

## 식물체를 이용한 조류증식억제 효과

임병진\* · 정원화 · 변명섭 · 전선옥

(국립환경연구원 한강수질검사소)

**Inhibitory Effect of *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) Growth by Plants *in vitro*. Lim, Byung-Jin,\* Weon-Hwa Jheong, Myeong-Seop Byeon and Sun-Ok Jun (NIER, Han River Water Quality Research Laboratory, Yangpyung 476-820, Korea)**

*M. aeruginosa* isolated from Lake Paldang was cultured in CB medium, and then each wet plants put into the cultured medium at a rate of 0.5 g and 2.5 g wet wt/l. There was slight inhibition by the input of cattail and iris of each 0.5 g wet wt/l cultured medium, but showed no reduction in algal growth in other flasks. Among the applied plants, ginkgo, pine needles, big cone pine, waterreed and water chestnut had an effect on inhibition of algal growth at the input of 2.5 g wet wt/l. Plants which were dried for 3 days at 50°C introduced into the testing flask for 10 days cultured at dose rates of 2.5 g/l. When chlorophyll *a* concentration was remarkably high as 802.6 µg/l after five days, there was noticeably less chlorophyll compared with control at a rate of 98% by big cone pine, 96% by ginkgo, 95% by pine needles and 86% by rice straw, respectively. To examine the effect of plant extracts on algal growth, big cone pine and water chestnut were put to the amount of 1.25 g liquid extracts/l. Chlorophyll *a* concentration and cell density decreased to the extent of average 43% as compared with the beginning of experiment, but when concentration of chlorophyll *a* increased a most high, the inhibition of algal growth by liquid extracts did not affect at all. When a quantity of plant equivalent to 2.5 g liquid extracts/l inhibited the growth of algae by 95% after nine days.

**Key words :** Algal control, *Microcystis*, Plants, *in vivo*

### 서 론

조류의 이상증식 제어방법에는 오염원의 호수내 유입 차단, 고도 처리에 의한 영양염류의 저감, 살조제 투입 등이 있으나 막대한 경비와 시간이 소요되며 살조제 사용시 생태계에 악영향을 끼칠 우려가 있다. 따라서 근래에는 생태계내의 자연적 현상을 이용한 생물학적 방법이 관심을 끌고 있는데 최근의 연구로 식물체의 영양 물질 흡수를 이용한 생이가래, 미나리, 부레옥잠 등을 이용한 수처리 방안의 연구가 보고되었다(안, 1993; 안,

1994). 이와 같은 생물학적 처리 방법에 대한 관심이 집중되면서, 현재는 대형수생식물과 육상식물이 생산하는 증식 억제 화학물질 (allelopathy)을 통한 조류제어방법이 대두되고 있으며, 특히 많은 외국 연구자들에 의해 보리짚을 이용한 조류제어효과가 보고되었다(Gibson *et al.*, 1990; Pillinger *et al.*, 1992; Barrett and Newman, 1993; Barrett, 1994; Cooper *et al.*, 1997). 그러나 국내에서는 보리짚의 공급이 부족하고, 특히 조류억제효과가 나타나기까지 최소 6개월 이상의 시간이 소요되는 (Barrett, 1994) 단점이 있어 보리짚을 이용하는 경우 강수량 등 변화가 심한 인공호에 직접적으로 적용하기에

\* Corresponding author: Tel: 0338) 772-7896, Fax: 0338) 773-2268, E-mail: limnolim@hanmail.net

는 어려운 점이 많다. 또 다른 연구자들(Olmsted and Rice, 1970; Rasmussen and Einhellig, 1977; Rice *et al.*, 1980)에 의하면 솔잎의 경우도 phenolic과 benzoic acids가 조류 성장에 있어 증식 억제 화합물질로 작용한다고 하였다. 수생식물도 조류 성장을 억제하는 화합물질을 방출하고(Houzuki *et al.*, 1960), 부들은 phenolic acids를 생성한다(Aliotta *et al.*, 1996). 그러나 이런 식물들을 이용한 조류 증식 억제 연구는 거의 없는 실정이고, 최근에 Kang (1999)에 의해 국내에서 솔잎, 잣잎, 짚, 쭉, 부들 등 식물체 분해산물에 의한 조류 증식억제에 관한 연구가 진행된 바 있다. 보리짚의 경우 어느 정도의 분해시기를 요구하는 반면, 벧짚을 비롯한 여러 가지 식물에서 0.2시간의 짧은 시간의 용출액도 조류증식 제어에 효과를 보였다(Kang, 1999). 따라서 본 연구에서는 팔당호 주위에 자생하는 애기마름, 갈대 등의 수생식물과, 은행잎, 잣잎 등의 육상식물을 이용해 실험실에서 조류제어 효과를 비교하였으며, 특히 습체식물, 전체식물, 식물체 추출물로 구분하여 실험함으로써 분해시간 경과에 따른 조류제어효과를 연구하였다.

## 재료 및 방법

생물학적 조류성장 제어 예비실험을 수행하기 위해 팔당호에서 순수분리하여 배양한 남조류 *Microcystis aeruginosa*를 CB배지에 접종하여 25°C, 100 rpm, 2500 lux의 조건을 갖춘 조류배양장치(Innova 4340, New Brunswick, U.S.A)에서 24시간 연속 배양하여 조류를 증식시킨 후 접종부터 대수증식기까지 식물체를 투여하여 조류제어 효능을 조사하였다.

조류제어에 사용된 식물은 Table 1에 나타낸 바와 같이 팔당호 주변에서 자생하고 있는 식물(수생식물 : 애기마름, 줄, 갈대, 애기부들, 꽃창포, 육상식물 : 잣나무, 소나무, 은행나무, 벚)의 잎들을 1999년 7월과 9월 사이에 실험시 마다 채취하여 실험실로 운반한 후 습체, 전체, 막자사발로 잘게 부수어(추출물) 조류 성장제어실험에 적용시켰다.

