

국내산 광물 및 식물의 단순 추출물을 이용한 조류 성장 억제능 평가

김백호 · 이주환 · 김건희 · 유영훈¹ · 황순진*

(건국대학교 환경과학과, ¹엠씨이코리아(주))

Algal Growth Inhibition Activity of Domestic Plants and Minerals Using Simple Extraction Method. Kim, Baik-Ho, Ju-Hwan Lee, Kun-Hee Kim, Young-Hun Yu¹ and Soon-Jin Hwang* (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea; ¹MCE Korea Co., Incheon 405-818, Korea)

A simple extraction method was applied to control four selected cyanobacteria, solitary (SMA) and colonial *Microcystis aeruginosa* (CMA), and green algae, *Scenedesmus quadricauda* and *Chlorella vulgaris* using a domestic plant and mineral. Three kinds of concentrations (1, 5, and 10 mg L⁻¹) of three fresh plants *Camellia sinensis*, *Quercus acutissima*, and *Castanea crenata*, three minerals loess, quartz porphyry, and natural zeolite, and plant-mineral composite, totally seven materials were prepared with the simple extraction processes: drying and grinding of material, water-extraction by high temperature-sonication and filtering. Cyanobacteria SMA and CMA (over 60% of control) were effectively inhibited with the low concentration (1 mg L⁻¹) of plants *Q. acutissima* and *C. crenata* and natural zeolite, while green alga *S. quadricauda* (below 50% of control) also retarded in growth. Low concentrations (1 mg L⁻¹) of *C. sinensis* effectively increased the growth of *C. vulgaris*, while loess also induced the algal growth of *S. quadricauda*. Therefore, our results indicate that crude extract of domestic plants, *Q. acutissima* and *C. crenata* can be also useful to control the cyanobacterial bloom in eutrophic lake, whereas *C. sinensis* and loess may be a good growth factor or useful media for the algal mass culture.

Key words : Allelochemicals, algal growth inhibition, plant, mineral, natural algicide

서 론

참나무를 포함한 다양한 육상 및 수생식물들은 유해남조 *Microcystis aeruginosa*를 포함한 조류성장을 억제하는 물질을 함유하고 있는데 (Park *et al.*, 2009), 이러한 타감물질 (allelochemicals)은 주로 탄닌과 페놀류화합물로서 다른 식물들의 발아, 호흡, 광합성, 양분흡수, 호르몬 합성을 저해하는 것으로 보고되었다 (Rice, 1984; Inderjit

et al., 1995). 또한 황토, 맥반석, 제오라이트 등의 광물들은 높은 공극밀도와 응집력을 갖는 성분에 의하여 유기물 제거 및 항균작용을 하여 최근 해양이나 담수역의 조류 발생 억제에 이용되고 있다 (나 등, 1998; 김과 강, 2000; 감 등, 2003; 윤 등, 2003).

그러나 선행연구들은 주로 특정한 화학용매를 이용하여 복잡한 추출과정을 통하여 타감성분만을 선택적으로 얻기 때문에 상당한 시간과 노력이 필요하다. 뿐만 아니라 만일 현장에 직접 적용한다면 다량의 물질을 확보하여

* Corresponding author: Tel: 02) 450-3748, Fax: 02) 452-3749, E-mail: sjhwang@konkuk.ac.kr

야 하며 많은 양의 식물체나 추출시간이 요구된다. 이를 위한 타감물질의 화학합성과정은 절대적으로 필요하므로 실제 사용되는 물질은 천연물질이라기 보다는 인공합성 물질로서 수생태계의 새로운 교란물질로 작용할 가능성이 높다. 따라서 가능하면 손쉽게 구할 수 있는 천연재료를 이용하여 복잡한 추출과정을 거치지 않고도 효율적으로 조류성장을 억제할 수 있는 방법개발이 필요하다고 하겠다.

본 연구는 국내에서 가장 쉽게 얻을 수 있는 식물(녹차, 상수리나무, 밤나무), 광물(황토, 맥반석, 제올라이트) 및 이들의 혼합물 등 총 7가지를 선정하여 국내 부영양 저수지에서 흔히 관찰되는 남조발생의 대표적인 구성종으로 단독형 및 군체형 남조 *Microcystis aeruginosa*와 녹조류 *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris* 등 총 4종을 대상으로 추출과정이 간편하고 경제성이 좋은 단순 추출법을 이용하여 각 추출물질과 혼합물의 농도별 조류제어능을 평가하였다.

재료 및 방법

1. 물질추출

실험에 사용된 식물과 광물은 국내에 흔히 분포하여 손쉽게 구할 수 있는 재료들로 식물의 녹차나무(*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruthers), 밤나무(*Castanea crenata* Sieb. et Zucc), 광물의 황토(Loess), 맥반석(Quartz porphyry), 제올라이트(Zeolite) 등 총 6가지를 선정하였다(Fig. 1). 식물과 광물을 수돗물로 2~3회에 걸쳐 깨끗하게 씻은 다음, 70°C dry oven에 2시간 이상 건조시켜 Willy mill로 잘게 분쇄하고 100-mesh를 통과시켰다. 분쇄된 각 재료의 분말 50g와 10 L 증류수를 70°C sonicator에 넣고 잘 섞은 다음 10시간 동안 추출하여 최종적으로 1 L가 되게 하였다. 이들은 다시 GF/F 유리섬유 여과지로 여과한 추출물을 암조건에 냉장 보관하면서 실험당일 조류배양 온도와 일치시켜 조류제어능 실험에 각각 이용하였다(Fig. 2). 한편, 조류제어능을 극대화하기 위하여 앞에서 제조한 6가지 추출물을 같은 비율로 넣고 혼합하여 GF/F로 다시 여과한 혼합물(PMC, plant-mineral composite)을 전과 동일한 방법에 따라 실험에 이용하였다. 상기의 식물 및 광물 추출물은 모두 MCE Korea (<http://www.mcek.co.kr>)에서 제공받았으며, 현재 건국대학교 물환경실험실에 보관중이다.

2. 조류배양

실험에 사용된 조류는 총 4종으로 남조 *Microcystis aeruginosa* (NIES-298)는 단일형(solitary type)으로 일본 국립환경연구소(NIES)에서 분양 받았으며, *M. aeruginosa* (KUES-008)는 군체형(colonial type)으로 일감호(서울)에서 직접 분리하였다. 녹조 *Scenedesmus quadricauda* (AG-10003)는 생명공학연구원, *Chlorella vulgaris* (UTEX-265)는 Texas University에서 각각 분양 받았다. 조류배양 및 계대는 BG-11 배지(Table 1)를 이용하였고, 배양은 25°C, 100 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, handy shaking (1시간마다 3~5회) 조건에서 실시하였다.

