

石灰, 有機物の 並用 및 珪酸칼슘의 施用이 배추의 生育 및 카드뮴함수에 준 影響

吳 旺 根*

(1986년 2월 10일 접수)

Effect of Combined Application of Lime and Organic Matter, and of Calcium Silicate on the Growth and Cadmium Content of Chinese Cabbage

W.K.Ohh

Abstract

A small pot experiment, filled with one hundred fifty gram of Cd amended soil, was conducted in order to learn the effect of combined application of lime and organic matter and of calcium silicate on chinese cabbage (*Brassica pekinensis*, Var. Seoul, Heungnong, Miho 70 days). Results obtained are as follows:

1. The application of lime without organic matter depressed the growth of cabbage at the first and second harvests, but, at the later part of third harvest the growth was facilitated so as to harvest very good yield.

2. The combined application of lime and organic matter gave not only a good growth of cabbage from the first crop, but also lowered the cadmium content of dry cabbage bellow that of cabbage harvested from the plot applied with slaked lime alone. Those effect of combined application of both materials were lasted untill the third harvest.

3. Although gave little effect on soil pH, calcium silicate raised a normal good cabbage, and depressed the cadmium content of dry cabbage, by 0.21 me per 100g, which is higher than that of slaked lime plot cabbage, but within the range of no harm to cabbage growth.

4. The control and organic matter plots resulted in a remarkable soil pH drop and high cadmium content in dry cabbage, which lead the crop to a death from the second crop.

5. A negative correlation was observed between the contents of cadmium and calcium in dry cabbage crop, but positive correlations between those of cadmium and magnesium or cadmium and potassium. These relations were grown up as the harvesting were proceeding.

序 論

植物營養分은 吸收되어 植物體에 大部分 貯藏되고

穀實로 移傳되는 量은 比較的 많치 않다⁽¹⁾. 陽이온인 重金屬도 칼리나 칼슘 등의 植物營養分과 같은 方法으로 植物에 吸收된다면 이들도 植物體內에 많이 貯藏될 것으로 推定된다. 그렇다면 牧草類와 葉菜類等은 有毒

* 서울市立大學 (Seoul Municipal College, Seoul, Korea)

한 重金屬類를 人畜에 옮겨줄 危險性이 많다고 보아야 할 것이다.

重金屬 特히 카드뮴의 有效度는 土壤의 pH와 密接한 關係가 있다. 卽 pH가 높을수록 有效度가 낮아져서 植物이 吸收되는 카드뮴은 적어진다^(2,3,4,5,6,7).

土壤의 pH를 높히려던 石灰를 施用하면 된다. 그러나 흔히 쓰이는 石灰物質中 消石灰는 土壤을 一時 알카리性으로 만들어 農作物에 被害를 입히는 경우도 있는데 이 被害는 有機物을 竝用하므로써 緩和되거나 除去될 수도 있다⁽⁸⁾.

有機物과 石灰(珪酸칼슘 包含)는 土壤中에서 直接間接의 作用으로 植物에 對한 重金屬의 吸收를 一時 輕減시키기도 한다고 報告하였다^(9,10). Chang 等⁽¹¹⁾은 스리저를 繼續 使用함으로써 土壤에 Cd와 Zn이 集積되지만 보리의 Cd, Zn 含量은 높아지지 않는다고 하였고, Larsen과 Schierup⁽¹²⁾는 溶液中의 重金屬을 除去하는데 보리짚의 效果는 CaCO₃와 混合할 때 10~90% 더 높아졌다고 하였다. 本 研究에서는 카드뮴이 處理된 土壤에서 石灰와 有機物이 單用 또는 竝用할 때, 또는 珪酸칼슘이 施用될 때 배추의 生育 및 카드뮴 含量에 주는 影響을 밝히기 爲하여 小型花盆에 試驗을 實施하였으며 그 結果를 여기에 發表코자 한다.

