

Effect of Environmental Factors on the Growth of *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) in Agricultural ReservoirsO Chang Kwon<sup>1</sup>, Jung Won Park<sup>2</sup>, Gyu Young Chung<sup>3</sup>, Jong Eun Lee<sup>1</sup> and Eul Won Seo<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Department of Biological Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea<sup>2</sup>National Park Research Institute, Namwon 590-811, Korea<sup>3</sup>Department of Medicinal Plant Resource, Andong National University, Andong 760-749, Korea

Received June 23, 2011 / Revised August 18, 2011 / Accepted August 22, 2011

The present study is aimed at examining the effects of the physico-chemical environmental factors of water systems on water bloom at Homin and Gagok reservoirs in Pungcheon-Myeon, Andong, Gyeongsangbuk-do. The mean water temperature and the contents of chlorophyll-a, total-nitrogen, total-phosphorus and phosphate-phosphorus were higher at the Gagok reservoir. On the other hand, the pH mean value was higher at the Homin reservoir. The mean value of microelements (Na, K, Mg, Fe, Si) was higher at the Gagok reservoir. The cyanobacteria which was considered to be the cause of water bloom at the two reservoirs was *Microcystis aeruginosa*. It started to grow in May and showed the highest standing crop in August. Between the increase of standing crop of *M. aeruginosa* and the water quality, correlation values of Na<sup>+</sup> ( $r=-0.910$ ,  $p<0.05$ ), Fe<sup>2+</sup> ( $r=-0.855$ ,  $p<0.05$ ) and Si<sup>4+</sup> ( $r=0.989$ ,  $p<0.01$ ) at the Homin reservoir increased amount of standing crop. Meanwhile, at the Gagok reservoir, the contents of Na<sup>+</sup> ( $r=-0.776$ ,  $p<0.05$ ), Si<sup>4+</sup> ( $r=0.899$ ,  $p<0.05$ ) were highly related to the increase of standing crop. Interestingly, Si, which is the limiting factor for diatoms, has a high correlation with standing crop of cyanobacteria. In conclusion, the water blooming is caused not by a simple factor but a synergistic effect due to complex actions including high concentrations of nitrogen and phosphorus ions and many other environmental factors.

**Key words** : Agricultural reservoir, water blooming, *Microcystis aeruginosa*, water quality

## 서론

경제의 고도성장으로 인해 배출되는 오염부하량은 자연의 정화능력을 크게 상회하고 있고 주로 도시지역의 문제로 대두된 바 있다. 그러나 농촌지역에서도 축산농가의 증가와 영농방식의 변화 등은 유역 말단부에 위치한 간척담수호와 유역상류에 위치한 농업용 저수지까지도 수질오염을 가속화시키는 주요 요인으로 작용하고 있다[7].

최근 우리나라에서는 농업용 저수지의 수질관리 대책 및 친수환경 조성에 대한 방안이 논의되고 있다. 우리나라 전체 18,000여 개의 저수지 중 지속적으로 수질상태가 모니터링되고 있는 농업용 저수지는 1/6 수준인 3,300 개 정도로서, 이들 저수지의 수질 모니터링은 연간 2회에서 4회 정도만 이루어지고 있다. 또한 모니터링 수질항목도 일반 다목적댐의 인공호에 비하면 극히 적은 수만 이루어지고 있는 실정으로 최근의 농업용 저수지의 수질관리에 대한 높은 관심과는 대조적인 특성을 보이고 있다[9]. 농업용 저수지의 대부분은 준설이 이루어지지 않고 있으며, 인근에 위치한 축사 등 특정지역에서 유래한 점오염원과 농경지와 같은 불특정 지점에서 유래한

비점오염원으로부터 유입된 유기물 및 영양염류로부터 다량의 퇴적물이 하부에 지속적으로 축적되고 있다[8]. 이로 인한 저수지의 수화현상은 점오염원과 비점오염원으로부터 유입된 영양염 및 소수의 조류에 의한 우점과 하절기에 남조류의 과다한 번성을 통해 이루어지고 있다. 한국에서 출현하는 수화현상 원인종으로 *Microcystis* sp., *Oscillatoria* sp., *Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp. 등이 있지만, *Microcystis* sp.가 가장 대표적으로 알려져 있다. *Microcystis* (cyanobacteria)속은 전 세계의 부영양화된 수역에서 수화현상을 일으키는 가장 대표적인 식물플랑크톤으로서, 이들의 개체군 밀도가 높아지게 되면 수질관리에 심각한 문제를 일으키기 때문에 이의 발생에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[20].

남조류인 *Microcystis aeruginosa*는 수계에서 인의 농도가 높고 TN/TP 비율이 30이하로 낮은 조건에서 번성하여 우점하는 것으로 알려져 있다[16,17,21], 또한 *Microcystis* sp.의 점액성 물질은 양이온을 흡착하여 수화현상에 잠재적인 역할을 한다고 보고된 바 있으며[1,2,11], 양이온 중 K<sup>+</sup>와 Mg<sup>2+</sup>은 현존량 증가와 매우 밀접한 상관관계가 있는 것으로 밝혀진 바 있다[13].

