

유해성 조류 *Microcystis aeruginosa*의 생물학적 제어를 위한 미소생물제재의 적용 실험

김 백 호 · 최 희 진¹ · 한 명 수*

(한양대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹한양대학교 자연과학대학 환경과학과)

Potential in the Application for Biological Control of Harmful Algal Bloom Cased by *Microcystis aeruginosa*. Kim, Baik-Ho, Hee-Jin Choi¹ and Myung-Soo Han* (Department of Life Science, Hanyang University, ¹Department of Environmental Sceince, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea)

Growth inhibition of *Microcystis aeruginosa* was examined with single-or mixed treatment of algicidal bacterium *Streptomyces neyagawensis* and heterotrich ciliate *Stentor roeseli*, which isolated from natural freshwater. The harmful Cyanobacterium, *Microcystis aeruginosa* density was effectively suppressed by the algicidal bacterium *Streptomyces neyagawensis*, and the bacterial biomass was few changed. The heterotrich ciliate *S. roeseli* isolated from the eutrophic Pal'tang riverine, Korea suppressed the algal biomass effectively. But mixed-treatment of both bio-agents was less effective, leading to an increase in algal density.

Key words : *Microcystis aeruginosa*, algicidal bacteria, ciliate, biological control, filtered water, cyanobacterial bloom

서 론

세계 여러 지역의 호수나 하천 등에서 부영양화와 동반한 남조 대발생(cyanobacterial bloom)은 수자원의 확보 및 관리에 많은 문제를 일으키고 있다(Reynolds, 1985; Vincent, 1987). 이들은 1차적으로 수중 내 용존산소와 투명도를 현저하게 감소시키고, 악취를 발생하여 용수공급에 막대한 차질을 가져오며(박, 2000), 독특한 독소를 발생하여 어류는 물론 가축이나 사람의 건강에 위협을 주기도 한다(Carmichael *et al.*, 1988; Parker, 1997; Dawson, 1998; 이 등, 2002).

지금까지 알려진 직접적인 조류제어 방법으로는 수중 폭기, 전자선, 초음파(Ahn *et al.*, 2003; 나 등, 2003) 등의 물리적 방법, CuSO₄, Chlorine, Samazine, Simetyrne,

allelochemicals(Kasai *et al.*, 1993; Sigeo *et al.*, 1999; Park *et al.*, 2003) 등의 화학적 방법, 그리고 바이러스(Ohki and Fujita, 1996; Bettarel *et al.*, 2003), 박테리아(Burnham *et al.*, 1984; Fukami *et al.*, 1992; Yamamoto *et al.*, 1998; Kim and Han, 2003; 장 등, 2003; Choi *et al.*, 2004; Kang *et al.*, 2004), 균류(Redhead and Wright, 1978; Daft *et al.*, 1985), 원생동물(Wright *et al.*, 1981; Yamamoto, 1981), 쌍편모조류(Wu *et al.*, 1998), 동물플랑크톤(Gosselain, 1998), 어류(Fukushima *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2003) 등의 생물학적 방법이 알려지고 있으며, 간접적인 방법으로 수중식물에 의한 영양물질 흡수, 금속이온처리에 의한 부영양화 촉진물질의 불활성화, 수처리 시설을 이용한 수중내 유기물질의 감소(전과 김, 1999; 신과 박, 2001; Cha and Hwang, 2001) 등의 방법이 보고되고 있다.

* Corresponding author: Tel: 02) 2290-1704, Fax: 02) 2296-1741, E-mail: hanms@hanyang.ac.kr

물리-화학적 방법은 직접적이고 효과가 빠른 반면 비용이 많이 들고, 대상조류를 제외한 다른 조류에도 동시에 작용함으로써 수중생태계 먹이연쇄를 교란시키는 단점이 있으며 (Sigeo, 1999), 생물학적 방법 역시 전자에 비해 경제적인 잇점은 있으나 아직까지도 실험적 연구 수준에 머물고 있다. 특히 후자가 수중 생태계의 급격한 혼란을 막고 현장에서 서식하는 소비자를 이용한다는 점에서 이상적인 방법으로 논의되고 있으나 아직 현장에 직접 이용한 사례는 극히 드물다. 한편, 조류제어를 위한 특정생물군의 적용은 실제 수중내에서 대상조류와 생물제재간의 단순한 1:1관계를 고려하기 어렵기 때문에 현장에 직접적인 적용은 매우 타당성이 낮을 수 있다 (Kim and Han, 2003). 지금까지 하·폐수 정화를 위한 생물제재의 혼합적용 사례는 보고된 바 있으나 (Nicolau et al., 2001), 조류를 대상으로 박테리아, 섬모충, 동물플랑크톤 등의 포식자를 혼합 적용한 예는 극히 드물다. 녹조의 생물학적 제어기술은 단일 생물제재의 처리로도 효과를 얻을 수 있지만 제어효과를 개선하기 위하여 다양한 생물제재의 혼합적용을 개발할 필요성이 있다.

