

소양호 세균군집구조와 그 구조에 영향을 주는 환경요인

김동주 · 홍선희 · 최승익¹ · 안태석*

강원대학교 환경학과, ¹서남대학교 환경보건학과

소양호에서 수온, 엽록소 *a*, pH 그리고 DOC의 농도가 세균군집에 미치는 영향을 파악하였다. 이 연구에서는 fluorescent *in situ* hybridization(FISH) 방법을 사용하여 1998년 4월부터 1999년 5월까지의 세균군집구조를 조사하였고 이 시기 환경요인과 세균군집간의 상관성을 분석하기 위해 수온, 엽록소 *a*, pH, DOC의 측정도 함께 수행하였다. 또한 환경요인과 세균군집간의 상관성 분석을 실시하기 위해 통계프로그램(SPSS)을 이용하였다. 그 결과 소양호에서 DOC, 엽록소 *a*, pH와 온도가 다중선형회귀분석상 설명가능정도가 약 43~58%정도로 나타났으며, 세균군집변화의 약 50%정도가 본 조사 이외의 환경요인에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. α -group은 DOC가 증가할수록 감소하여 DOC와 음의 상관관계를 보였고, γ -group은 엽록소 *a* 농도와 음의 상관관계를 나타내었다. β -*Cytophaga-Flavobacterium* group의 경우 수온과 뚜렷한 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한 α -group과 *Cytophaga-Flavobacterium* group은 pH와 양의 상관관계를 보였다. 이처럼 소양호의 세균군집은 계절에 따른 여러 가지 수 환경요인의 변화에 의해 다양하게 변화하였다.

Key words □ bacterial community, environmental factor, *in situ* hybridization, Lake Soyang

서 론

많은 생태학자들이 수환경에서의 미생물의 중요성을 인식하고 있으며, 세균은 수층, 저질토, 해양, 토양 등의 다양한 생태계에서 유기물의 분해자로 중요한 역할을 한다(25). 수환경에서 동물 플랑크톤이나 식물플랑크톤에 대한 연구는 매우 많고 이들에 대한 시간적, 공간적, 환경요인 변화에 따른 종의 구성, 군집구조 등은 비교적 잘 알려져 있다. 그러나 수환경에서 유기물 흐름에 중요한 연결자 역할을 하는 세균에 대한 군집구조, 종의 구성 등은 일차적으로 세균의 종 분석 자체가 매우 어렵기 때문에 확실하게 밝혀진 사실이 드물었으나(26), 최근에 들어서 분자미생물학적인 방법과 분자유전학적인 방법(nucleic acid homology, RNA sequencing, fluorescent *in situ* hybridization(FISH), gene-probing)이 도입되어 수환경 내에서 특정 세균군집의 변화를 파악할 수 있게 되었다.

최근 미생물 생태에 관한 연구에 있어서 주된 연구 과제가 “수환경에 미생물 군집의 조절 인자가 무엇인가?” 하는 것이었다. Chróst와 Rai(14)는 여러 연구결과에서 세균군집이 “bottom-up”(resource-limiting)과 “top-down”(predator limiting)에 의해 조절되는 것으로 파악하였다. McQueen 등(23)은 미생물 군집의 잠계적인 생체량 조절은 “bottom-up”에 의해 결정되지만 일정 기간 내에 실제적인 생체량 조절은 “top-down”에 의해 조절되며, 이러한 조절 강도는 각 호수의 영양상태에 크게 영향을 받는다고 하

였다. 또 먹이 망의 윗단계에서는 top-down에 의해 조절되며 먹이 망의 아래단계에서는 bottom-up에 의해 조절된다는 개념이 먹이 망의 아래 단계에서도 포식압과 같은 top-down에 의해 조절된다고 하였다(17). Cole 등(15)은 세균군집 조절인자에 관한 자료가 풍부하지 않기 때문에 어떤 요인이 세균군집의 직접적인 조절인자 인지는 신중히 고려해야 할 문제라고 하였다.

