

## 남-아연 광 지역의 개구리밥(*Spirodela polyrrhiza*)과 좁개구리밥(*Lemna aequinoctialis*)의 분포

박 봉 규·오 인 혜  
(이화여자대학교 자연과학대학 생물학과)

### The Distribution of Giant Duckweed(*Spirodela polyrrhiza*) and Small Duckweed(*Lemna aequinoctialis*) at a Lead-Zinc Mine Area

Park, Bong-Kyu and In-Hye Oh  
(Dept. of Biology, College of Natural Science, Ewha Womans University)

#### ABSTRACT

The distribution of giant duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) and small duckweed (*Lemna aequinoctialis*) was investigated at lead-zinc mine area and the limiting factors for their distribution were studied by laboratory experiments.

The metal investigated of water affected on the growth of giant duckweed and small duckweed. Under field conditions, both giant duckweed and small duckweed did not persist at more acidic conditions than pH 4.8 or at conditions more than 0.30 ppm of Cd concentration. Giant duckweeds were intolerable, under conditions with less than 0.30 ppm of Cd and above than 0.07ppm of Zn, but small duckweeds were tolerable under conditions of more than 0.07 ppm of Zn concentration. However, neither can live above 7.50ppm of Zn concentration. These field observations corresponded with the results of the laboratory experiments.

#### 서 론

개구리밥과(Lemnaceae)에 속하는 식물은 크기가 작고 실험실에서 무균배양이 쉬우며, 광선, 온도, 배지 조성 등을 조절하기 용이하여(田中, 1981), 생리 실험 재료로 이용된다(Joy, 1968; Trewavas, 1970; Humphrey *et al.*, 1977; Datko *et al.*, 1978). *Lemna*는 배지 성분에 대해 영양 생식, 뿌리의 신장, 꽃의 분화 등이 민감한 반응을 보이므로(佐藤, 1983), 자연 상태에 존재하는 개구리밥과 식물은 그 생육지의 조건을 잘 반영하게 된다.

Landolt(1982)는 세계적인 개구리밥과 식물의 분포가 온도와 건조에 의해 제한되는 것으로 보고하였으며, 우리나라에서도 온도에 의해 제한된다.

본 논문에서는 남·아연 광 지역에서의 개구리밥(*Spirodela polyrrhiza*)과 좁개구리밥(*Lemna aequinoctialis*)의 분포를 조사하고 그 분포를 제한하는 요인을 밝혔다.

## 재료 및 방법

### 야외 조사

조사지 선정 : 야외 조사지는 경기도 화성군 봉담면 상 2리의 삼보광산으로 이곳에서는 8.15광복 이전부터 납·아연·중금속을 생산하여왔다. 중앙의 야산(74.1m)과 그 북쪽으로 흐르는 장하천을 중심으로 하여 동·서편의 논에서 모두 19개 지소를 선정하였다(Fig. 1).

현장에서 개구리밥과 좁개구리밥의 유·무를 기록하고 수온을 측정하였다. 수온은 수면으로부터 3cm 깊이에서 온도계로 3회 측정하여 평균하였다. 물의 pH는 현장에서 측정하였다.

수질 분석 : 각 조사 지소에서 500ml 폴리에틸렌병에 채수하여 질소 및 인산 분석용은 냉동보관하였다. 중금속 분석을 위한 채수병은 미리 산으로 씻어 준비하였으며 현장에서 채수한 후 농질산 2ml를 가하여 pH2.0으로 유지시켰다(Rubio *et al.*, 1984).

냉동 보관된 물은 실온에서 녹인 후  $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 nesslerization법으로,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 Ultraviolet Spectrophotometer로,  $\text{PO}_4^{3-}$ 은 ascorbic acid 법으로, 硬度는 계산에 의하여 값을 얻었다(Standard methods, 1981), Na, K, 및 Ca는 물을 20배로 희석하여 Atomic Absorption Spectrophotometer (A.A: Perkin-Elmer 2380)로 측정하였다. 또, 불 250ml를 농축시킨 후 농질산 15ml를 가하여 300°C에서 3시간 가열 분해시켰다. 분해가 끝나면 식혀서 여과시킨 후 100ml 정용플라스크로 부피를 맞춘 후 A.A로 Cu, Mg, Zn, Fe, Mn, Cd 및 Pb의 함량을 측정하였다.

