을 조사하여 속(genus)까지 동정하였다. 실험 방법 및 배지의 조성은 Smibert와 Krieg(1981), MacFaddin(1980) 및 Collins 등(1984)의 방법을 참조하였다.

Alkaline phosphatase 활성도

Alkaline phosphatase(AP) 활성을 나타내는 균주는 배양된 colony에 MUF(Methylumbelliferyl)-phosphate (0.02 mM in Tris Buffer, pH 8.3)를 적신 여과지를 덮어 364 nm에서 형광을 나타내는 colony로 확인하였고, 모든 colony를 액체배양하여 조사한 것인지, positive한 colony 중 임의로 선택하여 A.P activity를 조사한 것인지 불분명(Kim and Hoppe, 1985)하여 이들을 따로 분리하여 PNPP(p-Nitrophenol phosphate)를 사용하여 alkaline phosphatase의 활성도를 측정하였다(Huber and Kidby, 1984). 확인된 균주들을 Nutrient broth에 접종하여 25°C에서 2-3일간 교반배양기로 배양한다. 각 균주들이 충분히 자랐을 때 0.2 ml를 채취하여 Autoanalyzer용 sample bottle에 옮긴 후 Tris buffer(pH 8.3) 2 ml를 첨가한다. 시료 및 Tris buffer가 담긴 sample bottle은 2개를 준비하여 하나는 PNP(p-Nitrophenol) 측정시의 blank 및 균주 성장을 확인하기 위한 시료로 사용하였으며 나머지 sample bottle에

Table 1. The results of total bacterial number in Lake Soyang. ($\times 10^5$ Cell/ml).

Date	ST. 1	ST. 2	ST. 3	ST. 4
1987. 9	11.87	12.23	8.33	11.34
1987. 12	9.21	8.15	6.97	6.76
1988. 2	4.68	4.81	6.38	3.19
1988. 4	5.67	5.79	4.36	8.03
1988. 6	7.32	9.92	6.62	8.98
1988. 8	13.29	9.13	31.89	9.21

PNPP(0.1 mM) 0.2 ml을 첨가하여 25°C에서 2시간 동안 반응을 진행시켰다. 반응 과정 동안은 빛을 차단시켰으며 반응 후에 분광광도계(420 nm)로 생성된 PNP의 농도를 정량 분석하였다. 모든 시료의 측정치는 Autoanalyzer(Skalar analytical BV: Model SA20)를 이용하였으며 시료의 성장 차이를 보정하여 시료의 optical density가 0.1 unit 일때의 생성된 PNP의 농도를 alkaline phosphatase의 활성도로 계산하였다.

결과 및 고찰

미생물 분포

총 세균수(total bacterial number)의 분포범위는 $3.19 \times 10^5 - 3.19 \times 10^6$ cells/ml였으며, 2월 유입수인 정점 4에서 최저치를 보였으며, 8월 정점 3에서 최고치를 나타내었다. 수온이 낮은 시기에 총 세균수가 낮았고, 수온이 상승하면서 플랑크톤의 증식과 함께 총 세균수의 증가를 보여 6, 8월에 최고치를 나타내었다. 또 *peridinium* spp.의 blooming이 발생하는 정점 3에서 높은 값을 나타내었으며 변화폭도 다른 정점보다 컸다(Table 1). 이 값을 북한강수계의 다른 호수들과 비교하면 파로호의 $0.3 \times 10^5 - 1.31 \times 10^6$ cells/ml(안과 이, 1988)

보다는 높으나 팔당호의 $9.3 \times 10^5 - 3.15 \times 10^6$ cells/ml(안과 조, 1989) 보다는 낮았다.

총 세균수의 분포는 식물성 플랑크톤의 증식과 밀접한 관계가 있고(Wright, 1978), 식물성 플랑크톤의 유기물 배출 및 autolysis로 인하여 수계내의 유기물이 증가되면 세균의 증가가 커진다(Riemann, 1983). 이러한 식물성 플랑크톤의 대 발생 이후의 세균의 증가현상은 일정한 시차를 두고 일어난다고 보고되었다(강과 김, 1989). 본 연구에서는 식물성 플랑크톤이 왕성히 증식한 6월보다는 8월에 정점 3에서 3.2×10^6 cells/ml로 나타나 총 세균 분포에 식물성 플랑크톤 외에 다른 요인이 관여하는 것으로 사료된다.

