

서낙동강에서 분리된 남조 *Microcystis*의 처리상태에 따른 세균의 성장 및 형태변화

박재림·하경·권윤미
신라대학교 낙동강 연구원·

*University of Durham School of Biological and Biomedical Sciences
(2003년 3월 6일 접수; 2003년 8월 8일 채택)

Changes of growth and morphology of bacteria by the treatment of *Microcystis* isolated from the Seo-Nakdong River

Jae-Rim Bahk, Kyong Ha* and Yun-Mi Kwon

The Nakdong Research Center, Silla University, Busan 617-736, Korea,

*School of Biological and Biomedical Sciences, University of Durham, Durham DH1 3LE, UK

(Manuscript received 6 March, 2003; accepted 8 August, 2003)

To investigate the interaction of bacteria and *Microcystis* isolated from a hypertrophic reservoir(Seo-Nakdong River), the response of five bacteria in relation to the different treatment of *Microcystis* and microcystin production by addition of dominant bacteria *Staphylococcus sciuri* were examined. Five bacteria (*S. sciuri*, *S. capitis*, *S. epidermis*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Aeromonas almonocida*) were identified from the reservoir. In the experiment of bacterial response, two types of bacterial growth pattern were observed. All bacteria showed active growth in heated *Microcystis*-added media. Especially, three species of bacteria (*S. sciuri*, *S. capitis* and *P. aeruginosa*) among them showed active growth in live *Microcystis*-added media. In *Microcystis* response, increase of microcystin production showed when dominant bacteria, *S. sciuri* was added.

Key word : Bacterial growth, *Microcystis*, Seo-Nakdong River, *Staphylococcus sciuri*

1. 서론

수생 생태계 내에서 세균군집은 유기물질을 분해하여 무기물로 전환시키는 과정이나 저농도로 존재하는 용존 유기물질을 흡수 또는 동화하여 상위 먹이연쇄 과정의 에너지 흐름에 중요한 역할을 담당한다¹⁾. 세균군집의 성장 및 분포는 물리·화학적 요인과 같은 무생물 환경요소 뿐 아니라 생물요소에 의해서도 영향을 받을 수 있으므로^{2,3)}, 수생 생태계의 환경 상태를 설명할 수 있는 생물지표로 이용될 수 있다⁴⁾. *Microcystis*로 대표되는 남조군집은 담수 생태계의 중요한 부영양화 지표생물로서, 부영양화가 진행된 호수, 저수지 및 강의 수표면에 scum을 형성하거나 이취미(異臭味) 물질을 생산하여 수자원

관리 측면에서도 문제가 될 수 있다. 특히, 남조군집은 사상체나 거대군체를 형성하고 지수 성장시기 혹은 사멸시기에 간독소(hepatotoxin) 또는 신경독소(neurotoxin) 등을 생성·분비하여 상위 소비자인 동물플랑크톤, 어패류에 독성 피해를 줄 수 있다⁵⁾. 이러한 남조군집의 번성과 소멸의 단계에는 물리·화학적 요소들이 복잡하게 관여하고 있지만, 이 시기에 공존하는 세균과 상당부분 관련되어 있을 것으로 생각된다⁶⁾.

담수 생태계에서 남조군집과 세균의 상호관계에 관한 연구는 Paerl⁷⁾이 *Anabaena*가 자라고있는 배지에 세균을 주입한 결과, *Anabaena*의 질소 고정부위인 이형세포(heterocyst)의 선단부에 박테리아가 부착·공존하여 약 10-15% 질소고정능력이 향상되었고 생체량이 증가하게되는 '공생적 특성(symbiotic characteristics)'을 관찰하였다. 반면, 수화현상의 전기, 번성기 혹은 소멸단계의 원수시료를 현미경 상

Corresponding Author : Jae-Rim Bahk, The Nakdong Research Center, Silla University, Busan 617-736, Korea
Phone : +82-51-309-5460
E-mail : jrbahk@silla.ac.kr

에서 비교한 결과, 번성기 이후부터 아메바, 섬모충, 편모충 등의 원생동물이 남조 표면에 부착하여 남조 세포로부터 분해된 유기물을 섭식하여 남조군집의 노화 또는 소멸을 유도한다고 하였다⁸⁾. Hanazato and Yasuno⁹⁾ 와 Hanazato¹⁰⁾는 '녹조현상' 소멸시기의 분해미생물들에 의해 남조군집이 용균화 및 분해과정을 거쳐 소형의 유기물 파편으로 전환되어 동물플랑크톤의 먹이로 이용되며, 이러한 과정이 가을철 다른 식물플랑크톤 군집(예; 규조)으로의 전환시에 기여하게 될 것이라 제안하였다.