따라서 본 연구는 2009년 5월부터 8월까지 경상북도 안동시 풍천면 가곡리에 소재한 인접한 농업용 저수지인 호민지와 가곡지의 수질변화 특성과 요인 등을 분석하여 저수지의 여러

**\*Corresponding author**

Tel : +82-54-820-5462, Fax : +82-54-820-7705

E-mail : ewseo@andong.ac.kr

환경 요인이 *Microcystis aeruginosa*의 성장에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

시료 채수

본 연구의 조사지점은 경상북도 안동시 풍천면 가곡리에 위치한 농업용 저수지인 호민지와 가곡지로 선정하였으며, 시료는 2009년 5월부터 수화의 절정기인 8월까지 매주 1회씩 채수하였다(Fig. 1).

환경요인 조사

수질 환경 요인 중 수온과 pH는 다항목측정기(MX-300, Mettler Toledo)를 이용하여 현장에서 측정하였으며, 수질분석을 위한 시료는 1 l 멸균채수병을 이용하여 수심 30 cm에서 직접 채수하였다. 총질소(total-nitrogen, T-N)와 총인(total-phosphorus, T-P), 인과 인산염(phosphate-phosphorus, PO<sub>4</sub>-P) 및 chlorophyll-a는 상하수도 표준 실험법[3]에 준하여 분석하였다. 수질 시료 내 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Si<sup>4+</sup>의 함량은 유도결합 플라즈마 방출분광기(Flame Modula S, Spectro, Germany)를 이용하여 측정하였다.

식물플랑크톤 조사

정성적인 분석을 위한 시료의 채집은 플랑크톤 네트(Rhigosha N<sub>xxx</sub> 25)를 사용하였고, 종의 동정을 위해 즉시 연구실로 운반하여 광학현미경(Axiostar, Zeiss)으로 관찰한 후 동정하였다. 정량 분석을 위한 시료의 채집은 1 l 폴리에틸렌병으로 수심 30 cm에서 채집하여 즉시 루골 용액으로 고정하였다. 루골 용액에 고정된 시료는 48-72시간 침전시킨 후, 상등액을 사이펀으로 제거하여 50 ml로 농축하였으며, 농축된 시료

중 1 ml을 취하여 Sedgwich-Rafter plankton chamber에서 계수하였다.

통계 분석

본 실험의 결과는 통계프로그램(SPSS Inc., ver 12.0K)를 사용하여 평균±표준편차(mean±SD)로 표시하였다. 저수지에서 *M. aeruginosa*의 현존량 증가와 수질과의 상관관계를 알아보기 위해 회귀분석을 실시하였다. 회귀방정식에 대한 두 변수간의 상관관계는 상관계수(r)를 산정하였으며, r-값의 유의성 검정(p<0.01, p<0.05)을 통하여 회귀방정식의 적합도를 분석하였다.

결 과

식물플랑크톤 군집 현황

2009년 5월에서 8월까지 두 저수지에 서식하는 담수조류는 모두 106종으로 확인되었다. 조사된 조류의 종 조성을 조사한 결과 가장 많이 출현한 종은 녹조강(Chlorphyceae)으로 76%

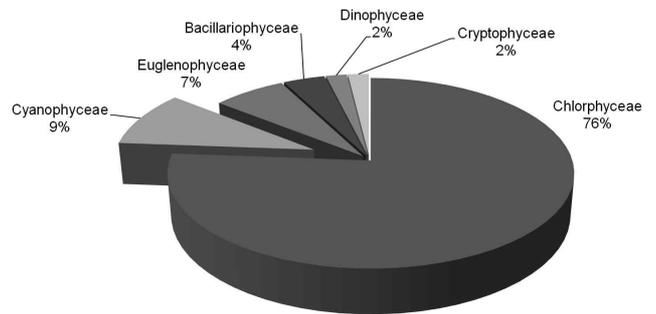


Fig. 2. Composition of species in the Homin and Gagok reservoirs from may to Aug., 2009.

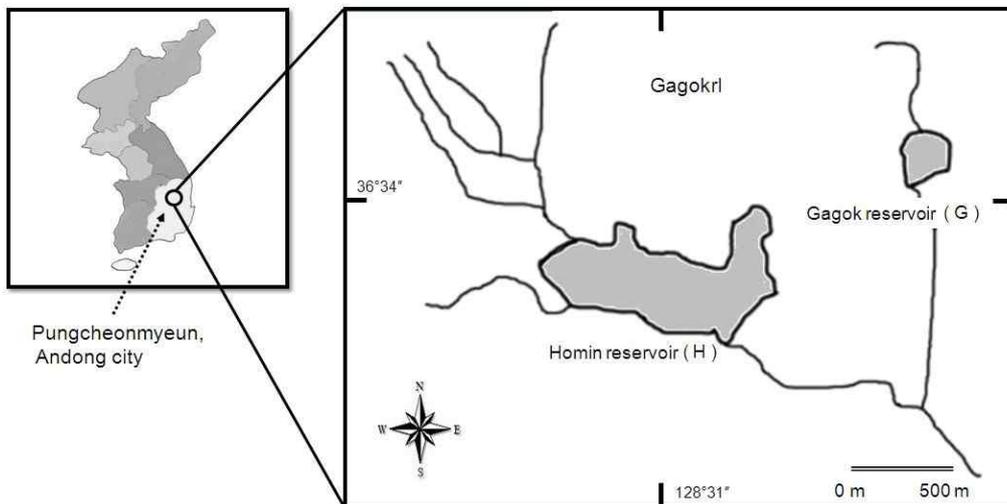


Fig. 1. Map showing the sampling sites in the Homin (H) and Gagok (G) reservoirs.

