

# 水生植物을 이용한 水質汚染源除去에 關한 研究

## 第 2 報 부레옥잠의 營養鹽類 및 重金屬 除去效果

李奎承\* · 金文圭\* · 卞鍾英\*\* · 李宗植\*

### Studies on Removal of Water Pollutants by Aquatic Plants

#### II. Removal of Water Polluted Nutrients and Heavy Metals by Water Hyacinth

Lee, Kyu Seung\*, Moon Kyu Kim\*, Jong Yeong Pyon\*\* and Jong Sik Lee\*

#### ABSTRACT

Removal of water pollutants by water hyacinth was examined with two nutrients, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P and four heavy metals, Cu, Pb, Cd, Cr under laboratory conditions.

NO<sub>3</sub>-N was reduced to 0.7, 0.9 and 1.2 ppm, and 0.1, 0.2 and 0.5 ppm in PO<sub>4</sub>-P from 10, 25 and 50 ppm 3 days after treatment, respectively. Among heavy metals Cu and Pb were removed faster and higher than Cd and Cr and also amount of heavy metals absorbed by water hyacinth was higher in the order of Cu > Pb > Cr > Cd.

Distribution of heavy metals in this plant was higher in roots than in leaves and amount absorbed in roots was related to the treated concentrations. The harmful effect on growth of water hyacinth was observed in Cu and Cd.

Key words: water pollutant, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, heavy metal.

#### 緒 言

河川과 湖水 및 沿岸海域과 같이 사람의 活動과 관계있는 地域에서의 汚染源으로는 農耕地에 利用된 肥料나 糞尿 등에서 연유되는 질산태 질소(NO<sub>3</sub>-N), 그리고 給水用 방청제와 합성세제류에서 原因을 찾을 수 있는 磷酸鹽을 들 수 있고, 또한 工場廢水나 鑛山廢水에서 주로 기인되어 生態系 破壞 및

人畜毒性에 關係되는 구리(Cu), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 및 크롬(Cr) 등의 重金屬類를 들 수 있다.

따라서 前報<sup>1)</sup>에 실린 바와 같이 水生植物인 부레옥잠을 利用하여 都市下水 및 工場廢水を 處理하려는 시도에서 이미 좋은 結果를 얻었으며, 또 이 植物의 生育 및 繁殖에 關한 實驗을 통해 몇가지 基本的인 特性을 檢討한 바 있다.

이미 이와 關聯된 研究로는 Pirie<sup>8)</sup>가 富營養化를 일으키는 鹽類의 除去可能性을 發表하였고, Boyd<sup>3)</sup>

\* 忠南大學校 農科大學 農化學科, \*\* 忠南大學校 農科大學 園藝學科.

\* Dept. of Agricultural Chemistry, \*\* Dept. of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 300-31, Korea.

<sup>1)</sup> 本 研究는 1984 年度 產學協同財團의 學術研究費 支援에 의하여 遂行되었음.

또한 窒素와 磷酸의 除去能이 크다고 報告하였다. 또한 瀨戶와 濱田<sup>12)</sup>은  $\text{NH}_3\text{-N}$  除去를 實驗하였고, Rogers 와 Davis<sup>10)</sup>도 營養源除去에 대하여 實驗하여 좋은 結果를 얻었다. 한편, 重金屬除去에 關한 研究로는 達山 등<sup>5,6)</sup>이 Pb, Cu 및 Cd의 除去에 대해 實驗하였고, Cooley<sup>4)</sup> 등도 인과 철, 망간의 吸收를 研究하였다.

따라서 本 實驗은 부레옥잠이 이들 營養鹽類나 重金屬類로 汚染된 工場廢水 및 都市下水의 處理에도 利用될 수 있는 지를 알아보기 위해 수행하였으며, 각각에 대한 부레옥잠의 除去效率를 檢討하여 얻어진 몇가지 結果를 報告하고자 한다.

### 材料 및 方法

#### 材 料

前報<sup>9)</sup>와 同一하게  $36 \pm 4\text{g}$ 의 부레옥잠 (*Eichhornia crassipes*)을 사용하였다.

#### 試 藥

Ammonium citrate는 Shinyo社 1급 시약을 사용하였고, Sodium diethyldithio carbamate, Ammonium molybdate, Methyl isobutyl ketone은 Wako社 특급 시약을 이용하였다.