우리나라의 담수 생태계에서 남조군집의 번성에 의한 수화 현상은 1990년 대 이후 소양호, 대청호 및 4대강(한강, 낙동강, 영산강, 금강) 등지에서 흔히 관찰되고 있다. 서낙동강은 전장 18 km, 평균 수심 3.5~4 m로 1987년 건설된 낙동강 하구둑과 2개의 유입수문(대동수문, 녹산수문)에 의해 유량이 조절되고 있다. 특히, 유량이 적고 수온이 높은 늦봄에서 초가을까지 남조군집에 의한 수화현상이 매년 관찰되고 있다. 우리나라에서 남조군집에 관한 연구는 낙동강 하류지역에서 이화학적 환경요소와 관련된 이 군집의 발생 및 소멸기전과 수직분포 및 일 변화 등에 관한 이 군집의 생태적 연구가 수행되었다^{11,12)}. 또한, Oh et al.¹³⁾, Lee et al.¹⁴⁾에 의해 실험실내 연속배양(continuous culture)을 통한 세포내 영양염류 농도 및 질소와 인 농도변화에 의한 microcystin생성량 변화에 관한 실험적 연구가 활발히 수행되었다. 특히, 봄철 혹은 여름철 수화현상이 일어나는 시기에 식물플랑크톤과 세균 생체량의 변화양상은 일정한 관계가 있음을 보여준 연구도 있다²⁾. 그러나, *Microcystis*의 번성과 노화(senescence), 파괴 및 소멸 단계에는 공생적 혹은 분해성 미생물 군집이 상당부분 관여할 것으로 예상됨에도 불구하고, 미생물 먹이환 내에서 남조군집과 미생물간의 상호작용에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 매년 여름철 *Microcystis*에 의한 수화현상이 관찰되는 서낙동강 지역에서 *Microcystis*가 전체 식물플랑크톤의 95% 이상 점유하는 시기에 우점하는 세균군집을 파악하였다. 또한, 원수를 실험실로 옮겨와 주요 세균을 순수분리·배양하여 *Microcystis*의 처리상태에 따른 세균군집의 성장과 형태변화 및 세균의 절대량에 따른 *Microcystis*의 성장 및 독소 생성 유무도 파악하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 채집대상지

본 실험을 위해서는 수차례 시료를 채취하여 현미경 상에 *Microcystis* spp. 군집이 95% 이상 우점

하는 2001년 8월 서낙동강 원수를 35µm size 여과기(WILD Co.)로 여과·농축한 후, 실험실로 가져와 *Microcystis*와 세균군집을 순수분리 후 배양하였다.

2.2. 미생물의 생균수(viable counts) 측정 및 동정
원수시료를 미리 준비된 희석용액(0.3% peptone water)에 단계별로 희석하였다. 희석 단계당 2개의 nutrient agar plate에 시료 0.5 ml을 glass hockey stick로 smear한 후 20°C에서 22 시간동안 배양하여 중요 세균의 CFU(colony forming unit)를 산정하였다. 분리 배양한 세균 중 CFU의 대다수를 차지하는 우점종을 api20E, 20 Strep 및 Staph kit(bioMerieux, France)을 이용하여 동정하였다.

2.3. *Microcystis*의 동정

현장 원수에서 *Microcystis*의 종조성 파악을 위하여 수심 1 m 지점에서 채수한 시료 100 ml을 Lugol's 용액으로 고정시킨 후, Komárek¹⁵⁾방식을 따랐으며, 동정시에는 Nikon 광학 현미경(×1000)을 이용하여 동정하였다.