### 배양 실험

논에서 개구리밥과 좁개구리밥을 채집하여 0.5% 하이포아염소산나트륨 용액에 30초간 담근 후 (Hillman, 1961) 꺼내어  $\frac{1}{2}$  Hutner's medium(Hutner, 1953)에 옮겼다. 배양실에서 1주일간 배양한 후 건강한 frond를 선택하여 실험재료로 하였다. 배양실은 조도 3,000Lux, 낮과 밤의 길이를 각각 16과 8시간으로, 온도는 각각 27과 23°C로 유지시켰다.

pH에 따른 생장 : pH는 M배지(Hillman, 1961)를 HCl과 NaOH를 넣어서 pH3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 및 9.0으로 조절한 후 100ml 삼각 플라스크에 50ml씩 넣고 솜마개를 한 후 고압 증기로 멸균하여 배양기로 사용하였다. 각 배양기에 개구리밥은 2frond, 좁개구리밥은 7frond씩을 넣고 전기의 조건하에서 30일간 배양한 후 총 frond 수를 세었다.

중금속농도에 따른 생장 : 중금속의 농도에 따른 실험의 모든 과정에서 탈 이온수를 사용하였다. M배지에 각 농도의 중금속을 첨가하여, 100ml 삼각 플라스크에 50ml씩 넣고 솜마개를 한 후 고압 증기 멸균하여 배양기로 사용하였다. 각 배양기마다 개구리밥은 4frond, 좁개구리밥은 8frond를 넣고 7일간 배양하였다. 전기의 조건에서 배양한 후 각 플라스크내의 총 frond의 염록소량과 중금속 축적량을 측정하였다. 식물체의 중금속 축적량을 측정하기 위하여 frond를 탈이온수로 씻어내고 농질산 10ml를 가하여 100°C에서 6시간 가열 분해시켰다. 용액이 맑아지면 식혀서 20ml로 부피를 맞춘 후 A.A로 중금속 함량을 측정하였다. 각 중금속별로 농도 구배에 따른 배지의 준비 방법은 다음과 같다.

Cd : M배지에서  $\text{CdCl}_2$ 로 Cd농도를 조절하였다.

Pb : M배지에서 주석산을 제거시키고  $\text{PbCl}_2$ 로 Pb농도를 조절하였다.

Mn : M배지에서  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 로 Mn농도를 조절하였다.

Zn : M배지에서  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 로 Zn농도를 조절하였다.

결 과

분포 광산 지역에서의 개구리밥과 좁개구리밥의 분포를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 조사지 중앙의 야산과 그 북쪽으로 흐르는 장하천을 경계로 하여 광산 부근의 논에는 개구리밥이 전혀 분포하지 않았으나 남쪽의 산록에 위치하는 논에는 좁개구리밥만이 분포하였다 (Fig. 1의 지소 J,K). 그러나 북쪽의 논에는 어느 정도 분포하지 않았다(지소 M~S). 반면에 저수지 쪽에 있는 논에서는 개구리밥과 좁개구리밥이 혼생하였다(지소 A~I). 그 이유는 광산과 인접한 논(지소 J~S)에는 채광이나 선광 후 흘러나오는 물을 관개수로 사용하고 저수지와 인접한 논(지소 A~I)에는 저수지 물을 관개수로 하는데 있다. Table 1의 관개수의 수질 분석 결과를 보면 광산물이 저수지 물에 비해 심한 산성이었으며 중금속 농도가 높았다. 농도간의 차이는 Mn이 가장 크고, Fe, K, Zn 및 Cd 순이었다. 두 관개수가 논을 거쳐 흘러내려가 합쳐지는 곳의 혼합된 물(mixed water), 즉 장하천 하류의 물은 예상한 바와 같이 중금속 농도가 두 관개수의 중간값이었다.