3. 조류성장 억제능 조사

각 추출물의 조류 억제능을 조사하기 위하여 250 mL 삼각플라스크에 log phase에 도달한 각 조류배양액을 100 mL씩 넣고 녹차, 상수리나무, 밤나무, 황토, 맥반석, 제올라이트, 그리고 이들을 동일한 비율로 혼합한 추출물(PMC)을 각각 3가지 농도(1, 5, 10 mg L^{-1})로 처리하였다. 조류억제실험은 총 7일 동안 실시하였고 매일 같은 시간에 조류현존량을 분석하였으며 모든 실험은 3회씩 반복 실시하였다. 각 추출물의 조류억제능(algal growth inhibition; AGI, %)은 추출물 처리군과 대조군간의 세포수 차이로써 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{AGI} (\%) = (1 - T/C) \times 100$$

여기서, 각각 C는 대조군의 세포수, T는 처리군의 세포수

4. 자료분석

대조군과 추출물 처리군의 조류성장 차이는 ANOVA와 Tukey's HSD test (SPSS Inc., ver. 12.0.1, 2004 release)에 의하여 분석하였고, 통계학적 유의수준은 0.05이었다.

결 과

1. 조류별 성장특성

단일형 남조 *M. aeruginosa* (SMA)는 상수리나무, 밤나무, 제올라이트 등의 농도에 상관없이 강하게 성장이 억제되었으며 특히 제올라이트 처리군에서는 배양 3일째부터 세포관찰이 어려웠다. 녹차와 황토는 고농도에 의해서만 조류성장이 억제하였을 뿐 저농도에서는 조류성장이 촉진되었다. 흥미롭게도 맥반석은 고농도에서 조류 성장



Fig. 1. Photos of plants and minerals used in this study. a; *Camellia sinensis* (L.) Kuntze, b; *Quercus acutissima* Carruthers, c; *Castanea crenata* Sieb. et Zucc., d; Loess, e; Quartz porphyry, f; natural zeolite.

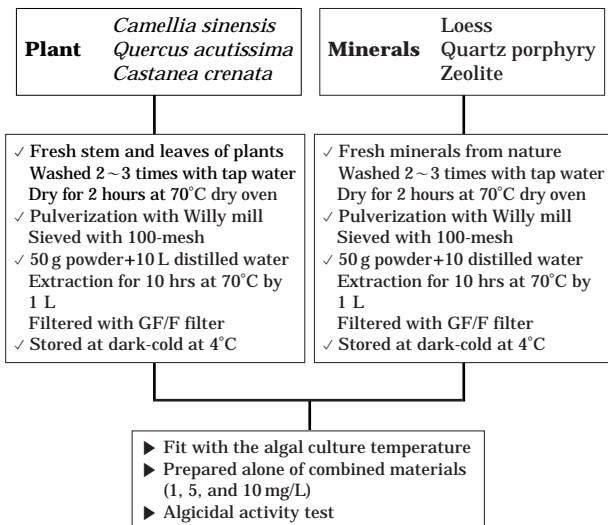


Fig. 2. Schematic extraction steps of alone or combined plants and minerals to control four selected algae.

을 강하게 촉진하였다 (Fig. 3). 균체형 *M. aeruginosa* (CMA)는 SMA와 비슷하게 상수리나무, 밤나무, 제오라이트에 의해 강하게 조류성장이 억제되었다 (Fig. 4). 녹조 *Scenedesmus quadricauda* (SCQ)는 녹차, 상수리나무, 밤나무 등의 낮은 농도에서도 조류성장이 강하게 억제되었으며 맥반석과 제오라이트는 고농도에서는 강한 억제를 보인 반면 저농도에서는 조류성장이 오히려 촉진되었다. 흥미롭게도 황토는 배양 7일째 대조군의 4배까지 조류

Table 1. Chemical composition of BG-11 used for algal culture (Rippka, 1979).

Chemicals	Unit	Contents
NaNO ₃	mg	150
K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O	mg	4
MnSO ₄ · 7H ₂ O	mg	4
CaCl ₂ · 2H ₂ O	mg	7.5
Citric acid	mg	3.6
Ferric ammonium citrate	mg	0.6
Na ₂ EDTA-Mg	mg	0.1
Na ₂ CO ₃	mg	2
*Trace metal mix A ₅ +CO	mg	0.1
Agar	g	1.5
Distilled water	mL	99.9
pH 7.4		

*A₅ solution consisted of H₃BO₃ 286 mg, MnSO₄ · 5H₂O 217 mg, ZnSO₄ · 7H₂O 22.2 mg, CuSO₄ · 5H₂O 7.9 mg, NaMoO₄ · 2H₂O 2.1 mg, Distilled water 100 mL

현존량이 증가하였다 (Fig. 5). 녹조 *Chlorella vulgaris* (CHL)는 모든 추출물의 고농도에서만 성장 억제를 보였을 뿐, 저농도에서는 조류성장이 오히려 촉진되었다. 특히, 녹차는 모든 처리농도에서 높은 조류성장을 보였는데 5 mg L⁻¹에서는 대조군보다 최고 8배까지 조류 현존량이 증가하였다 (Fig. 6).