수환경 내의 세균군집구조는 수온, 용존산소, 엽록소 *a*, pH, DOC의 종류와 농도, 세균의 유기물 이용능력 등에 따라 영향을 받는다(13). 세균은 수생태계에서 다양한 대사능력을 가지고 유기물을 분해, 흡수, 동화하여 다음 영양 단계에 전달해 주며(17), 생태계내의 상위영양단계의 생물, 물리화학적 조건과 세균과의 상호관계가 매우 복잡하게 연결되어있기 때문에 수환경내에서 세균의 생장과 증식에 영향을 미치는 환경요인들이 파악되면 수환경내의 세균 분포와 기능적인 측면을 파악할 수 있다. 담수 환경에서는 약 80%가 그람음성균이고(21), 계통발생학적으로 볼 때 이 그람음성균의 대부분은 Eubacteria에 속하는 Proteobacteria에 해당한다.

따라서 본 연구는 소양호에서 1998년 4월부터 1999년 5월까지 FISH방법을 통해 Proteobacteria group(α -, β -, γ -group)과 *Cytophaga-Flavobacterium* group의 계절별 군집 변화를 측정하였고 DOC, 수온, 엽록소 *a*, pH와 같은 환경인자들이 세균군집구조의 변화에 어떤 영향을 주는가에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

조사 지역 및 기간

세균군집구조 측정을 위해 소양호 댐 앞 수역의 표층을 대상

*To whom correspondence should be addressed.
Tel: 033-250-8574, Fax: 033-251-3991
E-mail : ahnts@cc.kangwon.ac.kr

으로 실시하였고, 시료채취는 Van-Dorn sampler를 사용하였다. 조사 기간은 1998년 4월 30일, 5월 21일, 6월 20일, 7월 17일, 8월 28일, 9월 25일, 10월 23일, 11월 27일, 12월 14일, 1999년 1월 22일, 2월 25일, 3월 25일, 4월 22일, 5월 28일로 약 한 달 간격으로 조사하였다.

조사 대상

Eubacteria에 속하는 세균과 Class Proteobacteria에 속하는 세균 중 α -, β -, γ -group과 *Cytophaga-Flavobacterium* group을 측정하였다.

환경요인조사

수온과 pH는 pH meter(71P, Istek, USA)로 측정하였으며, 엽록소 a는 GF/C glass filter(Whatman)로 여과한 후 90% acetone으로 추출하여 tissue homogenizer로 분쇄한 후 분광광도계로 분석하였다(22). 그리고 DOC(Dissolved Organic Carbon) 농도는 GF/F glass filter(Whatman)로 여과 후 2N HCl을 첨가하여 측정(TOC 5000A, Shimadzu, Japan)하였다(12).

세균의 군집구조 파악

시료 고정

Paraformaldehyde 용액(최종 농도 4%)으로 현장에서 고정한 시료 10 ml을 polycarbonate membrane filter (Nuclepore, pore size 0.2 μ m, ϕ 25 mm)로 여과하였다. 시료를 여과한 후 phosphate buffered saline(PBS) 1 ml로 세척하였고 50%, 80%, 99%의 ethyl alcohol 0.5 ml을 이용하여 차례로 세척하고, filter를 공기 중에서 건조하였다.

Gene probe

여기에서 사용한 rRNA probe의 염기 서열은 이미 보고된 방법(10)에 따라 주문, 제작하였고(TaKaRa, Japan), tetramethylrhodamine으로 표지하였다. 사용한 probe들은 Eubacteria와 결합하는 EUB338, α -group과 결합하는 ALF1b, β -group과 결합하는 BET42a, γ -group과 결합하는 GAM42a 및 *Cytophaga-Flavobacterium* group과 결합하는 CF probe였다.

In situ hybridization

Alfredner 등(10), 김 등(2)의 방법을 사용하여 세균군집구조를 측정하였다.

총세균수

Acridine Orange Direct Count(AODC) 방법으로 시료를 염색하여 총세균의 수를 관찰하였다. 형광 현미경(Olympus BH2, Exciting filter: G, Barrier filter: O590, Lamp: Mercury lamp HBO 100W/2, OSRAM)을 이용하여 1,562.5 배율 하에서 세균을 계수 하였다. 세균수는 20개 이상의 화상에서 평균값을 구하였다.

통계 분석(Factor analysis)

세균군집과 환경요인간의 상관관계 분석은 SPSS 9.0 통계처리 프로그램 중 다중선행회귀법을 사용하였다.