습체실험에서의 식물 투여량은 각각 0.5 g/l와 2.5 g/l로 하였고, 전체실험에서는 50°C에서 3일 동안 건조시켜 2.5 g/l을 투입하였다. 이후 대조구를 포함한 모든 삼각플라스크를 배양기로 옮기고 10일 동안 배양시켰다. 배양기간 동안 대조구와 식물 처리구 각각의 시료를 일부 취하여 엽록소 a 농도와 세포수를 측정하였다. 또한 육상식물 중에서는 잣잎을, 수생식물 중에서는 애기마름을 선정하여 각 식물체를 0.25 g과 0.5 g으로 각각 취해

**Table 1.** Applied plants for inhibitory of algal growth.

	Common name	Scientific name	국 명
Aquatic Plants	Water chestnut	<i>Trapa incisa</i>	애기마름
	Cattail	<i>Typha angustata</i>	애기부들
	Iris	<i>Iris ensata</i> var. <i>spontanea</i>	꽃창포
	Wild-rice	<i>Zizania latifolia</i>	줄
	Waterreed	<i>Phragmites communis</i>	갈 대
Terrestrial Plants	Big cone pine	<i>Pinus koraiensis</i>	잣나무
	Pine needles	<i>Pinus sylvestris</i>	소나무
	Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	은행나무
	Rice straw	<i>Oryza sativa</i>	벼

증류수와 섞은 후 막자사발로 분쇄하였으며, 각각을 1000 rpm에서 50분간 원심분리 시킨 후 GF/C 여과지로 여과하여 추출물을 분리시켜 투여량을 1.25 g/l와 2.5 g/l로 조정하여 9일간 배양시켰다. 배양기간 동안 대조구와 추출물 투여조 각각의 시료를 일부 취하여 엽록소 a 농도와 세포수를 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 실험실에서 조류배양장치를 이용한 조류제어

#### 1) 습체식물 (wet plants)에 의한 조류제어

*Microcystis aeruginosa*를 CB배지에 10<sup>4</sup> cells/ml 수준으로 접종시킨 후 대조구를 제외한 각각의 실험구에 습체식물 0.5 g/l을 투여하여 10일간의 엽록소 a 농도와 세포수를 조사하였다. 엽록소 a의 경우 Fig. 1과 같다. 육상식물의 경우 초기에 약간의 효과를 보인 솔잎을 제외한 나머지 식물은 오히려 엽록소 a의 농도를 증가시키는 결과를 나타냈다. 육상식물이 전혀 효과를 보지 못했던 경우와 다르게 수생식물에서는 애기마름과 창포 투여조에서 효과가 있었다. 세포수의 조사결과 역시 솔잎을 포함한 모든 식물에서 대조구에 비해 월등히 세포수가 증가하고 있었다(Fig. 2). 이는 투여된 식물체가 조류 증식을 억제하기보다는 오히려 조류 성장에 필요한 촉매 역할을 했을 것으로 사료된다.

그러나 식물 처리량을 2.5 g/l로 증가시켰을 경우 조류 증식 억제효과는 뚜렷하게 나타났다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 육상식물의 경우 배양 5일 후부터 대조구의 조류가 지수 성장을 보여 7일째 최고 성장기를 나타내었지만 식물 처리조에서는 여전히 낮은 수준의 엽록소 a 농도를 유지하였다. 식물간 억제효율은 잣잎 > 은행잎 > 솔잎 > 벧짚 순으로 높게 나타났으며, 특히 벧짚은 다른 식물에 비해 5일째부터 효과를 보이기 시작했는데 이는 각 식물에 따른 분해속도의 차이에서 오는 결과라 추측

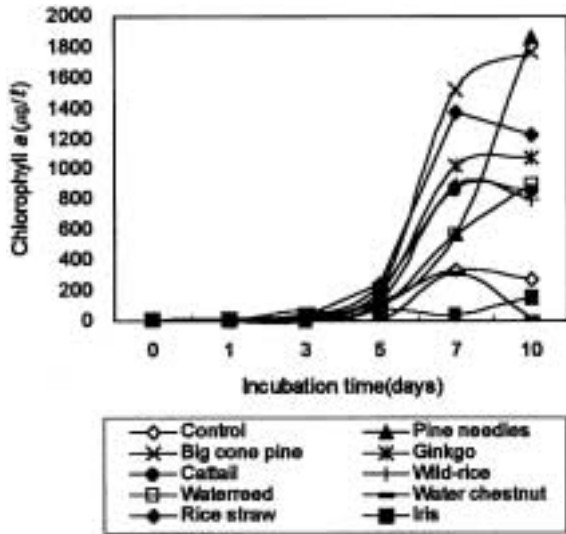


Fig. 1. Changes of chlorophyll a concentration of *M. aeruginosa* with the input of wet plants (0.5 g/l).

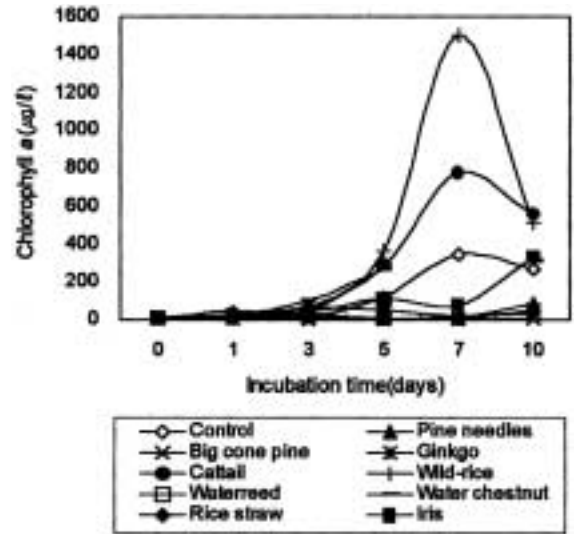


Fig. 3. Changes of chlorophyll a concentration of *M. aeruginosa* with the input of wet plants (2.5 g/l).