2.4. *Microcystis*의 처리에 따른 우점세균의 증식
순수분리한 세균을 단계별로 희석하면서 nutrient broth에 한 백금이를 접종하여 20°C, 22시간 배양한 후, CT배지에 옮겨 순수분리한 *Microcystis*와 함께 배양하였다. CT배지의 조성¹⁶⁾은 Table 1과 같다. *Microcystis*의 처리상태에 따른 세균의 증식 양상을 관찰하기 위하여, 처리군으로는 petri-dish에 있는 *Microcystis* 배양액(1 ml 또는 2 ml)과 *Microcystis* 배양액을 80°C에서 15분간 열처리한 용액(1 ml 또는 2 ml)을 smear한 후, 각 세균을 접종하여 multi

Table 1. Compositions of chemicals in culture media (CT media) for *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Lemmermann f. *aeruginosa* (pH adjusted to 8.2 by buffering with 40 mg TAPS¹⁶⁾)

Media composition	Quantity	Unit
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	15	mg
KNO ₃	10	mg
β-Na ₂ glycerophosphate · 5H ₂ O	5	mg
MgSO ₄ · 7H ₂ O	4	mg
Vitamine B ₁₂	0.01	µg
Biotin	0.01	µg
Thiamine HCl	1	µg
PIV metals	0.3	ml
TAPS	40	mg
Distilled water	99.7	ml

shaking incubator(28°C, 16h light; 8h dark)에서 15일간 배양하면서 세균의 성장과 형태를 관찰하였다. 각 세균을 각각의 CT배지에 접종한 것을 대조군으로 하여 각 처리군과 비교하였다. 우점세균의 생균수와 *Microcystis* 생체량 및 성장 정도를 측정하기 위하여 OD_(600nm), OD_(680nm)를 0, 1, 7, 15일째에 측정하였다. 또한, 각 처리군별로 0, 7, 15일째 시료를 0.2 µm millipore filter paper로 여과·건조시킨 후 SEM(Scanning Electronic Microscope, S-4200, Fisons) 촬영하여, 남조와 부착 세균의 유무 및 단계별 우점세균과 남조의 형태변화 등을 비교·확인하였다.

2.5. 우점세균 *Staphylococcus sciuri*의 첨가에 따른 *Microcystis* 독소생성변화

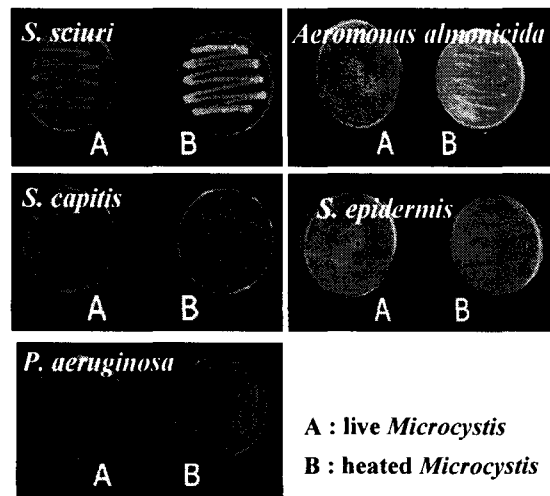
분리한 *Microcystis* 10 ml을 CT배지에서 배양하면서 *S. sciuri*를 첨가하는 예비실험을 통해 적정 세균주입량을 7 ml, 15 ml로 결정한 후 본 실험을 실시하였다. 배양 5일 동안 수소이온농도(pH; Orion pH meter, Model 407A), 세균의 생체량과 식물플랑크톤의 생체량 변화를 판단할 수 있는 OD_(600nm)과 OD_(680nm) 흡광도를 측정하였다(각각 3 sample을 처리하여 평균값 계산). *Microcystis* 세포수 측정은 단계별로 분리한 시료를 Lugol's 용액으로 고정시킨 후, 이중 5 ml을 24시간동안 settling chamber (체적: 5 ml, 직경: 2.5 cm)에 침전시킨후, Zeiss IM 도립현미경 (Telaval 31, Carl Zeiss, Germany)으로 400배 (× 400)에서 20필드이상 계수하여, ml당 개체수로 환산하였다¹⁷⁾. 세균의 생균수(viable count, CFUs)를 측정하였고, 남조체내 및 분해된 배양액 내의 총 microcystin 함량(total microcystin; microcystin-LR + microcystin-RR)을 카트리지를 이용하여 세포를 수집하고, 동결건조 후 그 함량을 Harada et al.의 방법¹⁸⁾으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 세균 및 *Microcystis*의 처리에 따른 세균의 증식 및 형태변화

여름철 서낙동강 원수에서 검출된 세균을 분리하여 동정한 결과, 우점종 및 차우점종은 *Staphylococcus sciuri*, *S. capitis*였고, *S. epidermis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas salmonicida* 등으로 동정되었다(Table 2 & Table 3).