중속영양세균은 $0.25 \times 10^3 - 1.74 \times 10^4$ CFUs/ml의 수치를 나타내며 계절별, 지역별로 총 세균의 분포와 유사한 결과를 나타내었다. 계절적인 분포는 수온이 낮은 겨울에 최저치를, 6월에 최고치를 나타내었는데 그 변화폭은 총 세균의 경우 보다 훨씬 컸다. 또한 총 세균의 경우 지역별로 6, 8월에 걸쳐 최고치를 나타낸 반면에 중속영양세균은 전 지역에서 6월에 최고값을 나타내었으며 이는 식물성 플랑크톤과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각된다. 조사정점간의 차이를 살펴보면 거의 전 계절에 걸쳐 정점 3에서 최고치를, 정점 1에서 최저치를 나타내었다. 또한 정점 1과 2에서 총 세균수는 비슷하였으나 중속영양세균은 정점 2에서 정점 1보다 약 2배의 분포를 나타내었으며, 정점 4에서는 낮은 총 세균수와는 달리 비교적 높은 중속영양세균의 분포를 보였다. 이는 식물성 플랑크톤의 증식 및 인간활동에 따른 영향이라 추측된다.

중속영양 세균의 총 세균수에 대한 비율을 각 지역별로 구하면 정점 1에서는 1% 이하로서 가장 낮은 분포를 보였다. 6월에는 사료가 투입되기 시작하는 정점 2에서 1.35%의 비율이었고, *Peridinium* blooming이 일어나 염록소함량이 44.0 μ g/l인 정점 3과 유입수인 정점 4에서는 각각 1.35, 2.63, 1.30%의

Table 2. The densities of heterotrophic bacteria ($\times 10^3$ CFUs/ml) and its proportion to total bacterial number (%) in Lake Soyang.

Date	ST. 1		ST. 2		ST. 3		ST. 4	
		(%)		(%)		(%)		(%)
1987. 9	0.87	0.07			2.44	0.29	1.40	0.12
1987. 12	0.50	0.05	0.57	0.07	0.98	0.14	1.53	0.23
1988. 2	0.25	0.05	0.71	0.15	10.50	1.65	2.20	0.69
1988. 4	4.37	0.77	1.30	0.22	1.03	0.24	2.63	0.33
1988. 6	2.70	0.37	13.37	1.35	17.40	2.63	11.70	1.30
1988. 8	2.02	0.15	2.40	0.26	6.50	0.20	6.80	0.74

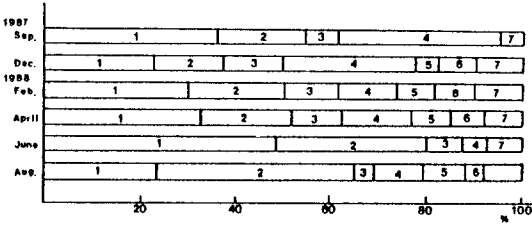


Fig. 2. Relative proportions of dominant genera isolated from Sep. 1987 to Aug. 1988.

(1: *Pseudomonas*, 2: *Flavobacterium*, 3: *Aeromonas*, 4: *Acinetobacter*, 5: Enterobacteriaceae, 6: *Vibrio*, 7: Others).

비율을 보였다(Table 2). 일반적으로 colony 생성균의 비율은 유기물의 농도와 비례하는데(Reinheimer, 1985) 소양호에서의 결과에서도 유기물의 증가와 중속영양세균의 비율이 밀접한 관계가 있음을 추정할 수 있었다.

분리 및 동정

조사 대상 지역에서의 세균의 종 구성을 알아보기 위하여 조사 기간 중 총 562균주(정점 1; 120균주, 정점 2; 133균주, 정점 3; 155균주, 정점 4; 154균주)를 분리, 동정하였다. 총 562균주 중 *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Aeromonas*, *Acinetobacter*가 각각 185균주(32.9%), 149균주(26.5%), 49균주(8.7%) 68균주(12.1%)를 차지하여 우점종을 이루었으며 *Enterobacteriaceae*, *Vibrio*, Gram positive와 다른 종류가 각각 34균주(6%), 30균주(5.3%), 47균주(8.4%)를 차지하였다.