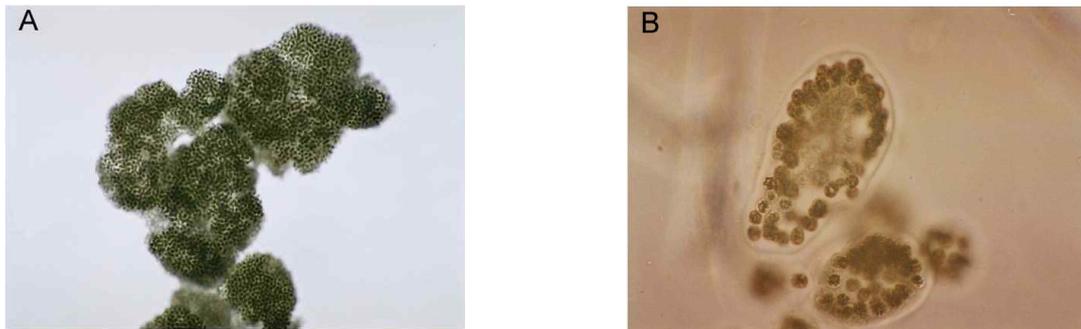


Fig. 3. Cyanobacteria occurred in Homin and Gagok reservoirs during water-bloom. A: *Microcystis aeruginosa*, B: *Microcystis wesenbergii*.

를 차지하였으며, 이 외에 남조강(Cyanophyceae), 유글레나강 (Euglenophyceae), 규조강(Bacillariophyceae)이 각각 9%, 7%, 4%로 조사되었다. 그리고 와편모조강(Dinophyceae)과 갈색 편모조강(Cryptophyceae)이 2%로 가장 적은 종으로 확인되었다(Fig. 2). 두 저수지에서 수화현상을 일으킨 녹조생물은 남조강(Cyanophyceae)인 *Microcystis aeruginosa*와 *Microcystis wesenbergii*였다. 이 중 *M. aeruginosa*의 현존량은 5월에 식물 플랑크톤 전체 현존량의 5.36%를 차지하였지만, 수화현상이 절정에 이른 7월에는 99.5%를 차지하였다(Fig. 3).

수질 분석

호민지와 가곡지에서 수온은 7월에 가장 높았으며, 8월에 점차 감소하였다. 5월과 6월에 호민지 보다 가곡지에서 수온이 높게 측정되었지만 7월에 그 편차가 줄어들었으며, 8월에는 호민지에서 수온이 높게 측정되었다(Fig. 4A). pH의 경우 호민지에서는 일정하게 유지되었지만, 가곡지의 경우 8월로 가면서 감소하는 경향을 나타내었다. 5월과 6월에는 가곡지에서 더 높게 측정되었고, 7월과 8월에는 호민지에서 더 높게 측정되었다(Fig. 4B). 그리고 엽록소-a의 농도는 두 저수지 모두 5월에 낮고 7월에 가장 높은 농도로 측정되었으며, 농도는 가곡지에서 더 높게 측정되었다(Fig. 4C).

T-N의 농도는 두 저수지 모두 7월까지 증가한 이후 8월에 가장 낮게 조사되었다. 호민지의 경우 농도가 6월에는 감소하였으나 이후 급격히 증가하여 7월에 최대치를 보였으며, 가곡지의 경우 5월부터 7월까지 꾸준히 증가한 뒤 8월에 감소하였다. 두 저수지를 비교하면 5월과 7월에 호민지에서 높았으며, 6월과 8월에는 가곡지에서 높게 측정되었다(Fig. 5A). T-P의 농도는 호민지에서는 7월에 최대치를 보였으며, 가곡지는 6월에 최대치를 보였다. 또한 호민지의 경우 7월에만 높은 농도로 조사되었지만, 가곡지의 경우 6월부터 높은 농도의 T-P가 검출되었다(Fig. 5B). 그리고 PO<sub>4</sub>-P의 농도는 두 저수지 모두 5월과 6월에 낮게 측정되었고, 7월에 가장 높은 농도를 보인 이후 8월에 감소하였다. 호민지와 가곡지 모두 비슷한 경향을 나타내었지만, PO<sub>4</sub>-P의 농도 차이는 크게 나타났다(Fig. 5C).