2. 추출물질 농도별 조류제어능

녹차는 1 mg L⁻¹ 농도에서 단일형 남조 *M. aeruginosa*

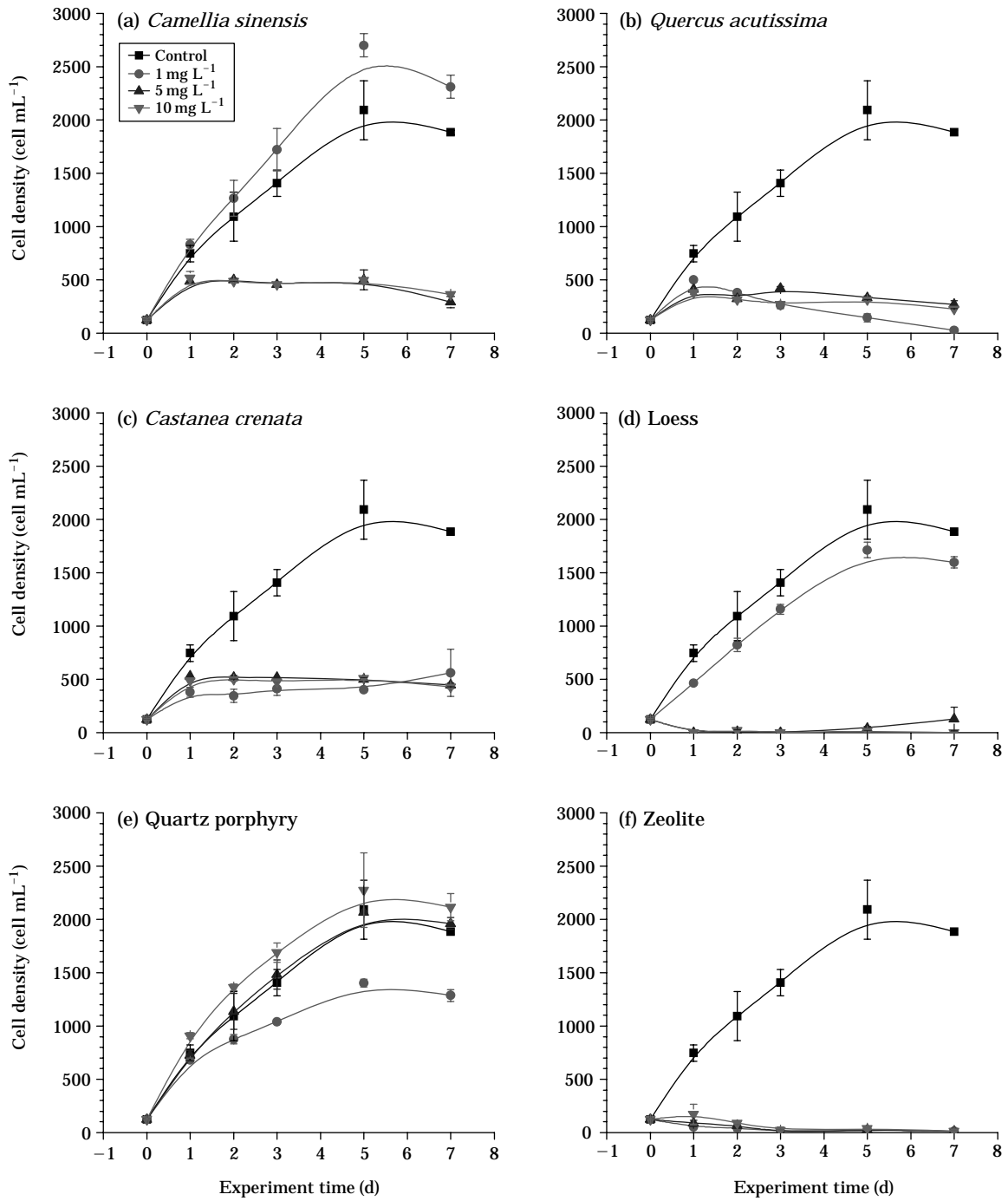


Fig. 3. Growth patterns of solitary cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* NIES-298 in the presence of alone natural plants and mineral extracts with different concentrations (1, 5 and 10 mg L⁻¹).

(SMA), 균체형 남조(CMA), 녹조 *Scenedesmus quadricauda* (SCQ)에 대하여 낮은 억제능을 보였으며 녹조 *Chlorella vulgaris* (CHL)는 뚜렷한 성장을 유도하였다. 또한 5, 10 mg L⁻¹ 농도에서는 전자들에 대하여 중정도

억제를 보인 반면 5 mg L⁻¹에서는 대조군보다 4배 이상의 녹조 *C. vulgaris* (CHL) 성장을 촉진하였다(ANOVA, P=0.0002, Table 2). 상수리나무는 균체형과 단일형 남조 *M. aeruginosa*에 대해서는 농도에 상관없이 60% 이상의

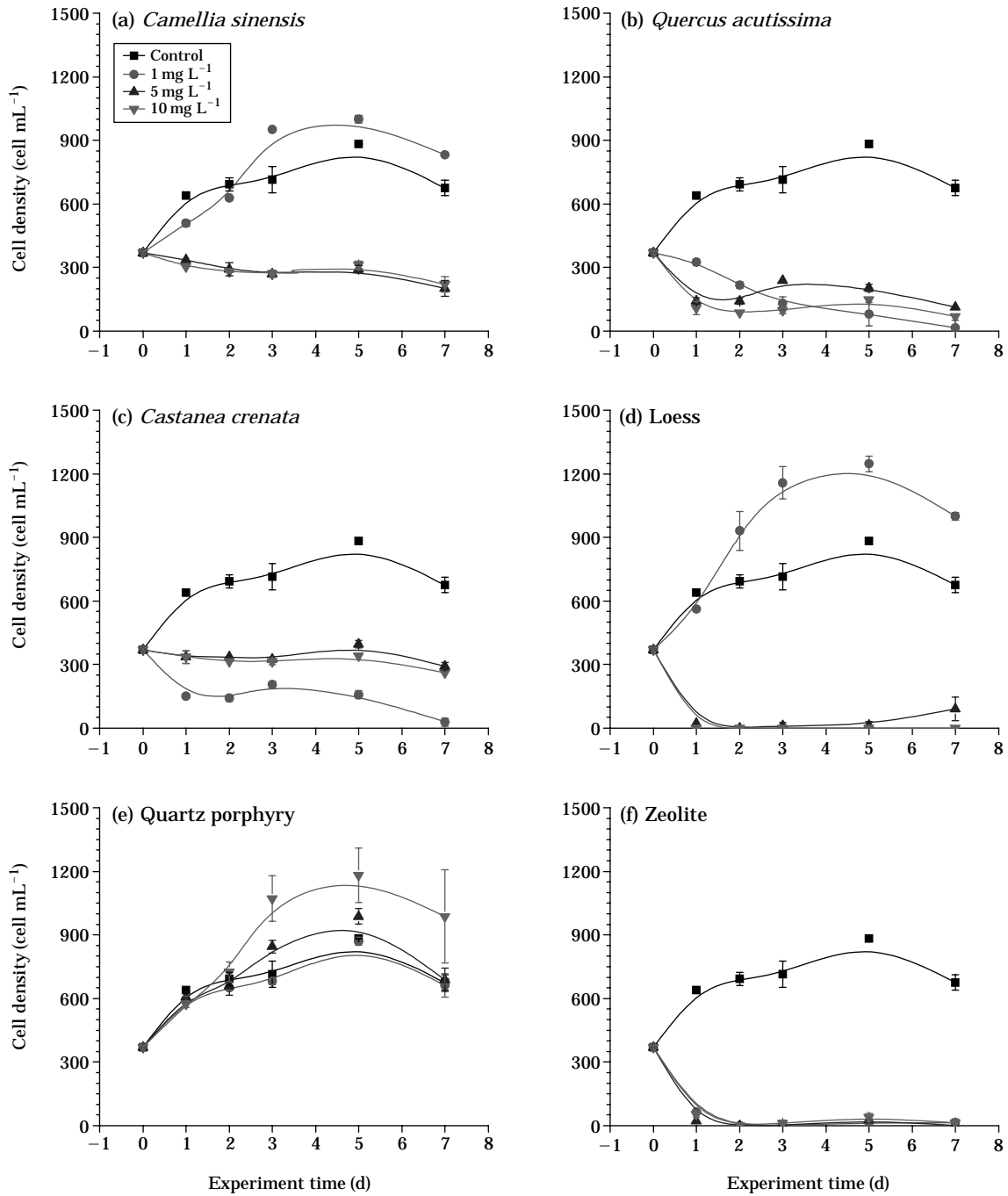


Fig. 4. Growth patterns of colonial cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* KUES-008 in the presence of alone natural plants and mineral extracts with different concentrations (1, 5 and 10 mg L⁻¹).