결 과

총세균수의 변화

총세균수는 봄철인 5, 6월에 2.12×10^6 cells \cdot ml⁻¹로 낮은 분포를 보이나, 여름철인 7월에는 그 수가 증가하기 시작하여 8월에는 일년 중 가장 높은 수치인 6.71×10^6 cells \cdot ml⁻¹의 결과를 나타내었다 가을철인 9월에는 총세균수가 1.63×10^6 cells \cdot ml⁻¹로서 급격히 감소하였으며 10월부터 2월까지 $1.16 \sim 1.56 \times 10^6$ cells \cdot ml⁻¹로서 비슷한 수치를 보인다 봄철인 3, 4월이 되면서 $1.83 \sim 2.04 \times 10^6$ cells \cdot ml⁻¹로서 다시 총세균수가 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 1).

환경요인 변화

DOC는 봄철인 4월부터 여름철인 8월까지 $1.7 \sim 2.1$ mgC \cdot l⁻¹로서 다른 계절과 비교해 전 수심에서 낮은 농도를 나타내었으며 가을철인 10월에는 DOC농도가 5.8 mgC \cdot l⁻¹로 일년 중 가장 높은 수치를 나타내었고 11월에 농도가 다시 감소한 후 겨울철인 2월에는 4.4 mgC \cdot l⁻¹로서 DOC 농도가 증가하다 봄철인 4월에 3.4 mgC \cdot l⁻¹로 감소하는 경향을 보였다. 엽록소 a의 경우 봄철인 3, 4, 5월과 가을철인 9, 10월에 그 농도가 각각 $2.2 \sim 4.7$ mg \cdot m⁻³, $3.2 \sim 4.3$ mg \cdot m⁻³으로서 증가하는 경향을 보였으며 여름철인 6, 7, 8월과 겨울철인 12, 1, 2월은 봄, 가을과 비교해 $0.3 \sim 2.9$ mg \cdot m⁻³로서 상대적으로 낮은 경향을 나타내었다(Fig 1).

pH는 여름철에서 가을철인 9월까지 $7.5 \sim 8.8$ 로서 증가경향을 보이나 가을철인 10월이 되면서 그 수치는 6.9로 감소하였으며 겨울철까지 계속 감소하기 시작 2월에 가장 낮은 6.2의 수치를 나타내었다. 그리고 봄철인 3월부터 pH는 증가하는 경향을 나타내었다. 수온의 경우 봄철인 4월은 소양호 수온이 상승하기 시작하는 시기였으며 여름철인 8월까지의 수온이 계속 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 가을철인 9월로 접어들면서 온도는 떨어지기 시작하였고, 겨울철인 1월에 $4.5 \sim 5.1^\circ$ C로서 조사 기간 중 가장 낮은 수온을 나타내었으며 1999년 봄철인 4월에 접어들면서 수온은 다시 상승하는 경향을 보

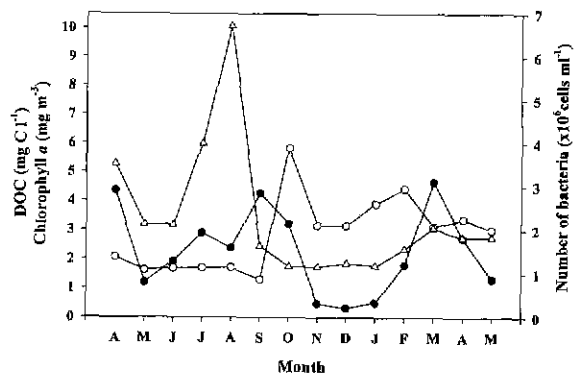


Fig. 1. The variation of total bacterial number, DOC and Chl. a in the Lake Soyang from April, 1998 to May, 1999 (○ - ○, DOC; ● - ●, Chl. a; △ - △, AODC).

