

土壤中 카드뮴除去를 爲한 植物의 栽培利用研究

金福榮 · 金奎植 · 趙在規

Studies on the Cadmium removal from Soil through crops cultivation.

Bok-young Kim, Kyu-sik Kim and Jae-kyu Cho.

SUMMARY

In order to remove Cd by plants cultivation in the cadmium contamination soil, six fibers, four flowering and two sapling plants were cultivated at Cd treated soil, adjusted to 15 ppm. The Cd contents of plants and absorbed Cd concentration in plant, and residual Cd in soil were analyzed.

The results obtained are as follows:

1. The Cd content in marigold was the highest, 161.7ppm, 22.5 times higher than rice. The Cd contents in plants was in the order of 58.3 ppm in sedge, 58.0 ppm in coreopsis, 43.5 ppm in sunflower, 38.3 ppm in scrubber, and 31.9 ppm in flax.
2. The absorbed Cd in *Populus alba* x *P. glandulosa* was the highest, 24.11 mg/pot, 35.5 times higher than rice. The absorbed Cd by plants were in the order of 10.86 mg/pot in italianpoplar, 9.61 mg/pot in marigold, and 9.04 mg/pot in kenaf.
3. The residual Cd contents was the lowest in *Populus alba* x *P. glandulosa* soil and cotton followed.
4. Absorbed Cd content in plants was negatively correlated with the residual Cd concentration in soil.

緒 言

工場廢水, 鑛山廢水 등에 依한 農業用水의 汚染度增加는 農業生産에 基本이 되는 土壤을 汚染시켜 農産物 및 人畜에 被害를 주는 문제들이 앞으로 問題示될 것으로 생각되며 이들중 카드뮴에 依한 被害는 이것이 農作物體內에 蓄積되어 食品連鎖(Food chain)에 依해서 人畜에 被害를 일으킨다.^{4,5,19)}

카드뮴은 人畜에 中毒症狀를 誘發시키는 元素로서 亞鉛鑛의 採鑛 및 製鍊過程에서 排出되는 廢水, 粉塵 및 鑛米砂등에 依하여 土壤에 汚染되는 경우가 가장 많고²⁷⁾ 人鑛石中에도 含有되어 있어 이를 原料로 하여

製造되는 磷酸質肥料나 第1種 複合肥料에도 微量含有되어 있고^{1,2)} 原子力發電所, 塗金, 合金, 電池, 塗料 工場등의 廢水에도 含有되어 있어²⁰⁾ 이들에 依한 카드뮴汚染은 廣域化되어가고 있는 실정이다.

카드뮴에 汚染된 土壤에서 栽培된 穀物이나 菜類를 攝取하면 排泄되지 않고 體內, 特히 腎臟에 蓄積되어 高血壓²⁶⁾ 이나 慢性骨硬化症⁶⁾을 誘發하기도 한다.

1961年 日本의 神通川 流域에서 發生한 “이따이 이따이”病은 카드뮴에 依한 慢性中毒症으로 밝혀졌고^{6,8,28)} 1968年 日本의 厚生省은 이 病을 公害病으로 지정하였으며 우리나라에서도 1978年 環境保全法의 제정으로 玄米中 카드뮴의 汚染濃도가 1.0 ppm 以上일때는 農

産物을 廢棄하거나 農作物栽培를 제한하고 있다.²⁵⁾

카드뮴에 의한 土壤汚染을 防止하기 爲해서는 工場이나 鑛山등의 廢水 및 廢棄物處理를 위한 技術的 法律的 對策이 사전에 先行되어야 하며 일단 土壤이 汚染된 경우는 根本的인 對策이 실제로 곤란하다. 現在까지 報告된 對策方法으로는 石灰, 磷酸, 有機物, 硫黃등의 施用^{7,12,13,14,17)} 및 물관리^{9,10,21)} 등의 方法에 依해서 植物體의 카드뮴 吸收를 抑制하는 方法들이 主로 研究되어 왔으며 이 외에도 客土, 土壤反轉등의 物理的 方法도 報告되고 있으나²²⁾ 이들 方法들은 土壤中에 舍有된 카드뮴을 根本的으로 除去하는 方法이 아니고 土壤中의 카드뮴을 不溶態 또는 希釋에 依해서 作物體中 카드뮴 含量을 낮추는 方法들이다.