높은 억제능을 보인 반면, 녹조 *S. quadricauda*, *C. vulgaris*에 대해서는 50% 이하의 억제능을 보였다(ANOVA, P=0.0002, Table 2). 밤나무는 1 mg L⁻¹ 농도에서 단일형과 군체형 남조 *M. aeruginosa*에 대하여 각각 57%, 68%의 억제능을 보인 반면 녹조 *S. quadricauda*, *C. vulgaris*

에 대해서는 농도에 상관없이 낮은 억제능을 보이거나 오히려 성장을 촉진하였다(Table 2). 황토는 1 mg L⁻¹ 농도에서는 단일형과 군체형 남조 *M. aeruginosa*에 대하여 낮은 억제능을 보인 반면, 5 mg L⁻¹와 10 mg L⁻¹에서는 80% 이상의 높은 억제능을 나타냈다. 한편 녹조 *S. quadricau-*

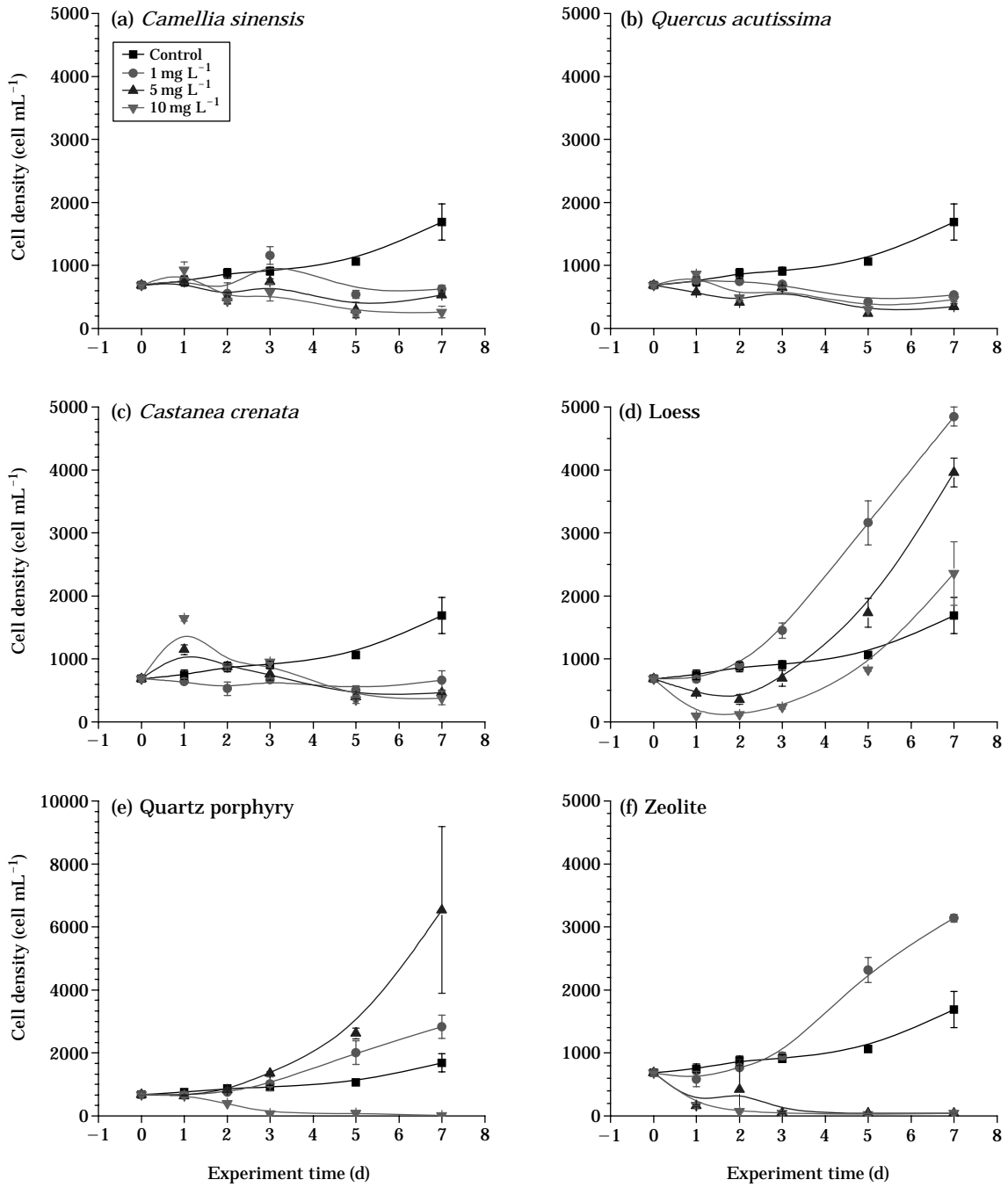


Fig. 5. Growth patterns of green alga *Scenedesmus quadricauda* AG-10003 in the presence of alone natural plants and mineral extracts with different concentrations (1, 5 and 10 mg L⁻¹).

da는 1 mg L⁻¹ 처리군에서 높은 조류성장을 보였으며 *C. vulgaris*는 고농도에서도 매우 낮은 억제능을 보였다 (Table 2). 맥반석은 처리농도와 조류종류에 상관없이 낮은 남조류 억제력을 보였으며, 10 mg L⁻¹에서도 녹조 *S. quadricauda*, *C. vulgaris*에 대하여 낮은 억제능을 나타

냈다 (Table 2). 제오라이트는 단일형과 군체형 남조 *M. aeruginosa*에 대하여 농도에 상관없이 80% 이상의 높은 억제능을 보였으며, 5 mg L⁻¹ 이상에서는 녹조 *S. quadricauda*, *C. vulgaris*에 대하여 65% 이상의 억제능을 보였다 (Table 2). 혼합물 (PMC)은 1 mg L⁻¹에서는 녹조 *S.*