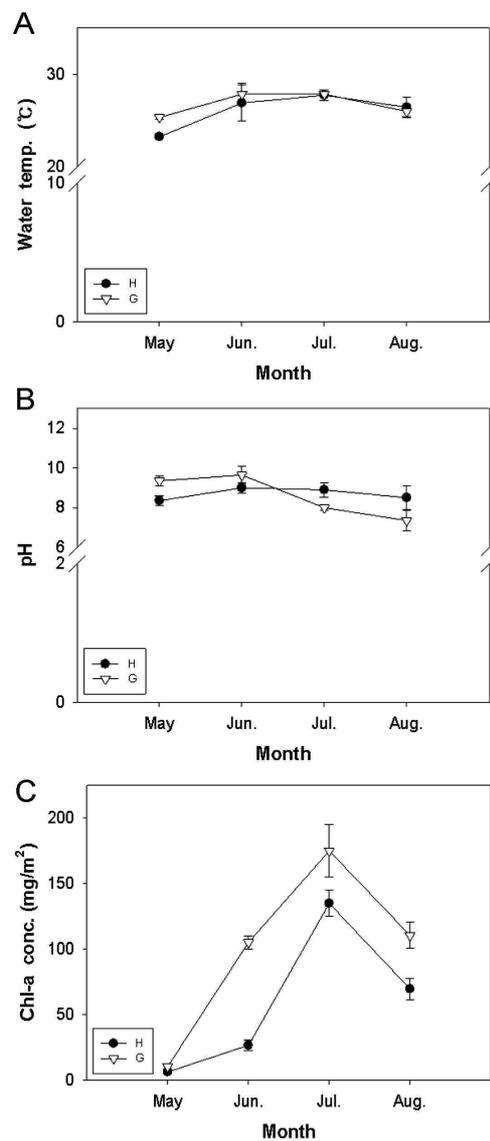


Fig. 4. Fluctuation of water temperature (A), pH (B) and chlorophyll-a concentration (C) in Homin and Gagok reservoirs from may to Aug., 2009. ●: Homin reservoir, ▽: Gagok reservoir.

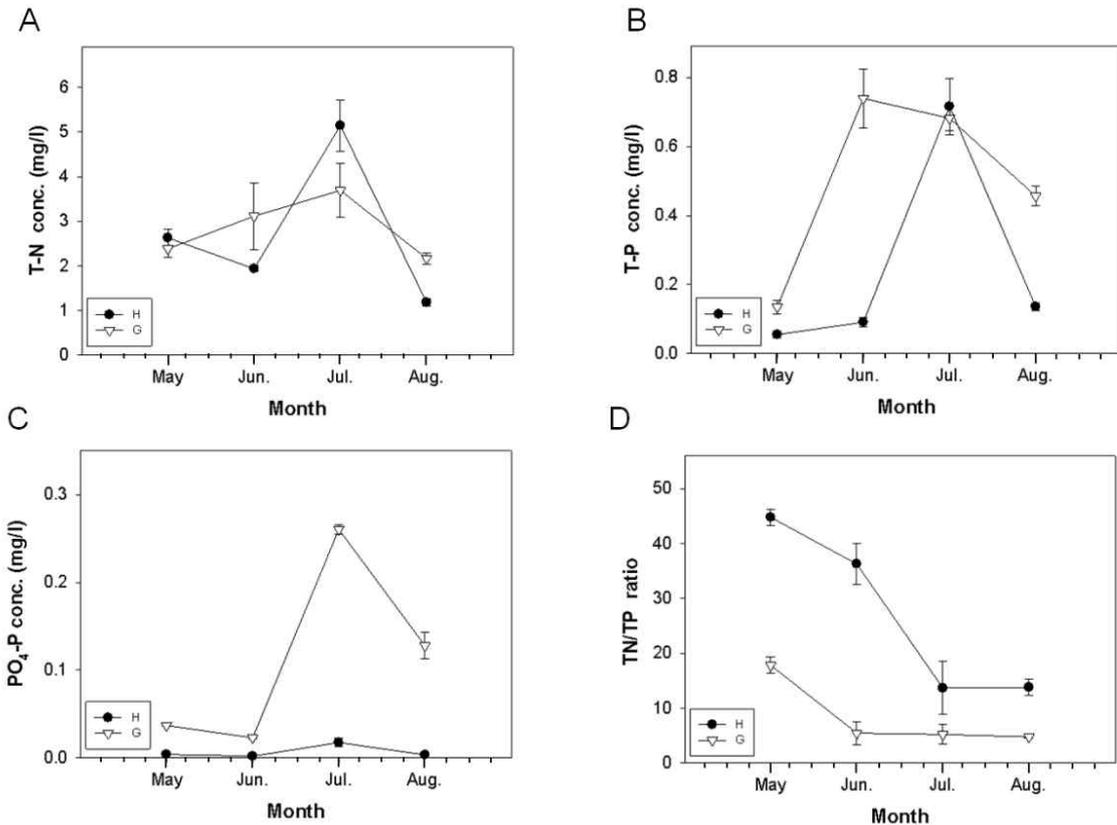


Fig. 5. Fluctuation of T-N (A), T-P (B), PO<sub>4</sub>-P concentration (C) and TN/TP ratio (D) in Homin and Gagok reservoirs from may to Aug., 2009. ●: Homin reservoir, ▽: Gagok reservoir.

TN/TP 비율은 두 저수지 모두 5월에 가장 크게 조사되었으며, 이후 감소하는 경향을 나타내었다. 호민지의 경우 5월과 6월에 높게 나타난 후 7월과 8월에 일정하게 유지되었고, 가곡지의 경우 5월에 가장 높게 측정된 이후 6월부터 8월까지 일정하게 유지되었다(Fig. 5D).

