

# 植物에 의한 廢水 中の $Cd^{+2}$ 이온 除去에 關한 研究

## I. 소리쟁이 (*Rumex crispus* L.)의 $Cd^{+2}$ 吸收

車榮一

慶熙大學校 自然科學大學 環境學科

# Studies on the Removal of $Cd^{+2}$ Ion in Wastewater by Plants

## I. Absorption of $Cd^{+2}$ by Dock (*Rumex crispus* L.) Plants

Cha, Young-II

Department of Environmental Sciences, Kyung Hee University

### ABSTRACT

When exposed to 1,700 ml of 0.089, 0.445 or 0.890 mM/l cadmium solution, dock (*Rumex crispus* L.) plants from heavily polluted Chungrangchon site absorbed 0.0404, 0.2244 or 0.4929 mM of cadmium per g dw during the first 4 hours, which were 5.0~30.8 times faster uptake rate than those of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Solm. -Laub.). Zinc, with which cadmium generally occurs together, did not affect the uptake rate in the concentration range of 0.0306~0.0918 mM/l.

*Rumex crispus* from Chungrangchon site and from less polluted Shingalchon site, when exposed to 1,700 ml of 0.089 mM/l solution for 3 days, removed 68.4 % and 63.2 %, respectively, of the cadmium initially present in the solution. And when exposed to cadmium solution of the same concentration for the second time after cadmium-free hydroponic culture for three days, these plants removed 76.1 % and 66.8 % of cadmium, respectively. These removal rates were not significantly different between collection sites or between exposures, but were about 2 times greater for the first exposure, and 2~5 times greater for the second exposure, than those of water hyacinth.

These results indicate that *Rumex crispus* can absorb, and thus remove, large amount of cadmium ion in wastewater, and so can be used in wastewater treatment, e.g. soil trench method. Since there was large difference among the plants in the ability to absorb cadmium, it should be possible to select for strain with greater ability.

### 緒 論

카드뮴, 납, 수은 등 重金屬元素들은 자연상태 하에서도 물이나 土壤에 널리 분포되어 있으나 그 濃度는 일반적으로 매우 낮다. 그러나 産業의 발달과 함께 自然環境이 급속하게 汚染되면서

本 研究는 1986年度 文敎部 學術研究 助成費의 支援으로 이루어졌음.

최근에는 많은 지역에서 이들 重金屬의 濃度가 자연상태보다 2~3배 높게 나타나고 있으며, 심한 경우에는 90배가 넘는다 (沈 등, 1982; 李와 崔, 1980).

이들 重金屬元素 중 카드뮴은 일반적으로 亞鉛鑛과 함께 존재하여, 亞鉛 製鍊을 비롯한 石油化學, 타이어 生産, 染色 등의 産業施設에서 環境으로 排出되며, 潤滑油에서 0.20~0.26, 燃料用油類에서 0.42~0.54, 自動車 타이어에서 20~29mg/kg이 檢出되고 있다 (Levitt, 1980).

카드뮴은 農作物을 포함한 植物體에 잘 吸收되어(崔, 1989) 뿌리의 成長과 生産量을 減少시키고 (許 등, 1983; Wajda *et al.*, 1989), 高等動物의 體内に 蓄積되면 腎臟, 肝腸 및 肺腸의 技能障礙, 骨軟化症, 高血壓 및 각혈, 精巢 壞死, 染色體 異常 등의 症狀이 나타나며, 人體의 경우 심한 痛症을 陪伴하는 이타이-이타이病의 原因이 되는 것으로 알려져 있다 (Klaassen, 1980; 유해물질연구회, 1991).

이와 같은 重金屬에 汚染된 물을 淨化하는 방법으로는 주로 物理, 化學的 處理나 微生物을 이용한 生物學的 處理가 이용되고 있다 (國立環境研究所, 1983). 그러나 이러한 處理施設들은 設置 및 運轉에 많은 費用이 所要되므로, 汚染物質의 濃度가 그리 높지 않은 廢水에 대한 小規模 處理施設에는 實用化하기 어렵다는 經濟性的 問題가 있다.