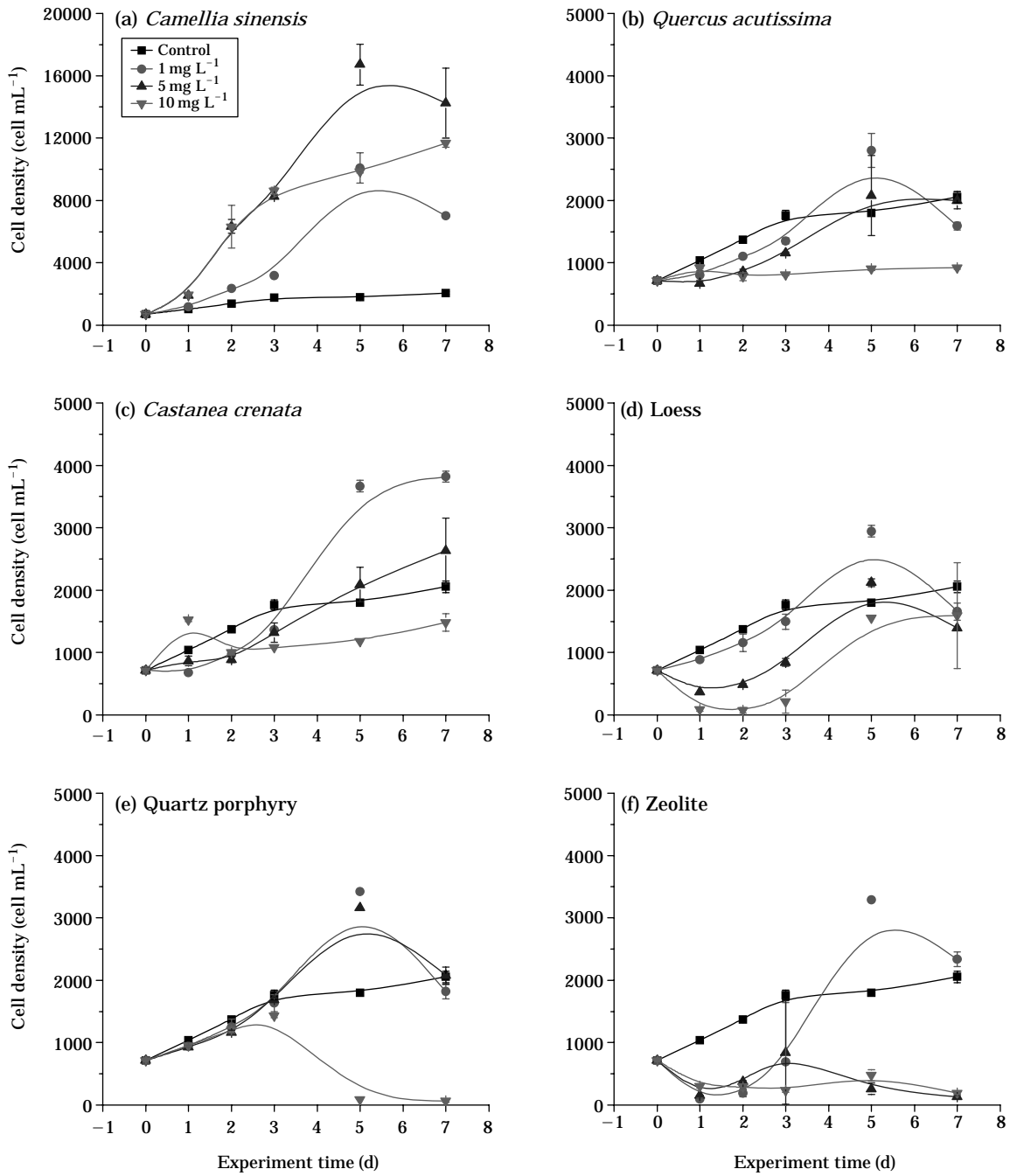


Fig. 6. Growth patterns of green alga *Chlorella vulgaris* UTEX-265 in the presence of alone natural plants and mineral extracts with different concentrations (1, 5 and 10 mg L⁻¹).

*quadricauda*의 114% 성장을 유도하였고 *C. vulgaris*에 대해서는 매우 낮은 억제능을 보였다. 10 mg L⁻¹ 농도는 단일형과 군체형 남조 *M. aeruginosa*에 대하여 75% 이상의 성장 억제를 보였다(Fig. 7, Table 2).

고 찰

남조 *Microcystis aeruginosa*의 성장 억제에 가장 효과적인 식물로는 상수리나무와 밤나무였으며 이들은 1 mg L⁻¹ 농도에서도 뚜렷한 억제능을 나타냈다. 오래 전부터

Table 2. ANOVA on the algal growth inhibition (%) of alone and combined (PMC) of plant and mineral with three different exposure concentrations (1, 5, 10 mg L⁻¹) on four selected algal strains used in this study.

Symbol	Conc. (mg L ⁻¹)	SMA	CMA	SCQ	CHL	F	P
CS	1	-17.0±4.2 ab	-6.7±8.3 ab	19.5±14.4 b	-145.3±72.3 a	3.9183	0.0237
	5	52.9±12.8 b	50.6±10.7 b	34.1±13.2 b	-372.7±126.7 a	10.6436	0.0002
	10	51.8±12.7 b	51.0±10.4 b	37.5±17.6 b	-292.0±81.0 a	16.0805	0.0000
QA	1	62.0±15.7 b	64.7±14.7 b	27.5±12.3 ab	5.4±12.8 a	4.1934	0.0187
	5	59.2±13.3	64.1±13.0	43.7±13.0	15.6±9.3	3.1711	0.0467
	10	62.4±13.7	71.7±14.4	33.6±15.0	35.6±9.7	2.0528	0.1388
CC	1	56.5±12.01 b	67.5±13.9 b	32.4±9.5 ab	-17.3±25.2 a	5.356	0.0072
	5	49.5±12.2	44.2±9.0	16.3±18.9	5.5±10.0	2.6503	0.0767
	10	51.4±12.1	46.8±9.6	3.1±28.8	13.5±13.3	1.8535	0.1700
LO	1	18.9±5.0 b	-29.0±11.8 ab	-73.3±39.0 a	0.2±13.1 b	3.4736	0.0353
	5	81.71±16.4 b	80.0±16.1 b	-12.6±29.9 a	32.6±14.2 ab	4.969	0.0098
	10	82.9±16.6	83.3±16.7	38.3±21.4	51.6±18.00	1.5414	0.2347
QP	1	19.9±5.4	3.5±1.1	-24.1±17.9	-8.9±16.4	2.2468	0.1142
	5	-1.6±1.4	-3.7±3.8	-77.5±48.6	-7.9±13.8	2.0901	0.1337
	10	-14.6±3.8 ab	-20.8±10.5 a	58.0±17.8 c	38.7±18.3 bc	7.8431	0.0012
NZ	1	81.0±16.2 b	81.1±16.3 b	-29.2±23.8 a	23.4±27.7 ab	6.0294	0.0043
	5	80.1±16.1	82.3±16.5	69.6±15.6	64.9±14.3	0.284	0.8364
	10	77.5±15.9	80.6±16.2	76.5±15.6	66.7±13.7	0.1532	0.9264
PM	1	13.7±3.3 b	-11.6±5.1 ab	-114.1±59.1 a	-4.8±17.3 ab	3.472	0.0354
	5	-2.3±2.8	-40.4±13.6	-8.4±13.5	5.7±13.7	2.8969	0.0605
	10	80.8±16.2 b	75.1±16.0 b	51.2±15.6 ab	5.5±14.3 a	4.8639	0.0106