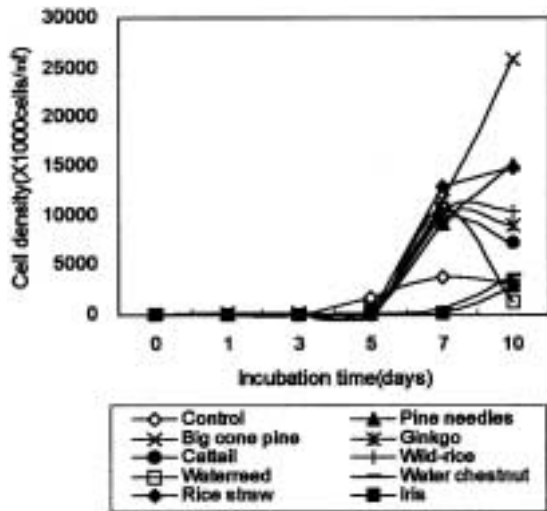


Fig. 2. Changes of cell density of *M. aeruginosa* with the input of wet plants (0.5 g/l).

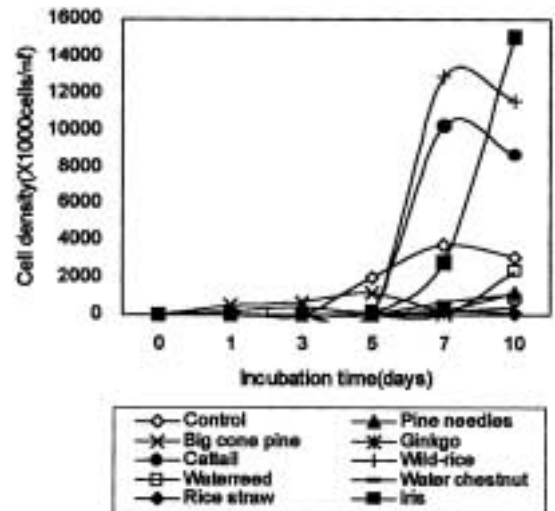


Fig. 4. Changes of cell density of *M. aeruginosa* with the input of wet plants (2.5 g/l).

된다. 육상식물이 2.5 g/l 투입량에서 확실한 효과를 보인 반면 수생식물은 0.5 g/l 투입량과 비슷한 경향을 보였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 세포수의 경우는 투입량을 증가시킬 수록 전반적으로 증식제어 효과가 높았고, 그 중에서 창포 투입조는 대조구에 비해 증식 속도는 느렸지만 점차적으로 조류가 증식하여 10일째는 대조구에 비해 오히려 2~3배의 조류가 증식했으나, 애기마름 투입조는 대조구에 비해 증식 속도가 현저히 낮아 실험 종료까지 높은 제어 효율을 보였다.

습체식물 투입 (2.5 g/l)에 따른 엽록소 a와 조류세포수의 억제효과는 Table 2와 같다. 육상식물의 경우 전반적으로 지수 성장을 보이는 5일째부터 시작해서 최고 성장기를 보이는 7일째에 억제효율이 가장 높았다. 대조구의 엽록소 a값이 122 µg/l인 5일째는 잣잎 98%, 은행잎 98%, 솔잎 91% 벗짚 58% 순으로 조류성장억제 효과를 보였고, 343 µg/l로서 최고 성장기를 나타내는 7일째는 잣잎 99%, 은행잎 98%, 솔잎 97%, 벗짚 94% 순으로 5일째 대비 비슷한 효과가 있었으나 벗짚의 효과는 두드러

**Table 2.** Inhibitory effect of the blue-green alga *M. aeruginosa* growth by wet plants in flask culture (2.5 g/l).

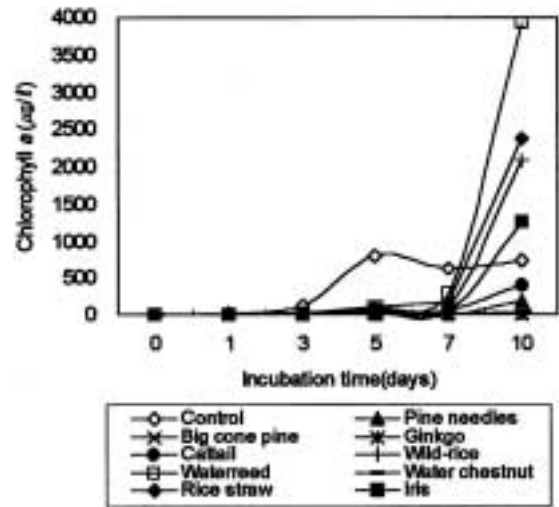
Factor	Materials	Incubation time (days)				
		1	3	5	7	10
Chl- <i>a</i> (%)	Pine needles	0	9	91	97	70
	Big cone pine	0	98	99	99	96
	Ginkgo	0	18	98	98	81
	Rice-straw	0	0	58	94	85
	Cattail	0	0	0	0	0
	Wild-rice	0	0	0	0	0
	Waterreed	0	0	0	-	0
	Water chestnut	0	0	99	93	87
	Iris	0	0	10	76	0
	Cell density (%)	Pine needles	0	0	95	94
Big cone pine		0	0	40	92	87
Ginkgo		62	66	98	96	85
Rice-straw		0	50	99	94	96
Cattail		25	33	0	0	0
Wild-rice		37	66	0	0	0
Waterreed		25	83	5	81	23
Water chestnut		12	16	96	98	65
Iris		62	83	93	23	0

지게 나타났다. 10일째는 잣잎을 제외한 은행잎, 솔잎, 벗짚은 다시 처리 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 대조구 값에 따른 처리효율을 살펴보면, 엽록소 a의 경우 애기마름 투여조가 5일째 99%, 7일째 93%, 10일째 87%로 각각 가장 높은 효율을 보였고 애기부들, 줄, 갈대는 효율이 전혀 없었다.

