

포식성 천적생물을 이용한 친환경 유해조류 제어기술 개발

김 석 · 이창수¹ · 보티타오² · 한상일 · 최윤이*

고려대학교 환경생태공학부, ¹전북대학교 생물공정공학과, ²전북대학교 생리활성소재과학과

Eco-friendly Control of Harmful Algal Bloom Species Using Biological Predators

Sok Kim, Changsu Lee¹, Thi-Thao Vo², Sang-Il Han and Yoon-E Choi*

Division of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

¹Department of Bioprocess Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

²Department of Bioactive Material Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

Abstract - This study presents the potentiality of harmful algal bloom (HAB) control through the zooplankton, *Daphnia magna*. In case of co-cultivated *D. magna* with cyanobacteriums (*Microcystis aeruginosa*, *Anabaena variabilis*, and *Limnothrix planctonica*), the *D. magna* showed the 80.2±4.2%, 39.7±4.0%, and 25.9±10.9% of control efficiency for *M. aeruginosa*, *A. variabilis* and *L. planctonica*, respectively. Furthermore, algal control was investigated by using supernatant including metabolite/secretion of *D. magna*. The algal control efficiencies of supernatant were recorded as 24.9±9.9% and 8.9±4.0% for *M. aeruginosa* and *A. variabilis*, respectively. From the results of present study, it may be possible to provide a feasible way for development of eco-friendly HAB control methods.

Key words : algal control, zooplankton, harmful algal bloom (HAB), *Daphnia magna*

서 론

최근 기후변화에 의한 수온상승과 과도한 영양염류의 유입으로 인한 부영양화로 대규모 유해조류 발생 (Harmful algal blooms, HAB)의 빈도와 정도가 증가하고 있다(Paerl *et al.* 2001; Paerl and Huisman 2009). 이러한 HAB는 대부분 *Microcystis* sp., *Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp. 등과 같은 남조류(cyanobacteria)에 의해서 발생한다. 일반적으로 남조류는 불리한 성장환경에서 휴면포자(akinetes)를 형성하며 성장환경이 개선되면 발아하는 특성을 가지고 있으며 영

양염류, 수온, 광량, pH 등의 환경인자에 영향을 받는다(van Dok and Hart 1997; Ståhl-Delbanco *et al.* 2003; Park *et al.* 2014). 이러한 남조류들은 마이크로시스틴(microcystins)이나 아나톡신-a(anatoxin-a) 등의 조류독성물질을 분비하거나 식수의 이취미를 발생시키는 등 직접적인 환경문제를 발생시킨다(Watson *et al.* 2008; Li and Pan 2015). 유해조류 발생 시 상수도공급을 위한 정수처리 과정에서 여과지 폐쇄와 같은 장애를 유발할 수 있고, 조류독성물질의 처리를 위한 상수도 고도처리가 필수적임에 따라 정수처리 비용을 증가시켜 경제적인 부담을 가중시킨다(Steffensen 2008). 따라서 유해조류 발생은 반드시 예방 및 처리되어야 한다.

유해조류의 발생 억제 및 제거를 위하여 과산화수소(hydrogen peroxide), 오존처리(ozone), UV처리(UV irradiation),

* Corresponding author: Yoon-E Choi, Tel. 02-3290-3042, Fax. 02-3290-3040, E-mail. yechoi@Korea.ac.kr

초음파처리 (ultrasonication), 상호대립억제작용물질 (alleochemicals), 여과 (filtration) 등의 물리, 화학적 처리방법이 개발되어왔다 (Guan *et al.* 2014; Su *et al.* 2016). 그러나 이러한 물리, 화학적 처리방법은 화학물질의 직접적인 사용으로 인한 환경 영향성과 2차 부산물의 생성, 고가의 시설투자비용과 운전비용 등의 문제점이 있다 (Guan *et al.* 2014). 따라서 보다 친환경적이며 지속이 가능한 생물학적 유해조류 처리방법이 주목을 받고 있다.