#### 使用 機器

진탕기는 東洋科學의 D342型, Spectrophotometer는 Cecil社의 CE-292 UV/Vis- Spectrophotometer, 그리고 Atomic Absorption Spectrophotometer는 Perkin - Elmer社의 2380型을 使用하였다.

#### 分析 方法

모든 分析은 環境汚染公定試驗法<sup>7)</sup>에 準하여 窒酸性 窒素는 混合酸性試液法, 磷酸鹽 磷은 염화제일 주석 환원법, 그리고 重金屬은 DDTc-MIBK의 原子吸收光度法을 利用하였다.

#### 實驗 方法

營養鹽類인 窒酸性 窒素( $\text{KNO}_3$ )와 磷酸鹽( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )의 除去效率 實驗은 10, 25 및 50 ppm溶液에 부레옥잠을 處理하여 經時的으로 除去되는 양을 調査하였으며,  $\text{Cu}^{2+}$ ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{Cd}^{2+}$ ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{Cr}^{+6}$ ( $\text{CrO}_3$ ) 및  $\text{Pb}^{2+}$ ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) 등 4種類의 重金屬은 濃度(10, 25 및 50 ppm)에 따라 각각의 經時的 除去效率와 生體重의 變化를 調査하였고, 아울러 處理 10일 후의 植物體內로의 移

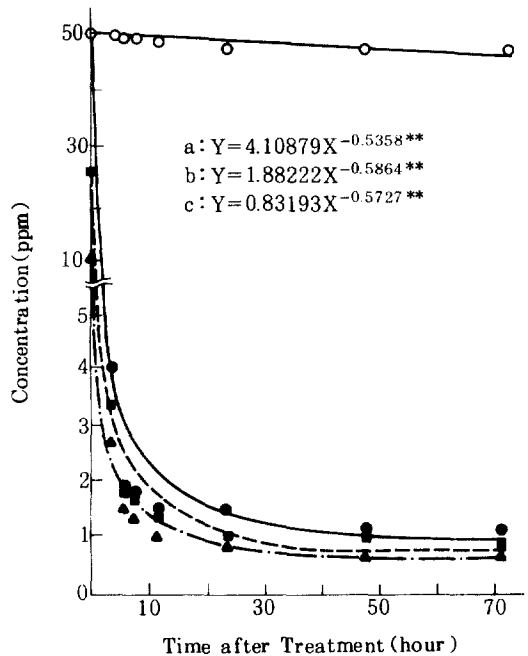


Fig. 1. Removal of  $\text{NO}_3\text{-N}$  by water hyacinth during time course.

● : 50 ppm      ■ : 25 ppm  
▲ : 10 ppm      ○ : control

行程度를 實驗하였다.

### 結果 및 考察

Fig. 1.은 動物性 含窒素有機物과 그 밖의 여러 窒素化合物의 最終酸化物인 窒酸性 窒素의 除去를 보기 위해 初期濃度 10, 25 및 50 ppm에 대해 부레옥잠을 處理한 結果로서 대조구는 經時的으로 거의 變化가 없는데 반해 모든 濃度에서 處理 4時間 以內에 상당히 낮은 水準으로 減少되었고, 3日後에는 各各 0.7, 0.9 및 1.2 ppm으로 除去되었다.

한편, Wooten<sup>13)</sup>은 4일 동안에 22 ppm의 濃度에서 12 ppm으로 除去되었다고 報告하였고, 酒井<sup>11)</sup>는  $\text{NO}_3\text{-N}$  대신  $\text{NH}_4\text{-N}$ 를 대상으로 25°C에서 10일간 處理한 結果 58 ppm에서 3.0 ppm으로 除去시켰는데 이는 本 實驗의 結果보다 다소 낮은 除去率이었으며 이는 植物體가  $\text{NH}_4\text{-N}$ 보다는  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 吸收를 더욱 容易하게 하는데서<sup>1,2)</sup> 기인한 結果로 본다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 와 같은 條件下에서 磷酸鹽 除去實驗을 수행한 結果(Fig. 2), 初期濃度 10, 25 및 50 ppm

에 대해 處理後 3 일동안 0.045, 0.109 와 0.220 mg/g/day의 平均處理効률을 보였으며, 處理 3 일후에 各各 0.1, 0.2 및 0.5ppm으로 除去되었다.