Na<sup>+</sup>의 농도는 두 저수지 모두 6월에 가장 높게 측정된 후 8월까지 감소하였으며, 호민지는 가곡지보다 Na<sup>+</sup>의 농도가 더 낮게 측정되었다(Fig. 6A). K<sup>+</sup>의 농도 변화는 두 저수지 모두 5월에 최대치를 보인 후 6월에는 급격히 감소하여 최소치를 보였으며, 호민지보다 가곡지에서 농도가 더 높게 측정되었다(Fig. 6B). Mg<sup>2+</sup>의 농도 변화는 두 저수지 모두 6월까지 급격히 농도가 감소 한 후 7월과 8월에는 일정하게 유지되었고, 호민지의 경우 가곡지에 비해 Mg<sup>2+</sup>의 농도가 낮게 나타났다(Fig. 6C). Fe<sup>2+</sup>의 변화는 5월에 가장 높게 측정 된 후 8월까지 지속적으로 감소하였으며, 두 저수지간의 농도 차이는 있었지만 그 패턴은 유사하게 조사되었다(Fig. 6D). Si<sup>4+</sup>의 농도 변화는 두 저수지 모두 8월로 가면서 증가하였지만, 호민지의 경우 6월에 최소치를 보인 이후에 8월까지 꾸준히 농도가 증가하였고, 가곡지의 경우 5월에 최소치를 보인 후 농도가 증가하였다(Fig. 6E).

*M. aeruginosa*의 현존량 변화

호민지에서의 *M. aeruginosa*의 현존량은 5월에 50 cell/ml로 5월 하순부터 수화현상이 발생하기 시작하였으며, 6월에 4,000 cell/ml로 증가하였고 8월에 500,000 cell/ml로 높은 현존량을 나타냈다. 가곡지의 경우 *M. aeruginosa*의 현존량은 5월에 9,050 cell/ml로 5월 초순부터 수화현상이 이미 발생하였으며, 8월에 급격히 증가하여 671,000 cell/ml로 측정되었다. 두 저수지 모두 5월과 6월에는 현존량이 낮았으나, 6월 이후 증가하여 8월에 최대의 현존량을 보여 두 저수지의 경향은 유사하게 나타났다(Fig. 7).

*M. aeruginosa*와 환경요인과의 상관관계

호민지에서 *M. aeruginosa*의 현존량 증가와 수질과의 상관관계에서 수온, chlorophyll-a, T-P, K<sup>+</sup>, Si<sup>4+</sup>와는 양의 관계를 pH, T-N, PO<sub>4</sub>-P, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>와는 역의 관계로 조사되었으며, Na<sup>+</sup> (r=-0.910, p<0.05), Fe<sup>2+</sup> (r=-0.855, p<0.05)와 Si<sup>4+</sup> (r=0.989, p<0.01)가 현존량 증가와 높은 상관관계를 보였다. 그리고 가곡지에서는 chlorophyll-a, T-N, T-P, Si<sup>4+</sup>와는 양의 관계를 수온, pH, PO<sub>4</sub>-P, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>와는 역의 관계로 조사되었으며, Na<sup>+</sup> (r=-0.776, p<0.05), Si<sup>4+</sup> (r=0.899, p<0.05)가

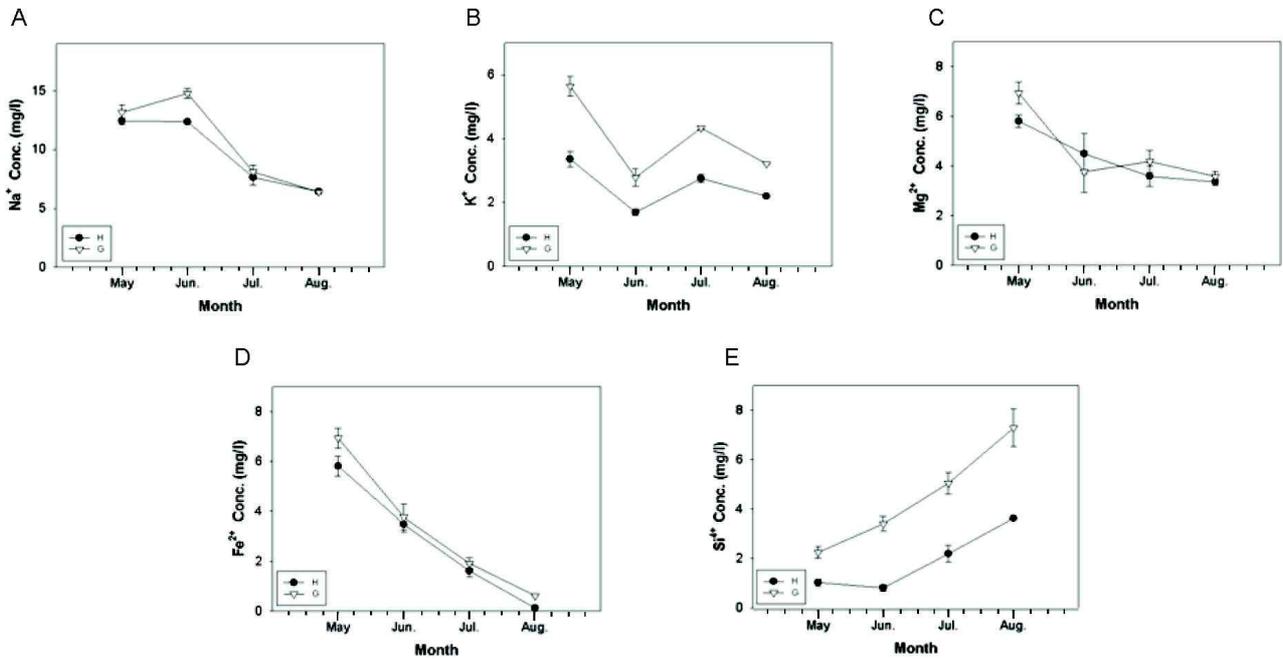


Fig. 6. Fluctuation of Na<sup>+</sup> (A), K<sup>+</sup> (B), Mg<sup>2+</sup> (C), Fe<sup>2+</sup> (D) and Si<sup>4+</sup> (E) concentration in Homin and Gagok reservoirs from may to Aug., 2009. ●: Homin reservoir, ▽: Gagok reservoir.