본 연구는 전세계적으로 하천과 호수에서 가장 널리 녹조를 일으키고 있는 남조류의 생물학적 제어를 목적으로 *Microcystis aeruginosa* 제어능이 확인된 살조세균 (*Streptomyces neyagawensis*) 및 섬모충 (*Stentor roeseli*)을 단순 또는 혼합적용하고 실험실 수준의 microcosm계에서 분석하였다.

재료 및 방법

1. 남조 *Microcystis aeruginosa* 배양

살조세균 분리를 위한 algae lawn제조에 사용된 *Microcystis aeruginosa*는 일본 국립환경연구소 (NIES-298)에서 분양 받아 사용하였다. 배양은 CB배지를 사용하였고, 배양조건은 $27 \pm 2^\circ\text{C}$, 광주기 12L : 12D, $40 \mu\text{M photons s}^{-1} \text{m}^{-2}$ 이며, 120 rpm으로 교반하였다. 모든 실험은 대수 성장기에 도달한 세포를 이용하여 수행하였다.

2. 박테리아 및 섬모충 배양

살조세균 *Streptomyces neyagawensis* HYJMK0209-50은 2002년 9월 5일 전라남도 주암호 저니에서 분리한 균주로서 (Choi et al., 2004), Nutrient broth (NB)에서 40°C , 암상태, 150 rpm으로 교반하였다. 살조효과를 확인하기 위하여 배양 48시간 후 8,000 rpm, 5분간 원심분리

하여 얻은 pellet을 습식멸균하고 GF/Filter로 여과한 현장수로 2~3회 세척하여 NB를 충분히 제거한 다음, 생물량을 측정하고 조류배양 플라스크에 접종하여 시간경과에 따른 이들의 제어능을 조사하였다.

섬모충은 2002년 7월에 팔당호에서 분리하였다 (Choi et al., 2004). 배양은 채집한 현장수를 GF/Filter로 여과한 후 6 well 배양용기에 각각 5 mL씩 넣어 기본 배지로 사용하였다. 이들의 성장특성을 고려하여, 부착기질로서 well 당 protozoan pellet (Carolina, USA) 3 mg을 첨가하였다. 간헐적으로 미세피펫을 이용하여 통기시켰으며, 분리된 섬모충은 10~50개체씩 각 well에 접종시켜 배양하였다. 배양조건은 현장분리시와 동일한 수온 20°C , 광도 $2 \mu\text{M photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 광주기 12L : 12D를 유지하였으며, 시료생물 남조 *Aphanothece* sp. 또는 시판용 *Chlorella*TM를 이용하였다.

3. 생물제재의 단일 또는 혼합적용실험

남조 *Microcystis*의 제어실험은 우선, 배지 BG-11에서 배양한 대수성장기의 *M. aeruginosa* 세포를 수확하고 (85,000 rpm, 15 min), 이를 현장 여과수를 이용하여 2회 이상 세척한 다음, 최종적으로 현장 여과수에 2×10^6 cells mL⁻¹이 되게 현탁하여 6 well (Falcon, USA)에 5 mL씩 넣었다.

실험은 *Microcystis* 배양조건과 동일하다. 생물제재의 단일적용실험에서, 박테리아 *Streptomyces neyagawensis*의 경우, 대수기 박테리아의 성장특성상 현미경하에서 계수가 어렵기 때문에 투입전 생물량을 측정하여 0.05 g (5%)를 3개의 *Microcystis* 배양 삼각플라스크에 접종하고, 시간에 따라 조류현존량 및 박테리아 밀도변화를 조사하였다. 섬모충의 제어실험 역시 전과 동일한 조건의 삼각플라스크에 3개체/well 밀도로 접종하고, 도립현미경하에서 섬모충 및 조류 밀도 변화를 혈구계수기로 조사하였다.

