

일주기에 따른 녹조류의 인 흡수율 및 조류제어방법 평가

장 감 용·임 경 목·노 태 목·이 학 수·박 성 하*

건양대학교 의학과, *클린월드하이테크(주), **한밭대학교 화공응용화학부
(2005년 2월 24일 접수; 2005년 8월 24일 채택)

Evaluation on the Phosphate Uptake Rate of Green Algae under Diurnal Rhythm and Algae Control Method

Kam-Yong Jang, Kyoung-Mook Lim*, Tae-Mok Noh*, Hac-Su Lee* and Sung-Ha Park**

Department of Medical Science, Konyang University, Chungnam 320-701, Korea

*CleanWorld Hi-Tech Corporation, Daejeon 306-821, Korea

**Department of Chemical Engineering & Chemical Technology, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

(Manuscript received 24 February, 2005; accepted 24 August, 2005)

This study was investigate to evaluate the phosphate uptake rate of green algae in relation to diurnal rhythm and algae control method. The phosphate uptake rates of *Chlorella vulgaris* and *Ankistrodesmus convolutus* increased in light period and decreased in dark period. On the contrary, those of *Chlamydomonas* sp. showed a peak in the late dark period. The differences among species in phosphate uptake in relation to diurnal rhythm were due to the severe competition among species and seemed to alleviate the competition for nutrient supplies. The compound of CellCaSi, Ca and Fe showed the effective removal of the phosphorus. The extracts from rice and barley straw exhibited a significant effect on the growth inhibition of *Microcystis aeruginosa*.

Key Words : Phosphate uptake rate, Green algae, Diurnal rhythm, CellCaSi, Rice and barley straw

1. 서 론

산업의 급격한 발달에 따라 생활하수와 농·공업 폐수의 양이 증가되면서 이들이 제대로 처리되지 않은 채 호소 및 저수지에 그대로 유입되는 경우가 많아 국내 호소의 대부분이 1980년대부터 부영양화(富營養化, eutrophication) 상태를 나타내기 시작하였다. 부영양화로 인하여 해마다 여름철이면 미세조류의 대번성에 의한 녹조 현상이 반복적으로 발생함으로써 정수처리 비용의 증가, 경관의 미적 가치 하락, 이취미 물질과 독소의 생성에 의한 보건상의 위해 요소 증가 등 다양한 환경문제가 발생하고 있다¹⁾. 또한 대청호, 팔당호, 충주호 등 주요 인공 담수호들이 도시 인구의 식수원으로 이용되고 있는 국내 실정으로 볼 때, 적절한 수준의 수질관리는 국민의 건강과 직결되어 있다. 영국의 경우 잉글랜드와 웨일

즈 지방에서 담수의 부영양화에 의한 비용이 연간 약 2억 달러로 막대한 예산이 투입되고 있으나²⁾ 부영양화에 대한 각종 대책 및 방안이 아직 마련되지 않고 있으며, 가까운 미래에도 쉽게 해결되기는 어려울 것으로 추측되고 있다. 영양염류의 유입 방지를 위한 장기적인 대책 수립이 가장 근본적인 해결 방법이지만, 비용이 많이 들고 효과를 나타내기까지는 많은 시일이 소요된다는 단점이 있다.

조류의 성장과 증식을 위해서는 다양한 원소가 필요하지만 대부분의 담수호에서는 인이 조류성장의 제한요인으로 알려져 있다³⁻⁵⁾. 따라서 부영양화 수계에서 수중 인의 농도 감소는 조류의 대량 증식을 억제하는 중요한 수단으로 고려되고 있다. 이에 산업 부산물을 이용하여 저비용으로 인을 제거시키는 방법으로서 Al, Fe, Ca 화합물 등이 포함된 슬래그를 이용한 인 제거⁶⁾와 Al, Fe, Ca 화합물 등이 포함된 산업 폐기물을 이용한 습지의 인 제거⁷⁾에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지금까지 연구된 적조 또는 조류제거를 위한 방법으로 황토살포법, 생

Corresponding Author : Kam-Yong Jang, Department of Medical Science, Konyang University, Chungnam 320-701, Korea

Phone: +82-42-636-6315

E-mail: jang6315@Konyang.ac.kr

물효소를 이용한 방법, 원심분리의 원리를 이용한 조류상의 분리, 화학응집제에 의한 응집 후 부상처리, 바닷물 전기분해에 의한 제거 등이 있으며, 식물의 분해 산물에 의한 상극작용을 이용하여 조류성장을 억제하는 연구도 진행되고 있다⁸⁾. 그러나 호소의 특성, 기후 등 환경조건에 따라 조류 제어는 각기 다르게 나타나는 문제점으로 고유의 수질개선 대책을 강구하고 있는 실정이다.