材料 및 方法

카드뮴이 處理된 土壤(壤土) 150 g 當 水酸化칼슘 0.675g, 질가루 0.45g, 水酸化칼슘(試藥用特級) 1.01g을 混合하고 체로 쳐서 잘 混合하였다(1984年 5月 19日). 이렇게 處理된 土壤을 小型花盆에 담고 底面으로 吸收灌水시킨 後에 放置하였다가 10日後인 84年 5月 28日에 흙 덩어리를 부수고 다음날 花盆當 30mg 級의 N와 P₂O₅를 NH₄NO₃와 KH₂PO₄로 施用하였고, 이때 K₂O의 施用量은 花盆當 20mg이 된다. 施用한 肥料를 花盆內 흙과 잘 混合하고 서울 배추를 播種, 底面灌水하여 新聞紙로 덮어서 發芽시켰다. 6月 26日에 NH₄NO₃을 물에 녹여서 盆當 N 30mg 級 追肥하고 7月 10日에 地上部를 收穫하여 80°C에서 한시간 숙증입을 한 다음 60~62°C로 乾燥하였다.

2次 栽培에서는 7月 23日에 1次에서와 같은 肥種으로 같은 量을 施用하고 同一 배추品種을 播種하였으며 9月 13日에 1次 追肥를 施用하고 9月 25日에 收穫 乾燥하였다.

3次 栽培에서도 一次栽培에서와 같은 肥種을 同量基肥로 施用하여 10月 10日에 播種하고 追肥는 10月 30日에 花盆當 N 10mg를 施用하였다. 그리고 이때는 興農, 미호 70日 배추를 播種했으며 11月 20日에 收穫

하였다. 乾燥한 植物體는 粉碎하여 20mesh 체로 치고 H₂O₂-H₂SO₄로 濕式分解하여 K, Ca, Mg, Cd를 原子吸光分析機로 測定하였다.

結果 및 考察

1. 배추의 收量 및 收穫後 土壤의 pH

表 1의 第 1作에서 보면 對照區와 有機物에서는 收量이 낮고 收穫後 土壤의 pH도 낮다. 그리고 水酸化칼슘+有機物區, 珪酸칼슘區의 順序로 收量이 높아졌다. 有機物없이 水酸化칼슘만 施用한 區에서의 收量이 對照區에서 보다는 낮았다. 이 區의 收穫後 土壤의 pH를 보면 水酸化칼슘+有機物區보다는 낮은데 珪酸칼슘區 보다는 높다.

第 2作에서는 對照區 收量이 全無하고 有機物 單用 區로 注書한 바와 같이 2個 反復에서는 枯死하고 1個 反復에서만 收穫할 수 있었으며 그 收量도 아주 微微하였다. 同時에 이 두 區에서는 土壤의 pH가 아주 낮다. 水酸化칼슘+有機物區와 珪酸칼슘區는 비슷한 收量을 生産했지만 水酸化칼슘區는 前 2區만 못하였다.

第 3作에서는 播種한지 約 20日이 지난 時에까지는 有機物區와 對照區에서도 植物이 枯死하지 않았다. 勿論 生育이 不良한 것을 揀았기 때문에 正常的인 評價를 하기에는 滿足할 수는 없지만 對照區와 有機物區의 生育이 좋지 않고 水酸化칼슘+有機物區, 珪酸칼슘區의 生育은 좋은 편이었으나 그 後 한달이 지난 收穫期에 보면 對照區와 有機物區에서는 배추가 完全히 枯死하여 없어졌고 水酸化칼슘區에서는 이것이 茂盛하게 자라서 珪酸칼슘區와 水酸化칼슘+有機物區에서 보다는 越等하였다. 初作, 2作에서의 水酸化칼슘의 被害가 3作 後半期에 가서 完全히 消失되고 그 間에 土壤에 集積되었던 營養分이 吸收되어 배추가 茂盛하게 生育한 것이라고 생각된 이 區에서 收穫後에 採取한 土壤試料의 pH도 6.6을 보여 배추 生育에 適當하였다. 이렇게 하여 最終期에서 보는 바와 같이 3個作의 合計는 水酸化칼슘, 水酸化칼슘+有機物, 珪酸칼슘區에서 거의 비슷해졌다.