모든 제어실험은 각 요소 공히 대수성장기에 도달한 세포를 이용하였다. 특히 섬모충의 경우, 조류제어 실험을 위하여 실험에 투입하기 2일전부터 먹이를 주지 않았다. 두 생물의 혼합적용 실험은 단일적용 실험에서 사용하였던 동일밀도의 *Microcystis*, 박테리아, 섬모충을 이용하였으며, 실험조건 역시 동일한 환경에서 실시하였다.

박테리아와 섬모충간의 상호관계를 확인하기 위하여, 배양조건이 동일한 조건의 플라스크에 현장 여과수를 넣고 동일한 밀도로 동시에 접종한 다음 각 생물제재의 밀도변화를 조사하였다.

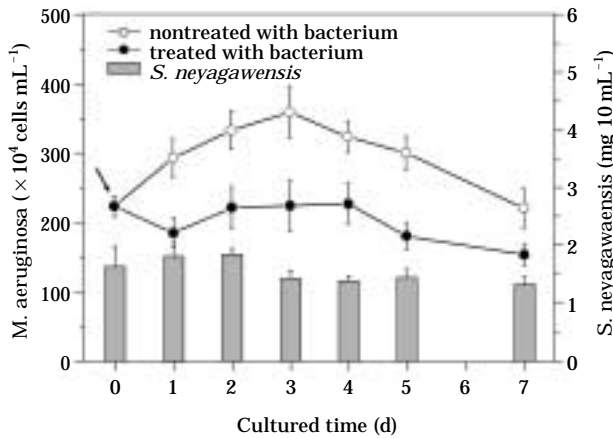


Fig. 1. Antialgal effect of bacterium *Streptomyces neyagawaensis* against *Microcystis aeruginosa* in filtered water. Open and closed circle was *Microcystis* abundance in the treatment or nontreatment of bacteria, respectively. Histogram with oblique line was bacterial biomass. The arrow is representative treatment time.

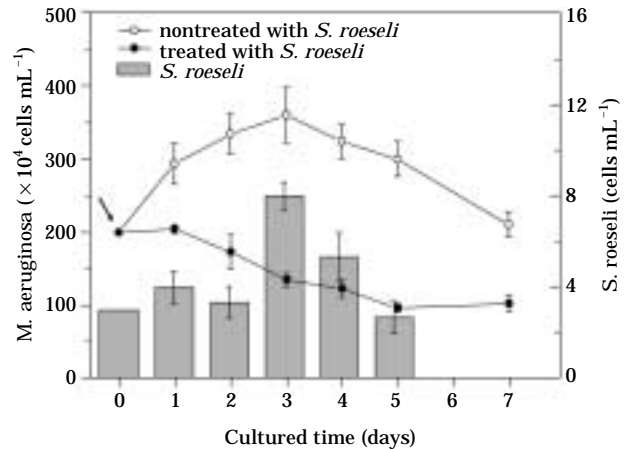


Fig. 2. Antialgal effect of heterotrich ciliate *Stentor roeseli* against *Microcystis aeruginosa* in filtered water. Open and closed circle was *Microcystis* abundance in the treatment or nontreatment of ciliate, respectively. Histogram with oblique line was ciliate abundance. The arrow is representative treatment time.

결 과

1. 박테리아의 *Microcystis* 제어능

박테리아를 처리한 남조 *Microcystis aeruginosa* 배양 플라스크내 조류 및 살조세균의 생물량 변화는 Fig. 1과 같다. 접종이후의 남조 *M. aeruginosa*의 성장은 곧바로 억제되었으며, 실험기간동안 초기 접종밀도 수준을 유지하다가 배양 5일째부터 서서히 감소하기 시작하였다. 살조세균을 처리하지 않은 대조군은 배양 3일 이후부터 서서히 감소하기 시작하여 박테리아 처리군과 비슷한 기울기로 감소하였다. *Microcystis* 배양플라스크에 처리된 세균의 밀도는 배양 2일째까지 약 10% 정도 증가하다가 3일 이후부터 다소 감소하여 크게 변동하지 않고 초기 접종 밀도 수준을 유지하였다.