高等植物은 일반적으로 微生物보다 生體量이 크고 環境要因의 變化에 대한 敏感性이 작으며, 種에 따라서는 體内に 重金屬元素를 매우 高濃度로 蓄積함으로써 metallophyte로 分類되는 것도 있다. 예를 들어 *Minuartia verna*의 뿌리는 납과 카드뮴을 각각 26,300 및 382mg/kg dw, 그리고 *Psychotria douarrei*의 뿌리는 니켈을 92,000mg/kg dw까지 함유하고있는 것으로 報告된 바 있다. 뿐만 아니라 많은 種에서 同種의 다른 個體群에 비해 이들 元素에 대한 耐성이 수백~수천배나 큰 chemo-ecotype이 알려져 있어, 이러한 耐성이 進化될 수 있는 것임을 나타내고 있다 (Larcher, 1983).

따라서 최근에는 高等植物의 이와 같은 能力을 汚染된 물이나 토양의 淨化處理에 이용하려는 試圖가 進行되고 있으며 (Rogers and Davis, 1972; Woodwell, 1977; Dinges, 1978; 김과 이, 1979; McDonald and Wolverton, 1980; Chale, 1985; Sakurai, 1988; 金, 1990), 이와 關聯하여 水中의 汚染物質에 대한 植物의 吸收 特性에 관한 研究도 多數 進行되고 있다 (Page *et al.*, 1972; Cooley and Martin, 1979; Wolverton and McDonald, 1979; Tatsuyama *et al.*, 1977; Chigbo *et al.*, 1982; O'Keeffe *et al.*, 1984).

本 研究에서는 國內에 自生하는 高等植物을 이용하여 카드뮴에 汚染된 廢水を 淨化하는 方案을 摸索하기 위한 基礎調査로서 소리쟁이(*Rumex crispus* L.)가 물 속에 溶解되어 있는 카드뮴이온을 吸收하는 能力과 吸收 速度 및 이에 대한 카드뮴 濃度の 影響을 밝히고자 하였다. 또한 카드뮴이 일반적으로 亞鉛과 함께 存在하고, 亞鉛이 카드뮴의 吸收 및 毒性에 影響을 미친다는 報告(Wajda *et al.*, 1989)가 있으므로 亞鉛이 소리쟁이의 카드뮴 吸收에 어떤 影響을 미치는가를 調査하였다.

## 材料 및 方法

### 材 料

소리쟁이(*Rumex crispus* L.)는 마디풀科(Polygonaceae)에 속하는 多年生 草本植物로 우리나라 全域에 분포하며 냇가나 濕地 등 濕潤한 土壤에 잘 棲息한다. 好窒素 植物로 잘 알려져 있으

며, 肥大한 主根이 있고 直立하는 圓錐花序가 발달하여 開花, 結實한 후에 줄기는 枯死하고 根生葉만 남는다(李, 1980). 圓錐花序 이외에도 뿌리에서 側芽가 발생하여 새로운 葉條로 발달하고, 乾重量이 200g 以上이 되는 것도 적지 않다.

實驗에 사용된 植物은 서울시 城東區 中谷洞 長坪橋 부근의 中浪川邊과 京畿道 龍仁郡 基興邑 下葛里 新葛貯水池 上流의 新葛川邊에서 蒐集하였다. 中浪川은 심하게 汚染된 河川으로, 長坪橋 부근에서의 BOD는 180mg/l, 카드뮴 濃度는 0.0015mg/l로 報告된 바 있고(沈 등, 1982), 新葛川은 이보다는 훨씬 덜 汚染되어 있으나 供試植物 蒐集地點 부근에서의 BOD는 11.4~24.0mg/l, 카드뮴 濃度는 0.26~0.85mg/l로 調査된 바 있다(서와 김, 1987). 이 두 地域에서 소리쟁이는 환삼덩굴(*Humulus japonicus* S. et Z.), 좁명아주(*Chenopodium ficifolium* Smith), 강아지풀(*Setaria viridis* Beauv.) 등과 함께 優占種의 하나였다.

1986년 8월 中旬에 이들 地域에서 아직 開花段階에 달하지 않아 根生葉만 가진, 草丈 15 cm 內외의 소리쟁이 각 40 個體를 가능한 限 뿌리에 損傷이 없이 蒐集, 實驗室로 運搬하여 뿌리를 물로 씻은 다음 10日間 Knop씨 溶液에서 水耕栽培한 後 實驗에 使用하였다. 水耕栽培期間 동안 植物體는 styrofoam에 固定, 溶液 위에 떠 있도록 하였으며, 小型 空氣펌프를 使用하여 3l/min의 空氣를 注入함으로써 뿌리에 酸素를 供給하는 동시에 溶液이 잘 混合되도록 하였다.