식물 (plants), 원생동물 (protozoa), 미세조류 (microalgae)와 미생물 (microorganism) 등 다양한 생물자원이 생물학적 유해조류 처리를 위한 연구에 사용되었다. El Ella (El Ella *et al.* 2007)와 Zhou (Zhou 2010)는 쌀 짚과 보리 짚을 사용한 조류발생 억제효과를 보고한 바 있다. *Pedobacter*나 *Pseudomonas* 종의 미생물은 유해조류인 *M. aeruginosa*에 대한 살조효과가 있다고 보고되었다 (Yang *et al.* 2012; Zhou *et al.* 2016). 또한, 일부 대형식물추출물의 유해조류의 성장 억제효과 역시 보고되었다 (Yang *et al.* 2009).

동물플랑크톤 (e.g. *Daphnia* sp.)을 이용한 유해조류 (남조류) 억제의 경우, 동물플랑크톤이 섭취하기 어려운 남조류의 군체 특성, 필수 영양소의 부족 및 동물플랑크톤의 성장 및 활동을 저해할 수 있는 2차 대사산물의 생성으로 인하여 적용이 어렵다고 알려져 있지만, 최근, 남조류 섭생에 대한 *Daphnia*의 적응성이 보고되고 있다 (Sarnelle 2007; Sarnelle *et al.* 2010). 따라서 본 연구에서는 동물플랑크톤인 *D. magna*의 섭식활동을 통해 유해조류인 *M. aeruginosa*, *A. variabilis*, *L. planctonica*의 발생 억제효과를 평가하였다. 또한, *D. magna*의 2차 대사산물에 의한 유해조류 억제효과를 평가하였다.

재료 및 방법

1. 재료

NaNO_3 , Citric Acid· H_2O , $\text{Na}_2\text{SiO}_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 는 Fisher Scientific Korea Ltd.에서 구매하였다. K_2HPO_4 , $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Ferric Ammonium Citrate, $\text{Na}_2\text{EDTA}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KCl, NaHCO_3 , LiCl, RbCl, $\text{SrCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaBr, ZnCl_2 , $\text{CoCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Na_2SeO_3 , NH_4VO_3 , Cyanocobalamine, Biotin, Thiamine hydrochloride, $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 는 Sigma-Aldrich Inc. (USA)에서 구매하였다. Na_2CO_3 , H_3BO_3 , $\text{MnCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{MoO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 는 JT Baker Chemical Co. (USA)에서 구매하였다. $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 는 MCiB Manufacturing Chemists Inc. (USA)에서 구매하였다. $\text{Co}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 는 Mallinckroft Inc. (USA)에서 구매하였다. KH_2PO_4 , $\text{CuCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 는 Samchun Chemical Co. (Korea)에서 구매하였다. KI는 Dae-

jung Chemical Co. (Korea)에서 구매하였다. *M. aeruginosa*는 한국생명공학연구원으로부터 제공받았다. *A. variabilis*와 *L. planctonica*는 전라북도 전주에 위치한 덕진호수에서 채취하였다. 동물플랑크톤 *D. magna*는 UMS-Carolina Biological Supply Company로부터 구매하였다.

2. 균주의 채취 및 분리

호수에서 채취한 시료로부터 미세조류를 분리하기 위하여 다음과 같은 방법으로 균주를 분리하였다. 10 mL의 시료를 원심분리기 (Combi-514R, HaniL, Korea)를 이용하여 2,000 rpm, 4°C 조건에서 15분간 원심분리하고 상층액을 제거한 뒤 증류수를 사용하여 3회 세척하였다. 분리된 시료를 BG-11 고체배지에 접종한 후 스프레더를 이용해 고르게 도포하여 25°C, $50\ \mu\text{mol s}^{-2}\ \text{m}^{-1}$ 백색광에서 3일간 배양하였다. 플레이트 상에 발현된 콜로니를 백금루프로 채취하여 12 well cell culture plate에 액체 BG-11 배지 4 mL와 함께 접종하고 25°C, $50\ \mu\text{mol s}^{-2}\ \text{m}^{-1}$ 백색광에서 7일간 배양하였다. 그 후 광학현미경을 이용하여 성장한 조류의 외형을 관찰하였고, 단일종으로 여겨지는 샘플을 BG-11 100 mL에 접종한 후 25°C, $50\ \mu\text{mol s}^{-2}\ \text{m}^{-1}$ 백색광 하에서 배양하였다. 이때, 1 vvm의 공기를 0.20 μm syringe filter로 여과하면서 공급해 주었다. *D. Magna*의 경우, M4 배지에서 25°C, $20\ \mu\text{mol s}^{-2}\ \text{m}^{-1}$ 백색광 및 1 vvm의 공기 공급 하에서 배양을 진행했으며 이를마다 *Chlorella vulgaris*를 공급해 주었다. 사용한 BG11 배지와 M4 배지의 조성은 Table 1과 같다.