각 균주들의 계절적 변화를 보면, *Pseudomonas*는 거의 전 계절에 걸쳐 제 1우점종을 차지하였으며 겨울에는 22.5%로 비교적 낮은 비율을 나타내었으나 봄, 여름이 되면 그 비율이 증가하여 6월에는 최고치인 48.3%를 차지하였다. *Flavobacterium*의 경우 *Acinetobacter*가 우세한 가을과 겨울을 제외하고는 제 2우점종으로 나타났으며 8월에는 41.7%로 제 1우점종이 되었다. 계절에 따라 종 조성의 변화를 살펴보면 수온이 낮고 유기물 농도도 낮은 겨울철에는 특별히 우세한 우점종이 나타나지 않아 *Pseudomonas*와 *Flavobacterium*도 40% 미만으로, 다른 계절보다 비교적 낮은 점유율을 나타내는 반면에 *Acinetobacter*는 가을과 겨울에 많은 분포를 보여 26.2%, 27.5%의 비율을 나타내었다. 그러나 수온이 증가하고 식물성 플랑크톤의 증식이 활발해짐에 따라 *Pseudomonas*와 *Flavobacterium*의 비율이 증가하여 6월에 80%로 최고치를 보였다(Fig. 2). 이는 수온 및 유기물의 증가로 수반된 환경변화에 이들 종류가 재빨리 적응하였음을 시사한다.

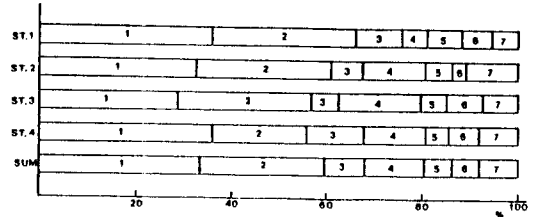


Fig. 3. Relative proportions of dominant genera at four sites of Lake Soyang.

(See the footnote of Fig. 1).

Table 3. The Shannon-Weaver diversity indices of isolated bacteria from 4 sites in Lake Soyang.

Date	ST. 1	ST. 2	ST. 3	ST. 4	Total
1987. 9			1.426	1.660	1.556
1987. 12		1.352	1.792	1.807	1.809
1988. 2	1.544	1.691	1.847	1.833	1.829
1988. 4	1.492	1.809	1.717	1.737	1.794
1988. 6	1.178	1.153	0.982	1.206	1.304
1988. 8	1.691	1.345	1.710	1.278	1.607

지역에 따른 종 구성을 살펴보면 조사 정점간의 큰 차이는 발견할 수 없었으며 *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*에 의한 점유율이 전체 균주의 약 80%를 차지하였다(Fig. 3). 정점 1과 정점 4에서는 *Pseudomonas*와 *Aeromonas*가 정점 2, 3보다 많은 비율을 차지하였으며 정점 3의 경우 타 지역보다 *Acinetobacter*가 많아 16.8%를 차지한 반면에 정점 1의 경우는 5%였다. 특히 정점 2에서는 Gram positive 세균과 다른 종류가 타지역 보다 많았으며 (11.3%), 정점 4에서는 *Pseudomonas*가 35.7% *Flavobacterium*이 20.1%를 차지하여 제 1우점종과 제 2우점종간의 차이가 15% 이상으로 타 지역보다 컸으며 이는 수계내의 *Pseudomonas*와 *Flavobacterium*의 origin이 토양이라는 점을 참조할 때 유입수 근처의 토양유입에 따른 영향이라고 판단된다.

각 계절에 따른 중속영양세균의 군집의 다양성 지수(diversity index; Shannon and Weaver, 1963)의 변화를 보면 최저치 0.982에서 최고치 1.847까지의 변화를 나타내었으며(Table 3), 지역과 관계 없이 겨울에는 비교적 높은 값을 여름에는 낮은 값을 보였다. 특히 6월에는 전지역에서는 다양성 지수가 낮아지는 현상을 보여 중속영양세균의 비율 변화와 같은 변화를 나타내었다. 이러한 결과는 수온이나 유기물 등의 환경요인에 의해 제한을 받는 환경에서는 잘 적응된 종이 드물어 다양성이

Table 4. The number of alkaline phosphatase releasing strains of each genus and their alkaline phosphatase activities in Lake Soyang.

Site	*Ps	Fl	Ae	Ac	En	Vi	Ot	Total
ST. 1	9	6	6	2	4	0	3	30
ST. 2	8	17	5	1	3	2	3	39
ST. 3	2	11	2	4	2	4	5	30
ST. 4	13	21	8	3	6	4	2	57
Total	32	55	21	10	15	10	13	156
APA**	2.2	4.1	1.3	0.7	0.8	0.7	0.8	

*Ps: *Pseudomonas*, Fl: *Flavobacterium*, Ae: *Aeromonas*, Ac: *Acinetobacter*, En: Enterobacteriaceae, Vi: *Vibrio*, Ot: Others

**APA: Alkaline phosphatase activity (mM/1/hr)

높게 나타난다는 보고(Atlas, 1984)와도 일치한다. 특히 식물성 플랑크톤의 대 발생이 있는 정점 3의 6월에는 diversity index 값이 0.982로 전체 수역 중 최저치를 나타내었다.