#### 카드뮴 吸收速度 測定

소리쟁이 植物體가 카드뮴 溶液에 露出되었을 때 初期段階에서의 吸收速度를 調査하기 위해 中浪川邊에서 蒐集한 소리쟁이 12 個體를 無作爲의으로 選擇, 1日間 蒸溜水에서 水耕栽培한 다음 0.089, 0.445, 또는 0.890mM/l(10, 50, 또는 100mg/l)의 Cd<sup>+2</sup> 溶液 1,700ml가 들어있는 圓筒形의 PVC 容器에 1 個體씩 넣고 1, 2, 3, 4, 및 6 時間 後에 溶液의 Cd<sup>+2</sup> 濃度를 測定하였다. 카드뮴은 8.90mM/l(1,000 mg/l)의 Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 溶液을 stock 溶液으로 使用하였으며, 각 濃도에 대하여 이와 같은 處理를 4 反覆으로 하였다. 植物體는 앞에서와 마찬가지로 styrofoam에 固定하여 溶液 위에 떠 있도록 하였으며, 같은 量의 空氣를 注入하였다.

Cd<sup>+2</sup> 濃度는 每 測定時間 마다 각 容器에서 100ml의 溶液을 取하여 Ionalyzer(Orion, Model 901)와 cadmium電極(Orion, Model 94-48) 및 single junction 比較電極(Orion, Model 90-05)을 使用하여 KA/10 方法으로 測定하였으며 cadmium電極의 slope는 매 時間 補正하였다. Cd<sup>+2</sup> 吸收速度는 두 測定時間 사이의 濃度 變化와 溶液量의 차이로부터 計算하였으며, 空試驗으로서 植物體가 들어있지 않은 溶液의 Cd<sup>+2</sup> 濃度를 각 時間 別로 同時에 測定하였으나 濃도에 變化가 없었으므로 미루어 Cd<sup>+2</sup>의 沈澱이나 容器 內壁에의 附着 등으로 인한 濃度 低下는 일어나지 않았던 것으로 생각된다.

모든 實驗은 8월~10월에 室溫에서 행하였으며, 實驗 終了 후 각 植物體를 收穫, 70℃에서 恒量이 될 때까지 乾燥시켜 個體 當 乾重量을 0.1mg까지 稱量하여 Cd<sup>+2</sup> 吸收速度를 植物體 乾重量(g) 當으로 換算하였다. 그 結果는 2元配置의 分散分析으로 分析하였고, 時間 經過에 따른 累積 吸收量을 回歸式으로 分析하였다.

#### 카드뮴 吸收에 대한 亞鉛의 影響

中浪川邊에서 蒐集한 소리쟁이 12 個體를 無作爲로 選擇, 앞에서와 같은 方法으로 處理하되 각 容器에는 0.445mM/l(50 mg/l)의 Cd<sup>+2</sup>와 함께 0.0306, 0.0612, 또는 0.0918mM/l(2, 4, 또

는 6 mg /l)의  $Zn^{+2}$ 를  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 의 形態로 供給하였다. 카드뮴 濃度 變化的 測定 및 吸收 速度의 計算은 앞에서와 같은 방법으로 하였다.

### 소리쟁이의 카드뮴 吸收能力

中浪川邊 및 新葛川邊에서 蒐集한 소리쟁이 각 5 個體를 選擇, 앞에서와 같은 방법으로 0.089mM /l(10mg /l)의  $d^{+2}$  溶液에 露出, 3日 후의 溶液의 濃度를 測定하였다. 이 植物體들을 3日 間 Knop씨 溶液에서 水耕栽培한 후 다시 같은 濃度의  $Cd^{+2}$  溶液에 3日 間 再露出시킨 다음 溶液의 濃度를 測定하였다. 한 溶液의  $Cd^{+2}$  濃度는 二個의 subsample을 測定하였으며, 그 結果는 nested 分散分析으로 分析하였다.