收量이 아주 낮았거나 全然 없었던 對照區나 有機物 區의 土壤이 強한 酸性이었지만 土壤이 pH와 배추의 收量間에는 相關關係가 稀薄하였다. 다만 第 3作 時에 배추와 同作 收穫後의 土壤 pH만이 高度의 有意性있는 正相關關係(r=0.644**)를 보였을 뿐이다. pH 以外의 條件, 이를테면 初作과 2作에서의 알카리 被害, CaSiO₃의 效果, 水酸化칼슘區에서의 第 3作 後半期의 急激한 生育增加等 때문일 것이다.

Table 1. Yield of chinese cabbage and post harvest soil pH at three successive crops

Treatments	1st crop('84/V/29-VII/11)		2nd crop('84/VII/23-IX/25)		3rd crop('84/X/11-XI/20)			Sum of harvest, fresh
	Fresh Yield	Soil pH aft. harv.	Fresh Yield	Soil pH aft. harv.	X/23 Fresh cab.	XI/20 Fresh Yield	Soil pH aft. harv.	
	g/cup		g/cup		g/cup			g/cup
Control	4.23 ^{bc+}	4.95 ^d	0	4.16 ^b	0.260 ^a	0 ^c	4.20 ^b	4.32
Ca(OH) ₂	3.46 ^{13c}	7.01 ^b	3.60 ^{ab}	6.38 ^a	0.840 ^a	13.06 ^a	6.67 ^a	20.15
Org. matter(0.M)	5.45 ^{bc}	4.73 ^d	0.18 ^{23b}	4.16 ^b	0.17 ^a	0 ^c	4.04	5.55
Ca(OH) ₂ +O.M	9.91 ^{ab}	8.12 ^a	4.71 ^a	7.27 ^a	1.17 ^a	4.41 ^b	6.22 ^a	19.03
CaSiO ₃	11.26 ^a	5.83 ^c	4.66 ^a	4.81 ^b	0.09 ^a	5.51 ^b	4.61 ^b	21.43

- 1) One replication showed a very small amount, 0.04g, of cabbage yield which might be caused by high alkalinity of the treatment
 2) Plants in two replications were all died before harvest
 + Means within a column followed by the same letter do not differ significantly at the 5% levels of probability according to Duncan's Multiple Range Test.

Table 2. Some cations in chinese cabbage at three successive crops (dry matter base)

Treatments	1st crops				2nd crops				3rd crops			
	K	Ca	Mg	cd	K	Ca	Mg	cd	K	Ca	Mg	cd
	me/100g		ue/100g		me/100g		ue/100g		me/100g		ue/100g	
Control	81.5 ⁺	135.8 ^b	41.2 ^a	503.3 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—
Ca(OH) ₂	83.5 ^a	277.0 ^a	23.1 ^b	84.9 ^c	64.1 ^b	275.8 ^a	29.4 ^b	87.1 ^b	45.6 ^a	145.0 ^a	13.6 ^b	38.4 ^b
Org. M.	74.1 ^{ab}	89.3 ^b	27.9 ^{ab}	320.4 ^b	104.1 ^a	215.0 ^a	62.54 ^a	497.9 ^a	—	—	—	—
Ca(OH) ₂ +Org.M	68.3 ^{ab}	211.3 ^a	20.9 ^b	72.3 ^c	61.7 ^b	282.7 ^a	22.7 ^b	79.7 ^b	49.3 ^a	214.8 ^a	19.7 ^{ab}	57.5 ^b
CaSiO ₃	58.0 ^b	258.2 ^a	28.0 ^{ab}	207.3 ^{bc}	63.1 ^b	222.5 ^a	28.0 ^b	125.1 ^b	69.0 ^a	154.4 ^a	26.1 ^a	166.7 ^a

- + Means within a column followed by the same letter do not differ significantly at the 5% levels of probability according to Duncan's Multiple Range Test.