土壤에 汚染된 카드뮴을 土壤으로 부터 根本的으로 除去하기 위한 生物學的 除去方法을 究明하기 爲하여 非食用作物이면서 經濟性 作物인 纖維作物, 花卉作物, 苗木등을 카드뮴을 15 ppm 處理한 Pot 土壤에 栽培하여 얻은 結果를 報告한다.

材料 및 方法

供試土壤은 水原市 탑동의 畚土壤의 表土를 使用하였으며 그 土壤의 理化學的 性質은 <表 1>과 같다. 供試作物은 纖維作物으로는 大麻, 亞麻, 洋麻, 木花 (木浦 7號), 왕골, 수세미등 6種을 花卉作物으로는 해바라기, 메리골드, 코스모스, 코레옵시스등 4種, 苗木은 은수원사시나무, 이타리안포프라도등 2種이며, 水稻 (密陽 23號)를 比較作物로 使用하였다. 處理內容으로 大麻, 왕골, 수세미 水稻는 1/2,000a Wagner Pot에 供試土壤 14kg씩, 기타 亞麻外 8種은 內經 30cm, 깊이 60cm 인 무저 Pot에 供試土壤 40kg씩을 充填한다음 土壤에 對한 重量比로서 카드뮴($CdCl_2 \cdot 2\frac{1}{2}H_2O$)을 15ppm씩 處理하고 作物別 三要素肥料는 尿素, 重過石, 鹽化加里로 施用하였으며 水稻는 45日 苗를 Pot 當 1本 4株씩 移秧하였고 苗木은 1年生을 移植하였으며 纖維 및 花卉作物로 播種 15~30日後의 것을 各各 移植하였다. 水稻 및 왕골은 湛水狀態에서 外 作物은 밭狀

Table 1. Chemical properties of the soil used.

pH (1:5 H ₂ O)	OM (%)	av-P ₂ O ₅ (ppm)	Ex. Cation (me / 100 g)			Cd (ppm)	Soil texture
			Ca.	Mg	K		
5.5	2.2	29.3	2.07	0.84	0.27	0.20	Loam

態에서 栽培하였으며 其他 栽培管理는 標準耕種法에 準하였다.²⁴⁾

土壤은 0.5 mm체를 通過한 風乾細土를 使用하여 pH는 pH meter (Fisher - 42)를 利用하여 초자電極法으로 有機物은 Tyurin 氏法, 有效磷酸은 Lancaster 法 칼슘, 마그네슘, 칼리는 1N-CH₃COONH₄ (pH 7.0) 침출法, 카드뮴은 0.1N HCl 浸出法으로 浸出하여 測定하였다.

植物體는 收穫期때 地上部를 採取하여 105℃에서 乾燥시킨後에 粉碎하여 20 mesh를 通過한 試料를 分析

試料로 使用하였으며 Ternary Solution으로 分解하여 카드뮴을 Atomic absorption Spectrophotometer (1L-251)로 波長 228.8 mm에서 測定하였다.²³⁾

結果 및 考察

1. 植物體中 카드뮴含量

非汚染地土壤에 카드뮴을 15 ppm 處理한 後에 作物을 1年間 栽培하여 收穫期에 採取한 植物體 地上部の 카드뮴 含量은 <表 2, 3>과 같이 作物別 植物體中

Table 2. Yields, Cd contents and Cd uptake of fiber plants as treated with Cd 15 ppm in soil.

	Rice	Cotton	Hemp	Kenaf	Scrubber	Flax	Sedge
Yield (D. W. g / pot)	94.4	370.2	37.6	320.5	85.7	71.9	52.3
Cd contents (ppm)	7.2	15.1	23.0	30.7	38.3	39.1	58.3
Amount of absorbed Cd (mg / pot)	0.68	5.59	0.87	9.04	3.30	2.76	3.00

Table 3. Yield, Cd contents and Cd uptake of flowering plants and sapling as treated with Cd 15 ppm in soil.