분리 균주의 Alkaline phosphatase 활성도

분리된 균주의 분류에 따른 alkaline phosphatase 활성을 살펴보면 분리된 총 562균주 중 156균주가 alkaline phosphatase 활성을 나타내었으며, 분리된 균주의 종구성 결과와는 다른 분포를 나타내어 제 2우점종인 *Flavobacterium*이 55균주로 가장 많았으며 제 1우점종인 *Pseudomonas*의 경우에는 32균주로 두번째로 많았다. 그 밖에 *Aeromonas*가 21균주, Enterobacteriaceae가 15균주, *Acinetobacter*와 *Vibrio*가 각각 10균주 씩을 차지하였으며 그 외의 종류가 13균주를 나타내었다(Table 4). Alkaline phosphatase를 분비하는 156균주 중 *Flavobacterium* 및 *Pseudomonas*와 *Aeromonas*가 108균주로 69%의 많은 분포를 보였다. 그러나 각 group의 총 균주수와 alkaline phosphatase 활성을 나타내는 세균의 비율을 조사하면 *Pseudomonas*는 17.29%의 낮은 비율을 나타내었으며, *acinetobacter* 역시 14.71%의 낮은 비율을 나타내었다. 반면에 *Aeromonas*의 경우 총 49균주 중 21균주가 Alkaline phosphatase 활성을 나타내어 42.85%의 매우 높은 비율을 나타내었다. 각 분리 균주들의 Alkaline phosphatase 활성도의 총합의 변화는 *Flavobacterium*이 약 4140 $\mu\text{M/l/h}$ 로 최고치를 나타내었으며, *Pseudomonas*가 2230 $\mu\text{M/l/h}$ 를 나타내었다. *Aeromonas*는 1269 $\mu\text{M/l/h}$ 로 세번째로 많았으며 나머지 균주들은 1000 $\mu\text{M/l/h}$ 이하였다(Table 4 참조). *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Aeromonas*에 의한 활성도의 합은 전체 활성도의 73%의 분비 세균의 개체수가 69%인 비율과 유사한

결과를 나타내었다. 이 결과에서 수환경 내에서 *Flavobacterium* 및 *Pseudomonas*, *Aeromonas*에 의한 alkaline phosphatase의 활성이 큼을 알 수 있으며 *Flavobacterium*과 *Aeromonas*와는 달리 *Pseudomonas*의 경우는 전체 group 중 alkaline phosphatase 활성을 나타내는 세균의 비율이 매우 낮으나 전체 개체가 많은 결과로 역시 alkaline phosphatase 활성도가 높게 나타났다.

각 지역간의 분비세균 비율을 살펴보면 정점 2와 4에서는 *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Aeromonas*에 의한 비율이 70%를 상회하나 정점 3의 경우 50% 이하의 분포를 보여 지역간의 환경조건 변화에 따른 alkaline phosphatase 분비 세균의 종 구성에 변화가 있음을 알 수 있었다. 종속영양세균의 종 구성에는 지역적인 변화가 없었으나, alkaline phosphatase를 분비하는 세균의 비율은 지역적 변화가 뚜렷하게 나타났다.

또 Alkaline phosphatase는 유기인산에서 무기인산염을 용탈시키는 효소로서 인이 부영양화의 제한 요소인 육수생태계에서는 매우 중요한 효소이다(Chrost and Overbeck, 1987). 많은 plankton과 bacteria가 무기인이 부족한 상태일 때 phosphatase를 분비하는 autogenic 한 천이 능력이 있어(Atlas and Bartha, 1986), phosphatase 활성 세균 비율 및 활성도는 수환경 내의 생태적 변화에 따라 민감하게 나타나게 된다(Wynne, 1981). 특히 *Peridinium*의 blooming이 일어나는 정점 3에서는 Alkaline phosphatase 활성세균의 비율이 낮기때문에 이 지역의 유기인산염 분해에 세균이 차지하는 비율이 동결기를 제외하고는 10% 미만으로 나타났다(안, 미발표 자료)

적 요

1987년 9월 부터 1988년 8월까지 소양호 4개 정점에서 총 세균수, 종속영양세균수의 분포와 각 종의 alkaline phosphatase의 분비 비율과 활성도를 측정하였다. 총 세균은 $3.2 \times 10^5 - 3.2 \times 10^6$ cells/ml의 범위였으며, 종속영양세균의 총 세균수의 0.07-2.63%이었다. 종속영양세균의 종 다양성은 여름과 양어장 인근, *Peridinium*이 발생하는 곳에서 낮았다. *Pseudomonas*, *Flavobacterium*은 모든 정점에서 우점종으로 나타났다. Alkaline phosphatase를 분비하는 비율과 활성도는 *Flavobacterium*에서 높게 나타나, 유기인산염 분해에 우점세균 중 가장 큰 기여를 하는 것으로 밝혀졌다.