한편, Rogers<sup>10)</sup>는 4 일간 처리하여 3.7 ppm에서 0.1ppm으로 除去되었다고 報告하였으며, Cooley<sup>4)</sup>는 磷이  $PO_4^{3-}$  형태로 植物의 뿌리를 통해 쉽게 吸收되어 잎에 蓄積되었다고 報告하여 磷에 대한 높은 除去能力을 說明하였다. 특히 磷酸鹽은 인산지질, 핵산, 뼈 등의 生體構成成分이 死滅後 분해, 용출된 것과 給水用 방청제로서 加해진 것 그리고 合成洗劑類의 binder로 生活下水 중에 높은 汚染程度를 나타내며, 人體內 과잉 존재할 경우 人산칼슘의 形態로 排泄되기 때문에 체내 Ca과 치아에 해를 가져오므로 磷에 대한 높은 除去効率は 부레옥잠의 이용가치를 더욱 높여준다고 判斷된다.

위의 두 結果로 볼 때 부레옥잠의 營養鹽類 除去能力 특히, 初期의 除去効률이 높은 것으로 나타났다. 이것은 1ha의 부레옥잠 生育으로 연간 1,980kg의 窒素와 322kg의 磷을 除去할 수 있다는 Body<sup>3)</sup>의 報告나 800인이 排泄하는 窒素나 磷을 處理할 수 있다는 Rogers<sup>10)</sup>의 實驗結果처럼 부레옥잠이 이와 같은 營養鹽類로 汚染된 都市下水나 工場排水

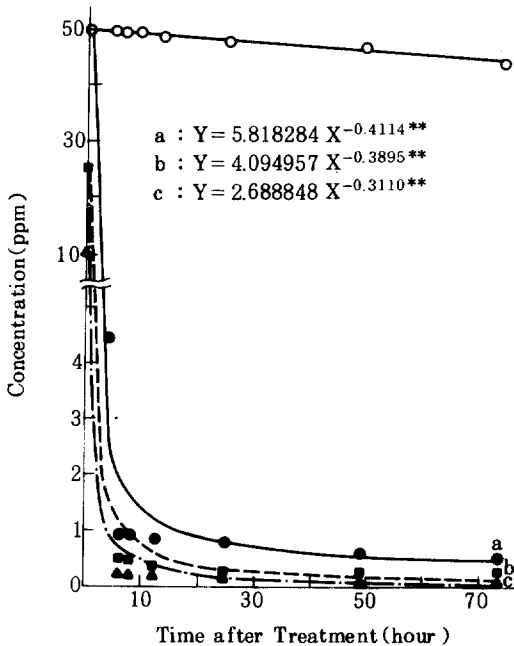


Fig. 2. Removal of  $PO_4-P$  by water hyacinth during time course.

● : 50 ppm      ■ : 25 ppm  
▲ : 10 ppm     ○ : control

의 淨化에 利用可能함을 보여주는 結果이다.

重金屬으로 汚染된 물의 淨化에 本식물체 利用可能性을 보기위해 Cr, Cd, Pb 및 Cu 등 4種類의 重金屬에 대하여 各各 3濃度(10, 25 및 50ppm)에서 實驗하였는데 10 ppm 濃度에서 부레옥잠에 의한 重金屬 除去効률을 나타낸 Fig. 3을 보면 처리 10일후 Cu, Pb, Cd 및 Cr 순으로 各各 92.9, 91.8, 49.3과 40.0%가 除去되어 Cu, Pb의 除去効률이 높은 것으로 나타났다. 이 結果를 平均 處理効률로 보면 Cu의 경우 초기 하루간은 0.091, 2~3일간은 0.001 그리고 4~10일간도 0.001 mg/g/day로 初期効률이 크고, 그후 一定水準을 유지한 반면, Cr은 0.029, 0.013 그리고 0.001 mg/g/day로 時間이 흐를수록 점차 減少하였으며, Cd의 경우도 Cr과 같은 傾向이었다. 또한 Pb는 0.065, 0.010 및 0.014 mg/g/day로 後期에도 効률이 좋은 편이었다.

한편, 達山 등<sup>5)</sup>은 15분간 부레옥잠을 處理하여 10ppm의 Pb, Cu 그리고 Cd를 91.5, 73.0, 46.5% 除去하였다고 報告하였다.