3. 동물플랑크톤을 사용한 유해조류 제어

동물플랑크톤을 이용한 유해조류 제어는 살아 있는 동물플랑크톤 (*D. magna*)을 유해조류에 접종한 후 세포 수 및 엽록소의 변화를 측정하는 방법으로 진행했다. 먼저 250 mL 삼각플라스크에 0.05 $\text{g}_{\text{dry}}\ \text{L}^{-1}$ 의 유해조류를 가지는 BG11 배지 20 mL와 80 mL의 M4 배지를 혼합시켰다. 이후 한 쪽 그룹에만 *D. magna* 15개체를 넣어준 후 실험군과 대조군 모두 23°C, $20\ \mu\text{mol s}^{-2}\ \text{m}^{-1}$ 백색광 및 1 vvm 공기 공급 하에서 배양하였다. 2일과 6일 후 hemacytometer를 이용하여 *M. aeruginosa*의 세포 수를 측정하고, *A. variabilis*와 *L. planctonia*는 80% 아세톤과 비드 비터 (Minibeadbeater-16, Biospec products, USA)를 이용하여 엽록소를 추출하고 분광광도계 (Genesys 10S UV-Vis, Thermo scientific, Germany)를 이용하여 다음의 식 (1)과 같이 계산하였다:

$$\text{Total chlorophyll content} = 7.18 \times A_{663} + 17.32 \times A_{646} \quad (1)$$

여기서 A_{663} 과 A_{646} 은 각각 663, 646 nm에서의 흡광도이다.

Table 1. Contents of BG-11 and M4 medias for cultivation of microalgae and *D. magna*

Component	Concentration (mg L ⁻¹)	
	BG-11 medium	M4 medium
NaNO ₃	1500	0.274
K ₂ HPO ₄	40	0.184
MgSO ₄ ·7H ₂ O	75	123.3
CaCl ₂ ·2H ₂ O	36	293.8
Citric Acid·H ₂ O	6	—
Ferric Ammonium Citrate	6	—
Na ₂ EDTA·2H ₂ O	1	2.5
Na ₂ CO ₃	20	—
H ₃ BO ₃	2.86	2.8595
MnCl ₂ ·4H ₂ O	1.81	0.3605
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22	—
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.39	0.063
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.079	—
Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	0.0494	—
KCl	—	5.8
NaHCO ₃	—	64.8
Na ₂ SiO ₃ ·9H ₂ O	—	10
KH ₂ PO ₄	—	0.143
LiCl	—	0.306
RbCl	—	0.071
SrCl ₂ ·6H ₂ O	—	0.152
NaBr	—	0.016
CuCl ₂ ·2H ₂ O	—	0.01675
ZnCl ₂	—	0.013
CoCl ₂ ·6H ₂ O	—	0.01
KI	—	0.00325
Na ₂ SeO ₃	—	0.00219
NH ₄ VO ₃	—	0.000575
Cyanocobalamin	—	0.001
Biotin	—	0.00075
Thiamine hydrochloride	—	0.075
FeSO ₄ ·7H ₂ O	—	0.9955