세포수로 측정한 억제 효율은 엽록소 a와는 다소 차이를 나타내었는데 육상식물은 대조구의 세포수가  $1.98 \times 10^6$  cells/ml으로 조사된 5일째는 대조구 값에 따른 처리 효율이 잣잎 40%, 은행잎 98%, 솔잎 95% 및 벗짚 40% 순으로 높았고,  $3.76 \times 10^6$  cells/ml을 나타낸 7일째는 은행잎 96%, 솔잎 94%, 벗짚 94%, 잣잎 92%로서 엽록소 a경향과는 달리 잣잎 효율이 조금 낮았다. 수생식물은 초기에 창포 투여조가 62~83%로 가장 높은 효율을 보였고, 지수 성장기를 보이는 5일째부터는 애기마름 투여조가 65~96%로 가장 높았다. 보리짚 medium 11당 7g을 투여하여 90%의 억제 효율을 보였던 Ridge and Pillinger (1996)의 연구결과에 비해 육상식물 습체는 배지 11당 2.5g으로 투여했을 때 95% 이상의 높은 효율을 나타냄으로서 보다 적은 양으로 더 좋은 효과를 나타내었다.

**2) 전체식물 (dried plants)에 의한 조류제어**

실험 식물체들을 50°C에서 3일 동안 건조시킨 후 2.5



**Fig. 5.** Changes of chlorophyll a concentration of *M. aeruginosa* with the input of dried plants (2.5 g/l).

g/l로 투여하여 10일간 실험하였다 (Fig. 5). 육상식물 투여실험에서 엽록소 a의 경우 솔잎은 배양 후기에서 처리효율이 감소하는 경향이었고, 벗짚 투여조는 다른 식물체 투여조에 비해 처리효율이 감소하는 경향을 보이다가 10일째는 대조구에 비해 조류가 훨씬 더 증식하였다. Kang (1999)은 벗짚이 초기에 효과적이라 하였으나, 보리짚은 최소한 1~2개월이 지난 후 조류 증식 억제에 효과가 있다고 보고되었다 (Harper and Lynch, 1985; Welch et al., 1990; Barrett, 1994). 수생식물 전체를 2.5 g/l로 투여한 결과, 전반적으로 모든 식물이 습체식물 보다 높은 효과가 있는 것으로 조사되었다. 엽록소 a의 경우, 7일까지는 모든 식물이 처리 효율이 높았으며, 애기마름>부들>창포>줄>갈대 순으로 높았다. 10일째에서는 애기마름과 부들을 제외한 나머지 식물 투여조에서는 대조구에 비해 두배 이상의 높은 엽록소 a값을 보였다.

세포수의 경우 육상식물에서는 잣잎 투여조가 엽록소 a 농도에서와는 달리 10일째 처리효율이 감소하였고, 다른 식물은 엽록소 a 농도와 유사한 경향을 나타내었으며 수생식물 투여시 7일까지는 엽록소 a와 같은 경향을 보이다가 10일째에는 애기마름 투여조만이 효과를 나타내었다 (Fig. 6).

Table 3은 식물을 건조시켜 각각의 시험조에 투여시킨 후 대조구 값에 따른 조류처리 효율을 나타낸 것이다. 육상식물 처리조에서는 습체실험과 마찬가지로 대체적으로 시간이 경과함에 따라 억제 효율이 증가하였고 전체실험에서 대조구의 엽록소 a 농도가 802.6 µg/l로 조류가 최대 성장된 5일째에 조류 증식 억제 효율을 보

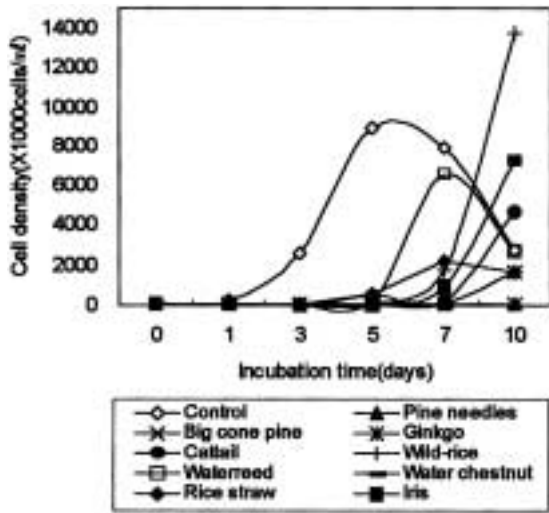


Fig. 6. Changes of cell density of *M. aeruginosa* with the input of dried plants (2.5 g/l).

면 잣잎 98%, 은행잎 96%, 솔잎 95%, 벚짚 86%의 순이었고, 대조구의 엽록소 a값이 633.9 µg/l인 7일째는 솔잎, 잣잎, 은행잎이 각각 98%, 벚짚 72%를 나타내었다. 세포수의 경우도 5일째 잣잎, 솔잎, 은행잎 각각 99%, 벚짚 93%의 높은 효율을 보였으며, 7일째는 은행잎 99%, 솔잎, 잣잎 각각 98%, 벚짚 72%를 나타내었다. 이상의 결과로 볼 때, 건채식물은 습채식물에 비해 배양초기부터 조류 증식억제 효과를 나타내어 조류증식 억제효과를 나타내는 시기가 빠름을 알 수 있었다. 한편 식물체에서 조류 억제 물질은 미생물분해 작용으로 인해 용출되는데 (Barrett, 1994), 건채는 습채에 비해 미생물 분해 작용이 보다 빠르고 쉽게 진행되었기 때문으로 사료된다.

최고 성장기를 나타내는 5일째를 중심으로 수생식물 처리조에서 조류증식억제 효율을 살펴보면 엽록소 a의 경우 부들 및 창포가 각각 96%, 애기마름 93%, 줄 92%, 갈대 85% 순이었고, 7일째는 애기마름 96%, 창포 93%, 부들 89%, 줄 80% 및 갈대 54%로 여전히 좋은 효율을 보였다. 세포수의 경우 처리 효율은 5일째에 애기마름, 창포 및 줄이 각각 99%, 갈대 97%, 부들 94%로 가장 높은 효과를 나타냈고, 7일째 또한 애기마름 투여조가 가장 효율이 좋았다. 그러나 10일째에는 애기마름만이 엽록소 a 경우 93%, 세포수 100%를 나타낼 뿐 다른 모든 식물에서는 효율이 나타나지 않았다. 따라서 각각의 식물들이 모두 높은 효율을 보이고는 있지만 일정한 시간이 지나면 역으로 조류를 과다 증식시키는 경향이 있었다. 이것은 조류 억제 화학 물질이 일정한 시기에만 활성이 나타나며 항상 조류에 억제 작용을 하는 것이

Table 3. Inhibitory effect of the blue-green alga *M. aeruginosa* growth by dried plants in flask culture (2.5 g/l).

