

카드뮴化合物別 水稻吸收 및 生育에 미치는 影響

金 奎 植*·金 福 榮*·朴 英 善**

(1982년 3월 20일 접수)

Effect of Various Cadmium Compounds on the Growth and Cadmium Uptake of Paddy Rice

Kyu Sik Kim*, Bok Young Kim* and Young Sun Park**

Abstract

A pot experiment was conducted to clarify the Cd uptake and levels affecting yield loss according to the growth stages of rice plant. The cadmium was treated with several Cd compounds Cd(NO₃)₂, CdCl₂, CdSO₄, CdCO₃ and CdS at various concentrations of 0, 5, 10, 25, and 50 ppm in soils.

The increasing rate of Cd compounds applied to soils increased the Cd content in plant as well as grains but the yield was decreased at high cadmium levels. Cd concentration in soil which could affect the yield decrease were 12.9 ppm for Cd(NO₃)₂; 21.5 ppm, CdSO₄; 25.8 ppm, CdCl₂; 33.2 ppm, CdCO₃; and 97.6 ppm, CdS respectively. Cd concentration in soil reaching at 1 ppm of Cd content in brown rice were 13.8 ppm from Cd(NO₃)₂; 14.4 ppm, CdCl₂; 16.9 ppm, CdSO₄; and 19.2 ppm, CdCO₃, respectively. Cd content in brown rice could be expected with the Cd content in plant at panicle formation stage.

序 論

重金属類中에서 社會的으로 크게 問題가 되고 있는 cadmium은 1961年 日本 神通川 流域에서 “Itai Itai 病”이 發生하면서 크게 問題가 야기되어^(1,2) 1968年 日本政府는 이 病을 公害病으로 指定하였고, 1970年에는 玄米中 cadmium의 許容濃度를 1.0 ppm으로 定하였으며⁽³⁾ 우리나라에서도 1978年에 cadmium의 玄米中法의 許容濃度를 1.0 ppm으로 規定하였다.

Cadmium은 主로 電氣鍍金工場, 顏料工場, 合金工

場, 陶磁器工場 및 鐵山等⁽⁴⁾에서 排出되는 廢水에 依하여 汚染되며, 特히 亞鉛礦物에 cadmium이 0.1~0.5%나 含有⁽⁵⁾되어 이의 採礦과 製鍊過程에서 生成되는 廢水, 粉塵 및 鐵微砂 等에 依하여 汚染되고 있으며, 自動車 타이어에도 Cd가 含有되어 高速道路邊의 農耕地를 汚染시킨다고 한다.⁽⁶⁾

Cadmium의 土壤中 自然賦存量을 森下⁽⁷⁾는 0.41 ppm, 増島等⁽⁸⁾은 0.52 ppm이라고 하였으며 그의 大部分은 不溶態로 되어 있어 實際 作物에 吸收되는 量은 平均 0.05~0.09 μg에 지나지 않는다고 하였으나, 工場 및 鐵山廢水 等에서 排出되는 大部分의 cadmium

*農業技術研究所 (*Institute of Agricultural Sciences, Suweon, Korea*)

**農藥研究所 (*Agricultural Chemicals Research Institute, Suweon, Korea*)

은 作物에 吸收가 容易하다고 하였다.⁽⁹⁾

小林⁽¹⁾은 cadmium 이 汚染된 食品을 사람이 摄取할 경우 骨硬化症을 誘發할 可能性이 있다고 하였고 Schröeder⁽¹⁰⁾는 高血壓을, Lewis 等⁽¹¹⁾은 慢性氣管支炎을 일으킨다고 報告하고 있다. 따라서 cadmium 은 農業用 水뿐만 아니라 農產物生產의 基本培地인 土壤에 汚染될 경우 여기에서 生產되는 農產物을 사람이나 家畜이食用하면 cadmium 的 蕃積에 依하여 二次的인被害를 가져오는 問題들이 想起될 것으로 생각된다.