이에 본 연구는 녹조류의 일주기 리듬(diurnal rhythm)에 따른 인의 흡수율을 평가하여 조류제어를 위한 기초 자료를 마련하고자 하였다. 그리고 규산질 다공체와 Ca 및 Fe 화합물을 이용하여 인 제거 효과를 평가하였고, 벚지 및 보릿지의 메탄을 추출물을 이용하여 조류제어 방법을 개발 평가하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 녹조류의 일주기 리듬에 따른 인 흡수율 평가
 실험재료로는 국내 담수 수계에서 주요한 우점 녹조류인 *Chlorella vulgaris*, *Ankistrodesmus convolutus*, *Chlamydomonas* sp.를 이용하였으며, 담수 수계에서 조류 성장에 가장 중요한 영양염류로 간주되고 있는 인을 선정하여 2 μM 농도로 낮추어 인-제한 상태로 Cyclostat를 수행하면서 각 녹조류의 인흡수율이 일주기 리듬에 어떠한 영향을 나타내는지 실험하였다. Cyclostat 배양은 760 mL 배양조에 GL배지를 사용하였고⁹⁾, 온도는 20°C, 광도는 140~150 μE/m²/s로 조절하였다(Fig. 1). Peristaltic pump (Tokyo Rikakikai Co., EYELA MP3)를 통해 일정한 속도로 배지가 유입되도록 하였으며, 같은 속도로 유출되도록 하였다. 희석률은 0.5 d⁻¹을 표준 조건으로 하였으며, 12시간 간격으로 명주기와 암주기가 반복되도록 하였다. 3일 연속으로 일정한 시간대에 엽록소 a 농도와 세포 농도가 5% 미만의 편차를 나타내고 상승세 또는 내림세가 지속되지 않을 경우에 배양체가 steady-state에 이르렀다고 판단하였다. 세포의 농도는 Particle counter(Coulter Z1) 또는 Haemocytometer(Laboroptik, Fuchs Rosenthal)를 이용하여 계수하였다. 순간 성장률은 다음의 식을 이용하여 구하였다^{10,11)}.

$$\mu(t) = \frac{\ln(x_t) - \ln(x_0)}{t} + D$$

$\mu(t)$: 순간성장률(d⁻¹) x_t : t 시간 후의 세포 농도
 x_0 : 초기의 세포 농도 D : 희석률(d⁻¹)

인흡수율의 측정은 ³²P 방사성 동위원소(Amersham Pharmacia Biotech, PBS11-1 mCi)의 희석액 0.05 mL, 농도 1 mg-P/L의 P stock solution 0.5 mL,

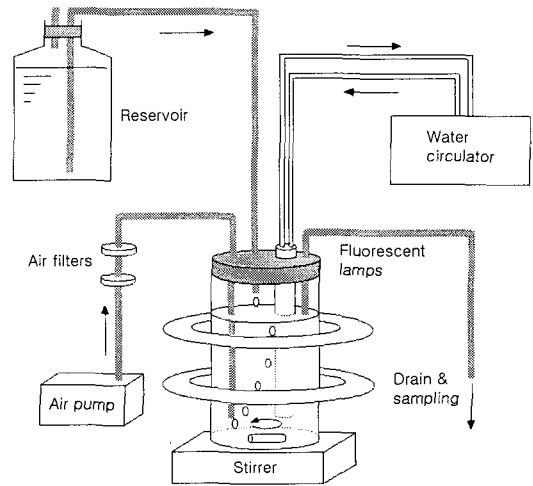


Fig. 1. Schematic diagram of cyclostat.

배양액 4.5 mL을 혼합하여 25°C, 160 μE/m²/s의 조건에서 행하였다. 4분 간격으로 3회씩 반응액 1 mL을 취하여 0.45 μm Mixed cellulose ester membrane filter(Advantec MFS)에 여과시키고, 0.2% formalin 5 mL를 2회 흘려줌으로써 더 이상 인 흡수반응이 진행되지 않도록 하는 동시에, 흡수되지 않고 남아 있는 동위원소를 제거시켰다. Membrane filter는 scintillation vial에 넣고 cocktail solution(Lumac LSC, Aqualuma)을 5 mL 첨가한 후, Scintillation counter(Beckman, LS 6000TA)로 흡수된 방사성 인의 양을 측정하였다.

2.2. 규산질 다공체와 Ca 및 Fe 화합물을 이용한 인 제거 평가

부영양화된 호소에서 수중 인 농도의 감소는 식물플랑크톤의 대량 증식을 억제하는 중요한 수단으로 고려되고 있으므로 수중 인의 불활성화를 통해 조류성장을 억제하는 규산질 다공체(CellCaSi)를 이용하여 인의 제거효과를 시험하였다. 또한 CellCaSi와 함께 Ca와 Fe 화합물의 첨가에 따른 인 제거효과도 조사하였다. 모든 시료에는 엽록소 a 농도 저감효과가 우수한 것으로 조사된 1 mm이하의 Cell-CaSi¹²⁾를 1 g/L가 되도록 첨가하였으며, CaCl₂·2H₂O와 FeCl₃·6H₂O의 농도는 각각 30 mgCa²⁺/L, 1 mgFe³⁺/L가 되도록 조절하였다. 250 mL 플라스틱 내 각각의 시료는 25°C, 150 μE/m²/s의 연속광 조건에서 8일간 100 rpm으로 교반하였다. 또한 증류수를 사용하여 규산질 다공체의 여러 가지 조건별 인 제거효과를 조사하였다. 정치 시료는 증류수에 KH₂PO₄를 용해시켜 조제하였으며, K₂HPO₄는 0.1 mgP/L과 1 mgP/L의 두 그룹으로 조제하였다. 규산질 다공체의 입도에 따른 인 제거효과를 조사