배양 7일 후부터 처리군별로 우점세균의 성장은 크게 두가지 형태로 구분되었다(Photo. 1). *Microcystis*를 열처리한 처리군에서는 실험대상 5종의 세균 모두 뚜렷한 성장이 관찰되었다(Fig. 1). 특히, *S. sciuri*, *S. capitis*, *P. aeruginosa*은 생장이 활발한 *Microcystis*를 첨가해준 고체배지 상태에서도 뚜렷하게 성장하는 것으로 관찰되어, 이 3종의 세균들은 소멸상태에



Photograph 1. Each bacteria smeared on live *Microcystis aeruginosa*(a) or heated *Microcystis* at 80°C, for 15 min.(b) on 15 days of culture.

Table 2. Characteristics of bacteria from hypertrophic reservoir (Seo-Nakdong River) (from Bergey's Manual of Determination Bacteriology 9th ed.)

No	Dominant species	Characteristics
1	<i>Staphylococcus sciuri</i>	Gram+, non-motile, aerobic, optimum temperature (30-37°C), nitrogen source <(NH ₄) ₂ SO ₄ >, nitrate reduction
2	<i>S. capitis</i>	Gram+, non-motile, aerobic, optimum temperature (30-37°C), lactic acid L-isomer production
3	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Gram-, Bacillus, aerobic, motile, gelatine hydrolysis, starch hydrolysis
4	<i>Aeromonas salmonicida</i>	Gram-, Bacillus, anaerobic, motile, optimum temperature (22-28°C), indole production
5	<i>S. epidermis</i>	Gram+, anaerobic, non-motile, optimum temperature (30-37°C), nitrogen source<(NH ₄) ₂ SO ₄ >, nitrate reduction, lactic acid L(+) isomer production

Table 3. The result of biochemical test for identification of isolated bacteria from Seo-Nakdong River

Tests	API Staph				API 20 E	
	<i>S. sciuri</i>	<i>S. capitis</i>	<i>A. salmonicida</i>	<i>S. epidermis</i>	Tests	<i>P. aeruginosa</i>
O	-	-	-	-	ONPG	-
GLU	+	+	-	+	ADH	+
FRU	+	-	-	+	LDC	-
MNE	+	-	-	+	ODC	-
MAL	+	-	-	+	CIT	+
LAC	-	-	-	+	H ₂ S	-
TRE	+	-	-	-	URE	+
MAN	+	-	-	-	TDA	-
XLT	-	-	-	-	IND	-
MEL	-	-	-	-	VP	-
NIT	+	+	-	-	GEL	+
PAL	+	+	+	-	GLU	+
VP	+	-	+	+	MAN'	-
RAF	-	-	-	-	INO	-
XYL	-	-	-	-	SOR	-
SAC	+	-	-	+	RHA	-
MDG	-	-	-	-	SAC	-
NAG	+	-	-	-	MEL'	-
ADH	-	+	-	-	AMY	+
URE	-	-	-	+	ARA	-

note : O : No substrate, GLU : D-Glucose, FRU : D-Glucose, MNE : D-Mannose, MAL : Maltose, LAC : Lactose, TRE : D-Trehalose, MAN : D-Mannitol, XLT : Xylitol, MEL : D-Melibiose, NIT : Potassium nitrate, PAL : β -naphthyl-acid phosphate, VP : Sodium pyruvate, RAF : Raffinose, SAC : Sucrose, MDG : α -methyl-D-glucose, NAG : N-acetyl-glucosamine, ADH : Arginine, URE : Urea, ONPG : ortho-nitro-phenyl- β -D-galactopyranoside, LDC : lysin, ODC : ornithine, CIT : sodium citrate, H₂S : sodium thiosulfate, URE : urea, TDA : tryptophane, IND : tryptophane, GEL : Kohn's gelatin, MAN' : mannitol, INO : inositol, SOR : sorbitol, RHA : rhamnose, MEL' : melibiose, AMY : amygdalin, ARA : arabinose

있는 남조 뿐 아니라, 살아있는 남조도 잘 소화시켜 이들의 생장에 이용할 수 있었던 것으로 생각된다. 따라서, 남조변성 현상이 관찰되는 야외 현장에서도 남조 bloom의 최고번성과 소멸단계 혹은 남조의 건강상태, aging process(노화과정) 등에 크게 영향을 받지 않고 공생 혹은 분해과정을 통해 활발한 성장을 보일 것으로 생각된다. 또한, 이 세균 군집들은 첨가해준 *Microcystis*의 양이 많을수록(1 ml < 2 ml) 성장이 더욱 높게 나타났으며, 7일 이후부터 뚜렷이 증가하는 경향을 보였다(Fig. 1).