Cadmium에 對한 農作物被害輕減研究로서는 土壤을 滋水⁽¹²⁾하여 土壤을 還元시켜 주거나 石灰⁽¹³⁾, 磷酸⁽¹⁴⁾ 및 有機物⁽¹⁵⁾ 等 改良劑의 施用과 高濃度 蕃積植物(accumulator plant)⁽¹⁶⁾의 栽培 그리고 深耕⁽¹⁷⁾, 反轉⁽¹⁸⁾이나 客土⁽¹⁷⁾ 等에 依한 汚染土壤의 稀釋 等의 方法이 主로 研究되어 왔으나 cadmium 鹽의 種類에 따른 水稻의 生育 및 그의 吸收에 對하여는 아직 研究된 바 없어 本研究에서는 우선 水稻에 對한 cadmium 的 形態別로 cadmium 的 被害濃度와 吸收程度를 究明하기 為하여 水稻의 收量에 미치는 cadmium 的 被害濃度와 莖葉 및 玄米中의 cadmium 吸收量을 調査하여 그結果를 報告한다.

材料 및 方法

1. 供試土壤

畜土壤(砂壤土)의 表土를 使用하였으며 그의 化學的性質은 pH : 5.6, Cd : 0.04 ppm 이며, 陽 ion 換置容量은 Ca, Mg, K 가 각각 2.1, 0.6, 0.23 me/100 g 이었다.

2. Cadmium 化合物의 種類

Cadmium 化合物은 Cd(NO₃)₂·4H₂O, CdCl₂·2½H₂O, 3CdSO₄·8H₂O, CdCO₃ 및 CdS 等 5種을 化學試藥으로供試하였다.

3. Cadmium 土壤處理 및 作物栽培

供試土壤 15 kg에 Cadmium 을 化合物別로 重量比로서 각각 Cd 0.5, 10, 25, 50 ppm 이 되게 處理하고 다시 硝素 磷酸, 加里를 成分量으로 15 : 9 : 10 kg/10a에 該當되는 尿素, 重過石, 鹽化加里를 9.8 gr, 5.9 gr, 5.0 gr施用하여 土壤과 잘 混合시킨後 1/2,000 a wagner pot에 각각 充填시키고 滋水하였다. 硝素는 基肥 50%, 1次追肥 30%, 2次追肥 20%로 分施하였으며 磷酸 및 加里는 全量基肥로 施用하였다.

供試作物은 水稻(密陽 23號)를 滋水後 7日에 45日苗를 pot 當 4株 1本씩 1980年 6月 10日에 移秧하였고 收穫 10日前까지 繼續 滋水하였다.

分析試料는 最高分蘖期(7月 18日)와 幼穗形成期(8月

20日)에 각각 1株, 收穫期(10日 10日)에 2株씩 採取하여 試料로 使用하였다.

4. 土壤 및 植物體分析

土壤의 pH는 pH meter(Fisher-42型)로 硝子電極을 土壤表層에 끼어 測定하였고 土壤의 cadmium 分析은 風乾土壤을 20 mesh로 通過시켜 土壤 10 gr에 0.1 N HCl 50 ml를 加하고 1時間 震盪시킨後 No. 513 爐紙로 濾過하여 供試液으로 하였다.⁽¹⁹⁾

植物體는 105°C에서 乾燥시킨後 莖葉은 20 mesh, 玄米는 60 mesh에 通過되도록 粉碎하여 使用하였으며, 莖葉은 Ternary solution(HNO₃ : HClO₄ : H₂SO₄ = 10 : 4 : 1)으로 分解시켜 供試液으로 하였고 玄米⁽²⁰⁾는 30 gr를 층발접시에 秤量하여 hot plate 上에서 乾式炭化시킨後 電氣爐(500°C以下)에서 完全히 灰化시켜 冷却後 HClO₄와 HNO₃를 5 ml 씩 加하여 再次 乾固시킨 다음 冷却後 1 N HCl 25 ml를 加하여 water bath 上에서 5分間 溶解시켜 濾過한 濾液을 供試液으로 하여 atomic absorption spectrophotometer(1L-251)로 波長 228.3 μm에서 cadmium을 測定하였다.

結果 및 考察

1. 收量

Cadmium 化合物 5種을 Cd로서 0.5, 10, 25, 50 ppm濃度로 土壤에 處理하고 水稻 收穫 10日前까지 繼續滋水하여 栽培한 結果 玄米收量은 表 1과 같이 對照區 106.8 gr/pot에 比하여 CdS를 除外한 各 Cd化合物 모두 cadmium 處理濃度가 높아질수록 收量이 減收되는 傾向으로 Cd(NO₃)₂ : 10 ppm, CdCl₂ : 25 ppm : CdSO₄ 및 CdCO₃ : 50 ppm에서 有意性 있는 減收를 가져왔다.