## 結果 및 考察

### 카드뮴 吸收速度

中浪川邊에서 蒐集한 소리쟁이의 乾重量(平均±標準誤差)은  $1.286 \pm 0.241$  g이었으며, 濃度 處理區 사이에 乾重量의 差異는 存在하지 않았다 ( $F=0.557$ ,  $df=1$  and  $9$ ,  $p \gg 0.05$ ). 이들은 溶液 中の 카드뮴을 빠른 速度로 吸收하였으며 (Table 1), 그 速度는 溶液 中の 카드뮴 濃度에 比例하여 顯著히 增加하였으나 ( $F=39.31$ ,  $df=2$  and  $41$ ,  $p \ll 0.001$ ), 세 濃度에서 모두 時間 經過에 따라 減少하여 biphasic한 吸收類型 (O'Keeffe *et al.*, 1984)을 나타내었다. 따라서 時間 經過에 따른 植物體 乾重量 1 g 當 累積 吸收量 (Fig. 1) 역시 溶液 濃度에 따라 큰 差異가 있었으며,  $t$ 를 露出時間(h)이라 할 때 累積 吸收量(mM /g dw)  $Y$ 는

$$0.089\text{mM / l 溶液} : Y = 0.027t^{0.418}, (r^2=0.98)$$

$$0.445\text{mM / l 溶液} : Y = 0.110t^{0.502}, (r^2=0.99)$$

$$0.890\text{mM / l 溶液} : Y = 0.302t^{0.332}, (r^2=0.97)$$

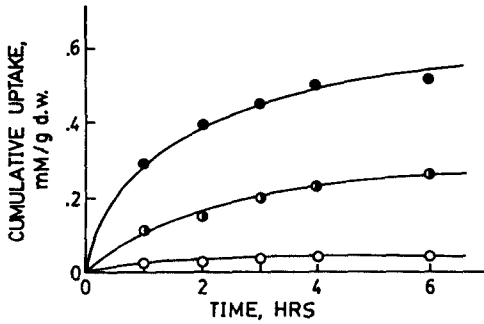
의 回歸式으로 나타낼 수 있었다.

부레옥잠(*Eichhornia crassipes* Solm. - Laub.)은 베네수엘라 原產의 浮游植物로서 廢水 中の 重金屬 吸收能力이 매우 큰 植物로 널리 알려져 있고, 小規模 廢水 處理場에 實用化되기도 하였다 (Rogers and Davis, 1972; Wolverton and McDonald, 1979; McDonald and Wolverton, 1980). 이 植物 乾重量 1g 은 0.089 및 0.890mM /l의 카드뮴 溶液 400 ml로부터 4 時間 동안에 0.0081 및 0.0160 mM (0.91 및 1.80mg)을 吸收하였다 (O'Keeffe *et al.*, 1984). 이에 비하여 本 實驗에 사용된 소

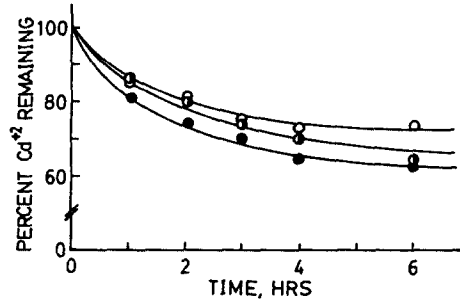
리쟁이는 4 時間 동안에 같은 濃度의 溶液 1,700 ml로부터 0.0404 및 0.4929mM을 吸收하였으며, 이는 부레옥잠에 비하여 5.0~30.8배의 높은 吸收速度로서, 특히 高濃度의 카드뮴 溶液에서의 吸收速度가 顯著하게 빨랐다.

**Table 1.** Temporal change in cadmium uptake rate (mM  $Cd^{+2}$ /g dw /hr) of *Rumex crispus* from Chungrangchon site at various initial concentrations

Time, hr.	Initial $Cd^{+2}$ concentration		
	0.089mM /l	0.445mM /l	0.890mM /l
1	0.0230	0.1118	0.2906
2	0.0057	0.0354	0.1011
3	0.0097	0.0481	0.0566
4	0.0020	0.0291	0.0446
6	0.0070	0.0428	0.0256



**Fig. 1.** Time course of cumulative Cd<sup>2+</sup> uptake (mM/g dw) by *Rumex crispus* from Chungrangchon site at various initial concentrations. ○, 0.089 mM/l; ◐, 0.445 mM/l; ●, 0.890 mM/l. The curves were fitted by power regression.



**Fig. 2.** Time course of percent Cd<sup>2+</sup> remaining in solution at the three concentrations for plants from Chungrangchon site. ○, 0.089 mM/l; ◐, 0.445 mM/l; ●, 0.890 mM/l.