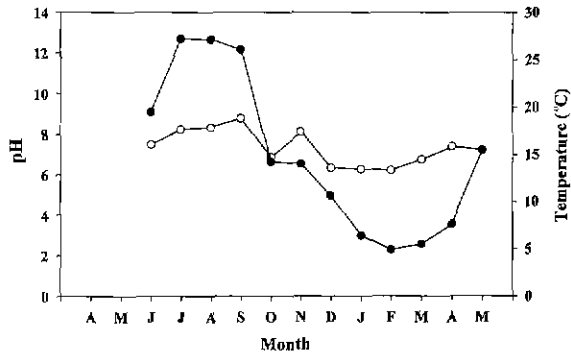


Fig. 2. The variation of pH and temperature in the Lake Soyang from April, 1998 to May, 1999 (○ - ○, pH; ● - ●, Temperature).

였다(Fig. 2).

Eubacteria의 군집구조

α-group은 1998년 봄철인 4-6월에 1.4~1.5×10⁵ cells · ml⁻¹ 유사한 수치를 보이다 여름철 7, 8월에는 그 수가 증가하여 3.4~3.8×10⁵ cells · ml⁻¹로서 일년 중 가장 높은 수치를 나타내었으며 가을철인 9월에 접어들면서 α-group의 수는 감소하기 시작하여 10월에는 0.6×10⁵ cells · ml⁻¹로 매우 낮은 수를 나타내었다. 겨울철인 12월에 α-group의 수가 증가하기는 하였으나, 1, 2월이 되면서 다시 감소하는 경향을 보였으며 3월에는 1년 중 가장 낮은 0.5의 수치를 나타내었다. 1999년 봄철의 경우 1998년 보다 α-group의 수가 2.3~3.5×10⁵ cells · ml⁻¹로서 증가된 경향을 나타내었다.

β-group과 *Cytophaga-Flavobacterium* group은 전체적으로 α-group과 유사한 변화 경향을 나타내었다. 그러나 *Cytophaga-Flavobacterium* group의 경우 1998년 11월에 그 수가 3.3×10⁵ cells · ml⁻¹로서 β-, γ-group 보다 높은 수치를 보였다.

γ-group의 경우 α-, β-, *Cytophaga-Flavobacterium* group이 5, 6월에 1.4~4.7×10⁵ cells · ml⁻¹의 수치를 나타낸 것과는 달리 γ-group은 4.7의 수치를 보였다. 또한 α-, β-, *Cytophaga-*

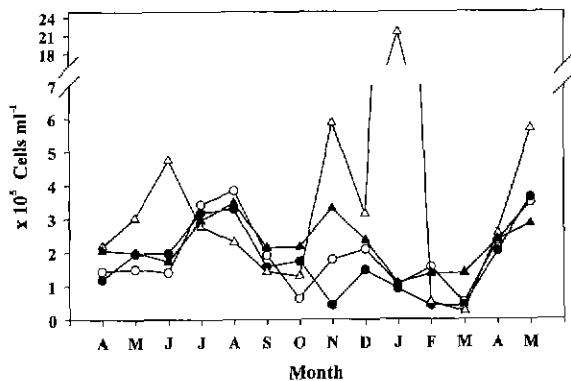


Fig. 3. The bacterial numbers of each Eubacteria group in the Lake Soyang from April, 1998 to May, 1999 (○ - ○, Proteobacteria alpha-group; ● - ●, Proteobacteria beta-group; △ - △, Proteobacteria gamma-group; ▲ - ▲, *Cytophaga-Flavobacterium* group).

Table 1. Pearson correlation coefficients between bacterial community and environmental factors at 0 m in the Lake Soyang from April, 1998 to May, 1999

Bacterial groups factor	α	β	γ	<i>Cytophaga-Flavobacterium</i>
DOC (ppm)	-0.583*	-0.376	0.013	-0.362
Chl. a (mg · m ⁻³)	-0.071	0.116	-0.630*	0.014
pH	0.541*	0.443	-0.275	0.672*
Temperature (°C)	0.654	0.665*	-0.241	0.658*

*Significant at p<0.05

Flavobacterium group의 수치가 3.3~3.9×10⁵ cells · ml⁻¹로 높았던 8월에 γ-group의 수는 상대적으로 가장 낮은 2.3의 수치를 보였다. 그리고 11월부터 γ-group의 수가 증가하기 시작하여 1999년 1월까지 5.9~21.5×10⁵ cells · ml⁻¹의 수치를 나타내었고 2월이 되면서 급격히 감소하여 3월에는 α-, β-, *Cytophaga-Flavobacterium* group보다 더 낮은 수치를 나타내었다. 그러나 4, 5월이 되면서 다시 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3).