4. 동물플랑크톤 대사산물/분비물의 유해조류 제어 평가

동물플랑크톤의 대사산물/분비물의 유해조류 제어 평가는 유해조류에 동물플랑크톤이 배양되었던 배지를 주입한 후, 세포 수 및 엽록소의 변화를 측정하는 방법으로 진행되었다. 250 mL 삼각플라스크에 0.05 g_{dry} L⁻¹의 유해조류를 포함하는 BG11 배지 20 mL를 넣어주었다. 이후 각 시료에 *D. magna* 15개체 및 M4 배지 80 mL, M4 배지 70 mL 및 동물플랑크톤 배양액 10 mL, M4 배지 70 mL 및 *D. magna*와 유해조류를 공생배양한 배지 10 mL를 각각 주입하였다. 배양 조건 및 성장 측정은 유해조류 제어평가와 동일한 방법을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 균주의 분리, 동정

호수에서 채취한 샘플로부터 두 종의 개체를 분리할 수 있

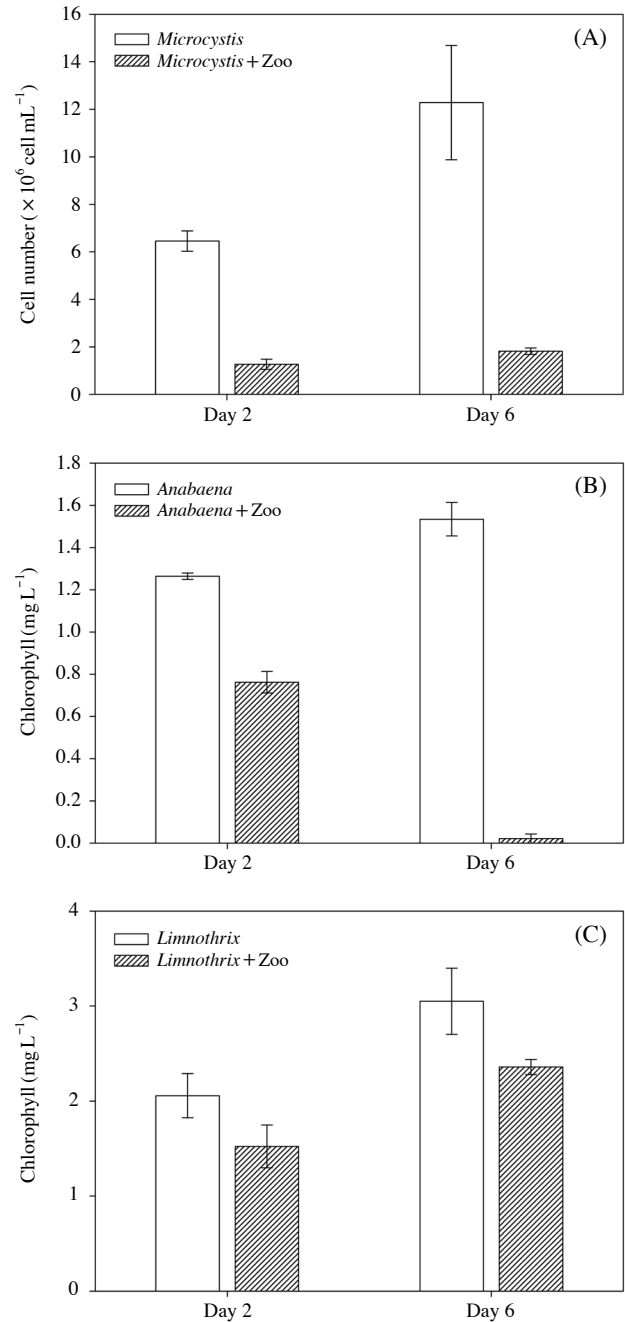


Fig. 1. Influences of zooplankton, *D. magna* on growth of (A) *M. aeruginosa*, (B) *A. variabilis* and (C) *L. planctonica*.

었다. 18s rRNA 동정결과를 BLAST Search Program (NCBI)을 사용하여 분석한 결과 분리된 균주는 *Anabaena variabilis*와 *Limnothrix planctonica*에 상동성을 보였다.