回歸方程式에 依하여 調査된 cadmium 化合物別 有意性 있는 減收濃度限界 및 玄米中 Cd 1.0 ppm 이 되는 土壤中濃度는 表 2에서와 같이 Cd化合物의 種類別로 相異하여 減收濃度限界는 Cd(NO₃)₂ : 12.9 ppm, CdSO₄ : 14.5 ppm, CdCl₂ : 17.5 ppm, CdCO₃ : 20.5 ppm, CdS : 25.5 ppm이었다.

Table 1. Brown rice yield by concentration of cadmium treatment in soil

Compound	Cd concentration (ppm)					Unit : gr/pot
	0	5	10	25	50	
Cd(NO ₃) ₂	106.8	99.2	91.3*	90.0*	69.7**	
CdCl ₂		103.3	103.2	89.0*	81.3**	
CdSO ₄		103.3	96.2	91.7	61.5*	
CdCO ₃		104.3	101.7	96.7	90.3*	
CdS		103.3	100.3	96.3	93.7	

Table 2. Cadmium concentrations in soil affecting yield loss and reached at 1.0 ppm in brown rice

Contents	Cadmium Compound					Unit : ppm
	Cd(NO ₃) ₂	CdCl ₂	CdSO ₄	CdCO ₃	CdS	
Yield loss	12.9	25.8	21.5	33.2	97.6	
Brown rice	13.8	14.4	16.9	19.2	—	

: 21.5 ppm, CdCl₂ : 25.8 ppm, CdCO₃ : 33.5 ppm, CdS : 97.6 ppm 이며玄米中 cadmium 1.0 ppm 이 되는 土壤中濃度는 Cd(NO₃)₂ : 13.8 ppm, CdCl₂ : 14.4 ppm, CdSO₄ : 16.9 ppm, CdCO₃ : 19.2 ppm 으로 나타났다.

高井 등^(21,22)은 土壤 cadmium 25 ppm 에서 水稻의 收量減收를 가져온다고 하였고, 越野⁽²³⁾는 50 ppm 에서 減收하기始作하고 200 ppm 에서 半減된다고 하였으며,

伊藤 등⁽²⁴⁾은 CdCl₂ 를 土壤에 處理하여 常時 滉水한 結果 收量은 cadmium 25 ppm 에서 6.9%, 50 ppm 에서 4.9%, 100 ppm 에서 9.9%가 減收되었다고 하였다.

本 試驗에서는 回歸方程式에서 誘導된 收量減收 最低限界濃度인 12.9 ppm 과 類似한 10 ppm 處理濃度에서 減收率 16.8%는 伊藤 등이 100 ppm 에서도 9.9% 減收되었다고 하는 濃度보다 顯著히 낮은 濃度에서 減收率이 커졌는데 이는 供試土壤이 砂壤土로서 pH 가 5.6이며 塗素 有機物 및 置換性鹽基含量 等이 낮아 緩衝能이 弱하였기 때문에 cadmium에 依한 收量減收 濃度가 낮은 것으로 생각된다.

2. 生育狀況

最高分蘖期(7月 18日)와 幼穗形成期(8月 2日)에 草長 및 莖數를 調査한 結果는 表 3에서와 같이 CdS 를除外하고 모든 化合物이 cadmium 處理濃度가 높을수록 生育이 不良한 傾向이었다.