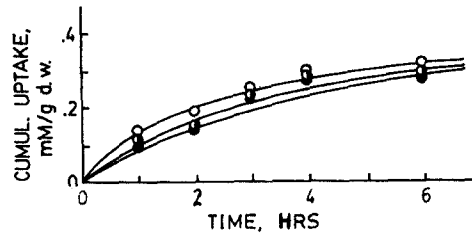
이와 같이 소리쟁이에 의해 吸收된 후 溶液에 남아있는 카드뮴의 量을 供給한 量에 대한 比率로 나타내면 處理 濃度에 關係 없이(F=2.03, df=2 and 50, p>>0.05) 비슷한 時間 變化를 나타내었다(Fig. 2). 處理 4 時間 후에 0.089, 0.445 및 0.890mM/l 溶液에 남아 있는 카드뮴의 比率는 각기 73.3, 70.4 및 64.8%로서, 0.089 및 0.890mM/l 溶液에서의 부레옥잠의 약 69 및 90%(O'Keeffe et al., 1984)와 비교하면, 溶液量의 差異를 勘案할 때, 소리쟁이가 특히 高濃度 溶液에서 Cd<sup>2+</sup>를 훨씬 빠른 速度로 훨씬 많은 量을 除去함으로써 廢水 淨化能力이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

**카드뮴 吸收에 대한 亞鉛의 影響**

亞鉛은 中浪川邊에서 蒐集한 소리쟁이가 0.44 5mM/l의 溶液으로부터 카드뮴을 吸收하는 速

**Table 2.** Temporal change in Cd<sup>2+</sup> uptake rate (mM Cd<sup>2+</sup>/g dw/hr) of *Rumex crispus* from Chungrangchon exposed to 0.445mM/l Cd<sup>2+</sup> solution, in the presence of various amount of Zn<sup>2+</sup>

Time, hr.	Zn <sup>2+</sup> concentration		
	0.0306mM/l	0.0612mM/l	0.0918mM/l
1	0.1378	0.0927	0.0867
2	0.0484	0.0456	0.0572
3	0.0616	0.1029	0.0857
4	0.0464	0.0422	0.0464
6	0.0281	0.0102	0.0163



**Fig. 3.** Time course of cumulative Cd<sup>2+</sup> uptake (mM/g dw) by *Rumex crispus* from Chungrangchon site exposed to 0.445mM/l Cd<sup>2+</sup> solution when various amount of Zn<sup>2+</sup> was also present. ○, 0.0306mM/l; ◐, 0.0612mM/l; ●, 0.0918mM/l. The curves were fitted by power regression.

도에 거의 영향을 미치지 않았다(Table 2). 0.0306, 0.0612 또는 0.0918mM /l의 亞鉛이 共存할 때의 初期 카드뮴 吸收速度 사이에 거의 差異가 없었을 뿐만 아니라, 앞의 實驗에서 亞鉛이 共存하지 않는 0.445mM /l의 카드뮴 溶液으로부터의 카드뮴 吸收速度와도 有意한 差異가 없었다 ( $F=0.29$ ,  $df=3$  and  $12$ ,  $p>>0.05$ ). 따라서 時間經過에 따른 카드뮴의 累積吸收量(Fig. 3)에도 亞鉛濃度の 影響이 없었으며, 소리쟁이에 의한 吸收 후 남아있는 카드뮴의 比率(Fig. 4)도 亞鉛濃度の 影響을 받지 않았다.

부레옥잠은 카드뮴보다 亞鉛의 濃도가 훨씬 높을 경우 카드뮴 吸收速度가 낮아졌으나, 亞鉛濃도가 카드뮴濃도보다 훨씬 낮을 경우에는 별 影響을 받지 않았다(O'Keeffe *et al.*, 1984). 또한 一部 微生物의 경우 카드뮴의 運搬蛋白質은 카드뮴과 함께 亞鉛이 아니라 鎘간을 吸收하는 것으로 알려져 있다(Misra *et al.*, 1983). 본 實驗에서 소리쟁이의 카드뮴 吸收速度에 대한 亞鉛의 影響이 거의 없었던 것은 카드뮴에 대한 亞鉛의 濃도가 낮았던 때문인지, 또는 種에 따른 差異인지는 앞으로 糾明되어야 할 것이다.

이 實驗의 結果는, 특히 亞鉛이 카드뮴보다 毒性이 낮을 뿐만 아니라 必須 微量元素라는 것을 考慮할 때, 일반적으로 카드뮴이 亞鉛과 함께 存在한다 하더라도 그 濃도가 그리 높지 않을 경우 植物에 의한 카드뮴 吸收에 亞鉛이 競爭的 抑制作用을 나타내지는 않을 것임을 意味한다(Misra *et al.*, 1983).