2. *D. magna*의 남조류 제거효과

동물플랑크톤인 *D. magna*의 유해조류 *M. aeruginosa*, *A.*

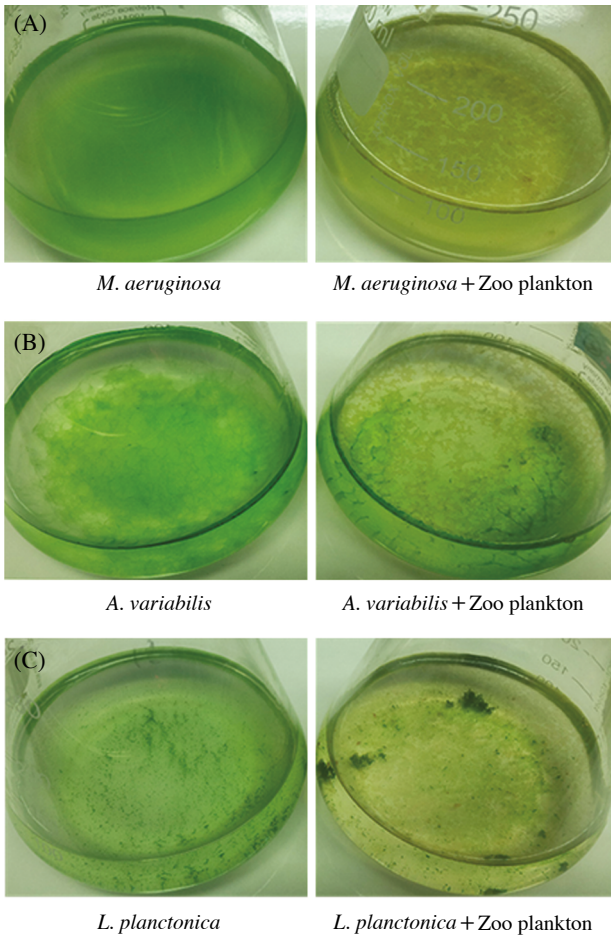


Fig. 2. Photographs of (A) *M. aeruginosa*, (B) *A. variabilis* and (C) *L. planctonica* before and after cultivation with *D. magna* in the 20% of BG-11 and 80% of M4 medium mixture.

*variabilis*와 *L. planctonica*에 대한 제어 효율을 평가하기 위하여 *D. magna*와 각 조류들을 공생배양 시킨 후, 2일과 6일간 성장을 비교하였다 (Fig. 1). 유해조류의 성장 측정은 *M. aeruginosa* 경우 광학현미경 및 hemacytometer를 이용하여 전체 세포수를 측정하였고, *A. variabilis*와 *L. planctonica*는 형태학적인 특성상 직접적인 세포 수 측정 방법이 불가능하여, 분광광도계를 이용하여 엽록소를 계산하는 방법을 통하여 성장을 확인하였다. *D. magna*를 공생배양 시키지 않은 경우, 모든 조류들은 배양이 진행됨에 따라 개체 수의 증가를 보였다. *M. aeruginosa* (Fig. 1(A))는 배양 시작 2일 후, $6.45 \times 10^6 \text{ cell mL}^{-1}$ 의 개체 수를 보였으며 6일 후, $12.29 \times 10^6 \text{ cell mL}^{-1}$ 로 그 수가 약 2배 증가하였다. *A. variabilis*와 *L. planctonica*의 경우 2일 후 각각 1.26과 2.06 mg L^{-1} 의 엽록소가 검출되었고, 6일 후에는 각각 1.2배 (1.53 mg L^{-1})와 1.5배 (3.05 mg L^{-1}) 엽록소 양이 증가하였다. 반면에 *D.*