세균군집과 환경요인간의 상관관계 및 요인

환경요인과 세균군집간의 상관관계를 다중 선형 회귀분석 방법에 의해 분석해 본 결과는 Table 1과 같다. DOC와 세균군집과의 상관성을 분석한 결과 α-group만이 -0.583(p<0.05)의 상관계수를 나타내었으며 엽록소 a와 γ-group만이 -0.630(p<0.05)의 상관성을 나타내었다. pH의 경우 α-group과 *Cytophaga-Flavobacterium* group만이 각각 0.541과 0.672(p<0.05)의 상관계수를 나타내었으며 수온에 대해서는 γ-group을 제외한 α-, β-, *Cytophaga-Flavobacterium* group이 각각 0.654, 0.665, 0.658 (p<0.05)의 상관성을 나타내었다.

고찰

1998년 5, 6월은 4월에 비해 γ-group이 약 2~3배 증가하였다(Fig. 3). γ-group은 유기물과 관련이 있는 것으로 보고되고 있으며, 이 시기에 DOC의 농도는 큰 변화가 없었으나 γ-group이 증가한 것은 식물플랑크톤인 규조류가 우점하여, 세균이 직접 이용할 수 있는 저분자 유기물이 많이 생성되었기 때문으로 사료된다 또한 규조류가 우점하는 시기에 β-glucosidase 활성도를 보면 20 nmol · l⁻¹ · hr⁻¹ 내외로 타계절에 비해 낮은 수준이며 기질에 대한 친화력도 높고, 기질의 전환시간도 빠른 것으로 나타나 수환경내에 세균이 바로 이용할 수 있는 저분자 유기물질이 풍부한 것으로 나타난 기존의 보고과 일치하는 결과이다(8). 그러나 γ-group과 DOC 상관계수는 0.013으로 상관성이 없는 것으로 나타나 DOC농도의 물리화학적 분석방법으로는 수환경내에서 빠르게 변화하는 용존유기질의 농도변화를 감지할 수 없는 것으로 생각된다. 또, γ-group과 엽록소 a 농도와의 상관계수가 -0.630 (p<0.05)로 음의 상관성이 있는 것으로 나타났다(Table. 1). 식물플랑크톤에 의해 생성되는 체외 배출 유기물질이 active cell로부터는 주로 sugar나 amino acid와 같은 저분자 물질이 수체와의

농도차에 따른 원형질막을 통한 확산에 의해 생성되고, 노쇠한 세포, parasite infection, 동물플랑크톤의 sloppy feeding 등에 의해 생성되는 배출유기물은 체외효소에 의해 가수분해된 후 흡수할 수 있는 고분자물질로 구성되어 있다(16). 따라서 γ -group과 엽록소 *a* 농도와 음의 상관관계를 나타낸 것은 주로 저분자 용존유기물보다는 식물플랑크톤이 분해되면서 생성되는 고분자 유기물질에 의해 γ -group이 더 큰 영향을 받는 것으로 사료된다. 실제, 김(1)의 연구에 의하면 가을철 소양호에 존재하는 분자량 100,000 nMW 이상의 DOC를 대상으로 세균군집구조를 조사한 결과 배양초기에는 α -group이 우점하였으나, 배양 12시간 이후부터 γ -group과 *Cytophaga-Flavobacterium* group이 우점하는 경향을 보임으로써 본 연구와 일치함을 보였다.