좁개구리밥이 분포하는 곳과 두 종이 혼생하는 곳의 수질을 분석한 결과, 가장 뚜렷한 차이가 있는 것은

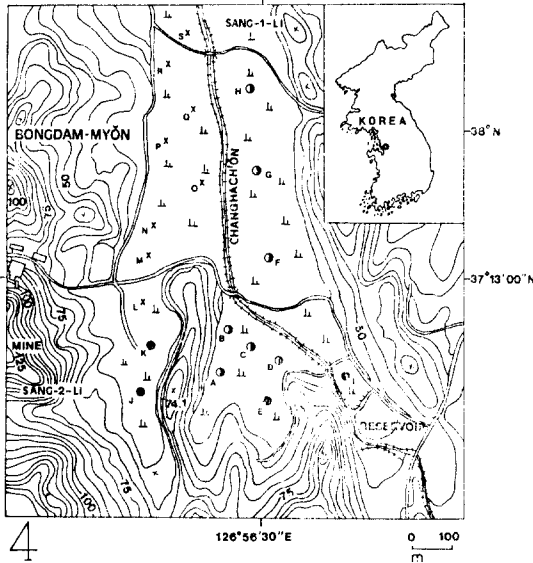


Fig. 1. Distribution of *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis* at lead-zinc mine area at Hwasong, Kyonggi-do. A-S; sampling sites, ○; *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis*, ●; only *L. aequinoctialis*, ×; none.

Table 1. Comparisons of water quality of three different water sources

Quality	Water sources		
	Mine water	Mixed water	Reservoir water
Na (ppm)	7.11	5.78	9.99
K (ppm)	4.16	5.29	2.98
Cu (ppm)	0.57	0.21	0.29
Zn (ppm)	20.24	15.71	2.96
Fe (ppm)	1.55	3.63	1.11
Ni (ppm)	1.38	1.32	1.62
Mn(ppm)	10.80	7.70	0.06
Cd (ppm)	0.14	0.11	0.05
Pb (ppm)	0.41	0.21	0.06
pH	4.50	6.00	5.80

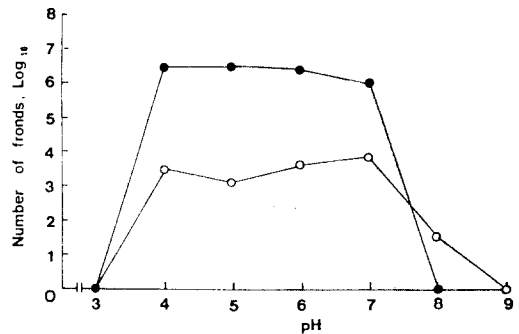


Fig. 2. Growth of *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis* on M media of regulated pH under photoperiodic cycles of 16 hour-light of 3,000 Lux light intensity at  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . ○; *S. polyrrhiza*, ●; *L. aequinoctialis*.

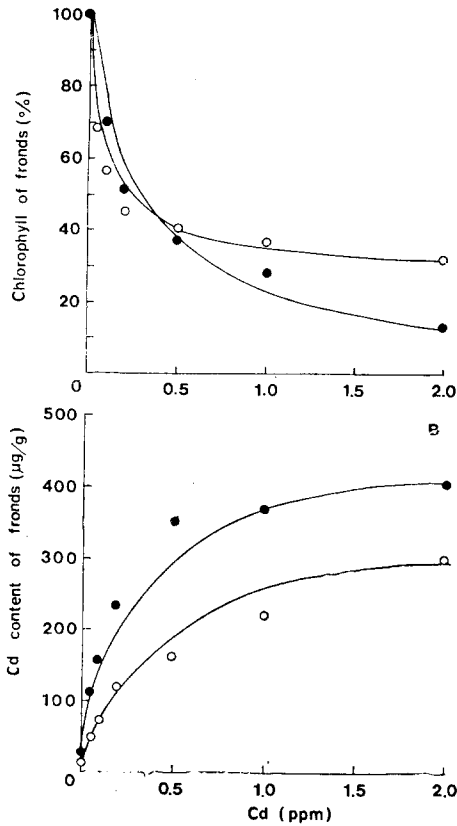


Fig. 3. Effects of Cd on the growth of *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis*. (A) Chlorophyll percentage to that at 0ppm, (B) Cd content of fronds. ○; *S. polyrrhiza*, ●; *L. aequinoctialis*.