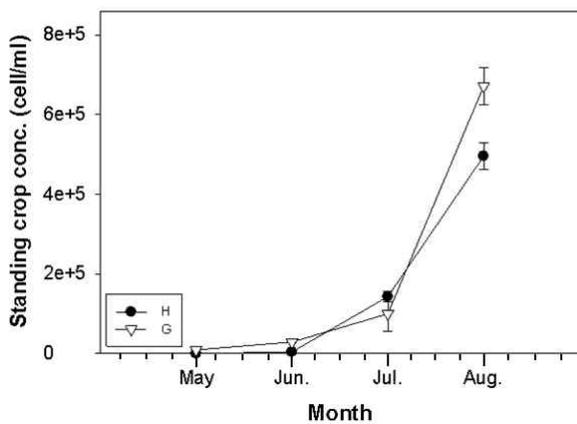


Fig. 7. Fluctuation of standing crop of *M. aeruginosa* at Homin and Gagok reservoirs from may to Aug., 2009. ●: Homin reservoir, ▽: Gagok reservoir.

현존량 증가와 높은 상관관계를 보였다(Table 1).

### 고찰

저수지에서의 수화현상은 소수의 조류가 우점하고 하절기에 남조류가 과다하게 번성하는 현상으로[20], 최근 농업용 저수지에서 수화현상의 빈번한 발생으로 농업용수 관리에 대한 높은 관심이 대두되고 있다.

일반적으로 남조류는 수온이 21℃ 정도에서 출현하여 25℃ 이상에서 급격히 증가하며[10], 대표적인 수화생물인 남조류

Table 1. Correlation between *M. aeruginosa* and water quality

Factor	Reservoir	
	Homin reservoir	Gagok reservoir
	H-1	G-1
W.T.	0.305	-0.481
pH	-0.636	-0.767
Chlorophyll-a	0.395	0.589
T-N	-0.351	0.124
T-P	0.044	0.255
PO <sub>4</sub> -P	-0.084	-0.425
Na <sup>+</sup>	-0.910*	-0.776*
K <sup>+</sup>	0.347	-0.350
Mg <sup>2+</sup>	-0.399	-0.505
Fe <sup>2+</sup>	-0.855*	-0.745
Si <sup>4+</sup>	0.989**	0.899*

\**p*<0.05, \*\**p*<0.01 indicate a significant difference between standing crop of *M. aeruginosa* and water quality.

*Microcystis* sp.의 최적 생육 수온은 25℃로 조사된 바 있다[5]. 본 연구에서도 *Microcystis* sp.의 최적 생육 수온인 25℃ 이상을 처음 기록한 것은 호민지의 경우 6월 6일 이었고, 25℃ 이상이 유지된 시점은 6월 23일이었지만, 가곡지의 경우 수온이 25℃ 이상으로 조사된 것은 5월 31일 이후부터 계속되었다. 두 저수지에서 수온이 25℃ 이상으로 유지된 시점으로부터 수화 현상이 빈번하게 발생하였는데, 이러한 결과로 보아 수온이 *M. aeruginosa*의 현존량 증가에 많은 영향을 미치는 것으로 생각된다.

영양염 중 T-N은 호민지에서 2.78 mg/l로 남조류 수화 발

생이 가능한 최저 농도인 0.3 mg/l [6]를 약 9배 높게 측정되었으며, 가곡지에서는 2.99 mg/l로 약 10배 높게 측정되었다. T-P는 호민지에서 0.29 mg/l로 부영양화 기준인 0.015 mg/l [6]를 약 19배 높게 측정되었으며, 가곡지에서는 0.59 mg/l로 약 35배 높은 농도로 측정되었다. 또한 PO<sub>4</sub>-P의 경우 호민지에서는 0.007 mg/l로 조사되었으며, 가곡지에서는 0.12 mg/l로 가곡지가 호민지에 비해 약 17배 높게 측정되었다. 조사된 두 저수지 모두 영양염의 농도가 높게 측정 되었으며, chlorophyll-a의 값이 최고치를 기록한 기간에는 T-N의 농도가 2배 가량 증가하였으며, T-P와 PO<sub>4</sub>-P 또한 5~10배 가량 증가하여 두 저수지는 과영양 상태인 것으로 조사되었다.

남조류는 TN/TP의 비율이 30 이하이며, 수온과는 양의 관계를 보이거나[16], 질소의 농도가 낮고 인의 농도가 높은 상태에서 수화현상을 일으킨다고 보고된 바 있다[14]. 호민지의 TN/TP 비율은 평균 18.41이었으며, 가곡지는 평균 6.02로 조사되어 남조류의 수화발생이 먼저 일어난 가곡지에서 TN/TP 비율이 호민지에 비해 상대적으로 낮게 조사되었다. 호민지에서는 남조류 수화현상이 발생 시점부터 TN/TP 비율이 낮은 상태를 유지하였고, 조사 초기부터 수화현상이 시작된 가곡지 경우에는 6월 이후부터 TN/TP 비율이 낮게 측정되었다. 이러한 결과로 보아 호민지의 경우 수화현상 발생 이전에는 질소가 제한 영양소로 작용하였고, 가곡지의 경우 인이 제한 영양소로 작용하는 것을 알 수 있지만, 두 저수지 모두 질소와 인이 과영양 상태가 지속적으로 유지되고 있어 두 영양소의 제한적인 의미는 없는 것으로 생각된다.