SEM 촬영결과, *S. capitis* 배양액에 살아있는 *Microcystis*를 첨가해준 처리군에서는 타원형의 *S. capitis*들이 남조의 세포표면에 부착하거나, 주변에서 공존하면서 서로간의 공생관계를 통해 세균들이 성장하고 있음이 관찰되었다(Photo. 2). 이러한 서식 형태는 *S. sciuri*와 *P. aeruginosa*에서도 유사한 모

습으로 관찰되었다.

반면, *A. almonicida*와 *S. epidermis*는 살아있는 *Microcystis* 처리군보다 열처리한 *Microcystis*를 접종한 실험에서, 더 잘 성장하는 것으로 나타났다(Fig. 2). 앞의 3 세균들에 비해 모든 처리상태에서 성장의 정도가 비교적 낮은 것으로 관찰되었으나, 열처리한 *Microcystis*의 첨가량이 많을수록(1 ml < 2 ml), 7일 이후부터 성장이 활발해지기 시작하여 15일째 가장 높은 값을 보였다. 이러한 특성으로 볼 때, 이 두 세균은 *Microcystis* 소멸기에 활발하게 성장하여, 이시기의 환경요소(수온저하, 영양염류 부족 등)들과 함께 녹조 등 다른 식물플랑크톤 군집으로의 치환, 천이(succession)에 관여하게 될 것으로 생각된다. *Microcystis*의 처리상태에 따른 *A. almonicida*를 SEM촬영을 통해 형태를 비교한 결과, 살아있는 *Microcystis*상태에서는 이 세균의 용균현

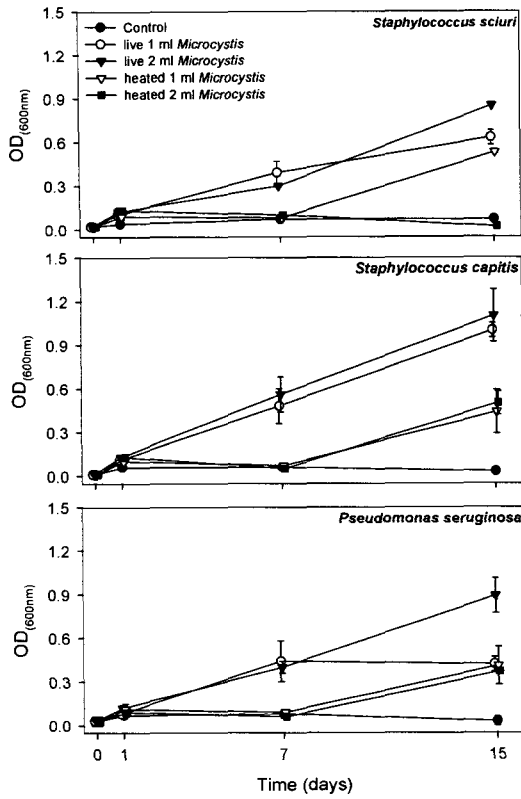


Fig. 1. Change of growth of 3 bacteria (*Staphylococcus sciuri*, *S. capitis* and *Pseudomonas seruginosa*) expressed by $OD_{(600nm)}$ with different treatment of *Microcystis* during 15 days.

상이 관찰되었다(photo. 2). 반면, 열처리 상태에서는 *Microcystis*는 관찰되지 않았고, 구형의 세균들이 활발하게 증식하고 있는 모습이 관찰되었다. 이러한 형태는 *S. epidermis* 처리군에서도 유사하게 관찰되었다.