참고문헌

1. 강찬수, 김상중. 1989. 소양호에서의 세균 군집의 분포 및 생리적 활성의 년중 변화. 한국육수학회지. 22 : 199-21.
2. 김범철, 조규승, 허우명, 김동섭. 1989. 소양호 부영양화의 연변화 추이, 한국 육수학회지. 22 : 151-158.
3. 안태석, 이동훈, 1988. 파로호 수중 생태계에서의 미생물 분포 및 활성도. 한국 미생물학회지. 25 : 230-236.
4. 안태석, 김범철, 조규승. 1989. 소양호에서의 Alkaline phosphatase 활성의 kinetics. 한국 육수학회지. 22 : 219-226.
5. 안태석, 조규승. 1989. 팔당호의 미생물 분포 및 활성도. 한국 수질보전학회지. 5 : 30-34.
6. 전상호, 박용안. 1989. 소양호 퇴적물에 함유된 인의 존재 형태와 용출가능성에 대하여 한국육수학회지. 22 : 261-271.
7. Atlas, R.M. 1984. Diversity of microbial community. In Advances in microbial ecology, 7: 1-47.
8. Atlas, R.M. and R. Bartha. 1986. Microbial ecology. 2nd ed. The benjamin Publ. 72-73.
9. Azam, F. and R.E. Hodson. 1977. Size distribution and activity of marine microheterotrophs. *Limnol. Oceanogr.* 22(3): 492-501.
10. Cho, K.S., B.C. Kim, W.M. Heo and S.J. Cho, 1989. The succession of phytoplankton in Lake Soyang. *Kor. J. Limnol.* 22: 191-198.
11. Chrost, K. and J. Overbeck. 1987. Kinetics of alkaline phosphatase activity and phosphorus availability for phytoplankton and bacterioplankton in Lake Plu-Bsee. *Microb. Ecol.* 13: 229-248.
12. Collins, C.H. and P.M. Lyne. 1984. Microbiological Methods. 5th ed. Butterworth & Co. 56-113.
13. Huber, A.L. and D.K. Kidby. 1984. An examination of the factors involved in determining phosphatase activities in estuarine water. 1: Analytical procedures. *Hydrobiologia.* 111: 3-11.
14. Kim, B.C. and K.S. Cho. 1989. The hypolimnetic anoxic zone and the metalimnetic oxygen minimum layer in a deep reservoir, Lake Soyang. *Kor. J. Limnol.* 22: 59-166.
15. Kim, S.J. and H.G. Hoppe. 1985. Microbial extracellular enzyme detection on agar plates by means of fluoregenic methylumbelliferyl-substrate. *Prog. 2nd. Int. Coll. Mar. Bacteriol.* 175-183.
16. Krieg, N.R. and J.G. Holt. 1984. Bergey's manual for systematic bacteriology. Williams and Wilkins. Baltimore Maryland.
17. MacFaddin, J.M. 1980. Biochemical tests for identification of medical bacteria, 2nd ed. Williams and Wilkins. Baltimore Maryland.
18. Pomroy, A.J. 1984. Direct counting of bacteria preserved with Lugol iodine solution. *Appl. Environ. Microbiol.* 47: 1191-1192.
19. Porter, K.G. and Y.S. Feig. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* 25: 943-948.
20. Reinheimer, G. 1985. Aquatic Microbiology, 3rd ed. John Wiley and Sons. 158-159.
21. Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana.
22. Shewan, J.M., G. Hobbs and W. Hodgekiss, 1960. A determinative scheme for the identification of certain genera of Gram-negative bacteria with special reference to the Pseudomonaceae. *J. Appl. Bacteriol.* 23: 379-390.
23. Smibert, R.M. and N.R. Krieg, 1981. Manual of methods for general bacteriology. ASM. Washington.
24. Wright, R.T. 1978. Measurement and significance of specific activity in the heterotrophic bacteria of natural waters. *Appl. Environ. Microbiol.* 36: 297-305.
25. Wright, R.T. and J.E. Hobbie. 1986. Use of glucose and acetate by bacteria and algae in aquatic ecosystems. *Ecology* 47: 447-464.
26. Wynne, D. 1981. Phosphorus, phosphatases and the *Peridinium* blooming in Lake Kinneret. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21: 523-527.

(Received April 4, 1990)

(Accepted August 30, 1990)