하고자 입도 1, 2 및 4 mm 이하의 규산질 다공체를 삼각플라스크에 각각 10 g/L 첨가하였다. 대조구를 포함한 모든 시료의 인 농도는 0.26 mg/L, pH 7로 조절하여 상온에서 7일 동안 인 농도의 변화를 조사하였다. 규산질 다공체의 처리량에 따른 인 제거효과는 입도 1 mm 이하를 삼각플라스크에 각각 1, 2.5, 5 및 10 g/L로 첨가하였다. 인 농도는 0.22 mg/L, pH는 7로 각각 조절하여 상온에서 7일 동안 인 농도의 변화를 조사하였다.

2.3. 벚지 및 보릿지의 메탄을 추출물을 이용한 *Microcystis aeruginosa*의 성장 억제

벚지 및 보릿지 메탄을 추출물을 이용하여 *Microcystis aeruginosa*의 성장 억제 효과를 실험하였다. 호소에서 채수한 시료를 GF/C 유리섬유 여과지로 여과하여 250 mL 삼각플라스크에 넣은 후, 처리구에 벚지 및 보릿지 메탄을 추출물을 단일 또는 혼합하여 0.01, 0.1, 1, 10, 20, 30, 50, 100, 300 mg/L 첨가하였다. 이때 모든 시료에는 인을 0.05 mg P/L 첨가하였다. 초기에는 30, 50, 100, 300 mg/L로 고농도의 벚지 및 보릿지 메탄을 추출물을 첨가하여 실험하였으며, 이후 혼합처리의 효과를 알아보고, 점차 첨가농도를 감소시켜 최종적으로는 0.01, 0.1, 1, 10 mg/L 첨가하여 *M. aeruginosa*의 성장 억제실험을 하였다. 시료는 30°C, 150 µE/m²/s, 연속광 조건에서 100 rpm으로 배양하였으며, 배양기간 동안 세포 농도의 변화를 Haemocytometer와 Particle counter로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 녹조류의 일주기 리듬에 따른 인 흡수율 평가

Cyclostat 배양을 통해 steady-state에서 인의 동위원소를 사용하여 4시간 간격으로 인의 흡수율의 변화를 살펴본 결과는 Fig. 2에서와 같다. *Ankistrodesmus convolutus*와 *Chlorella vulgaris*에서는 낮 동안 인의 흡수율이 증가하였고, 밤에는 감소하는 결과(Fig. 2 A, B)를 나타낸 반면, *Chlamydomonas* sp.에서는 주로 밤 시간대에 인의 흡수율이 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 2 C). 세포 농도의 변화는 Fig. 3에서와 같이 인의 흡수율과는 반대의 양상을 나타내었다. 이는 조류종마다 특이한 인 흡수율의 주기성이 있다는 것과 각 종마다 특정 시간대에서만 세포분열이 일어난다는 사실을 시사해 준다. 세포농도의 변화를 이용하여 순간 성장률을 계산한 결과 나타난 각 시간대별 성장률의 변화는 Fig. 4에서와 같다. *A. convolutus*는 시간대에 관계없이 거의 일정한 속도로 분열하였고, *C. vulgaris*와 *Chlamydomonas* sp.는 암주기 후반에 집중적으로 분열이 일어났다. 특히 *C. vulgaris*는 세포분열이 일어나지