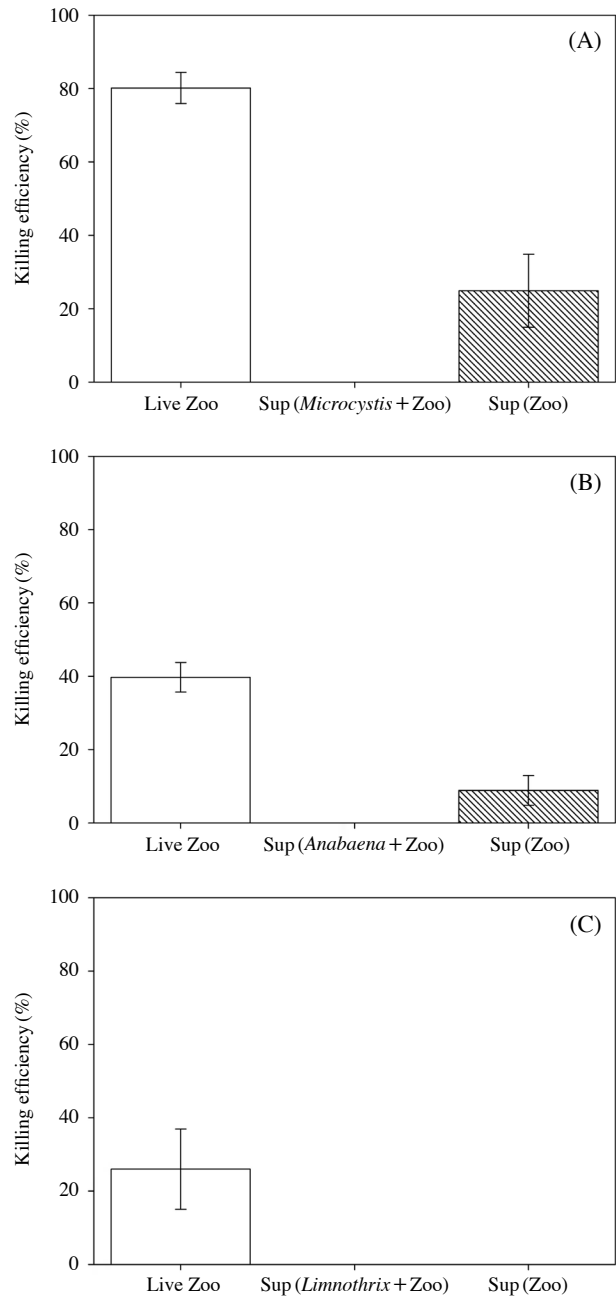


Fig. 3. Removal efficiency of (A) *M. aeruginosa*, (B) *A. variabilis* and (C) *L. planctonica* through living *D. magna* and supernatant of *D. magna* cultivated media with or without microalgae.

*magna*와 공생배양을 시켰을 때, 각 조류의 개체 수가 대조군에 비하여 감소하였다. 이는 공생배양 시 *D. magna*의 섭생으로 인한 것으로 여겨진다. *M. aeruginosa*는 공생배양 후 2일과 6일에 각각 $1.27 \times 10^6 \text{ cell mL}^{-1}$ 과 $1.82 \times 10^6 \text{ cell mL}^{-1}$ 의 개체 수를 보였으며 대조군과 비교하였을 때 개체 수가

Table 2. Killing effects of *D. magna* and supernatant for each microalgae

Microalgae	Killing efficiency (%)		
	Live Zoo	Supernatant (Zoo + algae)	Supernatant (Zoo)
<i>M. aeruginosa</i>	80.2±4.2	(Not observed)	24.9±9.9
<i>A. variabilis</i>	39.7±4.0	(Not observed)	8.9±4.0
<i>L. planctonica</i>	25.9±10.9	(Not observed)	(Not observed)

약 4.5배와 6.5배 감소되었다. *A. variabilis*는 공생배양 2일 후, 0.76 mg L⁻¹의 엽록소 양이 검출되었으며 6일 후, 0.02 mg L⁻¹로 그 양이 큰 폭으로 감소하였다. *L. planctonica*는 공생배양 2일 후에 1.52 mg L⁻¹의 엽록소 양을 보였고 6일 후 2.36 mg L⁻¹로 검출되었다. 위의 결과를 종합하여 볼 때, *D. magna*는 *A. variabilis*와 *M. aeruginosa*에 대하여 억제효과가 뛰어난 것을 확인할 수 있었고, *L. planctonica*에 대해서는 억제효과를 보이진 하나 위의 두 종에 비하여 낮은 발생 억제효과를 보였다.