	Flowering plants				Sapling plants	
	Cosmos	Sunflower	Coreosis	Marigold	Popuaus alba P. glandulosa	Italian poplar
Yield (D. W. g / pot)	328. 5	208. 2	81. 8	60. 8	697. 2	612. 8
Cd content (ppm)	23. 6	43. 5	58. 0	161. 7	34. 9	17. 7
Amount of absorbed Cd (mg / pot)	7. 66	7. 55	4. 71	9. 61	24. 11	10. 86

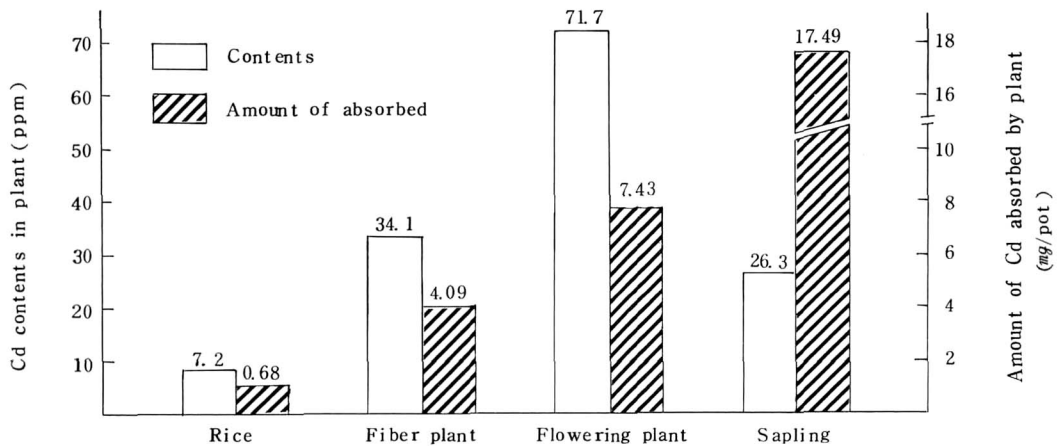


Fig. 1. Cd contents Cd uptake of fiber plants flowering plants and sapling plants compared with rice as treated with Cd 15 ppm in soil.

카드뮴 함량은 마리골드가 161.7 ppm으로水稻의 22.5 배로 가장 높았으며 왕콩은 58.3 ppm, 코레옵시스 58.0 ppm, 해바라기 43.5 ppm 등의 순이었으며 이作物들은 用度에 따라 分類해 보면 <그림 1>과 같이 花卉作物이 대부분 카드뮴 함량이 높은 편이고 왕콩을 除外한 纖維作物, 苗木, 水稻 順으로 높은 것으로 나타났다.

마리골드는 카드뮴 함량이 높다고 알려진 고사리 보다는 낮고 고마리나 한련초와는 類似하였고 기타 作物은 이들보다 모두 낮았다.¹⁵⁾ 日本富山縣에서는 土壤中 Cd 함량이 7.9 ppm인 土壤에서 자란 蓼고사리葉中에는 1,241 ppm 含有되었다고 하는데¹¹⁾ 本 試驗에서는 모든 植物이 이보다 훨씬 낮은 含量이었다.

2. 植物別 카드뮴 吸收量

植物別 카드뮴 吸收量은 은수원사시나무가 24.11mg/pot 로水稻의 35.5 배로 가장 높았으며 이탈리아포프라 10.86 mg/pot, 마리골드 9.61 mg/pot, 洋麻 9.04mg/pot 등의 순이었는데 苗木, 木花, 洋麻, 코스

모스등의 植物에서는 카드뮴 含量이 낮았으나 吸收量이 많은 것은 Pot 當 乾物生産量이 많았기 때문이다. 따라서 土壤中 汚染된 카드뮴의 生物學的 除去는 植物 自體가 含量도 높아야 되겠으나 乾物生産量이 많아 吸收除去量이 많아야 되겠다고 判斷된다. 따라서 乾物生産量이 많기 위하여는 施肥, 栽植密度 등이 作物에 따라서 適當해야 되므로 實在圃場에서는 이 成績과는 多少 相異할 것으로 思料된다.