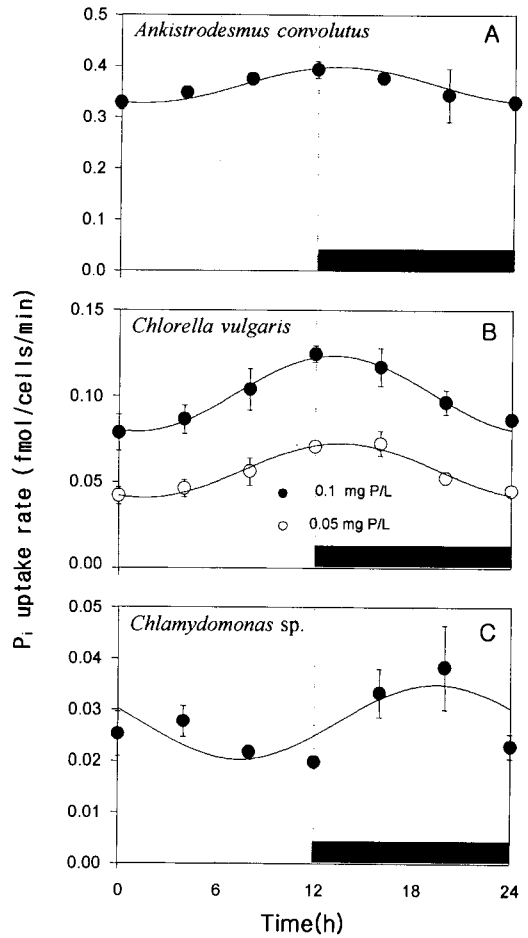


Fig. 2. Changes of P_i uptake rate of *Ankistrodesmus convolutus*(A), *Chlorella vulgaris*(B) and *Chlamydomonas* sp.(C). The horizontal closed bars represent the dark periods.

않는 시간대가 더 많이 있음을 알 수 있었다.

또한 *C. vulgaris*의 경우에는 두 가지 인 농도(0.1 및 0.05 mgP/L)에서 인 흡수율을 측정하였는데(Fig. 2 B), 두 가지 농도에서의 인 흡수율의 비율은 시간대에 상관없이 1.8 정도로 일정하였다. 이 비율이 일정하다는 것은 Michaelis-Menten 공식에서 K_m 값이 일정하고 V_{max}가 변화한다는 것이며, 이는 인 흡수율의 일주기 리듬을 나타낸다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 이러한 K_m 값이 일정하고 V_{max}가 변화한다는 것은 조류의 인에 대한 친화력(affinity)은 변화하지 않지만, 외부의 인 농도와 세포내의 내재적 요구도 및 생리적 리듬에 따라 최대 인 흡수율이 변한다는 것을 나타내고 있다.

$$V = V_{\max} \frac{R}{K_m + R} \text{ (Michaelis-Menten equation)}$$

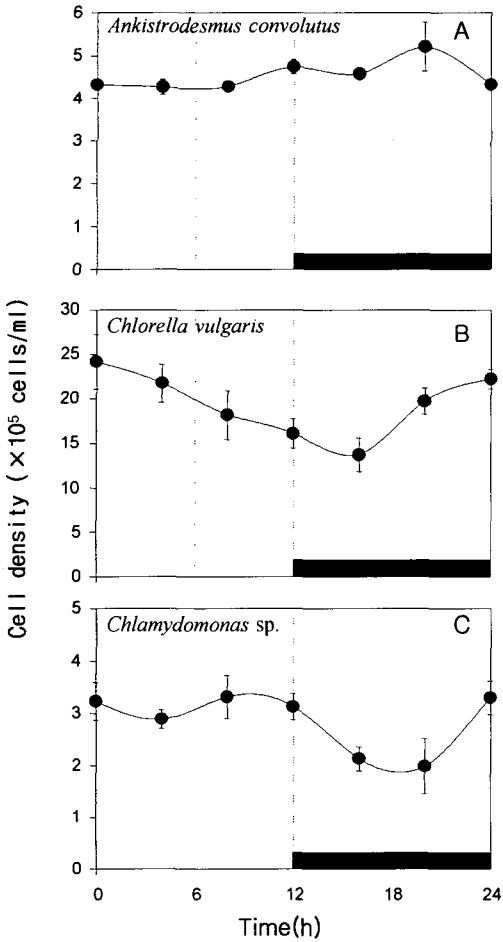


Fig. 3. Changes of cell density of *Ankistrodesmus convolutus*(A), *Chlorella vulgaris*(B) and *Chlamydomonas* sp.(C). The horizontal closed bars represent the dark periods.

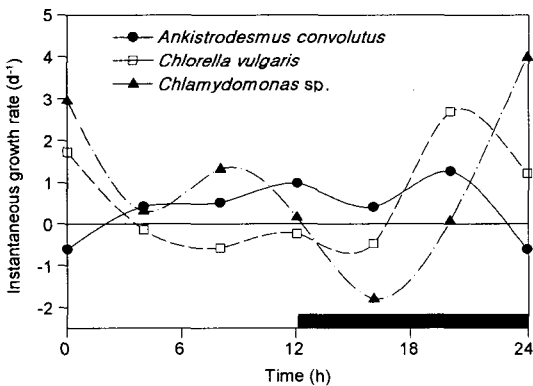


Fig. 4. Instantaneous growth rates of *Ankistrodesmus convolutus*, *Chlorella vulgaris* and *Chlamydomonas* sp. in a steady state.