CS (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), QA (*Quercus acutissima* Carruthers), CC (*Castanea crenata* Sieb. et Zucc), LO (Loess), QP (Quartz porphyry), and NZ (natural zeolite)

SMA (solitary *Microcystis aeruginosa* NIES-298), CMA (colonial *Microcystis aeruginosa* KUES-008), SCQ (*Scenedesmus quadricauda* AG-10003), and CHL (*Chlorella vulgaris* UTEX-265), Alphabets (a, b and c) are significant differences by ANOVA and Tukey's HSD test in each line.

고등식물 또는 수생식물의 줄기나 잎이 조류성장을 억제하는 배타성 물질 (allelochemicals)을 가지고 있으며 (Rice, 1984; Barrett *et al.*, 1996), 주로 탄닌이나 페놀류 화합물이 관여하는 것으로 알려져 왔다 (Hussein-Ayoub and Yankov, 1985; Pillinger *et al.*, 1994; Nakai *et al.*, 2000, 2001; Ball *et al.*, 2001). 실험에 사용된 상수리나무가 남조 *M. aeruginosa*를 효과적으로 억제한다는 사실은 이미 알려져 있으나 (Park *et al.*, 2006), 밤나무의 남조제어능은 이번 연구에서 새롭게 밝혀졌다. 밤나무는 탄닌을 비롯하여 불포화지방산 (oleic acid, linoleic acid) 함유량이 높고 항균활성을 가지고 있다 (최 등, 1997; 조와 김, 2003). 그러나 화학적 용매와 많은 추출시간을 거쳐 특정 성분만을 추출하는 선행연구들에 비하면 그 효과나 경제성은 뛰어나지만 저농도에서 다른 조류의 성장을 촉진할 수 있으므로 남조 *M. aeruginosa* 발생 수역에만 제한적으로 적용하여야 할 것으로 사료되었다.

녹차는 남조 *M. aeruginosa*에 대하여 고농도에서도 조류억제능이 낮은 반면, 녹조 *Chlorella vulgaris*에 대해서

는 뚜렷하게 높은 성장을 유도하였다. 녹차는 주로 카페인, 탄닌, 비타민, 아미노산, 단백질, 섬유질과 다양한 미네랄을 포함하고 있으며, 카페인과 탄닌으로 이루어진 폴리페놀은 섬유질, 리그닌, 카테킨을 포함하고 있어 항균효과가 높다 (김 등, 1983; 성, 2006). 본 연구에서 녹조 *Chlorella vulgaris*에 대해서 처리농도에 상관없이 높은 성장을 유도하였는데 이는 녹차가 조류 대량배양이나 새로운 성장인자로서 이용가능성이 높을 것으로 판단된다. 다만 녹차추출물은 다른 식물과 다르게 여러 단계의 제조과정을 거쳐야 하기 때문에 대량화 하는 데 시간이 소요되므로 차나무 자체를 이용할 수 있는 기술개발이 필요하다 하겠다.

밤나무, 녹차와 함께 높은 남조류 억제를 보였던 제오라이트는 높은 흡착능을 이용한 조류제어는 물론 냄새, 미립물질이나 독성물질을 제거하는 흡착제 또는 크기가 다른 미립물질을 분리시키는데 분자체로 사용되어 왔다 (나 등, 1998; 김과 강, 2000; 최 등, 2001; 윤 등, 2003). 본 연구에서는 단일형과 군체형 남조 *M. aeruginosa*에 대해