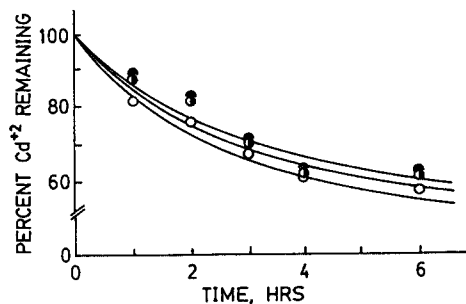


Fig. 4. Time course of percent  $Cd^{+2}$  remaining in the initial 0.445mM /l  $Cd^{+2}$  solution for plants from Chungrangchon site, when various amount of  $Zn^{+2}$  was also present. ○, 0.0306mM /l; ●, 0.0612mM /l; ●, 0.0918 mM /l.

#### 소리쟁이의 카드뮴 吸收能力

中浪川邊과 新葛川邊에서 蒐集한 소리쟁이는 0.089mM /l의 카드뮴 溶液 1,700ml에 3日間 露出되었을 때 각기  $0.609 \pm 0.004$ mM (平均 標準誤差) 및  $0.0563 \pm 0.007$ mM을 吸收 (Table 3)하여 큰 差異가 없었으며 ( $F=0.481$ ,  $df=1$  and  $16$ ,  $p>>0.05$ ), 이것은 68.4% 및 63.2%의 除去率이었다. 부레옥잠은 같은 濃度の 溶液 400ml에 露出되었을 때 12時間에 0.0125mM (1.4mg)을 吸收하고, 2일이 經過해도 吸收量은 增加되지 않아 35%의 除去率을 나타내었다(O'Keeffe *et al.*, 1984). 따라서 3日間の 카드뮴 吸收能力에 있어 소리쟁이가 약 4.7배나 컸고, 除去率도 약 1.9배가 되었다. 그리고 露出 初期에 비해 3日間の 吸收에 있어 두 種 사이의 差異가 減少한 것으로 볼 때 소리쟁이는 특히 露出 初期에 빠르게 카드뮴을 吸收했다는 것을 알 수 있다.

하나의 植物體에 露出된 溶液에서 取한 二個의 subsample 사이에는 3日間に 吸收한 카드뮴의 量에 거의 差異가 없어 카드뮴濃度 測定의 誤差는 매우 작았음을 보여주고 있으나, 같은 場所에서 蒐集한 植物體들 사이에는 적지 않은 差異가 있었다 ( $F=2520.85$ ,  $df=16$  and  $20$ ,  $F \ll 0.001$ ). 이는 이 植物들에 있어 아직까지는 카드뮴의 毒性으로 因한 淘汰壓이 顯著하게 作用하지 않았고, 따라서 이 種 內에 個體群 分化가 일어나지 않았음을 意味한다. 實際로 앞에서 提及한

**Table 3.** Total amount of Cd<sup>2+</sup> absorbed in 3 days (mM/plant) by *Rumex crispus* from Chungrangchon and Shingalchon site exposed to 0.089mM /l solution, Each value is a mean of 2 subsamples

Plant no.	Chungrangchon		Shingalchon	
	1st exposure	2nd exposure	1st exposure	2nd exposure
1	0.0692	0.0460	0.0551	0.0810
2	0.0779	0.0702	0.0328	0.0758
3	0.0539	0.0731	0.0322	0.0582
4	0.0430	0.0742	0.0784	0.0714
5	0.0605	0.0750	0.0828	0.0110
Mean	0.0609	0.0677	0.0563	0.0594
	0.0643		0.0579	

것과 같이 두 장소에서 蒐集한 植物들 사이에는 카드뮴 吸收量에 큰 差異가 없었다. 그러나 같은 장소에서 蒐集한 植物들 사이에 카드뮴 吸收能力에 큰 差異가 存在하므로, 카드뮴 吸收能力이 크고 그 中毒에 대한 耐性이 큰 系統을 育成하는 것이 可能할 것으로 보인다.