이러한 일주기 리듬의 종간 차이는 영양염류에 대

한 경쟁의 완화에 기여할 것으로 생각되며, 결과적으로 조류 종의 다양성 유지에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다^{13,14}). 예를 들면, *Chlamydomonas* sp.의 인 흡수율은 다른 종에 비해 낮기 때문에 인의 흡수경쟁에서 불리하다. 그러나 *A. convolutus*나 *C. vulgaris*의 인 흡수율과는 주기성이 다르므로, 경쟁종의 인의 흡수가 감소했을 때 많은 양을 흡수함으로써 인 흡수에서의 불리함을 어느 정도 상쇄시킬 수 있다고 추측된다. 지금까지의 경쟁이론에 따르면, 서로 다른 기질에 대한 제한을 받는 조건에서만 두 경쟁종이 공존할 수 있다고 알려져 있는데¹⁵), 이 연구 결과는 동일한 기질에 대한 제한을 받는 조건에서도 두 경쟁종이 충분히 공존할 수 있다는 가능성을 보여주고 있다.

3.2. 규산질 다공체와 Ca 및 Fe 화합물을 이용한 인 제거 평가

중류수에 0.1 및 1 mgP/L의 인산염을 각각 첨가하고, CellCaSi 단독 또는 Ca 및 Fe 화합물과 혼합하여 처리한 후, 인의 제거 효과를 실험한 결과는 Fig. 5와 같다. 두 가지 처리군 모두에서 2시간 이내에 처리구 E(CellCaSi+Ca+Fe)의 인 농도가 각각 0.011, 0.536 mg-P/L까지 급격히 감소하였다. 또한 동일시간에서 서로 다른 3가지 처리구(B, CellCaSi; C, CellCaSi+Ca; D, CellCaSi+Fe) 역시 정도의 차이는 있었지만, 인 농도가 감소하였다. 이후 인 농도는 12시간까지는 다시 증가하는 경향을 나타내었으나, 2일부터 8일 사이에는 초기 12시간 후의 농도와 비슷하거나 점차 감소하였다. 실험 종료시 처리구 E의 인 농도는 2가지 처리군에서 각각 0.031, 0.467 mgP/L로 최저의 인 농도를 나타내었다. 따라서 인 제거효과는 CellCaSi만 처리했을 때보다는 Ca과 Fe 화합물을 함께 첨가하였을 때 인의 제거 효과가 상승되었음을 알 수 있었다.

입도 1, 2 및 4 mm 이하의 규산질 다공체를 10 g/L로 첨가한 처리구에서는 시간이 경과함에 따라 인 농도가 계속적으로 감소하였다(Fig. 6). 7일 경과 후 입도 1 mm 이하에서는 가장 낮은 농도인 0.05 mg/L로 조사되었고, 입도 2mm 이하와 4 mm 이하에서 인 농도는 각각 0.06 mg/L로 조사되었다. 이원 분산분석(two-way ANOVA)에 의하면 전체적으로 규산질 다공체의 인 제거효과가 입도 2 mm 이하와 4 mm 이하에서는 차이를 보이지 않았으나($F_{(1,8)}=0.05$, $P=0.829$), 입도 1 mm 이하에서는 2 mm 이하($F_{(1,8)}=12.4$, $P=0.008$) 및 4 mm 이하($F_{(1,8)}=11.24$, $P=0.010$)와 유의한 차이를 나타내었다. 이는 입도 1 mm 이하의 규산질 다공체가 같은 중량에서 비표면적이 넓기 때문이며, 비표면적이 넓을수록 수중의 인과

일주기에 따른 녹조류의 인 흡수율 및 조류제어방법 평가

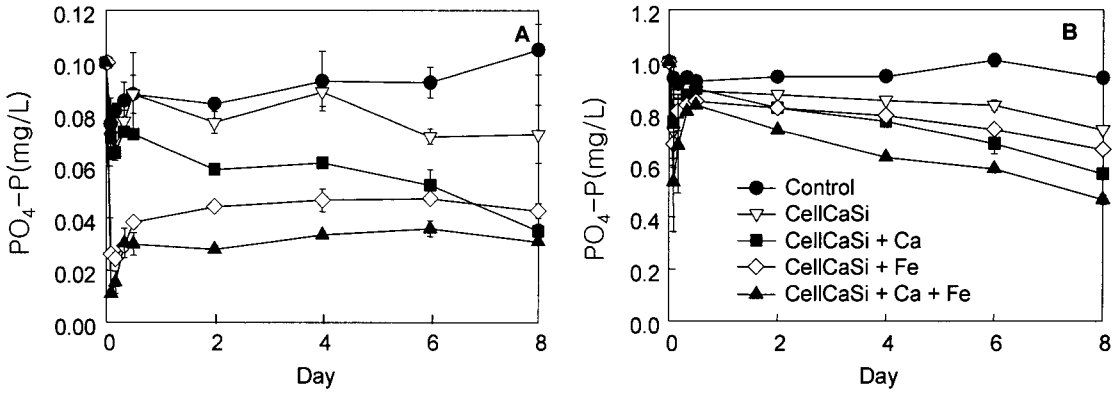


Fig. 5. Effect of CellCaSi, Ca and Fe on phosphorus removal in the presence of phosphate solutions (A, 0.1 mgP/L; B, 1 mg P/L).