여름철인 7, 8월에 α , β , *Cytophaga-Flavobacterium* group이 증가하고 γ -group은 감소하는 것으로 나타났다. 이 시기에 식물플랑크톤은 편모조류가 우점(4)하였으나 엽록소 *a* 농도는 약 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 내외로 매우 낮은 농도였으며, DOC 농도도 약 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{C}^{-1}$ 로 비교적 타 계절에 비해 낮은 농도(Fig. 1)였고 수온은 약 27°C 로 타 계절에 비해 가장 높은 온도를 보였다(Fig. 2). 특히 α -group이 우점한 결과는 홍 등(9)이 연구한 결과와 유사한 경향을 보이며 이(7)가 소양호 표층을 대상으로 PCR방법을 이용하여 세균군집을 조사한 결과와도 일치한다. α , β , *Cytophaga-Flavobacterium* group은 수온과 상관관계수가 각각 0.654, 0.665, 0.658($p < 0.05$)로 나타나 뚜렷한 양적 상관성이 있는 것으로 나타나 수온의 영향을 많이 받는 group으로 사료된다. 또한 유일하게 DOC와 뚜렷한 음의 상관관계를 보인 α -group의 경우, DOC와의 상관관계수가 -0.538 ($p < 0.05$)로 나타난 것으로 보아 다른 group들에 비해 매우 낮은 농도의 유기물을 잘 이용하는 것으로 사료된다.

남조류가 출현하기 시작하는 9월 조사에서 α , β , γ -group과 *Cytophaga-Flavobacterium* group이 크게 감소하였다. 미생물수의 변화는 수환경의 물리화학적 조건, 수중의 이용 가능한 유기물 종류와 농도, 미생물의 유기물 이용능력에 따라 변화한다. 회귀분석 결과에서도 수온과 상관관계가 높았지만 이 시기 수온은 8월에 비해 1°C 정도 낮았을 뿐 큰 변화가 없었기 때문에 수온의 변화 때문으로는 볼 수 없다. 또 엽록소 *a*가 증가했을 경우 *Cytophaga-Flavobacterium* group이 우점한다는 보고(20)와는 일치하나 용존유기물 종류와 농도에 영향을 줄 수 있는 엽록소 *a* 농도도 $4.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 값으로 다른 계절에 비해 높았음에도 불구하고 각각의 세균군집이 감소한 것으로 볼 때 엽록소 *a* 농도 변화 때문이 아닌 것으로 사료된다. pH의 변화도 체외효소활성도에 영향을 주어 세균 성장에 영향을 줄 수 있다. pH와 뚜렷한 상관성이 있는 group은 α , *Cytophaga-Flavobacterium* group만이 양의 상관관계를 보였으며, 이 시기의 pH는 8.8정도로 세균활성에 영향을 줄 수 있는 매우 높거나 낮은 값은 아니었다. 이러한 이유는 다음과 같은 다른 요인으로 고찰해 볼 수 있다. 첫째, 원생동물과 동물플랑크톤에 의한 섭식작용으로 설명할 수 있다. 소양호에서 *Anabaena*가 우점하는 동안 동물플랑크톤의 일부가 algaevore에서 bacteriovore로 먹이 전환이 일어나는 것을 밝혔으며(6), 최근 박(5)의 연구에 의해서도 *Anabaena*와 bcd를 대상으

로 동물플랑크톤의 섭식작용을 관찰한 결과 일정 시간이 경과한 후 bead만을 섭식하는 것으로 관찰되었다. 또한 heterotrophic nanoflagellates(HNF)가 수환경내의 세균을 빠르게 포식하며(18), 독일의 Plußsee호수 표층에서는 HNF가 세균 이차생산량의 81%를 제거하는 것으로 나타났다(24). Hahn과 Manfred(19)의 연구에 의하면 bacterivorous인 flagellate가 상대적으로 β -group보다는 γ -group을 더 선호한다는 결과도 보고되어 있다. 특히 총세균수도 8월에 $6.71 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 $1.63 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 약 1/5 수준으로 감소하였으며, γ -group도 다른 group들에 비해 가장 낮은 값이었다. 둘째로 남조류가 생산, 분비하는 화학물질이 세균 성장에 저해를 줄 수 있다. 1997년 소양호에서 남조류 세포내 존재하는 독소의 농도가 Microcystin RR의 경우 $0.35 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 나타남으로서(3) 이 독소에 의해 Eubactera가 영향을 받은 것으로 생각된다. 최근 남조류 독성이 동·식물플랑크톤이나 원생동물 및 어류(11)에 피해를 주는 것이 보고되었으나 아직까지 남조류가 세균에게 미치는 영향에 대해서 확실히 밝혀진 바는 없어 이에 대한 연구도 앞으로 수행해야 될 과제이다.