호민지와 가곡지의 수화현상 발생 초기인 5월과 6월에는 양이온의 농도가 높게 측정되었고, 수화현상이 발생한 7월과 8월에 양이온은 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 Si<sup>4+</sup>는 5월부터 8월까지 꾸준히 증가하여 다른 미량원소와 증감의 추세가 다른 경향을 나타내었다. 일반적으로 식물플랑크톤의 가장 중요한 요인은 질소, 인 그리고 규소이며, 미량원소는 자연계의 수계에 충분히 존재하기 때문에 중요성에 있어서 가치가 낮게 인식되었지만, 최근에 질소와 인이 충분한 경우에도 식물플랑크톤의 개체군 성장이 낮은 원인은 여러 무기영양소의 제한을 받을 수 있다는 결과가 있다[4,12,18]. 남조류 성장과 증식에는 다양한 원소들이 관여하지만 대부분의 연구는 질소와 인 등에 한정되어 수행해 왔다. 그러나 남조류인 *M. aeruginosa*의 성장에 양이온이 관여한다는 보고된 바 있고 [13], 필수원소와 미량원소가 동시에 제한요인으로 작용한다는 보고도 있다[18,19]. 두 저수지의 *M. aeruginosa*의 현존량과 미량원소와 상관분석에서 Na<sup>+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Si<sup>4+</sup>가 가장 높은 상관성을 보였다(Table 1). Na<sup>+</sup>는 *M. aeruginosa*와 상관관계를 분석한 결과 호민지에서 r=-0.910 (p<0.01), 가곡지에서 r=-0.776 (p<0.01)로 높은 역의 관계로 나타났고, Fe<sup>2+</sup>역시 호민지에서 r=-0.855 (p<0.01), 가곡지에서 r=-0.745로 높은 역의 관계였으나 유의성이 없었다. Park과 Kwon [13]의 연구에 의하면 합천

호에서 Na<sup>+</sup>와 *M. aeruginosa*와의 현존량 증가는 양의 관계였으나 본 조사에서는 음의 관계로 기존의 보고와 상의한 것은 향후 이에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

Si<sup>4+</sup>와 *M. aeruginosa*의 상관관계에서 호민지는 r=0.989 (p<0.01), 가곡지는 r=0.899 (p<0.05)로 매우 높은 양의 관계를 나타냈다. Si<sup>4+</sup>는 규조류 피각을 구성하는 매우 중요한 물질이기 때문에 규조류 성장과 증식에 관련된 연구를 위해 많이 분석하는 요인으로 Si<sup>4+</sup>와 남조류 상호 작용에 대한 연구는 부재하다. 다만 에너지 분산형 X선 측정기(E.D.S.)를 이용하여 남조류인 *Anabaena flos-aquae*의 세포 내 필수원소 분석에서 규소가 세포마다 규소가 불균등하게 분포하고, 이러한 불균등한 분포는 호수 내 수직이동과 관련이 있을 것이라고 연구된 바 있다[15]. 따라서 앞으로 남조류에서 규소의 역할 담당에 대한 연구가 필요한 실정이다.

이번에 조사된 두 저수지는 인접한 지역에 위치해 있고, 유입된 물 또한 모두 논과 인가에서 흘러 나왔지만, 저수지의 수화에 관해서는 서로 다른 경향을 나타내었다. 호민지의 경우 저수지가 크고 저수량이 많았으며, 저수지 내에 마름(*Trapa japonica*)이 군락을 이루고 있었지만, 가곡지의 경우 저수지가 작고 저수지 주변과 저수지 내에 식생이 거의 없었다. 이러한 결과로 보아 수화형성은 저수지의 환경과 면적의 차이 및 영양물질의 유입량 등 다양한 환경요인이 중요한 요인으로 작용한 것으로 보인다.

## References

- Amemiya, Y. and O. Nakayama. 1984. The chemical composition and metal adsorption capacity of the sheath material isolated from *Microcystis*, cyanobacteria. *Jpn. J. Limnol.* **45**, 187-193.
- Amemiya, Y., K. Kato, T. Okino, and O. Nakayama. 1990. Changes in the chemical composition of carbohydrates and proteins in surface water during a bloom of *Microcystis* in Lake Suwa. *Ecol. Res.* **5**, 153-162.
- APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th eds., APHA-AWWA-WPCF. New York.
- Axler, R. P., R. M. Gersberg, and C. R. Goldman. 1980. Stimulation of nitrate uptake and photosynthesis by molybdenum in Castle Lake, California. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **37**, 707-712.
- Chorus, I. and J. Bartman. 1999. Toxic cyanobacteria in water : a guide to their public health consequences, monitoring and management. pp. 89-93, 1th ed., E&FN Spon, London and New York.
- Horen, A. J. and C. R. Goldman. 1994. *Limnology*. pp. 576, 2th eds., McGraw Hill. New York.
- Kim, H. J., K. S. Yoon, and K. S. Lee. 2003. Characteristics of the water quality of wanggung agricultural reservoir. *KCID J.* **10**, 24-35.