3. 유해조류에 대한 동물플랑크톤 유래 분비물질의 제어 효과

*D. magna*가 유해조류와 공생배양이 되는 동안 대조군과 다르게 조류의 침전을 관찰할 수 있었다 (Fig. 2). 이는 *D. magna*의 유해조류 섭생 이외에 배지 또는 *D. magna*가 배출하는 대사/분비물질에 대한 영향으로 보여진다. 이러한 영향을 확인하기 위하여 *D. magna*를 배양한 배지와 *D. magna*와 조류를 공생배양한 배지를 사용하여 유해조류 억제효과를 평가, 비교하였다. Fig. 3과 Table 2는 *D. magna*를 배양한 배지와 공생배양한 배지를 주입한 후 평가한 조류성장 억제에 대한 결과이다. *D. magna*와 조류가 공생배양 될 경우, *M. aeruginosa*, *A. variabilis* 그리고 *L. planctonica*의 순서로 80.2±4.2, 39.7±4.0 및 25.9±10.9%의 제어 효율을 보였다. 또한, *D. magna*를 배양한 M4 배지 상층액을 주입했을 때, *M. aeruginosa*와 *A. variabilis*에 대하여 각각 24.9±9.9%와 8.9±4.9%의 제어 효율을 보였다. 하지만, 모든 종류의 조류에서 *D. magna*와 조류의 공생배양 상층액은 제어 효과가 없었다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때, *D. magna*는 *M. aeruginosa*, *A. variabilis* 그리고 *L. planctonica*의 발생을 제어할 수 있음을 확인하였다. 또한, 이러한 *M. aeruginosa*와 *A. variabilis*의 제어는 *D. magna*의 섭생과 *D. magna*가 생성하는 대사/분비물에 의하여 이루어지는 것으로 보인다. 반면, *L. planctonica*는 *D. magna*의 섭생에 의한 제어만 가능하였다.

대부분의 동물플랑크톤은 유해조류인 남조류에 의해서 성장 억제가 되는 것으로 알려져 있어 조류대발생 이후에 섭생에 의한 유해조류 제어에는 한계가 있다 (Scheffer and

Rinaldi 2000). 하지만 동물플랑크톤 유래 물질을 통한 유해조류 제어는 조류대발생 이후에도 조류 제어에 응용이 가능할 것으로 보인다. 따라서 대사/분비 물질 규명 결과에 따라 동물플랑크톤으로부터 유래한 대사/분비물을 이용한 유해조류 제어는 효과적인 유해조류 제어 방안으로써 경쟁력을 가질 것으로 생각된다.

적 요

본 연구에서는 동물플랑크톤인 *Daphnia magna*를 이용하여 유해조류인 *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena variabilis*, *Limnithrix planctonica*에 대한 제어 가능성을 평가하였다. *D. magna*와 유해조류를 공생배양 시킨 경우, *M. aeruginosa* (80.2±4.2%), *A. variabilis* (39.7±4.0%) 그리고 *L. planctonica* (25.9±10.9%)의 순으로 조류 발생 억제효율을 보였다. 동물플랑크톤의 섭생에 의한 조류 제어 효과 이외에 *D. magna*의 대사/분비물질의 조류 제어 가능성을 확인할 수 있었다. *D. magna*를 배양한 배지를 유해조류 제어에 이용했을 때, *M. aeruginosa*와 *A. variabilis*에 대하여 각각 24.9±9.9%와 8.9±4.0%의 성장 억제효과를 확인할 수 있었다. 하지만, *L. planctonica*에 대한 성장 억제효과는 나타나지 않았다. 본 연구의 결과를 통하여 동물플랑크톤인 *D. magna*를 활용한 친환경적 유해조류 제어기술 개발이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 대한민국 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단이 지원한 기초연구사업(2014R1A1A2055300)과 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