3.2. 우점세균 *S. sciuri*의 첨가에 따른 *Microcystis* 생체량과 독소생성

*Microcystis*가 성장하고 있는 배지에서도 성장가능한 것으로 관찰된 우점 세균 *S. sciuri*의 존재와 양에 따라 *Microcystis*의 성장과 독소생성량은 변화하는 것으로 나타났다(Fig. 3). 세균의 성장지표로 이용된 $OD_{(600nm)}$ 흡광도는 세균을 첨가하지 않은 대조군에서 가장 낮은 값을 보였다. 반면, *Microcystis*의 성장변화를 보여주는 pH와 $\log(\text{cell density})$ 값은 *S. sciuri*를 첨가해주지 않은 대조군에서 가장 높게 관찰되었고, *S. sciuri*의 첨가량에 비례하는 것으로 나타났다. pH와 $\log(\text{cell density})$ 값은 실험기간동안 유사한 변화양상을 보여주었다. 독소가 검출

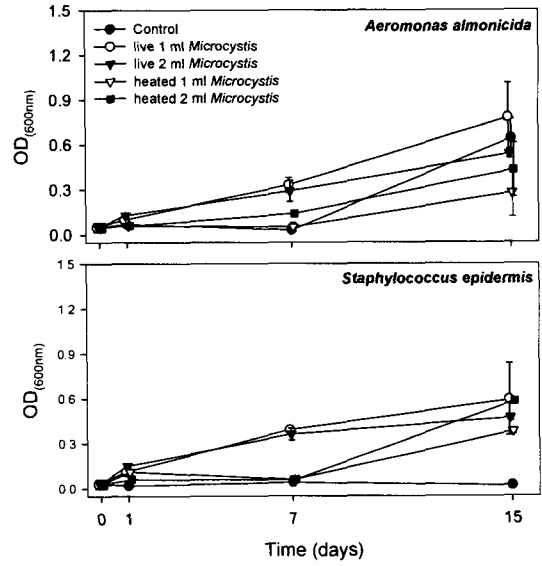
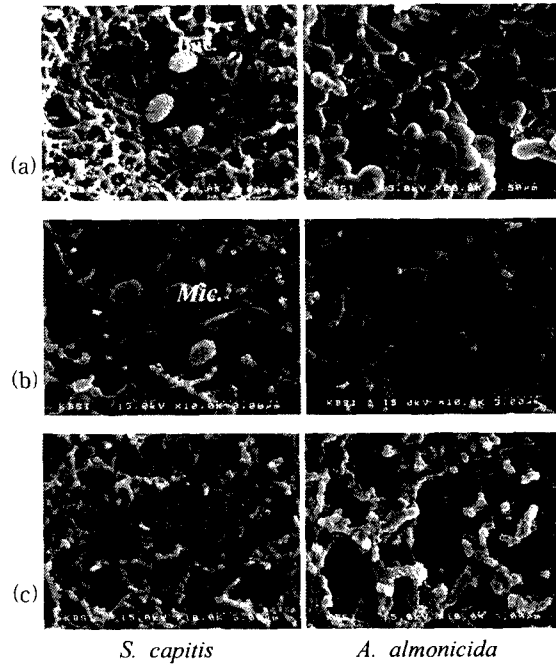


Fig. 2. Change of growth of 2 bacteria (*Aeromonas almonica*, *Staphylococcus epidermis*) expressed by $OD_{(600nm)}$ with different treatment of *Microcystis* during 15 days.



Photograph 2. The photograph of SEM (Scanning Electronic Microscope) of *Staphylococcus capitis* and *Aeromonas almonica* with different treatment of *Microcystis*. a) control; b) *Microcystis* with bacteria; c) heated *Microcystis* with bacteria