Table 3. Yield components of rice plant due to the concentration of various cadmium compounds

Treatment(ppm)	Stage	Maximum tillering (July 18)		Panicle formation (August 2)	
		Height(cm)	No. of tillers	Height(cm)	No. of tillers
Check		75.0	35.6	83.9	34.8
Cd(NO ₃) ₂	5	70.7	33.0	78.6	34.8
	10	68.7	32.1	75.8	34.1
	25	58.0	27.8	67.0	31.7
	50	53.7	20.3	61.2	22.8
CdSO ₄	5	69.4	34.0	76.1	31.3
	10	68.9	34.3	75.6	31.1
	25	57.3	26.4	66.8	27.7
	50	50.5	18.9	59.4	24.2
CdCl ₂	5	70.3	35.3	77.8	32.8
	10	67.5	32.9	75.4	28.8
	25	59.7	25.9	69.4	28.3
	50	52.6	20.4	62.6	23.7
CdCO ₃	5	72.6	33.9	80.6	35.6
	10	69.8	32.3	77.4	31.1
	25	63.1	27.7	71.8	28.5
	50	54.3	20.7	64.6	24.8
CdS	5	75.2	32.6	82.8	31.7
	10	74.5	33.2	82.7	32.3
	25	74.0	31.2	82.7	33.8
	50	75.9	33.1	84.3	32.3

Cadmium 化合物中 收量減收 最低限界濃度인 12.9 ppm 과 類似한 土壤處理濃度 10 ppm 에서 幼穗形成期에 生育狀況을 보면 草長은 $\text{CdCl}_2 < \text{Cd}(\text{NO}_3)_2 = \text{CdSO}_4 < \text{CdCO}_3 < \text{CdS}$ 의 順으로 且고 莖數는 $\text{CdCl}_2 < \text{CdSO}_4 = \text{CdCO}_3 < \text{CdS} < \text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 的 順으로 많아졌으며 草長보다는 莖數, 最高分蘖期보다는 幼穗形成期에서 더 不良한 傾向이 있다.

幼穗形成期 以後에 低溫障害가 蒙慮되어 8月 14日부터 收穫期까지 pot 를 溫室에 옮겨 栽培한 結果 對照, cadmium 5 ppm, CdCO_3 10 ppm 區 및 CdS 全區는 8月 28日에 出穗되었으나 cadmium 10 ppm 과 25 ppm 區는 6日後인 9月 4日에 50 ppm 區는 11日後인 9月 9日에 出穗되어 CdS 를 除外하고 모든 化合物이 cadmium 濃度가 높을수록 出穗가 滯延되는 傾向이 있다.

3. 收量과 登熟率과의 關係

土壤의 cadmium 處理濃度 增加에 따른 收量과 登熟率과의 關係는 그림 1에서와 같이 高度의 有意性 있는 正의 相關關係를 나타내었고 登熟率이 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, CdCl_2 , CdSO_4 50 ppm 에서 62.8%, 60.4%, 57.8%로 湊어졌으나 幼穗形成期 以後 溫室에 넣어 栽培하였으므로 cadmium 處理區의 登熟率이 增加되어 收量에 影響을 주어 實際 減收限界濃度보다 多少 높은 濃度에서

被害을 가져왔을 것으로 생각되므로 減收限界濃度는 本試驗의 減收限界濃度보다 낮을 것으로 推定된다.

4. 植物體中 Cadmium 含量

植物體中 cadmium 含量은 表 4에서와 같이 莖葉과

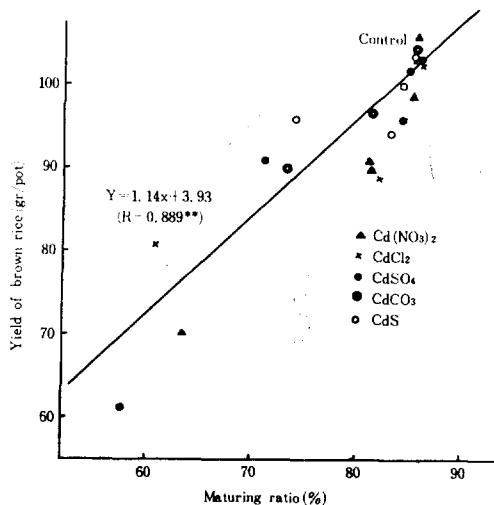


Fig. 1. Relationship between maturing ratio and yield of brown rice by cadmium compounds

Table 4. Cd content in plant at the different growing stages with various Cd compounds and concentrations