2. 섬모충의 *Microcystis* 제어능

섬모충을 투입한 후, *M. aeruginosa*와 *Stentor roeseli*의 밀도변화는 Fig. 2와 같다. 섬모충을 처리하지 않은 대조구에서 *M. aeruginosa*는 배양시작 후 3일까지 약 1.75배 증가하다가 그 이후 서서히 감소하였다. 섬모충을 처리한 실험구에서는, *M. aeruginosa*는 투입 1일째부터 5일까지 약 50% 정도 감소하다가 7일부터 다소 증가하였다. 섬모충을 처리한 실험구에서 섬모충은 박테리아와는 달리 배양 3일째까지 초기밀도의 약 250% 정도 증가하

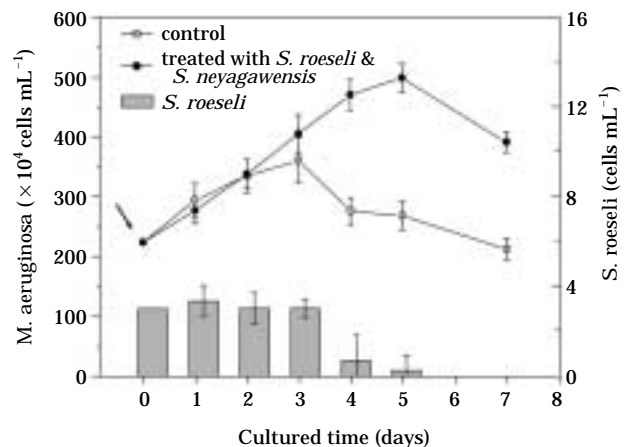


Fig. 3. Antialgal effect of mixed-treatment of bacterium *Streptomyces neyagawaensis* and ciliate *Stentor roeseli* against *Microcystis aeruginosa* in filtered water. Open and closed circle was *Microcystis* abundance in the treatment or nontreatment of bacteria plus ciliate, respectively. Histogram with oblique line was ciliate abundance. The arrow is representative treatment time.

다가 다시 감소하여 배양 6일째 완전 소멸되었다.

3. 생물제제의 혼합적용

단일생물 적용시 사용하였던 밀도와 동일한 생물제제를 동시에 처리한 후 남조 *M. aeruginosa*의 밀도변화를

Table 1. Culture and sustaining condition of algae and bio-agents used in the study.

	Temp. (°C)	Light Intensity ($\mu\text{M photons s}^{-1} \text{m}^{-2}$)	Medium	L:D Cycle	Prey
<i>Microcystis aeruginosa</i>	27	40	CB	12:12	
<i>Streptomyces neyagawensis</i> HYJ0209-MK50	40	No Illumination	Filtered water	-	
<i>Stentor roeseli</i>	20	2	Filtered water	12:12	<i>Aphanothece</i> sp

CB: NIES (National Institute for Environmental Studies, Japan)

조사하였다 (Fig. 3). 살조세균과 섬모충을 단독으로 처리했던 경우와 달리 실험군의 조류밀도는 배양 이후 곧바로 증가하기 시작하여 배양 5일째 최고치 $5.0 \times 10^6 \text{ cells mL}^{-1}$ (250%)에 도달하였으며 이후 감소하여 배양 7일째에도 대조군의 200% 수준을 유지하였다. 한편, 혼합적용시 섬모충의 밀도변화는 단일적용과 같은 증가는 보이지 않았으며 3일간 투입밀도를 유지하다가 배양 4일 이후 급격히 감소하여 6일째 완전 소멸되었다. 박테리아의 밀도변화는 측정이 곤란하였으나, 단일적용에 비해 flock 형성이 빈약하였다.

고 찰

지금까지 남조 *Microcystis* 제어 박테리아로는 *Pseudomonas* sp. (Shinya *et al.*, 2002), *Alcaligenes denitrificans* (Manage *et al.*, 2000), *Streptomyces phaeofaciens* (Yamamoto *et al.*, 1998) 등이 알려져 왔으며, 실험에 사용된 *Streptomyces neyagawensis*는 항생물질인 *concanamycin B* (Kim *et al.*, 1993)와 식물세포의 세포벽의 주성분인 cellulose나 단백질을 분해할 수 있는 protease나 cellulase 등을 생성하는 능력 (Williams *et al.*, 1984)을 가지고 있다. Choi *et al.* (2004)은 남조 사멸과정에 참여하는 물질은 주로 박테리아의 periplasm내에 분포하는 단백질로 보고하였다. 다만 본 연구에서 남조 *Microcystis*는 7일 동안 완전사멸까지는 도달하지 않았고, 박테리아의 밀도 역시 증가하지 않았다. 이는 실험조건이 현장조건을 고려한 실험으로, 따라서 박테리아 최적성장조건과 다른 환경에서 오는 결과로 판단된다 (Shimaz *et al.*, 1993).