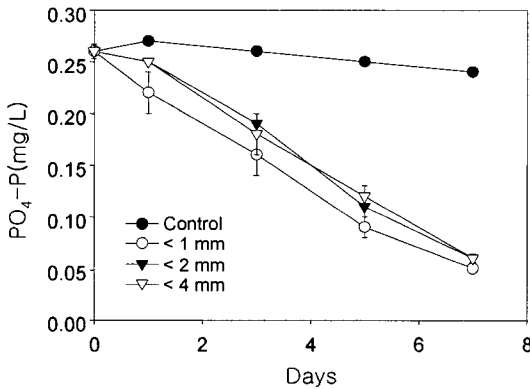


Fig. 6. Effect of particle size of CellCaSi on the phosphorus removal in the phosphate solution for 7 days. The added amount of CellCaSi was 10 g/l.

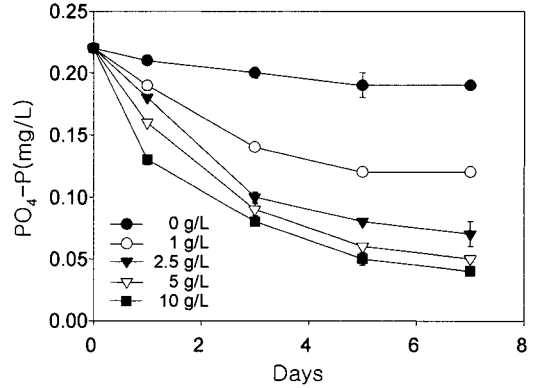


Fig. 7. Effect of added amount of CellCaSi on the phosphorus removal in the phosphate solution for 7 days. The particle size of CellCaSi was below 1 mm.

반응하는 접촉면이 커지기 때문에 인 제거효과가 우수한 것으로 사료된다.

규산질 다공체를 1, 2.5, 5 및 10 g/L로 각각 첨가한 처리구에서는 처리량이 많을수록 인 농도의 감소도 더욱 급격하게 일어났다(Fig. 7). 규산질 다공체 10 g/L를 첨가한 처리구에서 인 농도는 초기 0.22 mg/L로부터 7일 경과 후 0.04 mg/L로 크게 감소하였다. 따라서 규산질 다공체의 인 제거효과는 첨가량의 증가에 비례하였다. Ca 화합물을 포함하는 산업부산물을 인 용액에 투여한 경우, 탈인 반응이 높은 pH에서 응집침전으로 보아야 하지만, 본 실험과 같이 중성 pH에서는 침전보다는 흡착으로 보는 것이 타당하다고 보여진다. 따라서 Ca 양이온이 용출되면서 일부는 입자 표면에 정석핵으로 부착할 수 있을 것이다. 이러한 정석반응에는 결정의 핵이 필요하며, 산업부산물 입자는 이러한 정석핵의 역할을 하여 입자 표면에 인이 석출, 고정되어 제거

된다. 그러므로 규산질 다공체의 처리량과 인 제거효과의 비례적인 관계는 수중의 인과 반응할 수 있는 입자가 증가하는데 기인되는 것으로 판단된다.

3.3. 벚지 및 보릿지의 메탄올 추출물을 이용한 *Microcystis aeruginosa*의 성장 억제

벚지 및 보릿지을 메탄올을 이용하여 추출하였을 때 생성되는 물질은 푸마르산(fumaric acid)과 9, 12-옥타데카노산(9, 12-octadecanoic acid), 메틸 에스테르(methyl ester), 벤조산(benzoic acid), *o*-하이드록시페닐아세트산(*o*-hydroxyphenylacetic acid), 시린즈산(syringic acid), *p*-쿠마르산(*p*-coumaric acid), 페룰산(ferulic acid), 부틸산(butyric acid) 등으로 여러 가지 물질이 함유되어 있는 것으로 나타났다. 이러한 벚지 및 보릿지의 메탄올 추출물을 이용하여 남조류 *Microcystis aeruginosa*를 대상으로 성장제어 효과를 조사한 결과는 다음과 같다(Fig. 8과 Fig. 9).

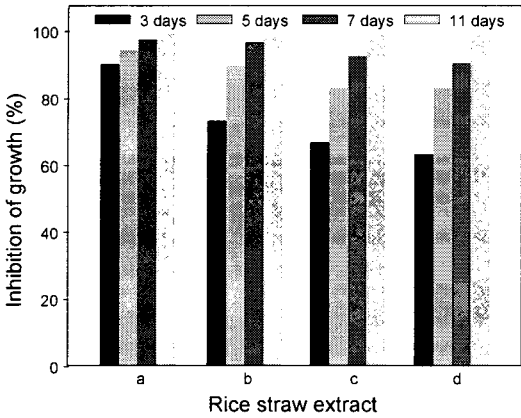


Fig. 8. Growth inhibition rate of *M. aeruginosa* by rice straw extract (a, 300 mg/L; b, 100 mg/L; c, 50 mg/L; d, 30 mg/L).