Factor	Materials	Incubation time (days)				
		1	3	5	7	10
Chl- <i>a</i> (%)	Pine needles	64	92	95	98	75
	Big cone pine	29	91	98	98	100
	Ginkgo	40	84	96	98	97
	Rice straw	35	75	86	72	0
	Cattail	64	76	96	89	45
	Wild-rice	100	84	92	80	0
	Waterreed	64	92	85	54	0
	Water chestnut	29	78	93	97	93
	Iris	35	91	96	93	0
	Cell density (%)	Pine needles	71	96	99	98
Big cone pine		76	99	99	98	40
Ginkgo		76	98	99	99	97
Rice straw		82	95	93	72	41
Cattail		82	99	94	97	0
Wild-rice		67	99	99	77	0
Waterreed		78	99	97	18	3
Water chestnut		84	99	99	100	100
Iris		84	99	99	87	0

아니기 때문인 것으로 사료된다 (Welch et al., 1990).

3) 식물체 추출물 (plant extracts)에 의한 조류제어

식물체 중 비교적 효과가 좋은 잣잎과 애기마름을 선정하여 막자사발로 1.25 g/l와 2.5 g/l씩 각각 분쇄 후, 얻어진 추출물을 이용하여 조류증식에 대한 억제효과를 조사하였다. Fig. 7은 엽록소 a 농도 변화를 나타낸 것인데 잣잎투여조는 1.25 g/l추출물을 처리했을 때는 5일째까지만 약간의 효과를 보이다가 최고 성장기를 나타내는 7일째는 오히려 조류가 증식하였다. 습채실험과 마찬가지로 추출물 실험에서도 2.5 g/l의 추출물을 처리했을 때 높은 조류 제어 효율을 나타내었다. 수생식물 중에서는 효과가 좋은 애기마름을 선정하여 1.25 g/l, 2.5 g/l로 투여 후, 조류증식 억제효과를 조사하였다. 2.5 g/l 투여조에서만 효과를 보인 잣잎의 결과와는 달리, 애기마름은 1.25 g/l로 투여한 조에서도 효과를 보였다. 세포수의 경우에도 엽록소 a의 변화와 유사한 경향을 보였다.

Table 4는 잣잎과 애기마름 두 종의 식물체 추출물의 대조구에 따른 처리 효율을 표시한 것이다. 잣잎의 경우 엽록소 a 농도와 세포수 모두 1.25 g/l로 투여한 실험조는 초기에만 40~77%의 효과를 보이고, 엽록소 a 농도가 381.2 µg/l로 최고 성장기를 나타내는 7일째 이후에는 전혀 효과가 없었다. 그러나 식물 투여량을 2.5 g/l로 증가시 억제 효율은 두드러지게 나타났다. 배양 9일째까

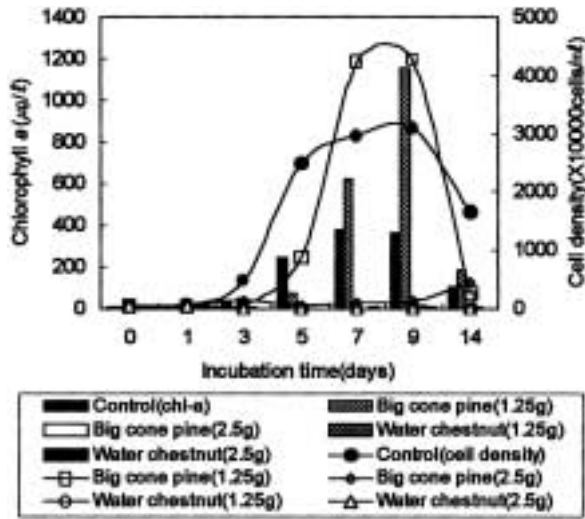


Fig. 7. Changes of chlorophyll *a* and cell density of *M. aeruginosa* with the input of plant extracts (1.25 g and 2.5 g/l).

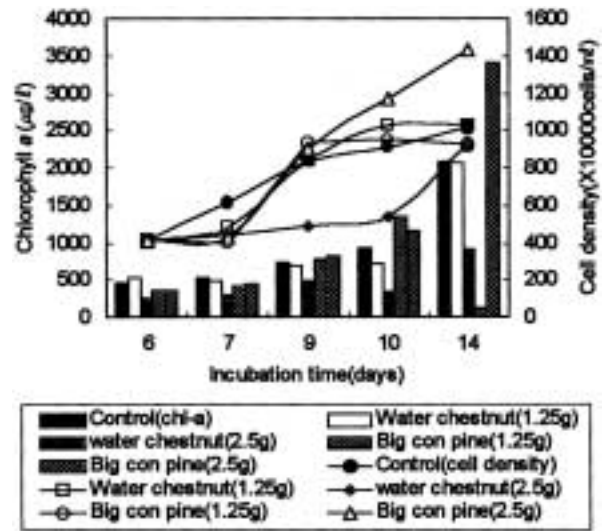


Fig. 8. Changes of chlorophyll *a* and cell density of *M. aeruginosa* with the input of plant extracts after somewhat algal bloomed (1.25 g and 2.5 g/l).

Table 4. Inhibitory effect of the blue-green alga *M. aeruginosa* growth by plant extracts in flask culture (1.25 g and 2.5 g/l).