Table 3. Correlations between post harvest soil pH and some cations in cabbage*

Crop	Ca	Mg	K	Cd
1st crop	0.6187*	-0.6545**	-0.0277	-0.7147**
2nd crop	0.4799	-0.5580	-0.5516	-0.6159
3rd crop	0.0340	-0.9188**	-0.7046*	-0.9640**

*, ** Significance at 0.05, and 0.01 levels, respectively

Table 4. Correlations between yield of cabbage and some cations in the plants

Crops	K	Ca	Mg	Cd	ΣK, Ca, Mg
1st crop	-0.6495**	0.3617	-0.6113*	-0.7355**	0.0730
2nd crop	-0.5896*	0.0574	-0.7080**	-0.6042*	-0.3350
3rd crop	-0.1778	-0.4788	-0.5759	-0.3970	-0.4916

*, ** Significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively

Table 5. Correlations between cations in cabbage

x- components	1st crop				2nd crop				3rd crop			
	K	Ca	Mg	Cd	K	Ca	Mg	Cd	K	Ca	Mg	Cd
K	—	0.05951	0.3761	0.6990*	—	0.1155	0.8506**	0.8453**	—	0.3261	0.7516*	0.6448
Ca	—	—	-0.3733	-0.6791*	—	—	-0.248 ^b	-0.3702	—	—	0.3023	-0.1576
Mg	—	—	—	0.9280**	—	—	0.9180**	—	—	—	—	0.8787**

*, ** Significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively

2. 배추의 無機成分 含量

收穫後 乾燥한 배추가 含有하는 몇 가지 無機成分의 含量은 表 2와 같다. 먼저 第一作을 보면 珪酸칼슘, 水酸化칼슘, 水酸化칼슘+有機物區에서 Ca가 많고 Cd가 적는데 後者는 特히 水酸化칼슘, 水酸化칼슘+有機物區에서 더 적다. 珪酸칼슘區에서의 Cd 含量은 다른 두 區보다 약간 높고 이 높음은 2作 3作에서도 마찬가지다.

作物을 收穫한 土壤의 pH와 乾燥배추가 含有하는 無機成分含量과의 相關關係를 보면 表 3에서와 같이 Ca와는 正相關이지만 其他成分과는 負相關이다. 이들 負相關關係는 第 3作에 가서 더 顯著하여 pH가 낮을수록 Mg, K, Cd가 植物體에 더 많이 集積되었음을 確實히 해주고 있다. Ca와의 相關關係도 2作에 가서는 稀薄해 졌고 3作에 가서는 無相關이 되어 버렸다.

3. 배추의 無機成分과 收量 및 배추의 無機成分相互間的 相關關係

表 4는 乾燥배추가 含有한 無機成分과 배추의 收量과의 相關關係이다. 第 1 및 2作的 Ca만은 正相關이고 其他 成分과는 모든 作에서 모두 負相關關係를 보였는데 特히 第 1 및 2作的 K, Mg, Cd 含量과는 有意性있는 負相關을 보였다.

表 5는 乾燥배추의 無機成分含量 相互間的 相關關係이다. 1, 2, 3作에서 Cd은 다같이 K, 또는 Mg과는 相關도가 높음을 보였으며 칼슘과의 負相關關係는 第 2作, 3作으로 갈수록 더 稀薄해 졌다.

作物의 生育이나 그 作物이 吸收한 어떤 成分의 量은 모든 條件이 滿足스럽고 한 條件만이 制限될 때 그 條件과 有意性 있는 相關關係를 갖는다. 그리고 몇 成分이 同時에 制限될 때는 各 成分과 制限條件과의 相關關係는 稀薄해 지거나 없을 수도 있다. 表 3에서 배추의 Ca 含量은 土壤의 pH와 正相關을 Mg, K, Cd 含量은 土壤의 pH와 負相關을 갖는데 前者는 栽培가 거둬질수록 稀薄해지고 後者는 栽培가 거둬질수록 密接해진다. 栽培가 거둬질수록 배추의 生育을 支配한 成分은 Ca에서, Mg, K, Cd,으로 옮겨간 것을 意味하는

것이다.