Unit : ppm

Stage	Compound	Cd concentration in soil						
		0 ls*	5 ar**	10 ls	10 br	25 ls	25 br	50 ls
Maximum tillering	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	1.1		10.0	18.3	20.8		24.2
	CdCl_2			9.2	15.9	20.1		25.2
	CdSO_4			10.2	18.2	21.3		24.9
	CdCO_3			12.2	16.9	19.8		28.7
	CdS			1.6	2.1	2.4		2.8
Panicle formation	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	1.6		6.3	10.5	12.6		19.7
	CdCl_2			5.8	10.5	17.3		19.2
	CdSO_4			5.3	9.3	19.8		20.9
	CdCO_3			6.5	9.3	14.5		18.0
	CdS			1.7	2.2	2.5		3.1
Harvest	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	0.62	0.024	3.05	0.321	5.49	0.690	9.07
	CdCl_2			3.24	0.346	5.40	0.527	7.60
	CdSO_4			2.87	0.400	3.13	0.619	7.33
	CdCO_3			2.60	0.406	4.73	0.728	6.27
	CdS			1.29	0.025	1.55	0.060	1.71

*ls : leaf and stem **br : brown rice

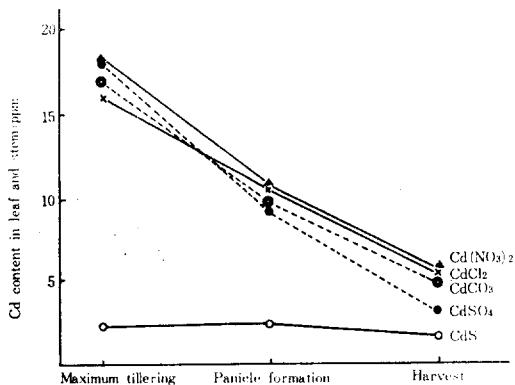


Fig. 2. Cd content in leaf and stem with various cadmium compounds at different growing stages

玄米 모두 土壤의 cadmium 處理濃度가 높아질수록 그含量이 높은 傾向이 있다.

그림 2의 收量減收 最低限界濃度와 類似한 土壤 cadmium 處理濃度인 10 ppm에서 生育時期別로 茎葉中 cadmium 含量을 보면 CdS 를 除外하고 모든 化合物이 最高分蘖期 16~18 ppm, 幼穗形成期 9~10 ppm, 收穫期 3~5 ppm 으로서 收穫期로 갈수록 낮아졌다. CdCl₂ 的 境遇은 最高分蘖期 15.9 ppm, 幼穗形成期 10.5 ppm, 收穫期 5.4 ppm 일 때 玄米中 cadmium 含量이 0.527 ppm 이었다. 伊藤 등⁽²⁴⁾은 CdCl₂ 를 cadmium 로서 25 ppm 處理時 收穫期 茎葉은 7 ppm, 玄米는 1.0 ppm 이 되었다고 하였다. 그러나 表 4에서 收穫期 茎葉中 cadmium 含量은 CdCl₂ 의 cadmium 25 ppm에서 7.6 ppm 으로 이는 伊藤등이 25 ppm에서 7 ppm 이 含有되었다고 報告한것과는 類似한 含量이라고 하겠으나 表 2에서 玄米 1.0 ppm 이 되는 土壤中 cadmium 濃度가 Cd (NO₃)₂ : 13.8 ppm, CdCl₂ : 14.4 ppm, CdSO₄ : 16.9 ppm 및 CdCO₃ : 19.2 ppm 으로 모든 化合物이 25 ppm 以下에서 玄米에 1.0 ppm 을 含有하였다. 이는 金⁽²⁵⁾이 CdCl₂ 를 Cd 로서 12 ppm 處理時 玄米에 1.03 ppm 이 含有되었다고 報告한 것과 類似한 土壤濃度에서 玄米에 1.0 ppm 을 含有하였다.

玄米含量/莖葉含量比는 그림 3에서와 같이 最高分蘖期에서 幼穗形成期로 갈수록 높아지는 傾向이 있으며 減收濃度限界와 類似한 濃度인 cadmium 10 ppm에서 CdCO₃ 는 最高分蘖期 : 4.3%, 幼穗形成期 : 7.8%로 Cadmium 化合物中 玄米含量/莖葉含量比가 가장 높았으나 收穫期에서는 CdSO₄ : 19.8%, CdCO₃ : 15.4%, Cd(NO₃)₂ : 12.6%, CdCl₂ : 9.8% 및 CdS : 3.9%의 順이었다.