**환경 요인의 영향** 실내 배양에 의한 개구리밥과 쯤개구리밥의 생장에 미치는 pH의 영향은 전자의 경우 pH 4.0~8.0, 후자의 경우 pH 4.0~7.0의 범위에서 생존하였다(Fig. 2). Cd 농도의 증가에 따라 두 종의 생장이 모두 저해되었는데 개구리밥보다 쯤개구리밥에서 더욱 저해되었다(Fig. 3. A). 또한 쯤개구리밥의 단위 생체량에 대한 Cd 흡수량은 개구리밥보다 많았다(Fig. 3. B).

개구리밥과 쯤개구리밥의 생장은 Pb 농도가 5ppm에 도달할 때까지 크게 저해되지 않았고 그들의 엽록소량은 배지에 Pb가 전혀 없을 때보다 오히려 증가하였다(Fig. 4. A). 그러나 frond내의 Pb 흡수량은 Pb 농도가 1ppm 이상이 되면 농도가 증가함에 따라 흡수량도 증가하였다(Fig. 4. B).

Mn이 5~15ppm의 농도에서 두 종의 생장이 모두 저해되었는데 쯤개구리밥의 생장이 더욱 저해되었다(Fig. 5. A). Mn농도 증가에 따라 식물체의 흡수량은 증가하였으나 20ppm 이하의 농도에서 개구리밥이 더 많은 양을 흡수하였다(Fig. 5. B). Zn은 다른 금속과는 달리, 그 농도 증가에 따라 쯤개구리밥보다 개구리밥의 생장이 더욱 저해되었다(Fig. 6. A). 또한, 쯤개구리밥은 개구리밥에 비해 단위 생체량 당의 Zn 흡수량이 많았다(Fig. 6. B).

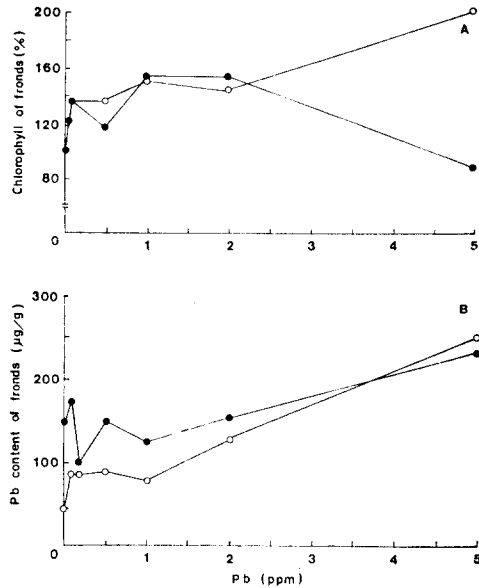


Fig. 4. Effects of Pb on the growth of *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis*. (A) Chlorophyll percentage to that at 0ppm, (B) Pb content of fronds. ○; *S. polyrrhiza*, ●; *L. aequinoctialis*.

pH였으며 그 원인이 되는 금속 이온 농도나 정도에도 뚜렷한 차이가 있었다. 금속 이온 농도의 차이는 Cd, Ca, Ni, Mn, Zn, Cu, Na 및 Mg순으로 적었다. 물의 pH가 4.8 이하이거나 Cd 농도가 0.30ppm 이상인 지역에서는 두 종이 전혀 분포하지 않았다.