Materials	Factor (%)	Amount (g)	Incubation time (days)					
			1	3	5	7	9	14
Big cone pine	Chl- <i>a</i>	0.25	0	77	70	0	0	0
		0.5	0	50	98	97	92	20
	Cell density	0.25	40	65	65	0	0	0
		0.5	26	98	98	96	95	73
Water chestnut	Chl- <i>a</i>	0.25	0	77	100	100	95	89
		0.5	0	100	100	97	97	99
	Cell density	0.25	60	100	100	100	100	100
		0.5	26	100	100	100	100	100

지 전반적으로 95% 이상의 높은 효율을 보였고, 14일째는 엽록소 *a* 농도의 경우 20%, 세포수의 경우 73%로 다소 효율이 감소되었다. 애기마름은 추출물 투여 후 5일째 대조구의 엽록소 *a* 농도가 241.2 µg/l일 때 1.25 g/l, 2.5 g/l 투여조 각각 100%의 억제 효과를 나타냈고, 대조구의 엽록소 *a* 농도가 381.2 µg/l인 7일째는 1.25 g/l 투여조는 100%, 2.5 g/l 투여조는 98%로 매우 뛰어난 억제 효과를 보였다. 세포수의 경우도 모두 100%의 억제 효과를 나타냈다.

한편 배양 초기부터가 아닌 일정시간 조류를 증식시킨 후에 추출물을 투여하여 조류 제어 효율을 조사하였다 (Fig. 8). *M. aeruginosa* 초기 농도값이 10<sup>4</sup> cells/ml이 되도록 접종하여 10<sup>6</sup> cells/ml까지 증식시킨 6일 후에 식

물 추출물을 투여하였다. 갯잎을 투여했을 때 엽록소 *a* 농도와 세포수 모두 조류 제어 효과가 나타나지 않았는데 이것은 과도 증식된 조류의 양 (10<sup>6</sup> cells/ml)에 대한 추출물 투여량이 상대적으로 너무 적었기 때문으로 생각된다. 이러한 결과는 적은 투여량으로 조류증식을 억제하기 위해서는 조류가 지수 성장을 보이기 전에 식물을 투입하는 것이 보다 효과적이라 생각하며 조류가 과도하게 증식하였을 때는 추출물을 더 많이 투여해야 할 것으로 사료된다.

갯잎의 경우 조류증식이 더 왕성해진 반면, 애기마름 투여조는 1.25 g/l, 2.5 g/l 투여조 모두 조류 증식 제어 효과를 보였다. 먼저 엽록소 *a* 농도 변화를 살펴보면 투여 후 1일째 (조류배양 7일째)에 대조구의 엽록소 *a* 농도 534.9 µg/l에 비해 1.25 g/l 투여조는 492.7 µg/l로서 8%로 처리 효율이 매우 낮았고, 2.5 g/l 투여조는 294.4 µg/l로 45%의 처리 효율을 보였다. 대조구의 농도가 917.6 µg/l인 4일째 (조류배양 10일째) 1.25 g/l 투여조에서는 726.1 µg/l로 21%, 2.5 g/l 투여조는 343 µg/l로 63%의 더 높은 처리 효율을 보였다. 세포수의 경우도 애기마름 추출물 1.25 g/l 투여조에서는 투여 1일째 (조류배양 7일째)에 대조구의 세포수가 617 × 10<sup>6</sup> cells/ml에 비해 476 × 10<sup>6</sup> cells/ml로서 23%, 2.5 g/l 투여조는 435 × 10<sup>6</sup> cells/ml로 30%의 억제 효과를 보였고, 대조구의 세포수가 912 × 10<sup>6</sup> cells/ml인 4일째 (조류배양 10일째)는 1.25 g/l 투여조에서는 850 × 10<sup>4</sup> cells/ml로 7%, 2.5 g/l 투여조는

41%의 조류 증식 억제 효율을 보였다.

실험 과정에 있어서 육안으로 관찰시 애기마름 투여 조는 시간이 경과함에 따라 식물체가 분해되면서 잿잎에 비해 진한 갈색을 띄고 있었다. 분해된 썩을 이용하여 조류증식 억제효과를 연구한 Pillinger *et al.* (1995)에 의하면, 하얀색을 띤 분해액은 아무런 억제효과를 나타내지 않은 반면 갈색의 분해액은 높은 억제효과를 나타내었는데, 이것은 갈색의 분해액에 많은 양의 리그닌이 함유되어 있으며 이러한 리그닌이 조류증식을 억제하는 물질이라고 간주하였다. 따라서 투여조가 갈색을 띄는 애기마름은 리그닌을 다량 함유하고 있기 때문에 조류 제어에 대한 적용 가능성이 높을 것으로 사료된다.

## 2. 식물체 투여에 따른 조류의 비증식속도

실험실에서 단일종으로 조류배양시 조류특성상 일정 시간 잠재기를 거친 후 지수 성장하여 정제기에 도달하는 것이 일반적이다. 따라서 본 실험에서는 조류가 최대 성장(집중 후 7일째)할 때를 기준으로 조류성장 대비 증식속도를 나타내어 대조구와 비교하여 식물체 투여조에서의 조류성장 억제효율을 산출하였다.

### 1) 습체식물 투여농도별 비증식속도

Table 5는 습체식물 투여량에 따른 조류의 비증식속도를 엽록소 *a* 기준으로 나타낸 것이다. 0.5 g/l 투여시 대조구의 비증식속도 (0.09 day<sup>-1</sup>) 대비 솔잎 (0.07 day<sup>-1</sup>) 과 잿잎 (0.07 day<sup>-1</sup>)이 각각 22.2%의 억제 효과를 보였다. 2.5 g/l 투여시 0.5 g/l 투여할 때와는 달리 잿잎 (0.0 day<sup>-1</sup>)이 100%의 억제 효율을 나타낸 것을 비롯하여 은행잎 (0.01 day<sup>-1</sup>), 솔잎, 애기마름, 갈대 (0.03 day<sup>-1</sup>) 등 애기부들과 줄을 제외한 식물체에서 33~89%의 비교적 높은 조류성장 저해를 보였다.