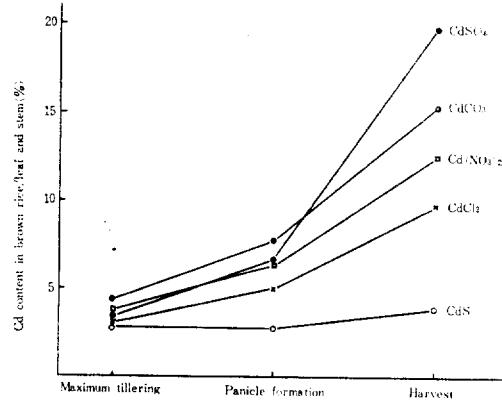


Fig. 3. Ratio of cadmium content in brown rice per leaf and stem with various cadmium compounds at different growing stages

그리나 玄米吸收量/莖葉吸收量比는 그림 4에서와 같이 最高分蘖期에서 收穫期로 갈수록 玄米含量/莖葉含量比와는 反對로 높아지는 傾向이 있고 生育時期別로 볼 때는 最高分蘖期 : 22~33%, 幼穗形成期 : 10~29%, 收穫期 : 5~24%이었다.

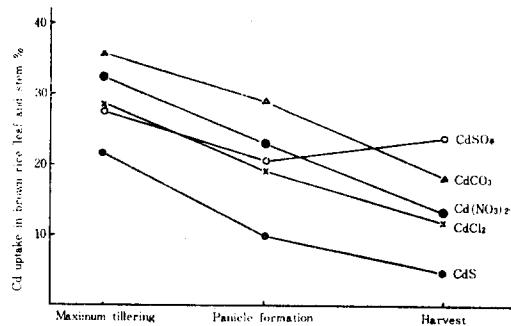


Fig. 4. Percentage of Cd uptake in brown rice per leaf and stem due to the different growing stages

茅野⁽²⁶⁾는 水耕液에 水稻를 生育時期別로 cadmium 를 48時間 吸收시켜 玄米中의 cadmium 含有率를 調査한結果 出穗 10日後의 吸收가 最大로 크고 出穗 20日後 吸收는 出穗 10日後의 $\frac{1}{4}$ 程度에 지나지 않는다고 하였다.

伊藤 등⁽²⁷⁾은 生育時期別 吸收量 調査에서 玄米移行은 地上部 吸收量의 10% 前後가 玄米에 集積되며 最大로 吸收하는 時期인 穗摘期~乳熟期에는 約 21.8%나 된다고 報告하였다.

이와같이 收穫期로 갈수록 莖葉中 cadmium 含量이 높고 玄米含量/莖葉含量比가 높은 것은 幼穗形成期부터는 生殖生长期이기 때문에 莖葉에 積蓄되는 양 보다는 玄米로 移行되는 양이 많기 때문인 것으로 생각되며 玄米吸收量/莖葉吸收量比가 낮아지는 것은 玄米로의 移行은 잘되나 幼穗形成期以後 繼續 溫室에서 栽培하였기 때문에 後期 生育이 促進되어 玄米吸收量 보다는 重이 相對적으로 增加하였기 때문인 것으로 推定되며 이는 伊藤等⁽²⁴⁾이 穗揃期~乳熟期(8月 7日~8月 20日)에 玄米로 21.8% 移行된다고 하는 結果와도 一致하는 傾向이 있다.

生育時期別 植物體 莖葉中 cadmium 含量과 玄米中 cadmium 含量과의 關係는 그림 5와 같이 收穫期로 갈수록 相關關係가 높은 것으로 나타나서 莖葉中 cadmium 含量을 早期에 分析하여 玄米中 cadmium 含量을 豫測하는 것이 精密度는 약간 낮을는지 모르나, 九州農試場⁽²⁵⁾에서 石灰를 幼穗形成期에 追肥하여 玄米中 cadmium 含量을 50~70% 減輕시켰다는 報告를 보아 幼穗形成期에 莖葉中 cadmium 含量을 分析하여 玄米中 cadmium 含量을 豫測하는 것이 cadmium吸收輕減對策面에서 크게 寄與할 것으로 생각된다.