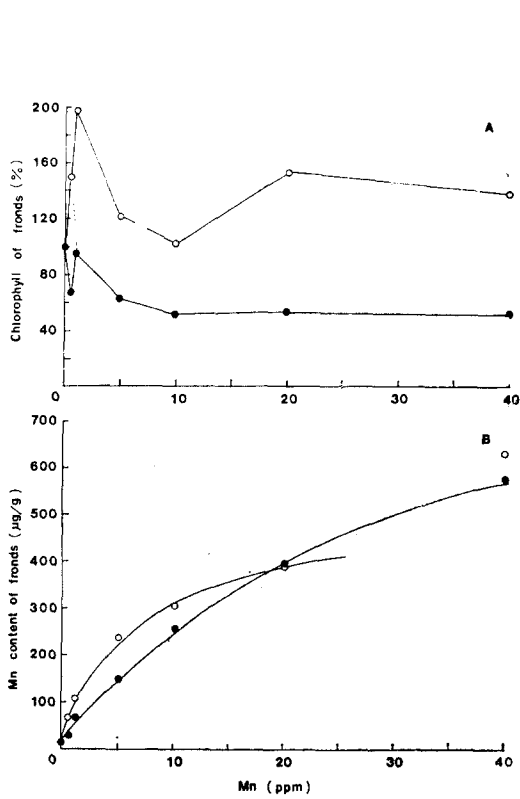


Fig. 5. Effects of Mn on the growth of *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis*. (A) Chlorophyll percentage to that at 0 ppm, (B) Mn content of fronds. ○; *S. polyrrhiza*, ●; *L. aequinoctialis*.

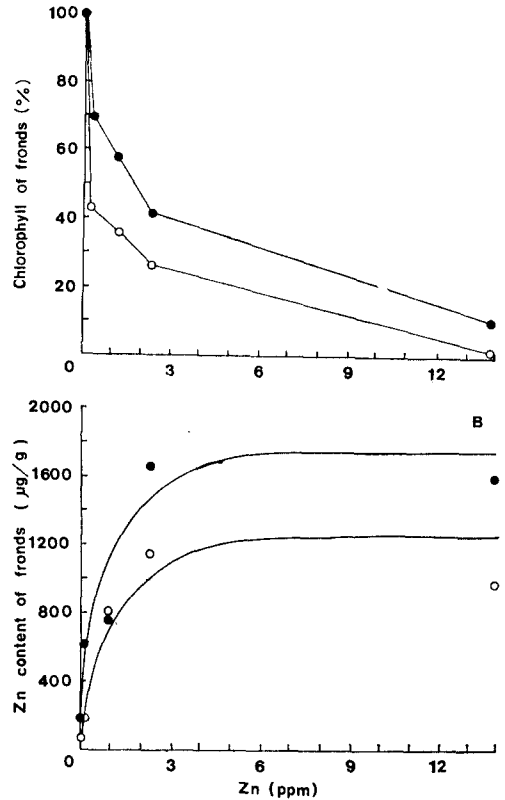


Fig. 6. Effects of Zn on the growth of *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis*. (A) Chlorophyll percentage to that at 0 ppm, (B) Zn content of fronds. ○; *S. polyrrhiza*, ●; *L. aequinoctialis*.

위의 결과로부터 배양액 중의 금속 농도와 frond에 의한 금속의 흡수량과의 관계를 Fig. 7과 8에 표시하였다. Pb와 Mn은 배양의 농도 구배에 따라 frond의 흡수량이 완만하였고 두 종간의 차이가 적었으나 Zn과 Cd은 배양액 농도에 비하여 흡수량이 많았고 또 개구리밥보다 좁개구리밥에서 단위 생체량당 중금속의 흡수량이 많았다.

### 논 의

광산의 폐기물이나 불순물에 포함된 중금속은 하상에 쌓이므로 그 곳에 뿌리를 내리고 사는 식물의 성장에는 큰 영향을 미치게 되지만 물 표면에 떠서 생활하는 생물에는 비교적 영향이 적었다. 그러나 중금속이 높은 농도에 이르게 되면 큰 영향을 미치게 된다(Cabrera *et al.*, 1984).

본 연구에서 조사된 남·아연 광 지역에서는 물의 pH, Cd, 및 Zn 농도가 개구리밥과 좁개구리밥 분포의 제한요인으로 나타났다. pH가 특히 유의적으로 작용하는 것으로 나타나, 물의 pH4.8 이하에서는 개구리밥과 좁개구리밥이 분포하지 않았다. 그러나 배양실험에서는 두 종이 pH4.0에서도 생존하였으나 pH3.0에서는 생존하지 못하였다. McLay(1976)에 의하