본 조사에서 얻은 DOC, 엽록소 *a*, pH, 수온자료와 각각의 group들간에 다중회귀분석결과 α , β , γ , *Cytophaga-Flavobacterium* group의 상관관계수가 각각 0.729, 0.709, 0.659, 0.766으로 나타나 한 가지 환경요인 보다는 복합적으로 세균군집 변화에 영향을 주는 것으로 판단된다. 독일의 Plußsee호수의 경우 세균의 이차생산력과 DOC, EOC(excreted organic carbon by algae)와의 상관관계가 각각 0.42, 0.48로 뚜렷한 상관관계가 있는 것으로 나타났다(14). 소양호에서 DOC, 엽록소 *a*, pH와 온도가 다중선형회귀분석상 설명가능정도가 약 43~58% 정도로 나타났으며, 세균군집변화의 약 50% 정도가 본 조사 이외의 환경요인에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 이미 김 등(2)이 소양호에서 식물플랑크톤의 천이와 Proteobactera의 각 group들간에 밀접한 관계를 보이는 것으로 보고한 바가 있다. 이러한 결과들을 살펴볼 때 소양호 세균군집의 천이는 수온이나 식물플랑크톤의 천이에 따른 용존유기물의 종류와 농도에 영향을 많이 받는 것으로 생각되며, 앞으로 남조류가 분비하는 독성물질이 세균 성장에 대한 저해정도와 원생동물과 동물플랑크톤의 세균 포식 등과 같은 top-down에 관한 자세한 연구가 함께 수행되어야 할 부분이다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 1997년도 대학 부설 연구소 과제(0897086-1-3)로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1 김평규. 1999. 분자량별 용존 유기물질이 세균의 체외 효소 활성도와 세균군집구조에 미치는 영향. 강원대학교 이학석사학위논문.
- 2 김동주, 홍선희, 안태석. 1999. 소양호에서 세균군집의 계절적·수직적 변화. 한국미생물학회지 35, 242-247.
- 3 김병철, 김호섭, 유민철, 최연규, 박호동, 최일환. 1998. 국내