Table 6은 습체식물 투여량에 따른 조류의 비증식속도를 조류세포수를 기준으로 나타낸 것이다. 엽록소 *a*를 기준으로 비교하여 보았을 때 전반적으로 조류증식이 제어되는 경향을 보였지만 저해율은 비교적 낮았다. 0.5 g/l 투여시 대조구의 비증식속도 (2.16 day<sup>-1</sup>) 대비 벚짚 (1.51 day<sup>-1</sup>) 투여조가 30.1%로 조류성장률이 가장 낮게 나타났다. 특히 육상식물인 솔잎 (2.08 day<sup>-1</sup>)과 은행잎 (2.11 day<sup>-1</sup>)이 각각 3.7%, 2.3%의 억제율이 낮게 나타난 것에 비해 수생식물인 창포 (1.76 day<sup>-1</sup>), 줄 (1.75 day<sup>-1</sup>)이 약 19%를 나타내 수생식물의 저해율이 비교적 좋은 경향을 보였다. 이에 비하여 2.5 g/l 투여시 0.5 g/l 투여할 때와는 달리 솔잎 (1.2 day<sup>-1</sup>)이 44.6%의 억제 효율을 나타낸 것을 비롯하여 갈대 (1.42 day<sup>-1</sup>), 은행잎 (1.63 day<sup>-1</sup>)

**Table 5.** Specific growth rate of *M. aeruginosa* according to the input of wet plants (Chlorophyll *a*).

Materials	0.5 g wet plants/l		2.5 g wet plants/l	
	SGR (day <sup>-1</sup> )	R.E.(%)	SGR (day <sup>-1</sup> )	R.E.(%)
Control	0.09		0.09	
Pine needles	0.07	22.2	0.03	66.7
Big cone pine	0.12	△33.3	0	100
Ginkgo	0.12	△33.3	0.01	88.9
Cattail	0.11	△22.2	0.13	△44.4
Wild rice	0.11	△22.2	0.13	△44.4
Water reed	0.09	0	0.03	66.7
Water chestnut	0.07	22.2	0.03	66.7
Rice straw	0.12	△33.3	0.06	33.3
Iris	0.06	33.3	0.09	0

\* SGR (Specific Growth Rate), R.E. (Removal Effect)

**Table 6.** Specific growth rate of *M. aeruginosa* according to the input of wet plants (Cell density).

Materials	0.5 g wet plants/l		2.5 g wet plants/l	
	SGR (day <sup>-1</sup> )	R.E. (%)	SGR (day <sup>-1</sup> )	R.E. (%)
Control	2.16		2.16	
Pine needles	2.08	3.7	1.20	44.6
Big cone pine	2.32	△7.4	2.12	2.1
Ginkgo	2.11	2.3	1.63	24.7
Cattail	2.06	4.6	2.14	1.2
Wild rice	1.75	19.0	1.99	8.1
Water reed	1.89	12.5	1.42	34.4
Water chestnut	1.88	13.0	1.88	13.0
Rice straw	1.51	30.1	1.69	21.9
Iris	1.76	18.5	1.97	9.0

\* SGR (Specific Growth Rate), R.E. (Removal Effect)

이 각각 34.4%, 24.7% 등 애기부들, 줄, 잿잎 등을 제외한 식물체에서 비교적 높은 조류성장 저해를 보였다. 전반적으로 습체식물에 의한 비증식속도는 실험상의 오차 한계가 너무 크게 나타나 조류성장 저해율을 해석하기가 어렵다고 본다.

### 2) 건체식물 투여농도별 비증식속도

Table 7은 건체식물 투여량 (2.5 g/l)에 따른 조류의 비증식속도를 엽록소 *a*와 조류세포수로 나타낸 것이다. 엽록소 *a*의 경우 대조구 (1.11 day<sup>-1</sup>)에 비해 잿잎 (0.46 day<sup>-1</sup>)이 58.6%로 조류성장 저해율이 가장 좋은 것으로 나타났고 솔잎 (0.47 day<sup>-1</sup>), 은행잎 (0.50 day<sup>-1</sup>) 등 육상식물이 50% 이상의 증식억제 효과를 보였다.

수생식물 중에서는 애기마름 (0.6 day<sup>-1</sup>)과 창포 (0.6 day<sup>-1</sup>)가 46%의 증식억제 효율을 보였고 기타 식물들도 25~40% 정도로 대조구에 비해 대체로 식물체 투여조

**Table 7.** Specific growth rate of *M. aeruginosa* according to the input of dried plants (2.5 g/l).

Materials	Chlorophyll <i>a</i>		Cell density	
	SGR (day <sup>-1</sup> )	R.E. (%)	SGR (day <sup>-1</sup> )	R.E. (%)
Control	1.11		2.43	
Pine needles	0.47	57.7	1.60	34.2
Big cone pine	0.46	58.6	1.53	37.0
Ginkgo	0.50	55.0	1.53	37.0
Cattail	0.67	39.6	1.75	28.0
Wild rice	0.73	34.2	1.82	25.1
Water reed	0.83	25.3	2.01	17.3
Water chestnut	0.60	45.9	1.00	58.8
Rice straw	0.83	25.3	2.03	16.5
Iris	0.60	45.9	1.74	28.4

\* SGR (Specific Growth Rate), R.E. (Removal Effect)

**Table 8.** Specific growth rate of *M. aeruginosa* according to the input of plant extracts (1.25 g and 2.5 g/l).

Materials	Amount (g/l)	Chlorophyll <i>a</i>		Cell density	
		SGR (day <sup>-1</sup> )	R.E. (%)	SGR (day <sup>-1</sup> )	R.E. (%)
Control		0.88		2.2	
Big cone pine	1.25	0.80	9.1	2.09	5.0
Big cone pine	2.5	0.33	62.5	1.62	26.4
Water chestnut	1.25	0.06	93.2	0.42	80.9
Water chestnut	2.5	0.16	81.8	0.43	80.5

\* SGR (Specific Growth Rate), R.E. (Removal Effect)

에서 조류 성장을 지연시키는 경향을 보였다.