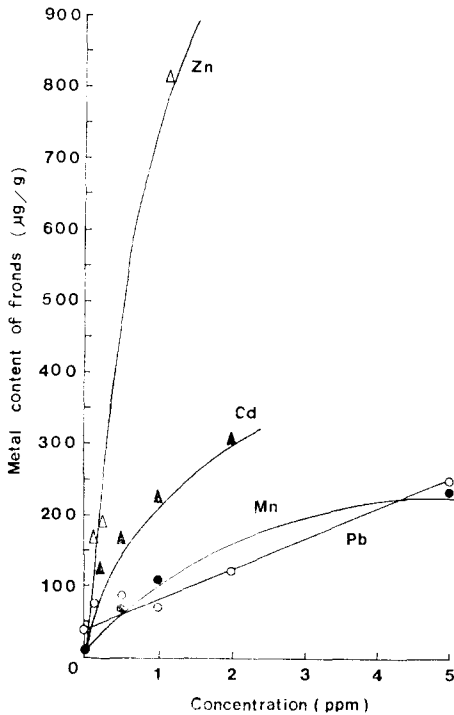


Fig. 7. Metal content of fronds in *S. polyrrhiza* on concentration gradient of metals in the media.

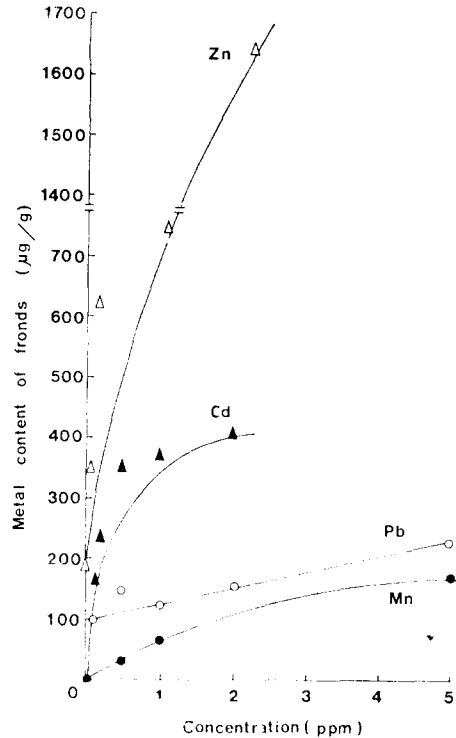


Fig. 8. Metal content of fronds in *L. aequinoctialis* on concentration gradient of metals in the media.

면 Jacob 배지를 사용한 실험에서 pH의 생리적 범위가 개구리밥은 pH3.0~10.0, *L. minor*는 pH4.0~10.0이라고 하였으며, Kwon(1984)은  $\frac{1}{2}$  Hutner 배지를 사용한 실험에서 개구리밥이 pH5.0~9.0, 좁개구리밥이 pH5.0~8.0임을 보고하였다. 이러한 차이는 배지 조성 과 성장 조건의 차이에 의한 것으로 생각되며 어느 실험에서든 *Spirodela*속이 *Lemna*속에 비해 pH의 생리적 범위가 넓었다. 두종의 실험실조건에서의 범위와 자연생육지에서의 pH 범위에 차이가 있는 원인은 자연생육지에서는 pH가 단독으로 작용하지 않고 염류나 중금속의 복합적 작용이 있기 때문으로 생각된다. Tanaka et al. (1982)에 의하면 개구리밥의 개화에 영향을 미치는 Cu이온의 효과는 pH변화에 따라 달라진다고 한다.

광산 지역에서 개구리밥과 좁개구리밥 분포의 제한 요인을 찾아내기 위하여 물의 pH와 Cd농도와의 관계를 조사하였다(Fig. 9). pH가 4.8 이하인 지소에는 어느 종도 분포하지 않았으며 이처럼 낮은 pH에서 특히 Cd농도가 높았다. Cd농도가 0.30ppm 이하이고 pH가 4.8~5.3 범위의 지역에서는 좁개구리밥만이 분포하였고, pH5.3~6.0의 지소에서는 두 종 모두 분포하였다. 배양 실험에 의하면 Cd농도에 대해 개구리밥이 좁개구리밥보다 내성이 컸으나 Cd농도가 높은 지역에서 개구리밥이 분포하지 않았으므로 이 원인은 다른 요인이 관계한 것으로 생각된다(Fig. 9). 그리하여 개구리밥과 좁개구리밥의 분포에 대한 수종의 Zn과 Cd농도와의 관계를 조사하였다(Fig. 10). Cd 농도가 0.30ppm 이하이고 Zn 농도가 0.07ppm 이하인 지소에서는 두 종이 모두 분포하였으나, Cd 농도가 0.30ppm 이하이고 Zn 농도가 0.07~7.50ppm이면 좁개구리밥만이 분포하였고, 그 이상의 Zn농도에서는 어느 종도