이와 같이 0.089mM /l 카드뮴 溶液에 3日間 露出된 植物들을 3日間 Knop씨 溶液에서 水耕栽培한 後 다시 같은 濃度의 카드뮴 溶液에 3日間 2次露出시켰을 경우에도 中浪川邊 및 新葛川邊에서 蒐集한 소리쟁이 植物體들은 각기 0.0677mM 및 0.0594mM의 카드뮴을 吸收하였으며, 이것은 각기 76.1% 및 66.8%의 카드뮴 除去率로서, 1次露出 때의 吸收量과 거의 差異가 없었다 ( $F=0.292$ ,  $df=1$  and  $16$ ,  $p>>0.05$ ). 이는 뿌리細胞에 吸收된 카드뮴이 뿌리에만 蓄積되는 것이 아니라 줄기와 잎 등으로도 轉流되어 蓄積됨을 나타내는 것(O'Keeffe *et al.*, 1984)으로 보이며, 소리쟁이의 카드뮴 吸收能力을 增加시키는 重要한 要因의 하나일 것이다. 그리고 이와 같은 吸收量과 除去率을 부레옥잠이 같은 濃度의 카드뮴 溶液 400ml에 2日間 2次露出되었을 때의 吸收量 0.0021~0.0053mM 및 除去率 9.6~24.0%와 比較하면 露出期間의 差異를 勘案하더라도 吸收량이 8~20배, 除去率が 2.0~4.9 배가 되는 것이다.

本 實驗에 사용된 소리쟁이 植物體들은 乾重量이 0.7~3.4g의 작은 것들이었으나 適當한 棲息地에서 棲息하고 있는 植物 중에는 乾重量이 200g 以上에 達하는 것도 적지 않다. 소리쟁이는 好窒素性 植物로서, 특히 카드뮴에 汚染된 물이 동시에 BOD가 크거나 窒素含量이 높을 경우 生體量이 빠르게 增加하면서 물 속에 存在하는 카드뮴을 大量으로 吸收, 汚染된 물을 淨化하는 데 크게 寄與할 수 있을 것이다. 그러므로 이러한 植物들을 土壤트렌치工法 등에 並用한다면 廢水의 淨化處理 效率를 크게 向上시킬 수 있을 것으로 期待된다.

## 摘 要

심하게 汚染된 것으로 알려져 있는 中浪川邊에서 蒐集한 소리쟁이 (*Rumex crispus* L.)를 0.089, 0.445 및 0.890mM /l의 카드뮴 溶液 1,700ml에 露出시켰을 때, 초기 4時間 동안의 카드뮴 吸收량은 0.0404, 0.2244 및 0.4929mM /g dw로서 溶液의 濃度에 比例하여 增加하였으며, 이것은 카드뮴을 包含한 여러가지 重金屬에 대한 吸收力이 큰 것으로 널리 알려져 있는 부레옥잠

(*Eichhornia crassipes* Solm. - Laub.)보다 5.0~30.8배의 빠른 吸收速度였다. 그리고 一般적으로 카드뮴과 함께 存在하는 亞鉛은 0.0306~0.0918mM / l의 濃度範圍에서 0.445mM / l 溶液으로부터의 카드뮴 吸收에 거의 影響을 미치지 않았다.

中浪川邊 및 이보다 덜 汚染된 新葛川邊에서 蒐集한 소리쟁이는 0.089mM / l의 카드뮴溶液 700ml에 3日間 露出시켰을 때 각각 68.4% 및 63.2%의 카드뮴을 吸收, 除去하였으며, 이 植物體 들을 3日間 水耕栽培한 後 0.089mM / l 溶液에 2次 露出시켰을 때에도 76.1% 및 66.8%의 카드뮴을 吸收하여, 植物體 蒐集場所나 1, 2次 露出 사이에 吸收量에 差異가 없었다. 이는 부레옥잠 이 같은 濃度의 溶液 400ml에 3日間 露出되었을 때 35%, 2차 露出되었을 때 10.5%의 카드뮴을 吸收한 것에 비하여 각각 2배 및 7배의 除去率이었으며, 供給한 溶液量의 差異를 考慮한다면 두 種 사이의 除去能力의 差異는 實際로 이보다 훨씬 더 클 것이다.