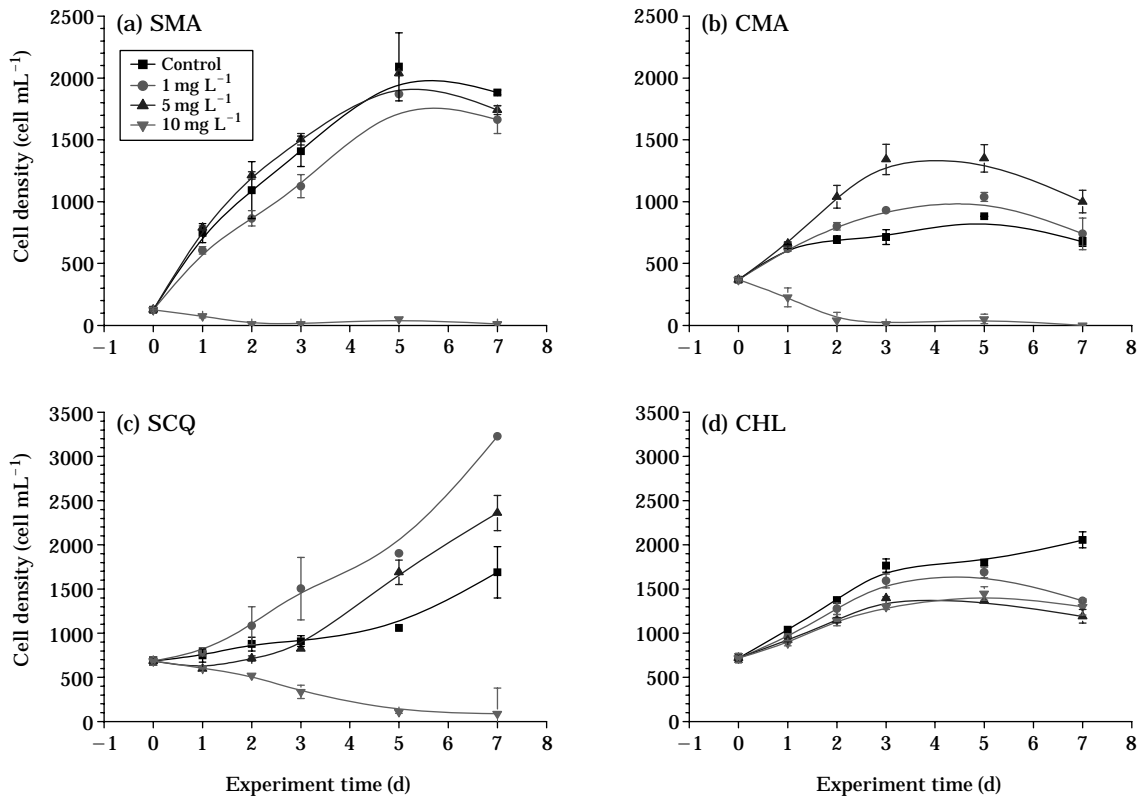


Fig. 7. Growth patterns of four selected algae (*Microcystis aeruginosa* NIES-298, *M. aeruginosa* KUES-008, *Scenedesmus quadricauda* AG-10003 and *Chlorella vulgaris* UTEX-265) in the presence of combined natural plants and mineral extracts with different concentrations (1, 5 and 10 mg L⁻¹).

여 80% 이상의 높은 조류억제능을 보였는데 이처럼 남조류에만 특이성을 보인 것은 새로운 결과이다. 특히 처리 대상에 따라 입자의 크기나 성상을 다양하게 제조할 수 있는 장점이 있으나 황토나 맥반석에 비해 가격이 비싸고 처리 후 퇴적층에서의 생태학적 역할이 분명하게 규명되지 않았기 때문에 국지적인 조류 및 악취발생에 제한적으로 이용할 필요가 있다.

황토는 주로 석영, 휘석 및 각섬석 등을 함유하며 0.002 ~ 0.005 mm 크기의 작은 입자로 이루어진 황갈색 석회질이다. 이들 역시 제오라이트와 비슷하게 미립물질 및 독성물질을 흡착하는 기능을 갖고 있어 적조방제나 유기물 침전에 사용되고 있다(최 등, 1998; 김, 2000; 석과 전, 2009). 우리나라에서 황토는 다른 어느 나라와도 구별될 만큼 적조방제에 빈번하게 사용하여 온 대표적인 천연응집제이다. 비록 담수역의 남조발생에 사용한 사례는 그다지 많지 않으나 최근 상수원 저수지의 조류 및 냄새발생을 억제하기 위하여 사용횟수가 점차 증가하고 있다 (http://www.kwater.or.kr/KwaterUser/Board/List.aspx?brd_id=KO26). 본 연구에서는 고농도에서만 남조류 성장

억제효과를 보였으며 저농도에서는 녹조 *Scenedesmus quadricauda*를 크게 성장시켜 녹차와 함께 조류 대량배양 및 성장촉진인자로 활용성이 기대되었다. 황토 살포 이후 다양한 수중생물 및 저서생태계에 악영향을 주지만(박 등, 2006), CaO와 같은 첨가제를 이용하면 황토의 처리량을 감소할 수 있을 것으로 판단된다(박 등, 2007). 따라서 황토 사용시 대상저수지의 수질과 플랑크톤 구성 등을 반드시 고려하여야 할 것으로 사료되었다.

맥반석은 주로 무수규산, 산화알루미늄, 산화제2철 등이 함유된 약석 (health stone)으로 1 cm²당 3~15만 개의 공극을 가지고 있어 흡착성이 강하기 때문에 수체내 유독성 물질이나 부유물질 등을 쉽게 흡착할 수 있으며, 중금속을 제거하는 정화제로 사용하고 있다(황 등, 1996a, b; 전 등, 2001; 박, 2003; 강 등, 2005). 본 연구에서는 고농도에서만 녹조 *Scenedesmus quadricauda* 억제효과를 보였을 뿐 단일형과 군체형 남조 *M. aeruginosa*, 녹조 *C. vulgaris* 등에 대해서는 뚜렷한 효과를 보이지 않았다. 저농도에서는 단일형 남조 *M. aeruginosa*에 대하여 약간의 억제능을 보였으나 군체형 남조 *M. aeruginosa*, 녹조 *C.*

*vulgaris*에 대해서는 오히려 성장을 촉진하였다. 특히 녹조 *S. quadricauda*의 경우 $1, 5 \text{ mg L}^{-1}$ 에서 강한 성장 촉진효과는 황토, 녹차와 비슷하게 녹조류 대량화에 도움이 될 것으로 판단되었다.

한편, 앞의 6가지 추출물질을 동일한 비율로 혼합한 혼합물(PMC)을 배양조류에 처리한 결과, 조류종 및 처리농도에 따라 차이를 보였다. 단일형과 균체형 남조 *M. aeruginosa*, 녹조 *S. quadricauda*는 모두 10 mg L^{-1} 농도에서만 억제능을 보였으나, 녹조 *C. vulgaris*에서는 억제효과가 크지 않았으며, $1, 5 \text{ mg L}^{-1}$ 등의 농도와도 유의한 차이를 보이지 않았다. 녹조 SCQ는 저농도($1, 5 \text{ mg L}^{-1}$)에서 시간의 경과에 따라 높은 성장을 보였다. 결국 6가지 물질의 혼합물은 오히려 조류억제능이 감소하므로 (antagonistic effect), 현장 적용에는 적합하지 않을 것으로 판단되었다.

결론적으로 국내에서 흔히 분포하는 상수리나무와 밤나무는 남조 *Microcystis*를 효과적으로 제어할 수 있는 물질로 확인되었으며, 복잡한 추출과정(용매, 시간, 농도 등)을 거치지 않는 단순추출로도 대상조류와 처리농도를 잘 조절한다면 현장의 효과적인 조류제어가 가능하다고 판단되었다. 또한 녹차와 황토는 농도에 따라 특정조류(녹조 *Chlorella*, *Scenedesmus* 등)의 활발한 성장을 유도하여 이들의 대량배양이나 배지로 활용가능성이 높았다.