以上을 綜合한 結果 土壤中 cadmium濃度가 높고 溶解度가 높은 化合物일수록 植物體 莖葉 및 玄米中 cadmium 含量이 높아 收量減少에 影響을 준 것으로 생각된다.

5. 土壤中 Cadmium 含量

試驗後 土壤中 可溶性 cadmium 含量은 表 5에서와 같이 土壤 cadmium 處理濃度가 높을수록 含量이 높은 傾向이 있으며 Cd(NO₃)₂, CdSO₄, CdCl₂等과 같이 溶解度가 높은 化合物은 70~80% 溶解度가 낮은 CdS 및

CdCO₃는 각각 1~2% 및 50% 程度밖에 溶出되지 않고 植物體 莖葉 및 玄米中의 cadmium 含量도 溶解度가 높은 化合物일수록 植物體中 cadmium 含量이 높아 收量減少에 미치는 濃度가 낮았다고 생각된다.

Table 5. 0.1 N HCl-extractable Cd content in soil after harvesting at different Cd treatments
Unit : ppm

Compound	Cd levels treated in soil			
	5	10	25	50
Cd(NO ₃) ₂	2.60	7.40	21.84	36.08
CdSO ₄	4.70	6.48	21.60	41.20
CdCl ₂	3.24	8.00	19.80	35.68
CdCO ₃	2.32	5.20	13.60	29.52
CdS	0.04	0.20	0.48	0.68

要 約

水稻에 對한 cadmium 化合物의 形態에 따른 被害濃度 및 cadmium吸收程度를 究明하기 為하여 Cd(NO₃)₂, CdCl₂, CdSO₄, CdCO₃ 및 CdS等의 化合物을 土壤에 Cd로서 0, 5, 10, 25, 50 ppm 處理하여 水稻의 收量에 미치는 濃度와 水稻體中의 cadmium 含量을 調査한 바 그結果는 下과 같다.

- 土壤中 cadmium 處理濃度가 높을수록 植物體 莖葉 및 玄米中 cadmium 含量은 增加하였으나 收量은 높은濃度에서 減少되었다.
- 收量減收를 가져오는 土壤中 Cd의濃度는 Cd(NO₃)₂: 12.9 ppm, CdSO₄: 21.5 ppm, CdCl₂: 25.8 ppm, CdCO₃: 33.2 ppm, CdS: 97.6 ppm 이었다.
- 玄米中 cadmium 含量이 1.0 ppm 이 되는 土壤中 Cd의濃度는 Cd(NO₃)₂: 13.8 ppm, CdCl₂: 14.4 ppm, CdSO₄: 16.9 ppm, CdCO₃: 19.2 ppm 이었다.
- cadmium의 玄米吸收量/地上部吸收量比는 最高分蘖期 28%, 幼穗形成期 20%, 收穫期 15%이었다.
- 幼穗形成期 植物體 莖葉中 cadmium 含量과 玄米中 cadmium 含量과의 關係는 $Y = 0.067 - 0.0028x + 0.007x^2$ (R = 0.844**) 으로 高度의 有意性이 있었다.
- 溶解度가 낮은 cadmium 化合物의 試驗後 土壤中可溶性 cadmium 含量이 낮았다.

参考 文 獻

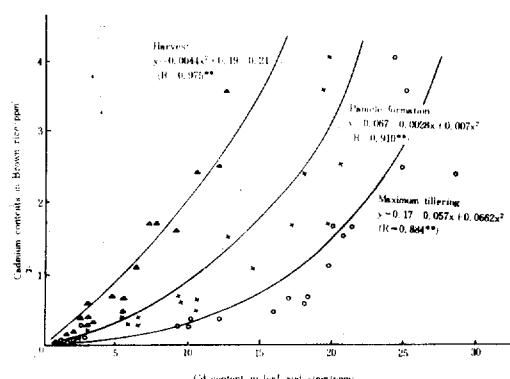


Fig. 6. Relationships between Cd content in brown rice and leaf and stem at different growing stages