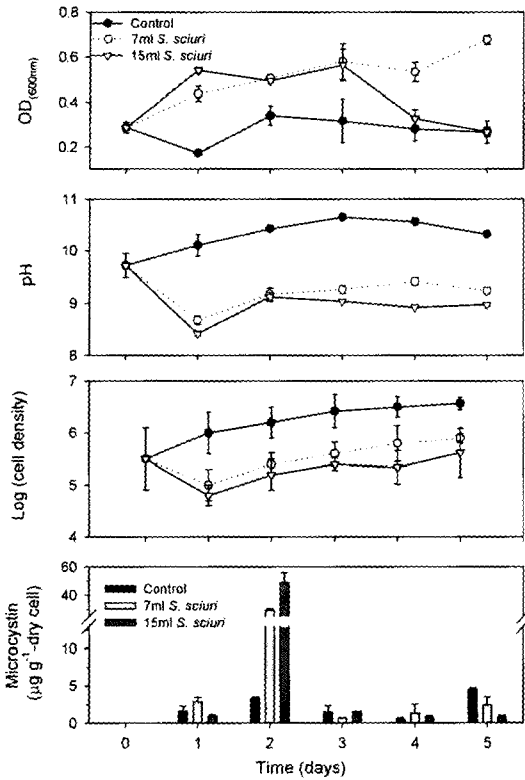


Fig. 3. The change of OD_{600nm}, pH, cell density and total microcystin production (MC-LR + MC-RR) of *Microcystis* with *Staphylococcus sciuri* by 6 days.

되지 않았던 *Microcystis* 배지에서 *S. sciuri*의 접종으로 microcystin이 검출되기 시작하였고, 이를째 가장 높은 값을 보여주었으며, 7 ml에서보다 15 ml의 *S. sciuri*의 첨가량이 증가할수록 더 높은 microcystin 생성량을 보여주었다. Microcystin의 생성량 변화는 수생 생태계의 상위 포식자인 동물플랑크톤이나 어류 군집의 포식압에 대한 방어기작으로 발현하게 되는 것으로 보고되고 있다¹⁸⁾. 이 외에도 외부적 요인 즉, 빛, 온도, 영양염류 등과 같은 비생물적 요인에 의해서도 이 기작이 활성화 될 수 있는 것으로 볼 때, 본 실험 결과에서도 배지 내에 공존 혹은 부착하는 세균군집에 대하여 독소함량 증가의 가능성은 배제할수 없는 것으로 생각된다.

본 연구결과, 수생생태계 내에서 세균군집과 식물플랑크톤 군집은 상호작용을 통해, 공존할 수 있는 것으로 생각되며, 이러한 현상은 남조군집의 번성기를 전후로 하여 더욱 뚜렷하게 관찰될 것으로 추측된다. 이외, 식물플랑크톤에 대한 동물플랑크톤의 포식압도 세균 군집의 변화에 영향을 줄 수 있는 요

인으로 보고되어있다²⁰⁾. 그러나, 지금까지 수생 생태계의 미생물 먹이사슬 내에서 세균 또는 다른 미생물(micro-organism)의 역할은 생물들의 사체 혹은 배설물들을 분해하여 에너지원을 재생산하는 분해자로서 그 중요성이 인식되어왔다. 그러나, 본 연구를 통해 *Microcystis*의 번성시기에 이 종의 표면에 부착 혹은 침투하여 남조군집의 소멸을 유도하거나 남조 군집들이 가지고 있던 독소(toxin, microcystin)량을 변화시킬 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구를 토대로 하여, 남조 수화상태에서도 증식이 활발한 세균의 생리 및 기능에 관한 연구가 심도 있게 이루어져야할 것으로 본다.

4. 요약

Microcystis spp. 군집이 95% 이상 우점하는 2001년 8월 서낙동강의 세균을 순수 분리하여 동정한 결과, 우점종 및 차우점종은 *Staphylococcus sciuri*, *S. capitis*, *S. epidermis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas salmonicida*로 동정되었다. *Microcystis*의 유무와 처리상태에 따른 우점세균의 성장 및 형태변화를 관찰한 결과, 배양 7일후부터 *Microcystis*를 열처리후 첨가한 처리군에서 5개 우점세균 모두 뚜렷한 성장이 관찰되었으며, 이중 *S. sciuri*, *S. capitis*, *P. aeruginosa*은 최고 증식기의 *Microcystis*를 첨가한 처리군에서도 뚜렷이 성장하는 것으로 나타났다. 반면, 독소가 검출되지 않았던 *Microcystis* 배지에 우점세균 *S. sciuri*의 첨가로 인하여 microcystin 생성량이 증가하였다. 남조의 증식이 활발한 상태에서 증식하는 우점세균의 소화 및 기능에 대한 연구가 이루어져야할 것으로 보인다.