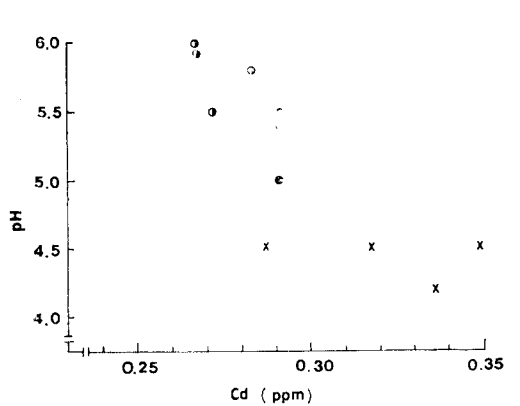


Fig. 9. pH and Cd concentration of water limiting distribution of *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis* at lead-zinc mine area. ○; *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis*, ○; only *L. aequinoctialis*, ×; none.

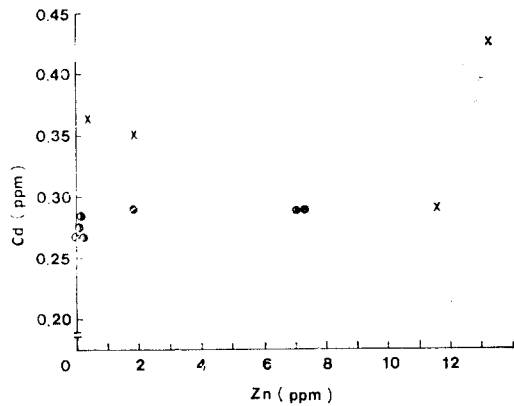


Fig. 10. Cd and Zn concentrations of water limiting distribution of *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis* at lead-zinc mine area. ○; *S. polyrrhiza* and *L. aequinoctialis*, ○; only *L. aequinoctialis*, ×; none.

분포하지 않았다. 이러한 결과는 배양 실험에서 Zn농도의 증가에 따라 좁개구리밥보다 개구리밥의 생장이 더 저해되는 결과와 일치한다.

배양 실험에 의하면 수중의 Mn 농도가 5ppm을 넘으면 개구리밥의 생장이 억제되는데 광산 지역에서 개구리밥이 분포하지 않는 지역의 Mn은 0.5~2.2ppm이므로 Mn이 개구리밥의 분포를 제한하지 않는 것으로 나타났다.

배양 실험에서 Zn은, Cd, Mn, 및 Pb와는 달리, 좁개구리밥보다 개구리밥의 생장을 더욱 저해하며 Zn농도가 0.005ppm 이상이 되면 개구리밥의 생장을, 0.115ppm 이상이 되면 좁개구리밥의 생장을 저해하기 시작하였다. 광산 지역에서 두 종이 전혀 분포하지 않는 지소의 Zn 농도는 11ppm 이상이므로 두 종의 생장을 저해하기에 충분한 농도이다. Zn에 의한 저해 작용은 Mg농도를 증가시킴으로써 중화시킬 수있다(Martin, 1955). 그러나 광산 지역에서는 조사 지소간의 Mg농도 차이는 없었다.

배양 실험에서 두 종의 생장에 대한 중금속의 저해 농도가 야외 조사 결과 보다 더 높은 이유는 자연수에는 여러종류의 금속이온들이 존재하므로, 그들 사이의 상호 작용에 기인한 것으로 생각된다.