- 小林純 (1969) : イタイイタイ病の原因の追究, I. II. II. カドミウムをめぐる 產物, 地球化學科

- 學, 39, 286, 369, 424.
2. 古岡金市 (1970) : 公害の科學, イタイイタイ病の研究, 米子たら書房, p. 1.
 3. 淺見輝男 (1971) : 日本の科學者, 6, 35.
 4. Marshall sittig (1974) : *Pollution Detection and Monitoring Handbook*, Noyes Data Corporation, U. S. A. p. 113~119.
 5. Kolthoff. I. M. and P. J. Elving (1961) : *Treatise on Analytical Chemistry*, Part II, 3. Interscience p. 171.
 6. Lagerwerff. J. V. and Specht. A. W. (1970) : Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead, and zinc, *Environ. Sci. Tech.*, 4(7), 583.
 7. 森下豊昭 (1970) : 化學と生物, 8(12), 734.
 8. 増島竹内 (1975) : 環境汚染と農業, 博友社, p. 145.
 9. 資源開發研究所 (1979) : 鎘害防止を 爲す 用廢水水質検査方法 및 處理技術 開發研究(I)
鎘山汚濁水의 發生域, p. 24.
 10. Schroeder, H. A. (1965) : Cadmium as a factor in hypertension, *J. Chronic Dis.*, 18, 647.
 11. Lewis, G. P. H, Lyle, and S. Miller. (1969) : Association between elevated hepatic water soluble protein bond cadmium levels and chronic bronchitis and emphysema, *Lancet*, 11, 1330.
 12. 德求美治, 淺野次良, 伊藤純雄, 岩崎清治 (1976) : 水稻の カドミウム吸收に 対する 抑制對策試験, 東海近畿農試場, 29, 49.
 13. Iwai, I. Hara, T. and Sonoda, Y. (1975) : Factors affecting cadmium uptake by the corn plant, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 21(1), 37.
 14. 金正玉, 韓基確(1977) : 重金屬汚染對策試験, 農業技術研究所報 土壤肥料編, p. 34.
 15. 李敏孝, 金福鎮 (1980) : 綜合改良劑處理에 依한 Cd 吸收輕減效果試験, 農業技術研究所報化學部編 p. 51.
 16. 日本生態學會 環境問題專問委員會編 (1975) : 土壤重金屬汚染の 指標としての 野生植物環境と 生物指標 I. 陸上編, 共立出版社, 東京, p. 109.
 17. 松井幹夫, 吉田保則, 藤田彰, 名本岡 (1974) : 土壤改良による 重金屬吸收抑制に 關する 研究(第一報), 排土, 客土, 天地返し 混層耕が 水稻の カドミウム吸收に 及ぼす影響, 福岡農試報, 12, 38.
 18. 農村振興廳 農業技術研究所 (1978) : 主要試験研究業積斗 研究方向, 農化學에 關한 研究 p. 419.
 19. 農林水產技術會議事業局(1972) : 土壤および作物體中の 重金屬の 分析法(1), 日本土壤肥料學會誌, 43(7), 264.
 20. 農林水產技術會議事業局 (1972) : 土壤および作物體中の 重金屬の 分析法(3), 日本土壤肥料學會誌, 43(9), 249.
 21. 高井康雄, 早達郎, 慶澤喜久雄 (1978) : 植物の 生育制御, 植物營養土壤肥料大事典, 養賢堂, p. 1276.
 22. 環境廳 土壤農藥課編 (1973) : 土壤汚染, 日本白亞書房, p. 167.
 23. 越野正義 (1973) : 農作物による カドミウムの 吸收とリン酸, 金屬元素の 施用効果, 農業技術研究所報, 24, 6.
 24. 伊藤秀文, 飯村康二 (1976) : 水稻による 亞鉛カドミウムの 吸收と 生育障害, 日本土壤肥料學會誌, 47(2), 44.
 25. 金奎植 (1980) : 畜土壤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, 6, 179.
 26. 茅野充男 (1973) : 重金屬の 吸收時期および 吸收徑路と 水稻玄米中への 重金屬とりこみ量との 關係, 日本土壤肥料學會誌, 44(6), 204.
 27. 伊藤秀文, 飯村康仁 (1976) : 水稻の カドミウム吸收時期と 玄米への 移行, 日本土壤肥料學會誌, 47(11), 493.
 28. 九州農業試驗場 環境第二部(1971) : 水質汚濁が 農作物被害に 及ぼす 影響解析に 關する 特別研究, 24 pp.