참고 문헌

- 1) Kirchman, D., 1983, The production of bacteria attached to particles suspended in a freshwater pond, *Limnol. Oceanogr.*, 28, 858-872.
- 2) 박재림, 하경, 손연주, 주기재, 2001, 낙동강 중·하류에서 식물플랑크톤과 세균의 계절적 동태, *한국환경과학회지*, 10(4), 259-267.
- 3) 박재림, 손연주, 하경, 박중철, 2002, 낙동강 하류(물금)와 세 지류에서 분리된 우점세균의 증식에 미치는 금속 (Cd & Zn) 및 그 질소 화합물의 영향, *한국환경과학회지*, 11(3), 183-189.
- 4) Monster, U. and R. J. Chrost, 1990, Origin, composition and microbial utilization of dissolved organic matter, In Overbeck, J. and R. J.

- Chrost (eds.). Aquatic microbial ecology; biochemical and molecular approaches, Springer Verlag, New York., 8-46pp.
- 5) Carmichael, W. W., 1997, The cyanotoxins. In Callow, J. A. (ed.), Advances in botanical research, Academic press, London, 27, 211-256.
 - 6) Burnberg, A. K., 1999, Contribution of bacteria in the mucilage of *Microcystis* spp. (Cyanobacteria) to benthic and pelagic bacterial production in a hypertrophic lake, FEMS Microbial Ecology, 29, 13-22.
 - 7) Paerl, H. W., 1987, Dynamics of blue-green algal (*Microcystis aeruginosa*) blooms in the lower Neuse River, North Carolina: Causative factors and potential controls, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, UNC-WRRI-87-229, 164pp.
 - 8) Simon, M. and F. Azam, 1989, Protein content and protein synthesis rates of planktonic bacteria, Marine Ecology Progress series, 51, 201-213.
 - 9) Hanazato, T. and M. Yasuno, 1987, Evaluation of *Microcystis* as food for zooplankton in a autotrophic lake, Hydrobiologia, 144, 251-259.
 - 10) Hanazato, T., 1991, Interactions between *Microcystis* and *Cladocera* in the highly eutrophic lake Kasumigaura, Japan, Int. Revue ges. Hydrobiol, 76, 21-36.
 - 11) Ha, K., E. A. Cho, H. W. Kim and G. J. Joo, 1999, *Microcystis* bloom formation in the lower Nakdong River in South Korea, Importance of hydrodynamics and nutrient loading, Mar. Freshwater Res, 50, 89-94.
 - 12) Ha, K., H. W. Kim, K. S. Jeong and G. J. Joo, 2000, Vertical distribution of *Microcystis* population in the regulated Nakdong River, Korea, Limnology, 1, 225-230.
 - 13) Oh, H. M., S. J. Lee, M. H. Jang and B. D. Yoon, 2000, Microcystin production of *Microcystis aeruginosa* in P-limited chemostat, Appl. Environ. Microbiol, 66, 176-179.
 - 14) Lee, S. J., M. H. Jang, H. S. Kim, B. D. Yoon and H. M. Oh, 2000, Variation of microcystin content of *Microcystis aeruginosa* relative to medium N:P ratio and growth stage, J. Appl. Microbiol, 89, 323-329.
 - 15) Komárek, J., 1994, Current trends and species delimitation in the cyanoprokaryote taxonomy, Algological Studies, 75, 11-29.
 - 16) Watanabe, M. M., M. Kawachi, M. Hiroki and F. Kasai, 2000, NIES-Collection List of Strains. 6th (ed.), Microalgae and protozoa, Environment Agency, Tsukuba, 159pp.
 - 17) Utermöhl, H., 1958, Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplankton, Methodik. Mitt. Internat. Verein, Limnol., 9, 1-38.
 - 18) Harada, K. I., K. Matsuura, M. Suzuki, H. Oka, M. F. Watanabe, S. Oishi, A. M. Dahlem, V. R. Beasley and W. W. Carmichael, 1988, Analysis and purification of toxic peptides from cyanobacteria by reversed-phase high-performance liquid chromatography, J. Chromatography, 488, 275-283.
 - 19) Hofle, M. G., H. Haas and K. Dominik, 1999, Seasonal dynamics of bacterioplankton community structure in a eutrophic lake as determined by 5s rRNA analysis, Appl. Environ. Microbiol., 65, 3164-3174.
 - 20) Jang, M. H., 2002, Ecological study of freshwater fish in Korea, Fish fauna, prey-predator interaction and the responses of cyanobacteria to fish grazing, Ph. D. dissertation, Pusan National University, Busan, 224pp.