조사 지소 I와 E는 두 종의 혼생이 예상되는 곳인데도 개구리밥이 분포하지 않은 것은 지소 I는 저수지로부터, 지소 E는 샘물로부터의 유수를 받으므로 수온이 낮아데 원인이 있었다. 또한 조사 지소 J와 K에서 광산물을 관개수로 이용함에도 불구하고 좁개구리밥이 분포하는 이유는 산의 샘물에서 유래한 계류가 논 물을 희석함으로써 중금속이온 농도가 낮아진 때문일 것이다.

적 요

남·아연 광산 지역의 논에서 개구리밥(*Spirodela polyrrhiza*)과 좁개구리밥(*Lemna aequinoctialis*)의 분포를 조사하고 분포를 제한하는 요인을 밝혔다.

경기도 화성의 남·아연 광 지역에서는 물의 pH, Cd 및 Zn 농도가 개구리밥과 좁개구리밥의 분포를 제한하였다. 수중의 Cd농도가 0.30ppm 이상이거나 pH가 4.8 이하인 지소에서 는 두 종이 분포하지 않았다. 또한 Cd농도가 0.30ppm 이하인 지소라도 Zn농도가 0.07ppm 이상이면 개구리밥은 분포하지 않고 좁개구리밥만 분포하였고, 7.50ppm 이상이면 후자도 분포하지 않았다. 이러한 야외 조사 결과는 배양 실험의 결과와 일치하였다.

#### 인 용 문 헌

- 佐藤 雅志. (1983). 實驗植物としての浮草. 遺傳, 37:78~83.
- 田中 修. (1981). ウキクサの開花とサリチル酸. 植物と自然, 19:16~26.
- APHA-AWWA-WPCF. (1981). Standard methods; For the examination of water and wastewater. 15th ed. American Public Health Association. Washington. p.1240.
- Cabrera, F., C.G. Toga, E. Diaz and P. De Areambarri. (1984). Acid mine water and agricultural pollution in a river skirting the Doñana National Park (Guadiamar river, south west Spain). Water Res., 18:1469~1482.
- Datko, A.H., S.H. Mudd, P.K. Macnicol and J. Giovanelli. (1978). Phytostat for the growth of *Lemna* in semicontinuous culture with low sulfate. Plant Physiol., 62:622~628.
- Hillman, W.S. (1961). Experimental control of flowering in *Lemna*. III. A relationship between medium composition and the opposite photoperiodic responses of *L. perpusilla* 6746 and *L. gibba* G<sub>3</sub>. Amer. Jour. Bot., 48:413~419.
- Humphrey, T.J., S. Sarawek and D.D. Davies. (1977). The effect of nitrogen deficiency on the growth and metabolism of *Lemna minor* L. Planta, 137:259~264.
- Hutner, S.H. (1953). Comparative physiology of heterotrophic growth. In: Growth and differentiation in plants, W.E. Loomis (ed.). Iowa State College Press, Iowa. pp.417~466.
- Joy, K.W. (1968). Nitrogen metabolism of *Lemna minor*. I. Growth, nitrogen sources and amino acid inhibition. Plant Physiol., 44:845~848.
- Kwon, K. (1984). The study on the distribution of Lemnaceae in suburbs of Seoul. Dissertation. Ewha Womans University, Seoul. p. 37.
- Landolt, E. (1982). Distribution pattern and ecophysiological characteristics of the European species of the Lemnaceae. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, 49:127~145.
- Martin, G. (1955). Action antitoxique des ions Mg<sup>++</sup> a l'égard des ions Zn<sup>++</sup>chez *Lemna minor*. Compt. Rend. Soc. Biol., 149:2099~2102.
- McLay, C.L. (1976). The distribution of duckweed *Lemna perpusilla* in a small southern California lake: An experimental approach. Ecology, 55:262~276.
- Rubio, R., J. Huguet and G. Rauret. (1984). Comparative study of the Cd, Cu and Pb determination by AAS and by ICP-AES in river water. Water Res., 18:423~428.
- Tanaka, O., Y. Nasu, A. Takimoto and M. Kugimoto. (1982). Absorption of copper by *Lemna* as influenced by some factors which nullify the copper effect on flowering and growth. Plant & Cell Physiol., 23:1291~1296.
- Trewavs, A. (1970). The turnover of nucleic acids in *Lemna minor*. Plant Physiol., 45:742~751.

(1986년 1월 25일 접수)