한편 실험에 사용된 섬모충 *Stentor roeseli*는 주로 부착생활을 하며, 다른 동물플랑크톤과 견줄 만큼 크기가 크고 (100 μm ~ 1 mm), 넓은 구부 (Oral region), 빠른 성장을 통하여 박테리아나 미세조류를 매우 효과적으로 포식하는 것으로 알려져 왔으나 (Foissner and Wölfi, 1994), 현장채집, 분리, 배양, 유지 등이 어렵기 때문에 (Tartar,

1961; Pendergrass, 1980; Daggett and Nerad, 1992) 이를 이용한 남조제어 연구는 아직까지 보고된 바 없다. 본 실험에서 이들은 남조 *Microcystis aeruginosa*를 효과적으로 제어하였으며, 배양초기에 뚜렷한 밀도증가는 보였다.

남조 *Microcystis aeruginosa*에 대한 제어능을 갖는 서로 다른 두 생물제제의 혼합적용은 예상했던 것과 다르게 오히려 남조의 성장촉진을 나타냈다. 조류성장은 대조군에 비해 배양 5일째에 최고 250%까지 도달하였는데, 이는 7일 이후에도 감소하지 않았다. 이러한 결과는 *Stentor*와 같이 대형섬모충은 박테리아보다 nanoplankton를 선호하는 특징을 갖고 있으며 (문, 2002), 혼합된 방선균의 항생물질에 의한 독성 (Choi *et al.*, 2004) 등으로 인하여 빠른 사멸을 일으킨 것으로 사료된다.

호소의 부영양화가 가속화되면서 세계 각국에서 남조 대발생과 이로 인한 수질문제가 21세기 새로운 환경문제로 등장하였으며 (Vincent, 1987), 이들을 제어하기 많은 화학적, 물리학적, 생물학적 방법 등이 개발되고 있다. 그러나 대부분의 방법들이 기술적용 및 경제적면에서 각기 장, 단점을 가지고 있어 아직 현장 적용에는 어려운 점이 많다 (Sigeo, 1999). 본 연구는 환경친화적이고 생태공학적인 방법의 하나로써, 수중 생태계의 구성원들 중 실험적으로 남조제어효과가 확인된 박테리아와 섬모충을 단일 또는 혼합적용 함으로서 높은 상승 효과 (synergism)가 예상되었다. 그러나 예상과는 달리 오히려 조류성장을 촉진하였는데 이는 앞으로 생물제제를 이용한 조류제어 연구에 중요한 자료가 될 것으로 사료된다. 결국 두 가지 이상의 생물제제를 현장 적용할 경우, 반드시 각 생물요소간의 상호관계 또는 각 요소들의 현장밀도가 확인되어야 할 것이며, 혼합적용으로 인한 생태계 혼란이나 영향 등에 관한 mesocosm수준 이상의 현장 연구가 뒷따라야 할 것으로 사료되었다.

적 요

부영양호수의 남조 *Microcystis aeruginosa* 제어를 위

해 호수 바닥층에서 분리한 살조세균과 섬모충을 현장 여과수를 이용하여 조류배양조건과 동일한 조건에서 단일 또는 혼합적용하여 그 결과를 서로 비교하였다. 두 생물제제는 저자들의 선행연구와 같이 단일 적용시 매우 효과적인 반면, 혼합적용시 오히려 조류의 성장을 촉진하였다. 결국 남조 *Microcystis* 제어를 위한 섬모충이나 박테리아의 적용은 다른 한 생물군의 낮은 밀도를 요구하였으며, 이처럼 동일 조류에 대한 제어능을 갖는 두 생물제제의 배타적인 관계는 앞으로 부영양호수의 남조대발생 제어에 귀중한 자료로서 제공될 것이다.

사 사

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업의 과제(2000-N-NL-01-C-290)에 의하여 수행되었다.