적 요

국내에서 널리 분포하여 쉽게 구할 수 있는 천연재료인 상수리나무, 밤나무, 녹차, 황토, 맥반석, 제올라이트와 혼합물 등 7가지 물질의 남조와 녹조류 성장 억제능을 파악하기 위하여, 단순 추출법을 이용하여 얻은 각 물질을 농도별($1, 5, 10 \text{ mg L}^{-1}$)로 배양조류에 처리하고 각 조류의 성장 특성을 조사하였다. 분리형 남조 *Microcystis aeruginosa*, 균체형 *M. aeruginosa* 등은 저농도의 상수리나무, 밤나무, 제올라이트에 의해서 60% 이상의 높은 조류억제능을 보였으며, 녹조 *Scenedesmus quadricauda*는 녹차, 상수리나무에서 50% 이하의 억제능을 보였으며, 제올라이트에서는 65% 이상 성장이 억제되었다. 녹차를 포함한 대부분의 물질에서 낮은 농도인 1 mg L^{-1} 에서 녹조 *Chlorella vulgaris*의 성장을 촉진하였으며, 황토는 *S. quadricauda* 성장을 촉진하였다. 따라서 부영양호수에서 흔히 발생하는 남조발생 억제에는 상수리나무, 밤나무, 제올라이트가 적합할 것으로 판단되었으며, 녹차, 황토나 맥반석 등은 녹조류 대량배양이나 배지로서 이용 가능성

이 높다고 사료되었다.

사 사

본 연구는 2009년도 한강수계 기초조사사업 “상수원 호소내 다원적 수환경 개선기법 개발”의 일환으로 수행되었음.

인 용 문 헌

- 감상규, 홍정연, 허철구, 이민규. 2003. 황토로부터 합성한 제올라이트에 의한 Cd(II) 및 Cu(II) 흡착특성. 한국환경과학회지 **12**: 817-824.
- 강태형, 이정치, 원영호, 오석일, 이정길, 이채용. 2005. *Microsporum canis*에 대한 5가지 항진균제와 맥반석 가루의 항진균 효과. 대한임상수의학회지 **22**: 371-376.
- 김명배. 1983. 한국의 차. 탐구당. 서울.
- 김성재. 2000. 적조생물의 구제 2. 황토에 의한 적조생물의 응집제거. 한국산학회지 **33**: 455-462.
- 김원기, 강선홍. 2000. 황토를 이용한 수중의 인 제거에 관한 기초연구. 한국물환경학회지 **16**: 703-709.
- 나기환, 남정배, 박경대, 이진에. 1998. 황토 현탁액에 의한 남조류 *Microcystis* sp.의 제거실험. 한국물환경학회지 **14**(4): 399-404.
- 박종범. 2003. 아기장대의 종자발아에 미치는 맥반석과 녹차의 중금속 제거효과. 한국환경과학회지 **12**: 1303-1308.
- 박치현, 이병호. 2006. 적조방제용 황토살포가 연안 저서생태계에 미치는 영향. 한국환경과학회지 **15**: 1035-1043.
- 박치현, 이병호. 2007. 적조방제용 황토살포의 양을 줄일 수 있는 첨가제에 대한 연구. 한국환경과학회지 **16**: 745-750.
- 석종혁, 전세진. 2009. 과산화수소와 황토를 이용한 적조생물의 제어. 상수도학회지 **23**: 491-497.
- 성기친. 2006. 녹차 추출물의 약리적 특성 및 분석. 한국유화학회지 **23**: 115-124.
- 윤종섭, 김승현, 윤조희. 2003. 황토살포에 의한 적조생물 제거. 대한환경공학회지 **25**: 358-363.
- 전철학, 윤성일, 김은숙, 석미수, 이성택. 2001. 맥반석을 이용한 중금속과 악취물질/nitrophenol의 제거. 폐기물자원화 **9**: 45-51.
- 조규성, 김혜영. 2003. 밤나무 꽃과 잎의 화학성분 및 항균활성 검색 - 제2보. 항균활성 검색. 한국농화학회지 **46**: 262-267.
- 최옥범, 류경수, 박근형. 1997. 밤나무 잎을 이용한 밤잎차의 제조 및 이들의 화학성분. 한국차학회지 **3**: 105-115.
- 최정환, 이홍재, 김원주, 박현진, 조주식, 허중수. 2001. 황성탄과 제올라이트를 이용한 상수원수중 이취미물질(2-MIB, Geosmin)의 흡착제거. 한국환경농학회지 **20**: 244-251.

- 최희구, 김평중, 이원찬, 윤성중, 김학균, 이홍재. 1998. 황토의 유해성 적조생물 *Cochlodinium*종의 제거효과. 한국수산학회지 **31**: 109-113.
- 황진봉, 양미옥, 구민선. 1996a. 노화도산 맥반석의 미네랄 용출 및 중금속 제거 효과 (1). 분석과학 **9**: 210-219.
- 황진봉, 양미옥, 김민아, 박성훈. 1996b. 한국산 맥반석의 미네랄 용출 및 중금속 제거 효과. 분석과학 **9**: 310-319.
- Ball, A.S., M. Williams, D. Vincent and J. Robinson. 2001. Algal growth control by a barley extract. *Biores. Technol.* **77**: 177-181.
- Barrett, P.R.F., J.C. Curnow and J.W. Littlejohn. 1996. The control of diatom and cyanobacterial blooms in reservoirs using barley straw. *Hydrobiologia* **340**: 307-311.
- Hussein-Ayoub, S.M. and L.K. Yankov. 1985. Algicidal properties of tannins. *Fitoterapia* **56**: 227-229.
- Inderjit Dakshini, K.M.M. and F.A. Einhellig. 1995. ACS Symposium Series. American Chemical Society, Washington, DC.
- Nakai, S., Y. Inoue, M. Hosomi and A. Murakami. 2000. Myriophyllum spicatum-released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae *Microcystis aeruginosa*. *Wat. Res.* **34**: 3026-3032.
- Nakai, S., Y. Inoue and M. Hosomi. 2001. Algal growth inhibition effects and inducement modes by plant-producing phenols. *Wat. Res.* **35**: 1855-1859.
- Park, M.H., S.J. Hwang, C.Y. Ahn, B.H. Kim and H.M. Oh. 2006. Screening of seventeen oak extracts for the growth inhibition of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* Kutz. Em. Elenkin. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **77**: 9-14.
- Park, M.H., I.M. Chung, A. Ahmad, B.H. Kim and S.J. Hwang. 2009. Growth inhibition of unicellular and colonial *Microcystis* strains (*Cyanophyceae*) by compounds isolated from rice (*Oryza sativa*) hulls. *Aquat. Bot.* **90**: 309-314.
- Pillinger, J.M., J.A. Cooper and I. Ridge. 1994. Role of phenolic compounds in the antialgal activity of barley straw. *J. Chem. Ecol.* **20**: 1557-1569.
- Rice, E.L. 1984. Allelopathy. 2nd ed. Academic Press Inc., Orlando, Florida.
- Rippka, R.J., J.B. Waterbury, M. Herdman and R.Y. Stanier. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* **111**: 1-61.

(Manuscript received 6 April 2010,
Revision accepted 28 May 2010)