El Ella SMA, MM Hosny and MF Bakry. 2007. Growth inhi-

- bition of bloom-forming using rice straw in water courses (case study). Proceeding of the 11th International Conference for Water Technology (IWTC11), Sharm El-Sheikh, Egypt: 105-12.
- Guan C, X Guo, G Cai, H Zheng, Y Li, W Zheng and Y Zheng. 2014. Novel algicidal evidence of a bacterium *Bacillus* sp. LP-10 killing *Phaeocystis globosa*, a harmful algal bloom causing species. *Biol. Control* 76:79-86.
- Li H and G Pan. 2015. Simultaneous removal of harmful algal blooms and microcystins using microorganism- and chitosan-modified local Soil. *Environ. Sci. Technol.* 49:6249-6256.
- Paerl HW, RS Fulton, PH Moisaner and J Dyble. 2001. Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria. *The Sci. World J.* 1:76-113.
- Paerl HW and J Huisman. 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environ. Microbiol. Rep.* 1:27-37.
- Park C, B Lim, K You, M Park and S Hwang. 2014. Effects of environmental factors on akinete germination of *Anabaena circinalis* (Cyanobacteriaceae) isolated from the North Han River, Korea. *Korean J. Ecol. Environ.* 47:292-301.
- Sarnelle O, S Gustafsson and L-A Hansson. 2010. Effect of cyanobacteria on fitness components of the herbivore *Daphnia*. *J. Plankton Res.* 32:471-477.
- Sarnelle O. 2007. Initial conditions mediate the interaction between *Daphnia* and bloom-forming cyanobacteria. *Limnol. Oceanogr.* 52:2120-2127.
- Scheffer M and S Rinaldi. 2000. Minimal models of top-down control of phytoplankton. *Freshw. Biol.* 45:365-283.
- Ståhl-Delbanco A, L-A Hansson and M Gyllström. 2003. Recruitment of resting stages may induce blooms of *Microcystis* at low N: P ratios. *J. Plankton Res.* 25:1099-1106.
- Steffensen DA. 2008. Economic cost of cyanobacterial blooms. pp. 855-865. In *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs* (Kenneth Hudnell H eds.). Springer.
- Su JF, M Ma, L Wei, F Ma, JS Lu and SC Shao. 2016. Algicidal and denitrification characteristics on *Acinetobacter* sp. J25 against *Microcystis aeruginosa* and microbial community in eutrophic landscape water. *Mar. Pollut. Bull.* 107: 233-239.
- van Dok W and B Hart. 1997. Akinete germination in *Anabaena circinalis* (cyanophta). *J. Phycol.* 33:12-17.
- Watson SB, J Ridal and GL Boyer. 2008. Taste and odour and cyanobacterial toxins: impairment, prediction, and management in the Great Lakes. *Canadian J. Fish. Aquat. Sci.* 65: 1779-1796.
- Yang L, H Maeda, T Yoshikawa and G-Q Zhou. 2012. Algicidal effect of bacterial isolates of *Pedobacter* sp. against cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Water Sci. Eng.* 5: 375-382.
- Yang W-D, J-S Liu, H-Y Li, X-L Zhang and Y-Z Qi. 2009. Inhibition of the growth of *Alexandrium tamarense* by algicidal substances in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 83:537-541.
- Zhou J. 2010. Inhibitory effect of decomposing barley straw on algal growth in water and wastewater. ISTC Reports. Champaign, IL: Illinois Sustainable Technology Center.
- Zhou S, H Yin, S Tang, H Peng, D Yin, Y Yang, Z Liu and Z Dang. 2016. Physiological responses of *Microcystis aeruginosa* against the algicidal bacterium *Pseudomonas aeruginosa*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 127:214-221.

Received: 3 May 2016

Revised: 22 June 2016

Revision accepted: 22 June 2016