인 용 문 헌

- 나은경, 신경숙, 장재현, 강 호. 2003. 전자선조사를 이용한 부영양화 호수의 조류제어에 관한 연구. 대한환경공학회 2003 춘계학술연구발표대회. KAIST 2003.5.1-3. p. 504-509.
- 문은영. 2002. 팔당호의 섬모충플랑크톤의 분류 및 생태학적 연구. 한양대 석사논문.
- 박혜경. 2000. 녹조현상. 수질분야-환경관련미생물 21. 환경자료집 vol. 2.
- 신정이, 박석순. 2001. 하천 수생식물의 영양염류 제거능 산정에 관한 연구. 한국물환경학회지 17: 201-213.
- 이정호, 박종근, 김은정. 2002. 국내 주요 호수의 식물플랑크톤 종조성 및 영양단계 평가. *Algae* 17: 275-281.
- 장은희, 김정동, 한명수. 2003. 남조류 분해세균 HY0210-AK1의 분리와 특성 및 *Arabaena cylindrica* 분해 활성. 한국환경생물학회지 21: 194-202.
- 전만식, 김범철. 1999. 부레옥잠의 수중영양염 제거 잠재력에 관한 고찰. 한국환경물학회지 17: 117-124.
- Ahn, C.Y., M.H. Park, S.H. Joung, H.S. Kim, K.Y. Jang and H.M. Oh. 2003. Growth inhibition of cyanobacteria by ultrasonic radiation: Laboratory and enclosure studies. *Environ. Sci. Technol.* 37: 3031-3037.
- Bettarel, Y., C. Amblard, T. Sime-Ngando, J.F. Carrias, D. Sargos, F. Garabetian and P. Lavandier. 2003. Viral lysis, flagellate grazing potential, and bacterial production in Lake Pavin. *Microbial. Ecology.* 45: 119-127.
- Burnham, J.C., S.A. Collart and M.J. Daft. 1984. Myxococcal predation of the cyanobacterium *Phormidium luri-dum* in aqueous environments. *Arch. Microbiol.* 137: 220-225.
- Carmichael, W.W. 1988. Toxins of freshwater algae. In Tu AT (Ed.) Handbook of Natural Toxins, Vol. 3, Marine Toxins and Venoms. Marcel Dekker, New York, p. 121-47.
- Cha, G.C. and M.G. Hwang. 2001. Nitrogen removal and behavior of soluble microbial products (SMP) in the MBR process with intermittent aerobic condition. *Kor. Membrane Journal* 3: 1-8.
- Choi, H.J., J.D. Kim, B.H. Kim, J.W. Lee and M.S. Han. 2004. Does Isolated *Streptomyces neyagawaensis* control the bloom of *Microcystis aeruginosa*? Submitted.
- 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.
- Daggett, P.M. and A. Nerad. 1992. Protocols in protozoology. The Society of Protozoologists, A-42.
- Dawson, R.M. 1998. The toxicology of microcystins. *Toxicol.* 36: 953-962.
- Foissner, W. and S. Wölfi. 1994. Revision of the genus *Stentor* Oken (Protozoa, Ciliophora) and description of *S. araucanus* nov. spec. from South American lakes. *J. Plankton Res.* 16: 255-289.
- Fukami, K., A. Yuzawa, T. Nishijima and Y. Hata. 1992. Isolation and properties of a bacterium inhibition the growth of *Gymnodinium nagasakiense*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58: 1073-1077
- Fukushima, M., N. Takamura, B.H. Kim, M. Nakagawa, L. Sun and Y. Zheng. 2000. The responses of an aquatic ecosystem to the manipulation of the filter-feeding silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27: 1-7.
- Gosselain, V., J.-P. Descy, L. Virous, C. Joaquim-Justo, A. Hammer, A. Metens and S. Schweitzer. 1998. Grazing by large river zooplankton: a key to summer potamoplankton decline? The case of the Meuse and Moselle rivers in 1994 and 1995. *Hydrobiologia* 369/370: 199-216.
- Kang, Y.H., J.D. Kim, B.H. Kim, D. Kong and M.-S. Han. 2004. Identification of bacterium HYK0203-SK02 and its lysis of *Stephanodiscus hantzschii*. Submitted.
- Kasai, F., N. Takamura and S. Hatakeyama. 1993. Effects of simetyrene on growth of various freshwater algal taxa. *Environ Pollu.* 79: 77-83.
- Kim, B.H. and M.S. Han. 2003. Usage of bio-agents to control cyanobacterial and diatomal bloom in Pal'tang reservoir, a Korean freshwater. Spring Conference of Korean Society of Limnology, Ecology, and Environ-