Fig. 4는 各 重金屬의 25 ppm 溶液에서 處理 10 일동안의 經時的인 除去量을 보이는 것으로 10ppm의 경우와는 달리 Cr보다 Cd의 除去가 약간 낮게 나타났으며, 生體重當 1日 平均處理効률은 10ppm의 경우와 유사하게 Pb는 後期の 處理効률이 높은 반면, Cu는 初期의 處理効률이 크고, 그후 급속히 낮아짐을 보였다. Cr과 Cd은 서로 비슷한 効률을

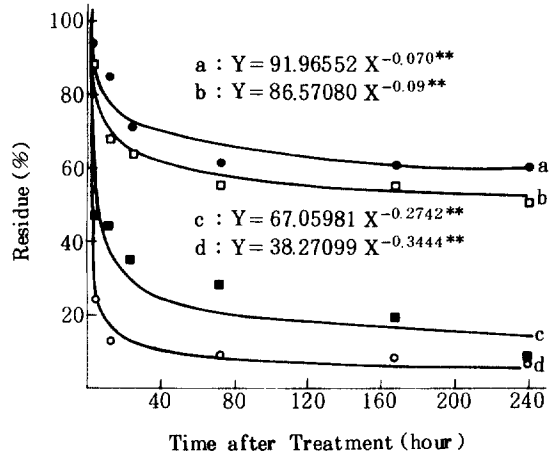


Fig. 3. Removal of heavy metal ions by water hyacinth during time course at 10 ppm.

● : Cr      □ : Cd  
■ : Pb      ○ : Cu

보였으며, 시간이 흐름에 따라 점차 減少하는 경향이였다.

50ppm의 濃度에서 행한 實驗에서는 Cu와 Cd 溶液에 있어서 증금속 汚해로 植物體가 處理 3日 째 壞死하였으나 처리 經향은 25ppm의 結果와 유사하였다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 보는바와 같이 부레옥잠의 重金屬 除去能力은 初期에서 높았으며, 25ppm 보다는 저농도인 10ppm에서 效率이 더 큰 것으로 나타났다.

또한, 같이 수행된 重金屬에 의한 부레옥잠 生體 重의 變化를 보면, 處理 48時間後부터 一部 高濃度 重金屬에 대한 汚해가 나타났기 때문에 부레옥잠은 重金屬으로 汚染된 廢水에 단시간 처리나 1차 처리수예의 적용이 効果의 일 것으로 생각된다.

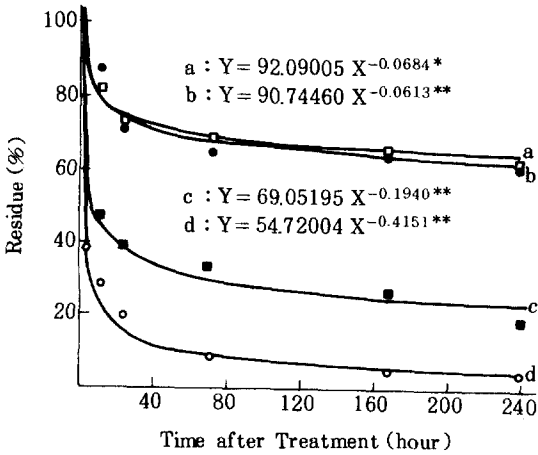


Fig. 4. Removal of heavy metal ions by water hyacinth during time course at 25 ppm.  
 ● : Cr      □ : Cd  
 ■ : Pb      ○ : Cu

各 重金屬의 10, 25 및 50ppm 溶液에 부레옥잠을 處理하여 10日 동안 植物體內로 吸收 除去된 量을 生體重 1g에 대한 무게(mg)로 表示하였다(Table 1).

吸收 除去된 量은 溶液의 濃度가 높을 수록 많았는데 Cu의 경우는 50ppm에 處理된 植物體가 실험도중 重金屬 汚해를 입어 植物體의 含水量 增加로 무게가 늘어났기 때문에 단위 무게당 除去量이 25ppm보다 낮게 나타났다.

또한 重金屬別로 除去된 量은 處理 濃度에 따라 약간의 차이는 있으나 대체적으로 Cu, Pb, Cr 그

Table 1. Amount of heavy metals absorbed by water hyacinth in different concentrations.