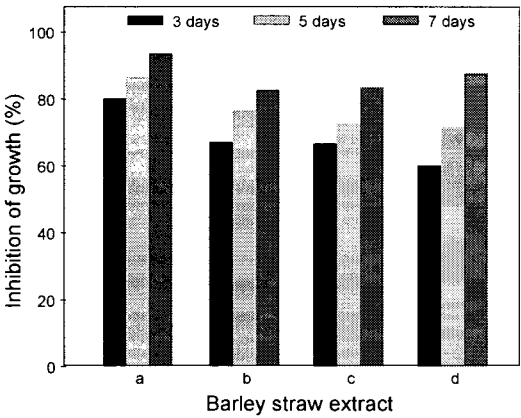


Fig. 9. Growth inhibition rate of *M. aeruginosa* by barley straw extract (a, 300 mg/L; b, 100 mg/L; c, 50 mg/L; d, 30 mg/L).

먼저 30, 50, 100, 300 mg/L의 벼짚 및 보릿짚이 메

탄을 추출물을 첨가하였을 때, 모든 시료가 83% 이상의 높은 생장 억제 효과를 나타냈다. 벼짚의 메탄을 추출물을 30, 50, 100, 300 mg/L 첨가한 시료 역시 Fig. 8에서와 같이 초기에 64% 이상의 효과적인 생장 억제를 나타내었고, 7일 후에는 모두 99%의 생장 억제 효과를 나타내었다. 또한 보릿짚 메탄을 추출물을 30, 50, 100, 300 mg/L 첨가한 시료는 Fig. 9에서와 같이 초기부터 60% 이상의 뚜렷한 생장 억제효과를 나타내었고, 7일 후에는 각각 88, 83, 83, 94%의 효과를 나타내었다.

벼짚 및 보릿짚의 메탄을 추출물을 저농도로 첨가하여 녹조 제어효과를 조사한 결과는 Fig. 10에서와 같다. 벼짚 및 보릿짚의 메탄을 추출물을 0.01, 0.1, 1, 10 mg/L을 첨가하였을 때, 초기(2일 후)에는 낮은 생장 억제효과를 나타내었지만, 4일 후에는 57~85%, 8일 후에는 90~98%의 높은 제어 효과를 나타내었다. 이 결과에 의하여 벼짚 및 보릿짚의 메탄을 추출물은 저농도인 0.01 mg/L에서도 조류생장을 매우 효과적으로 억제하는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 녹조류의 일주기 리듬에 따른 인 흡수율의 평가와 규산질 다공체와 Ca 및 Fe화합물을 이용한 인 제거 효과를 평가하였고, 또한 벼짚 및 보릿짚의 메탄을 추출물을 이용하여 조류제어 방법을 개발 평가하고자 하였으며 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 녹조류의 일주기 리듬에 따른 인 흡수율을 평가한 결과, *C. vulagris*와 *A. convolutus*는 낮에 인 흡수율이 증가하고 밤에는 감소하는 경향을 보였고, *Chamydomonas* sp.는 반대로 밤의 후반기에 최고의 인 흡수율을 나타내었다.

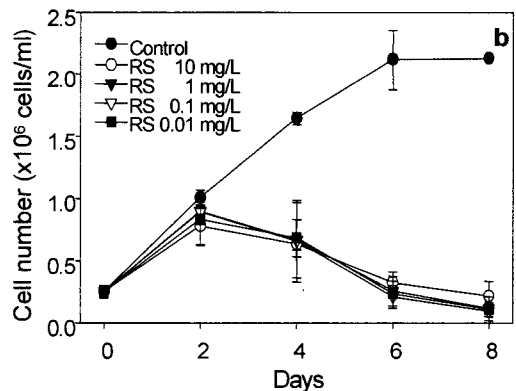
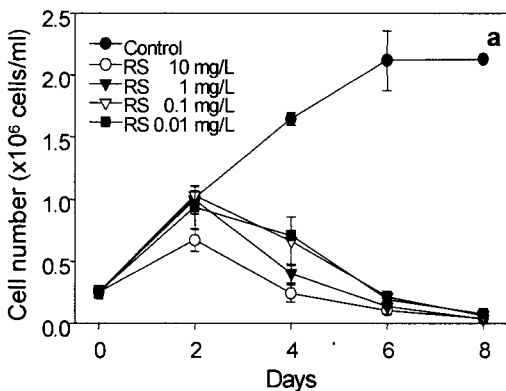


Fig. 10. Growth inhibition of *M. aeruginosa* by rice(a) or barley(b) straw extract (RS, rice straw extract ; BS, barley straw extract).