### 3) 식물체 추출물 투여농도별 비증식속도

육상식물의 잣잎과 수생식물의 애기마름의 추출물을 각각 1.25 g/l, 2.5 g/l씩 투여하여 엽록소 *a*와 조류세포수의 비증식속도를 산출하였다 (Table 8). 잣잎은 대조구(엽록소 *a*: 0.88 day<sup>-1</sup>, 조류세포수: 2.2 day<sup>-1</sup>)에 비하여 엽록소 *a*와 조류세포수가 각각 0.8 day<sup>-1</sup> (9%)와 2.09 day<sup>-1</sup> (5%) 등 아주 낮은 저해율을 나타내었으나 2.5 g/l 투여 시에는 0.33 day<sup>-1</sup> (62.5%)와 1.62 day<sup>-1</sup> (26.4%)로 비교적 양호한 조류성장 억제 효과를 나타내었다. 애기마름은 잣잎과는 다르게 2.5 g/l을 투여하였을 때 모두 80% 이상의 아주 높은 조류성장 저해효과를 보였다. 특히 애기마름 1.25 g/l 투여시 엽록소 *a*의 경우 대조구(0.88 day<sup>-1</sup>)에 비해 비증식속도가 0.06 day<sup>-1</sup>로 93%의 현저한 조류 성장억제 효과를 나타내었다.

## 적 요

팔당호 주변에서 자생하는 식물체를 이용하여 실험실

내에서 배양된 남조류에 투여하여 조류증식 억제 효과를 조사하였다. 조류 성장 억제 효과에 있어 육상식물을 이용하는 경우 조류 밀도가 10<sup>4</sup> cells/ml 범위에서의 0.5 g/l 투여량은 전혀 효과를 나타내지 못했던 반면, 2.5 g/l 투여량에서는 95% 이상의 효과를 보였다. 조류 밀도가 10<sup>6</sup> cells/ml 범위에서의 육상식물 투여량은 2.5 g/l 이상이 필요했다. 조류성장 억제에 육상식물은 잣잎, 수생식물은 애기마름이 큰 효과를 보였다. 애기마름 투여조는 조류 밀도가 10<sup>6</sup> cells/ml 범위에서도 2.5 g/l 투여량으로 50%의 억제 효과가 나타났다. 식물체를 이용한 조류 증식 억제 효과는 식물 투여 후 7일째 후 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다. 습체, 건체, 추출물 비교시 추출물이 가장 효과가 좋은 것으로 육상식물 투여조의 경우 1.25 g/l 투여량에 비해 2.5 g/l 투여량에서 현저한 효과를 보였고, 애기마름은 1.25 g/l 투여량에서도 99%의 효과를 보였다. 건체식물은 습체식물에 비해 초기에도 높은 효과를 보였다. 조류의 비증식속도로 보았을 때도 식물체 추출물을 투여했을 때 가장 효과가 좋았고 다음으로 건체, 습체식물 투여순으로 조류 증식억제 효과를 나타내었다.

## 인 용 문 헌

- 안윤주. 1993. 생이가래를 이용한 수질오염물질 제거방안 연구. 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 안창우. 1994. 수처리를 위한 모의습지의 실험적 연구. 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.
- Aliotta, G., M.D. Greca, P. Monaco, G. Pinto, A. Pollio and L. Previtiera. 1996. Potential allelochemicals from aquatic weeds: Their action on microalgae. In *Allelopathy: Field observations and methodology*. Eds. S.S. Narwal and P. Tauro, Scientific Publishres, Jodhpur. pp. 243-254.
- Barrett, P.R.F. 1994. Field and laboratory experiments on the effects of barley straw on algae. 1994 BCPC monograph No.59: Comparing glasshouse and field pesticide performance II. pp. 191-200.
- Barrett, P.R.F. and J.R. Newman. 1993. The control of algae with barley straw. PIRA Conf. Proceedings straw -avaluable raw material. pp. 41-58.
- Cooper, J.A., J.M. Pillinger and I. Ridge. 1997. Barley straw inhibits growth of some aquatic saprolegniaceous fungi. *Aquaculture* **156**: 157-163.
- Gibson, M.T., I.M. Welch, P.R.F. Barrett and I. Ridge. 1990. Barley straw as an inhibitor of algal growth II: Laboratory studies. *J. applied Phycol.* **2**: 241-248.
- Harper, S.H.T. and J.M. Lynch. 1985. Colonization and decomposition of straw by fungi. *Trans. Br. mycol. Soc.*



- 85**: 655-661.
- Hozuki, K., R. Okanishi and H. Sugawara. 1960. Studies on the antagonistic relationship between phytoplankton and rooted aquatic plants. *Jap. J. Limnol.* **21**: 124-130. cited in Control of algal growth by macrophytes and macrophyte-extracted bioactive compounds. Nakai, S., M. Hosomi, M. Okada and A. Murakami, 1996. *Water Sci. and Technol.* **34**: 221-235.
- Kang, P.G., 1999. Effects of the leachates from Decaying plants on the algal growth. M.S. Thesis. Kangweon National University. 88pp.
- Olmsted, C.E. and E.L. Rice. 1970. Relative effects of known plant inhibitors or species from first two stages of old-field succession. *Southwestern Nat.* **15**: 165-173.
- Pillinger, J.M., J.A Cooper, I. Ridge and P.R.F. Barrett. 1992. Barley straw as an inhibitor of algal growth III: the role of fungal decomposition. *J. applied Phycol.* **4**: 353-355.
- Pillinger, J.M., I. Gilmour and I. Ridge. 1995. Comparison of antialgal activity of brown-rotted and white-rotted wood and in situ analysis of lignin. *J. Chem. Ecol.* **21**: 1113-1125.
- Rasmussen, J.A. and F.A. Einhellig. 1977. Synergistic inhibitory effects of p-coumaric and ferulic acids on germination and growth of grain sorghum. *J. Chem. Ecol.* **3**: 197-205.
- Rice, E.L., C.H. Lin and C.Y. Huang. 1980. Effects of decaying rice straw on growth and nitrogen fixation of a blue-green alga. *Bot. bull. Acad. Sinica.* **21**: 111-117.
- Ridge, I. and J.M. Pillinger. 1996. Toward understanding the nature of algal inhibitors from barley straw. *Hydrobiologia* **340**: 301-305.
- Welch, I.M., P.R.F. Barrett and I. Ridge. 1990. Barley straw as an inhibitor of algal growth I: studies in the Chesterfield Canal. *J. applied Phycol.* **2**: 231-239.