### 引用文獻

- Chigbo, F. E., R. W. Smith, and F. L. Shore. 1982. Uptake of arsenic, cadmium, lead and mercury from polluted waters by water hyacinth *Eichhornia crassipes*. *Environ. Pollut. (Ser. A)*:31-36.
- Chale, F. M. M. 1985. Effects of a *Cyperus papyrus* L. swamp on domestic waste water. *Aquatic Bot.* 23:185-189.
- 崔 炬. 1989. 重金屬汚染 農耕地의 汚染除去方案에 관한 研究. 環境科學研究論文 要旨集 1:143-144.
- Cooley, T. N. and D. F. Martin. 1979. Cadmium in naturally occurring water hyacinths. *Chemosphere* 2:75-78.
- Dinges, R. 1978. Upgrading stabilization pond effluent by water hyacinth culture. *J. Water Pollut. Control Fed.* 50:833-845.
- 許孝守·吳英敏·河造成·許鐘秀·徐正潤. 1983. 産業廢水가 水稻生育에 미치는 影響. 公害對策 14:32-44.
- 國立環境研究所. 1983. "環境汚染物質의 毒性管理". 國立環境研究所, 서울. pp. 88-92.
- 김규식·이민효. 1979. 土壤中 重金屬의 生物學的 除去方法研究. 農振廳 農技研 試驗研究報告書 土壤肥料篇 69-71.
- 金俊鎬. 1990. 八堂湖에서 大形水生植物을 利用한 水質淨化의 展望. 自然保存 70:12-18.
- Klaassen, C. D. 1980. Heavy metals and heavy-metal antagonists. *In*, *The Pharmacological Basis of Therapeutics*, A. G. Gilman, L. S. Goodman and A. Gilman (eds. ). MacMillan Publ. Co., New York. pp. 1615-1938.
- Larcher, W. 1983. *Physiological Plant Ecology*, 2nd ed. Springer-Verlag, Heidelberg. pp. 191-195.
- 李瑞來·崔彥浩. 1980. 洛東江水系의 水質保全을 위한 調查研究. 環境保全 1:39-55.
- 李昌福. 1980. 大韓植物圖鑑. 鄉文社, 서울. p. 298.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. 2, Water, Radiation, Salt and Other Stress (Zn and Cd Toxicities). Academic Press, London. pp. 437.



- McDonald, R. C. and B. C. Wolverton, 1980. Comparative study of wastewater lagoon with and without water hyacinth. *Econ. Bot.* 34:101-110.
- Misra, T. K. S. Silver, H. L. T. Mobley, and H. P. Rosen, 1983. Molecular genetics and biochemistry of heavy metal resistance in bacteria. In, *Molecular and Cellular Approaches to Understanding Mechanisms of Toxicity*, A. H. Cohen (ed.). Harvard School of Public Health, Boston, pp. 1-19.
- O'Keeffe, D. H., J. K. Hardy and R. A. Rao, 1984. Cadmium uptake by the water hyacinth : Effects of solution factors. *Environ. Pollut. (Ser. A)* 34:133-147.
- Page, A. L., F. T. Bingham and C. Nelson, 1972. Cadmium absorption and growth of various plant species as by solution cadmium concentration. *J. Environ. Quality* 1:288-291.
- Rogers, H. H. and D. E. Davis, 1972. Nutrient removed by water hyacinth. *Weed sci.* 20:412-428.
- Sakurai, Y. 1988. Effects of aquatic macrophytes on the control of organic pollution and eutrophication of inland waters. *Proceedings of the 4th international symposium on the eutrophication and conservation of water resources*, Chunchon, pp. 183-193.
- 서용교 · 김형석, 1987. 신갈호 유입수의 중금속오염 조사연구. *경희대학교 산업환경연구소 논문집* 3:91-104.
- 沈應基 外 13人, 1982. 特定流域의 水質變動에 관한 基礎調査(中浪川流域을 中心으로). *國立環境研究所報* 4:159-172.
- Tatsuyama, K., H. Egawa and T. Yamagishi, 1977. Sorption of heavy metals from metal solutions by the water hyacinth. *Zasso Kenkyu* 22:151-156
- Wajda, L., W. Kuternozinska and M. Pilipowicz, 1989. Cadmium toxicity to plant callus culture in vitro - I. Modulation by zinc and dependence on plant species and callus line. *Environ. Exp. Bot.* 29:301-305.
- Wolverton, B. C. and R. C. McDonald, 1979. Upgrading facultative wastewater lagoons with vascular aquatic plants. *J. Water Pollut. Control Fed.* 51:305-313.
- Woodwell, G. M. 1977. Recycling sewage through plant communities. *Amer. Scientists* 65:556-562.
- 유해물질연구회, 1991. "유해화학물질편람". 東和技術, 서울. pp. 78-84.

(1992年 3月 16日 接受)