그러나 세포의 농도는 인 흡수율과 반대 양상을 나타내었다. 세포의 순간성장율에서 *A. convolutus*는 분열속도가 일정하였으며, *C. vulgaris*와 *Chamydomonas* sp.는 암주기 후반에 집중적으로 분열하는 현상을 보였다. 이러한 일주기 리듬의 중간 차이는 영양염류에 대한 종간의 경쟁에 기인되며, 그 결과 종간의 경쟁을 완화시킬 수 있는 것으로 사료된다.

- 2) 규산질 다공체와 Ca 및 Fe 화합물을 이용한 인 제거 효과를 평가한 결과, 규산질 다공체, Ca 및 Fe 화합물 각각 인 제거에 효과적이었으며, 특히 CellCaSi와 Ca, Fe 화합물을 모두 첨가한 처리구에서 가장 우수한 효과가 나타났다. 또한 같은 중량에 비해 비표면적이 넓은 1mm 이하의 작은 입자를 사용하였을 때 인 제거 효과가 가장 높게 나타났으며, CellCaSi 첨가량에 비례하여 인 제거 효과가 나타났다. 이러한 탈인 반응은 중성 pH에서의 흡착에 기인되는 것으로 사료된다.
- 3) 벗짚 및 보릿짚의 메탄올 추출물을 이용한 *Microcystis aeruginosa*의 성장 억제 효과를 조사한 결과, 고농도(30~300 mg/L) 추출물을 첨가한 실험에서는 초기부터 60%이상의 성장 제어효과를 나타내었으며, 7일 경과 후에는 모든 농도의 범위에서 83% 이상의 성장 제어효과를 나타내었다. 저농도(0.01~10 mg/L) 추출물을 첨가한 실험에서는 초기에 낮은 성장 제어효과를 보였으나, 8일 경과 후에는 모든 농도 범위에서 90%이상의 성장 제어효과가 나타났다. 이러한 추출물은 화학첨가물에 비해 2차 오염과 경제적 부담이 없어 현장적용에 용이할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 오희목, 반용호, 박대균, 이진환, 맹주선, 1999, 대청호내 cyanobacteria에 의한 취기물질 생산, 한국육수학회지, 32, 181-188.
- 2) Prettey, J. N., C. F. Mason, D. B. Nedwell, R. E. Hine, S. Leaf and R. Dils, 2003, Environmental costs of freshwater eutrophication in England and Wales, Environ. Sci. Technol., 37, 201-208.
- 3) Schindler, D. W., F. A. J. Armstrong, S. K. Holmgren and G. J. Brunskill, 1971, Eutrophication of Lake 227, experimental lake area, Northwestern Ontario, by addition of phosphate and nitrate, J. Fish. Res. Bd. Canada, 28, 1763-1782.
- 4) 조경제, 신재기, 1996, 낙동강 담수조류 N, P 요구도 분석을 위한 bioassay, 한국육수학회지, 29, 263-273.
- 5) 오희목, 이석준, 김성빈, 박미경, 윤병대, 김도한, 1998, Algal bioassay에 의한 조류성장제한영양염류 결정, 한국육수학회지, 31, 150-157.
- 6) Yamada, H., M. Kayama, K. Saito and M. Hara, 1986, A fundamental research on phosphate removal by using slag, Water Resour. Res., 20, 547-557.
- 7) Mann, R. A. and H. J. Bavor, 1993, Phosphate removal in constructed wetlands using gravel and industrial waste substrata, Water Sci. Technol., 27, 107-113.
- 8) 강필구, 김범철, 1999, 식물분해산물이 조류성장에 미치는 영향, 한국육수학회, 32, 121-122.
- 9) Guillard, R. R. L. and C. J. Lorenzen, 1972, Yellow-green algae with chlorophyllide c, J. Phycol., 8, 10-14.
- 10) Shin, C. N., G. Y. Rhee and J. Chen, 1987, Phosphate requirement, photosynthesis, and diel cell cycle of *Scenedesmus obliquus* under fluctuating light, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44, 1753-1758.
- 11) Lee, D. Y. and E. Y. Rhee, 1999, Circadian rhythm in growth and death of *Anabaena flos-aquae*(Cyanobacteria), J. Phycol., 32, 694-699.
- 12) 윤병대, 이승규, 오희목, 이석준, 이육재, 최룡, 2000, 규산질다공체(CellCaSi)에 의한 미세조류 제어, 한국육수학회지, 33, 145-151.
- 13) Rhee, G. Y. and I. J. Gotham, 1980, Optimum N:P ratios and coexistence of planktonic algae, J. Phycol., 16, 486-489.
- 14) Brzezinski, M. A. and D. M. Nelson, 1988, Interactions between pulsed nutrient supplies and a photocycle affect phytoplankton competition for limiting nutrients in long-term culture, J. Phycol., 24, 346-356.
- 15) Tilman, D., 1982, Resource Competition and Community Structure, Princeton University Press, Princeton, 296pp.