- mental Biology, P 7~8, June 20~21, Taegu University, Taegu, Korea.
- Kim, B.H., M.K. Choi and N. Takamura. 2003. Phytoplankton preferences of young silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, in hypereutrophic mesocosms during a warm season. *J. Freshwater Ecol.* **18**: 69-77.
- Kim, C.J., I.K. Lee, B.S. Yun and I.D. Yoo. 1993. Concanamycin B, active substrate against *Phytophthora capsici* produced by *Streptomyces neyagawaensis* 38D10 strain. *Kor. J. Appl. Microbiol. Bioeng.* **21**: 322-328.
- Kim, J.D. and M.-S. Han. 2003. Identification of alga-lytic bacterium AK-07 and its enzyme activities associated with degradability of cyanobacterium *Anabaena cylindrica*. *Kor. J. Limnol.* **36**: 108-116.
- Manage, M.P., Z. Kawabata and S. Nakano. 2000. Algicidal effect of the bacterium *Alcaligenes denitrificans* on *Microcystis* spp. *Aquat. Microb. Ecol.* **22**: 111-117.
- Nicolau, A., N. Dias, M. Mota and N. Lima. 2001. Trends in the use of protozoa in the assessment of wastewater treatment. *Research in microbiology* **152**: 621-630.
- Ohki, K. and Y. Fujita. 1996. Occurrence of a temperate cyanophage lysogenising the marine cyanophyte *Phormidium persicum*. *J. Phycol.* **32**: 365-370.
- Park, M.H., C.Y. Ahn, B.D. Yoon and H.M. Oh. 2003. Growth inhibition of *Microcystis aeruginosa* by rice straw extract. Submitted.
- Parker, D.L., H.D. Kumar, L.C. Rai and J.B. Singh. 1997. Potassium salts inhibit growth of the Cyanobacteria *Microcystis* spp. in pond water and defined media: implications for control of Microcystin-producing aquatic blooms. *Appl. Environ. Microbiol.* **63**: 2324-2329.
- Pendergrass, W.R. 1980. Carolina protozoa and invertebrates manual. Carolina biological supply company, 13pp.
- Redhead, K. and S.J. Wright. 1978. Isolation and properties of fungi that lyse blue-green algae. *Appl. Environ. Microbiol.* **35**: 962-969.
- Reynolds, C.D. 1985. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ Press. 384pp.
- Shimaz, A., C.J. Kim and I.D. Yoo. 1993. Diversity of Actinomycetes-Species, morphology and life cycle- *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **21**: 88-94.
- Shinya, K., I. Akiko, M. Atsushi and M. Masahoro. 2002. Isolation and identification of the anti-algal compound, harmaline (1-methyl- β -carboline), produced by the algicidal bacterium, *Pseudomonas* sp. K44-1. *J. Appl. Phycol.* **14**: 109-114.
- Sigee, D.C., R. Glenn, M.J. Andrews, E.G. Bellinger, R.D. Butler, H.A.S. Epton and R.D. Hendry. 1999. Biological control of cyanobacteria: principles and possibilities. *Hydrobiologia* **395/396**: 161-172.
- Tartar, V. 1961. The biology of *Stentor*. Pergamon Press, 413pp.
- Vincent, W.F. 1987. Dominance of blooming forming cyanobacteria (blue-green). *New Zea, J. Mar. Freshwater Res.* **21**: 361-542.
- Williams, S.T., S. Lanning and E.M.H. Wellington. 1984. Ecology of actinomycetes, p. 481-528. In The biology of the actinomycetes. M. Goodfellow, M. Mordarski, and S.T. Williams (ed), Academic Press, London, U.K.
- Wright, S.J., K. Redhead and H. Maudsley. 1981. *Acanthamoeba castellanii*, a predator of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* **125**: 293-300.
- Wu, J.T., L.L. Kuo-Huang and J. Lee. 1998. Algicidal effect of *Peridinium bipes* on *Microcystis aeruginosa*. *Current Microbiology* **37**: 257-261.
- Yamamoto, Y. 1981. Observations on the occurrence of microbial agents which cause lysis of blue-green algae in Lake Kasumigaura. *Jpn. J. Limnol.* **42**: 20-27.
- Yamamoto, Y., T. Kouchiwa, Y. Hodoki, K. Hotta, H. Uchida and K. Harada. 1998. Distribution and identification of actinomycetes lysing cyanobacteria in a eutrophic lake. *J. Appl. Phycol.* **10**: 391-397.

(Manuscript received 19 December 2003,
Revision accepted 28 February 2004)