Ion	Conc. (ppm)	Root (mg/g) <sup>z</sup>	Leaf (mg/g)	Total (mg/g)
Cu <sup>2+</sup>	10	0.147	0.147	0.294
	25	0.332	0.389	0.721
	50	0.626	0.216	0.842
Pb <sup>2+</sup>	10	0.094	0.088	0.182
	25	0.164	0.285	0.449
	50	0.605	0.268	0.873
Cd <sup>2+</sup>	10	0.062	0.020	0.082
	25	0.078	0.046	0.124
	50	0.121	0.066	0.187
Cr <sup>6+</sup>	10	0.002	0.006	0.008
	25	0.148	0.018	0.166
	50	0.202	0.029	0.231

<sup>z</sup> Absorbed amounts (mg) per fresh weight of water hyacinth(g)

리고 Cd의 순으로 많은 量이 吸收되었는데 특히 Cu는 10, 25 및 50ppm에 대하여 0.294, 0.721, 0.842 mg/g으로 Cr의 0.008, 0.166 및 0.231에 비하여 상당히 많은 양이 吸收되었고, 저농도일 수록 그 비율이 컸다.

한편, 含有 重金屬에 대한 잎 부위와 뿌리 부위의 분포를 비교하여 보면, 대체적으로 뿌리부분에 보다 많은 양이 存在하는 것으로 나타났다.

Table 2는 부레옥잠 處理 10日後의 증금속 분포를 처리수, 식물체 및 뿌리세척수로 나누어 나타낸 것으로 총회수율은 모든 증금속에 대하여 80% 이상으로 나타났다. Pb와 Cu는 處理된 溶液中에 잔류하는 양이 적어 많은 양이 除去되었으나 Cr과 Cd의 경우에는 모든 溶液(10, 25 및 50ppm)에서 初期濃度의 50% 이상이 남아있어 除去效率이 앞의 두 金屬에 비해 낮았다.

한편, 植物體內로 吸收된 量을 잎 부위와 뿌리 부위로 나누어 볼 때 뿌리에서는 Cu, Pb, Cr 및 Cd 순이었고, 잎 부위의 경우는 Pb, Cu, Cr 그리고 Cd의 차례로 Pb는 Cu에 비해 잎 부위로의 이행율이 높은 것으로 나타났다. 그리고 0.1N-HCl로 뿌리에 吸着된 重金屬을 沈出하여 調査한 結果 濃度가 높을수록 吸着量이 많았고, 金屬別로는 Cu, Pb, Cd 및 Cr의 순서로 많은 양이 흡착되었으며, 그 양은 初期濃度의 4.2~46.0% 정도에 해당하였다. 그러나 이렇게 뿌리에 吸着된 것은 pH가 낮아지는 環境條件의 變化로 다시 溶出될 수 있으므로 실제

Table 2. Distribution of heavy metal ions in water hyacinth 10 days after treatment.

Ion	Conc. (ppm)	Residual water	Plant		Root washed water	Total recovery
			Root	Leaf		
Cr	10	6.00 (60.0) <sup>z</sup>	0.84 ( 8.4)	0.94 ( 9.4)	0.58 ( 5.8)	8.36 (83.6)
	25	15.15 (60.6)	6.04 (24.2)	0.34 ( 1.4)	2.07 ( 8.3)	23.60 (94.4)
	50	35.87 (71.7)	7.95 (15.9)	3.74 ( 7.5)	2.10 ( 4.2)	49.66 (99.3)
Cd	10	5.07 (50.7)	1.83 (18.3)	0.64 ( 6.4)	1.03 (10.3)	8.57 (85.7)
	25	15.61 (62.4)	1.95 ( 7.0)	0.61 ( 2.4)	2.81 (11.2)	20.98 (83.9)
	50	34.00 (68.0)	4.85 ( 9.7)	1.66 ( 3.3)	6.36 (12.7)	46.87 (93.7)
Pb	10	0.82 ( 8.2)	3.86 (38.6)	2.14 (21.4)	2.08 (20.8)	8.90 (89.0)
	25	4.80 (19.2)	5.24 (21.0)	3.40 (13.6)	8.62 (34.5)	22.06 (88.2)
	50	8.90 (17.8)	10.96 (21.9)	4.86 ( 9.7)	23.00 (46.0)	47.72 (95.4)
Cu	10	0.71 ( 7.1)	5.10 (51.0)	1.80 (18.0)	2.29 (22.9)	9.90 (99.0)
	25	1.10 ( 4.4)	9.10 (36.4)	4.50 (18.0)	9.63 (38.5)	24.33 (97.3)
	50	1.90 ( 3.8)	21.70 (43.4)	3.80 ( 7.6)	21.65 (43.3)	49.05 (98.1)