8. Lee, J. S., Y. C. Kim, and G. S. Hwang. 2003. Changes of the sediment properties in small agricultural reservoirs before and after rainy season. *J. Korean Soc. Civil Engin.* **23**, 359-368.
9. Lee, J. Y., J. H. Lee, K. H. Shin, S. J. Hwang, and K. G. An. 2007. Trophic state and water quality characteristics of Korean agricultural reservoirs. *Korean J. Limnol.* **40**, 223-233.
10. McQueen, D. J. and D. R. S. Lean. 1987. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratios on the dominance of blue-green algae in Lake St. George, Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **44**, 598-604.
11. Nakagawa, M., Y. Takamura, and O. Yagi. 1987. Isolation and characterization of the slime from a cyanobacterium, *Microcystis aeruginosa* K-3A. *Agric. Biol. Chem.* **51**, 329-337.
12. North, R. L., S. J. Guildford, R. E. H. Smith, S. M. Havens, and M. R. Twiss. 2007. Evidence for phosphorus, nitrogen, and iron co-limitation of phytoplankton communities in Lake Erie. *Limnol. Oceanogr.* **52**, 315-328.
13. Park, J. W. and D. K. Kwon. 1998. A study on early development of water bloom by blue-green algae in lake Hapchon - I. relationship between increasing standing crop of *Microcystis aeruginosa* Kuetz and concentration of  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  and  $Ca^{2+}$  in water system. *Korean J. Limnol.* **31**, 97-102.
14. Reynolds, C. S. 1993. The ecology of freshwater phytoplankton. pp. 384, Cambridge University Press, Cambridge.
15. Sigeo, D. C., J. Teper, and E. Levado. 1999. Elemental composition of the cyanobacterium *Anabaena flos-aquae* collected from different depths within a stratified lake. *Eur. J. Phycol.* **34**, 477-485.
16. Smith, V. H. 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science* **221**, 669-671.
17. Smith, V., H. Willen, and B. Karlsson. 1987. Predicting the summer peak biomass of four species of blue-green algae (cyanophyta/cyanobacteria) in Swedish Lakes. *Water Resour. Bull.* **23**, 397-402.
18. Sterner, R. W., T. M. Smutka, R. M. L. McKay, Q. Xiaoming, E. T. Brown, and R. M. Sherrell. 2004. Phosphorus and trace metal limitation of algae and bacteria in Lake Superior. *Limnol. Oceanogr.* **49**, 495-507.
19. Sterner, R. W. 1994. Seasonal, and spatial patterns in macro- and micronutrient limitation in Joe Pool Lake, Texas. *Limnol. Oceanogr.* **39**, 535-550.
20. Takamura, N. and M. M. Watanabe. 1987. Seasonal changes in the biomass of four species of *Microcystis* in Lake Kasumigaura. *Jpn. J. Limnol.* **48**, 139-144.
21. Xie, L., P. Xie, S. Li, H. Tang, and H. Liu. 2003. The low TN:TP ratio, a cause or a result of *Microcystis* blooms?. *Water Res.* **37**, 2073-2080.

초록 : 농업용 저수지에서 환경 요인이 *Microcystis aeruginosa* (cyanobacteria) 성장에 미치는 영향

권오창<sup>1</sup> · 박정원<sup>2</sup> · 정규영<sup>3</sup> · 이종은<sup>1</sup> · 서울원<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>안동대학교 자연과학대학 생명과학과, <sup>2</sup>국립공원연구원, <sup>3</sup>안동대학교 자연과학대학 생약자원학전공)

본 연구는 경북 안동시 풍천면에 소재한 농업용 저수지인 호민지와 가곡지에서 수계의 물리·화학적 환경요인이 수화현상에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 수온, chlorophyll-a, 총질소, 총인, 인산염인의 평균값은 가곡지가 높았다. 반면에 pH의 평균값은 호민지가 높았다. 미량원소 (Na, K, Mg, Fe, Si)의 평균값은 모두 가곡지에서 높았다. 두 저수지에서 수화현상을 일으킨 남조류는 *Microcystis aeruginosa*였고, 5월부터 발생하기 시작하여 8월에 최대의 현존량을 나타냈다. *M. aeruginosa*의 현존량 증가와 수질과의 상관관계에서 호민지에서  $Na^+$  ( $r=-0.910$ ,  $p<0.05$ ),  $Fe^{2+}$  ( $r=-0.855$ ,  $p<0.05$ )와  $Si^{4+}$  ( $r=0.989$ ,  $p<0.01$ )가 현존량 증가와 높은 상관관계를 보였고 가곡지에서는  $Na^+$  ( $r=-0.776$ ,  $p<0.05$ ),  $Si^{4+}$  ( $r=0.899$ ,  $p<0.05$ )가 현존량 증가와 높은 상관관계를 보였다. 규조류의 제한요인인 Si가 남조류 현존량과 상관관계가 높은 것은 매우 특이하다. 결론적으로 수화현상 발생에는 가장 중요한 영양염인 질소와 인뿐만 아니라 여러 요인들의 복합적 작용으로 발생하는 것으로 생각된다.