3. 土壤中 카드뮴 殘存量

試驗後 土壤中 카드뮴의 殘存含量은 <表 4>에서와 같이 코레옵시스, 마리골드, 洋麻, 亞麻 등에서 높았고 은수원사시나무, 木花, 이탈리아포프라등은 낮은것으로 나타났다. 이와같이 苗木이 花卉作物이나 纖維作物보다 土壤中 카드뮴 含量이 낮은것은 苗木이 뿌리 分布가 넓고 深根性인 作物이기 때문에 土壤中 카드뮴을 많이 吸收除去 하였기 때문인 것으로 생각되며 카드뮴 除去量은 은수원사시나무가 5.1 ppm, 木花가 3.9ppm, 이탈리아포프라가 2.7 ppm으로 높았으나 土壤中에 카

Table 4. 0.1N-HCL extractable Cd contents in Cd treated soil after harvesting.

Crops		Cd contents (ppm)	Absorbed Cd (ppm)
Fibers	Flax	13.1	1.9
	Kenaf	13.7	1.3
	Cotton	11.1	3.9
Flowering	Cosmos	12.8	2.2
	Sunflower	12.8	2.2
	Coreopsis	14.1	0.9
	Marigold	13.7	1.3
Sapling	Populus alba	9.9	5.1
	P. glandulosa		
	Italian poplar	12.3	2.7

드뭄을 15 ppm이나 높은 농도로 처리했기 때문에 흡수 제거 비율은 비교적 낮은 것으로 생각된다.

4. 植物體中 카드뮴 吸收量과 土壤中 殘存量과의 相關

카드뮴의 植物體吸收量과 土壤中 殘存量과의 關係는 그림 2에서와 같이 植物體中の 吸收量이 많을수록 土壤中 殘存量이 적은 負의 相關이 있었다.

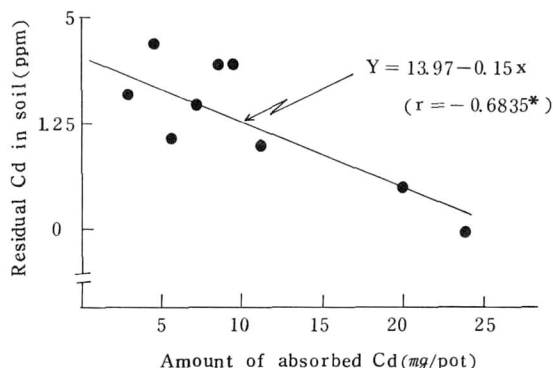


Fig. 2. Relationships between absorbed Cd in plants and residual Cd in soil.

土壤中 카드뮴의 生物學的 除去를 위해서는 吸收力이 크고 抵抗性인 植物이 選拔되어야 하므로 本 試驗 結果에 依하면 苗木類인 은수원사시나무, 이타리안포프라 등은 그 含量은 낮으나 吸收量이 많았고 마리골드는 吸量이 높을 뿐만아니라 吸收量도 많은 편이었다. 그리고 이 作物들은 카드뮴에 依한 生育障害도 나타나지 않았으므로 이들 植物을 栽培하는 것이 土壤中 카

드뭄 除去에 效果的일 것으로 思料된다.

摘 要

非汚染地土壤에 카드뮴을 15 ppm 處理하고 非食用 作物인 纖維作物 6種, 花卉作物 4種, 苗木 2種과 水稻를 比較作物로 Pot 栽培하고 그 含量 및 吸收量을 調査한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 植物體中 카드뮴 含量은 마리골드가 161.7 ppm으로 水稻의 22.5 배로 가장 높았으며, 왕골은 58.3 ppm, 코레옵시스 58.0 ppm, 해바라기 43.5 ppm, 수세미 38.3 ppm, 亞麻 31.9 ppm의 順으로 적었다.

2. 카드뮴의 吸收量은 은수원사시나무에서 24.11mg/pot로 가장 많았으며 水稻의 35.5 배이었고 이타리안포프라는 10.86mg/pot, 마리골드 9.61mg/pot, 洋麻 9.04mg/pot 등의 順位였다.

3. 土壤中 카드뮴의 殘存量은 은수원사시나무가 栽培된 土壤이 가장 적고 다음이 木花栽培土壤이었다.

4. 카드뮴의 植物體吸收量과 土壤中 殘存濃도와는 有意性 있는 負의 相關이 있었다.