- 호수에서 발생하는 남조류 독소의 분포. 한국수질보전학회 춘계학술발표회 논문초록집.
4. 김재욱 1999. 소양호 동식물플랑크톤의 계절적인 변동. 강원대학교 이학석사 학위논문.
 5. 박경미. 2000. 남조류 배양액에 의한 동물플랑크톤의 섭식 행위변화. 강원대학교 이학석사 학위논문.
 6. 심두섭, 안태석. 1992. 소양호에서 동물플랑크톤의 섭식 작용에 관한 연구. 한국육수학회지 30, 129-133.
 7. 이동훈. 1995. 소양호 세균 군집 분자생태학적 연구. 이학 박사 학위논문 서울대학교 대학원.
 8. 최승익, 안태석. 1995. 소양호에서 섬유소 기질에 부착한 미생물의 유기물 분해 활성도. 한국미생물학회지 31, 27-33
 9. 홍선희, 변명섭, 안태석. 1997. 16S와 23S rRNA에 결합하는 probe를 이용한 겨울철 소양호 세균 군집 구조의 분석. 한국미생물학회지 33, 257-261.
 10. Alfreidner, A., J. Pernthaler, R. Amann, B. Sattler, F.-O. Glockner, A. Wille, and R. Psenner. 1996. Community analysis of the bacterial assemblages in the winter cover and pelagic layers of a high mountain lake by *in situ* hybridization. *Appl Environ. Microbiol.* 62, 2138-2144.
 11. Baganz, D., G. Staaks, and C. Steinberg. 1998. Impact of the cyanobacteria toxin, microcystin-LR on behaviour of zebrafish, *Danio rerio*. *Wat. Res* 32, 948-952.
 12. Chen, W. and P.J. Wangersky, 1996. Rates of microbial degradation of carbon from phytoplankton cultures. *J. Plankton Res* 18, 1521-1533.
 13. Chróst, R.J. 1990. Microbial extoenzymes in aquatic environments. pp. 47-78 In Chróst, R.J.(ed.), Aquatic microbial ecology. Springer Verlag, New York.
 14. Chróst, R.J. and H. Rai. 1994. Bacterial secondary production. In Overbeck, J. and R.J. Chróst(eds), Microbial Ecology of Lake Plu see. Springer-Verlag, New York, pp. 92-117.
 15. Cole, J.J. S. Findlay, and M.L. Pace. 1988. Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems; Across-system overview. *Mar. Ecol. Prog. Ser* 43, 1-10.
 16. Cottrell, M. and C. Suttle. 1991. Wide-spread occurrence and clonal variation in viruses which cause lysis of a cosmopolitan, eucaryotic marine phytoplankton *Micromonas pusilla*. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 78, 1-9.
 17. Ducklow, H.W. and C.A. Carlson, 1992. Oceanic bacterial production. *Adv Microb. Ecol.* 12, 113-181.
 18. Fukami, K., B. Meier, and J. Overbeck. 1991. Vertical and temporal changes in bacterial production and its consumption by heterotrophic nanoflagellates in a north German eutrophic lake. *Arch. Hydrobiol.* 122, 129-145.
 19. Hahn, M.W. and G.H. Manfred. 1998. Grazing pressure by a bacterivorous flagellate reverses the relative abundance of *Comonas acidovorans* PX54 and *Vibrio* strain CB5 in chemostat cocultures. *Appl. Environ Microbiol* 64, 1910-1918.
 20. Jakob, P., F.O. Glöckner, S. Unterholzner, A. Alfreider, R. Psenner, and R. Amann. 1998. Seasonal community and population dynamics of pelagic bacteria and archaea in a high mountain lake. *Appl Environ. Microbiol.* 64, 4299-4306.
 21. Kang, H. and H. Seki. 1983. The gram-stain characteristics of the bacterial community as a function of the dynamics of organic debris in a mesotrophic irrigation pond. *Arch. Hydrobiol* 98, 39-58
 22. Lorenzen, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equation. *Limol. Oceanogr.* 12, 343-346.
 23. McQueen, D.J., J.P. Post, and E.L. Mills, 1986. Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43, 1571-1581.
 24. Meier, B.G. and E. Reck, 1994. Nanoflagellate and ciliate grazing on bacteria. In Overbeck, J. and R.J. Chróst, (eds), Microbial Ecology of Lake Plußsee. Springer-Verlag, New York, pp. 251-269.
 25. Monster, U. and R.J. Chróst. 1990. Origin, composition and microbial utilization of dissolved organic matter. pp. 8-46 In Overbeck, J. and R.J. Chróst, (eds), Aquatic microbial ecology; biochemical and molecular approaches Springer Verlag, New York.
 26. Wetzel, R.G. 1991. Extracellular enzymatic interactions: storage, redistribution, and interspecific communication. pp. 6-28 In R.J. Chróst (ed.), Microbial enzymes in aquatic environments, Springer Verlage, Berlin.

(Received April 12, 2000/Accepted June 14, 2000)

ABSTRACT: The Bacterial Communities Structure and Its Environmental Determinants in Lake Soyang

Dong-Joo Kim, Sun-Hee Hong, Seung-Ik Choi¹, and Tae-Seok Ahn*(Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea, ¹Department of Environmental Health, Seonam University, Namwon 590-170, Korea)

The temporal variation of bacterial community and environmental factors, affecting on bacterial community structure were estimated monthly from April, 1998 to May, 1999. Bacterial community structures were determined by *in situ* hybridization with rRNA-targeted fluorescently labeled oligonucleotide probes (FISH) and epifluorescence microscopy; and the statistical analysis was done by SPSS program. The oligonucleotide probes used in this study were EUB338, ALF1b, GAM42a, and CF. In surface water, α -group was related to only DOC ($-0.538, p < 0.05$) and Chlorophyll *a* concentration was related to γ -group ($-0.630, p < 0.05$). Also, β -group and *Cytophaga-Flavobacterium* group were related to water temperature as 0.665, and 0.685 ($p < 0.05$). Between pH and β -group, there was a positive relationship (0.541, $p < 0.05$), and *Cytophaga-Flavobacterium* group was represent to correlation (0.672, $p < 0.05$). The bacterial community in Lake Soyang was diversly changed by the seasonal variation of several aquatic environmental factors.