z % of total concentration

로 現場廢水에 利用할 때는 이런 점을 유의해야 할 것으로 본다. 아울러 重金屬에 따른 부레옥잠의 生體變화를 본 結果에서는 Pb와 Cr을 除外하고는 실험 3일후 重金屬에 의해 植物體가 壞死하는 피해가 있었으며, 특히 Cu에 있어서 그 피해정도가 더욱 컸다. 이는 達山<sup>6)</sup> 등이 報告한 부레옥잠의 중금속 피해가 Cu, Cd, Pb의 순으로 컸다는 것과 일치하는 結果였다.

以上の 重金屬 除去效率과 植物體의 피해에 대한 結果를 볼 때 Pb는 除去效率이 높고, 重金屬에 의한 害도 비교적 적어 부레옥잠을 利用하여 除去하는데 큰 問題가 없을 것으로 생각되었다.

### 摘 要

熱帶性 水生植物인 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)의 汚染物質 除去效率에 관한 實驗을 통해 나타난 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 初期濃度 10, 25 및 50 ppm 溶液에 대해 處理 3日後 窒酸性窒素는 0.7, 0.9 및 1.2 ppm 그리고 磷酸鹽은 0.1, 0.2 및 0.5 ppm으로 除去되었으며, 이러한 營養鹽類의 除去能力은 初期에서 더욱 높았다.

2. 重金屬의 除去는 Cu, Pb에서 컸으며, 重金屬에 의한 부레옥잠 피해는 Cu, Cd에서 심하였고, 식물체에 의한 重金屬 除去傾向은 대상 中금속의 種類에 따라 서로 달랐다.

3. 植物體로 吸收 除去된 重金屬量은 濃도가 높을수록 많았고, 重金屬別로는 Cu, Pb, Cr, Cd의

순이었으며, 植物體內에서의 분포는 뿌리 부분에 많았다.

4. 부레옥잠 處理 10日後의 植物體內로의 重金屬 吸收과 뿌리에 吸着은 모두 Cu와 Pb는 Cr과 Cd에 비하여 컸으며, 뿌리에의 吸着量은 濃도가 높을수록 많았고, 重金屬別로는 Cu, Pb, Cd, Cr 順이었다.

### 引 用 文 獻

1. Arnold F., 1982. Fertilizers and Fertilization. Verlag Chemie. p. 49.
2. Bailey R. A., H. M. Clarke, J. P. Ferris, S. Krause and R. L. Strong. 1978. Chemistry of the Environment. Academic Press. p. 361-406.
3. Boyd C. E. 1970. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. Economic Botany 24 : 95-103.
4. Cooley T. N., M. Gonzalez and D. F. Martin. 1979. Radio - manganese, - iron, and - phosphorus uptake by water hyacinth and economic implications. Economic Botany 32(4) : 371-378.
5. 達山和紀・江山 宏・山岸建文. 1977. ホテイアオイによる重金屬の收着について. 雜草研究 22 : 151-156.
6. 達山和紀・江山 宏・山本廣基・中村美弱者. 1979. ホテイアオイによる重金屬の收着について(II).

- 雜草研究 24 : 260-263.
7. 金鍾澤. 1982. 環境汚染公定試験法解説(水質分野) 新光出版社. 9211-247.
  8. Pirie N. W. 1970. Weeds are not all bad (Water hyacinths and other pests can also be good animal fodder). *Ceres* 3(4) : 31-34.
  9. 卞鍾英・李奎承・李宗植. 1985. 水生植物을 이용한 水質汚染源除去에 관한 研究. I. 부레옥잠의 有機物 除去効果 및 生長에 미치는 諸要因. 韓雜草誌 5(2) : 13.
  10. Rogers H. H. and D. E. Davis. 1972. Nutrient removal by water hyacinth. *Weed Science* 20(5) : 423-428.
  11. 酒井英市. 1973. ホテイアオイによる豚ふん尿水の淨化處理. 畜産の研究 27(4) : 533-538.
  12. 瀬戸壽一・濱田安憲. 1971. 養豚場の 汚水處理の一工夫. 畜産の研究 25(5) : 707-710.
  13. Wooten J. W. and J. D. Dodd. 1976. Growth of water hyacinths in treated sewage effluent. *Economic Botany* 30(1) : 29-37.