引 用 文 獻

1. 淺野千秋 1971. 「りん酸含有肥料中のカドミウムについて」の通達について. 肥檢回報. 24(6): 10~17.
2. 農林省農政局長. 1971. りん酸含有肥料のカドミウムについて. 農政局長通達 46. 農政第5420號.
3. Carroll, R. E. 1966. The relationship of cadmium in the air to cardiovascular disease death rates. J. Amer. Med. Assoc. 1980:287.
4. Chaey, R. L. 1973. Crop and food chain effects of toxic elements in sludges effluent on land. Nat. Assoc. of state. Univ. and Land Grant Coll., Washington, D. C. 129-141.
5. Davies, B. E. 1971. Trace metals content of soils affected by base metal mining in West England, Oikos. 22:366-372.
6. 小林純. 1969. イタイイタイ病の原因の追究. I. II. III. カドミウムをめぐる生物. 地球化學科學. 39:286~293. 369~375. 424~429.
7. 越野正義. 1973. 農作物によるカドミウムの吸収とりん酸. 金屬元素の施用效果. 農技研報 B. 24: 22~48.
8. 古岡金市. 1970. 公害の科學. イタイイタイ病の研究. p. 1. 米子たら書房.
9. 飯村康二. 1973. 土壤中のカドミウムの形態と水稻によ

- る吸收. 近代農業における土壌肥料の研究 4. 養賢堂(東京) 46 ~ 52.
10. 伊藤秀文, 飯村康二. 1975. 土壌の酸化還元状態の變化と水稻のカドミウム吸收應答. 日本土壌肥料學雜誌 46 (3) 82 ~ 88.
 11. 日本生態學會 環境問題専門委員會編. 1975. 土壌重金屬汚染の指標としての野生植物. 環境と生物指標 1 陸上編. 共立出版社(東京). 109 ~ 128.
 12. Jimmy, J. street, B. R., Sabey and W. L. Lindsay. 1978. Influence of pH, phosphorus cadmium, sewage sludge and incubation time on the solubility and plant uptake of cadmium. *J. Environ. Qual.* 7(2):286-290. 41:718-721.
 13. 金正玉, 韓基確, 金福鎮. 1977. 重金屬汚染對策試驗. 農技研試驗研究報告. 34 ~ 39.
 14. 金奎植. 1980. 畚土壤에 있어서 石灰施用이 水稻의 Cadmium 吸收에 미치는 影響. 忠北大學校 大學院 論文集 第六輯. 179 ~ 190.
 15. _____, 조재규, 김복진, 이효승. 1980. 토양중 중금속의 생물학적 제거방법시험. 농업기술연구소 시험연구보고서(화학부). 37 ~ 50.
 16. Kolthoff. I. M. and P. J. Elving. 1961. Treatise on analytical chemistry, part II. 3. Inter science. 171-174.
 17. 李敏孝, 金奎植, 金福鎮. 1979. 有機物 및 硫黃施用에 따른 Cadmium 吸收輕減效果. 農技研試驗研究報告書. 63 ~ 68.
 18. Lewis, G. P. H, Lyle, and S. Miller. 1969. Association between elevated hepatic water soluble proteinbond Cadmium levels and chronic bronchitis and/or emphysema, *Lancet* 11: 1330-1333.
 19. 増島博. 1972. 農用地の土壌汚染の現象と對策カドミウム問題を中心として. 農及園. 47: 8 ~ 12.
 20. 森下豊昭. 1970. 化學と生物 8(12): 734 ~ 735.
 21. _____. 1973. カドウム鑛害と土壌汚染對策. 公害研究. 2(3): 37 ~ 44.
 22. 松井, 幹夫, 吉田, 保則, 藤田, 彰名本剛. 1974. 土地改良にる重金屬吸收抑制に關す研究(第一報)排土, 客土, 天地返レ. 混層耕が水稻のカドミウム吸收に及ぼす影響. Res. Rep. Fukuoka Agr. Exp. sta 33~41.
 23. 農業技術研究所. 1980. 土壤化學分析法.
 24. 농촌진흥청. 1975. 새마을소득증대 표준영농교본-20.
 25. 환경보전법. 1978.
 26. Schroeder, H. A. 1965. Cadmium as a factor in hypertension. *J. Chronic Dis.* 18. 647-656.
 27. Swaine, D. J. 1962. The trace element content of fertilizers. Common wealth agricultural Bureax, Bucks.
 28. Tsohiya, K. 1969. Causation of ouch-ouch disease. Part I. Nature of the disease. *Keio J. Med.* 18: 181-194.