土壤의 Ca, Mg, K는 置換性 이온, 炭酸, 磷酸, 珪酸鹽等으로 存在한다. 이들 鹽은 K, Mg, Ca의 順序로 溶液도가 낮아진다. CaCO₃와 MgCO₃를 例로 들어 前者의 溶解度積을 4.8×10⁻⁹, 後者의 그것을 1.0×10⁻⁵, 炭酸의 Ka₁ Ka₂를 各各 1.7×10⁻⁴, 5.6×10⁻¹¹로 하고 炭酸의 濃度を 0.1M로 하여 pH 6.0, 5.0, 4.0에서의 Ca⁺²와 Mg⁺²의 濃度を 計算해 보면 다음 式에 의하여

$$\log[Ca^{+2}] = 6.73 - 2pH$$

$$\log[Mg^{+2}] = 10.02 - 2pH$$

Ca⁺²는 各各 5.4×10⁻⁶, 5.4×10⁻⁴, 5.4×10⁻²mol/L. Mg⁺²는 各各 1.1×10⁻², 1.1, 104.7 mol/L이 되어 큰 差異를 보인다. 한편 置換性 K, Mg, Ca의 置換浸出도 이 차례로 어려워진다

農耕地에서 土壤의 pH가 中性이라는 것은 Ca가 많다는 것을 意味한다. Ca와 Mg, Ca와 K 間에는 拮抗作用이 있어서 土壤溶液에 Ca가 많으면 Mg, 또는 K가 적어진다. Cd도 같은 陽 이온이어서 같은 行動, 같은 吸收樣狀을 보일 것이다. 初作에서는 Ca가 作物에 많이 吸收될 수 있는 條件이지만 3作에 가서는 Ca가 적어지고 Mg, K, Cd가 많이 吸收될 條件이 되었을 것이다. 그리고 Cd의 行動은 Mg와 더욱 有似했던 것 같다. 表 3에서 pH와의 相關關係가 다 같이 높았을 뿐만 아니라 吸收된 兩 成分間的 相關關係가 매우 密接하다.

乾燥 배추 100g당 0.21me의 Cd를 含有하는 CaSiO₃ 區에서는 배추가 外觀上 生育障害를 받지 않았다. 2作에서 배추의 收량과 배추의 Cd 含量間에 有意性 있는 相關關係가 보였지만 이 關係는 表 2에서 보는 바 有機物區의 배추의 Cd 含量 때문이다. 그렇다면 위에서 본 Cd 0.21me/100g는 作物의 生育面에서 安全 濃度라고 할 수 있다. 그러나 배추의 乾物比를 6%라 하고 이 濃度を 生배추의 그것으로 換算하면 7.1ppm이 된다. 사람과 動物에 對한 害毒이란 면에서는 許容될 수 없는 濃度로 생각된다.

植物體가 含有하는 Ca, Mg, K 中 가장 적은 成分은 Mg이다. 이 말은 作物의 Mg 要求가 比較的 적다는 것을 意味한다. 이런 要求度가 滿足된 後에 過剩으로

吸收된 Mg는 作物의 生育에 不必要할 뿐만 아니라 陽이온의 均衡을 破壞하는 등의 理由로 때로는 害가 될 수도 있다. 이것이 배추의 收量과 乾燥植物의 Mg含量과의 負相關關係를 만든 理由가 되었는지도 모른다. 이런 相關關係는 다른 試驗에서도 나타난바 있다⁽¹³⁾. 이런 理由로 本 研究에서는 土壤의 酸性化로 인한 Cd의 害毒이 더 컸던 것으로 判斷된다. 水酸化칼슘+有機物區는 배추의 Cd 含量을 初作에서는 水酸化칼슘區 보다 더 낮추었으나 第3作에 가서는 反對로 더 컸다. 土壤의 pH가 初作에서는 前者에서 높고 第3作에서는 後者에서 높았지만 有機物の 畝用이 카드뮴을 溶解도가 낮은 CdCO₃(KSP : 2.5×10⁻¹⁰)로 沈澱시켜 그 吸收를 抑制할 수 있다는 點을 감안하면 水酸化칼슘區의 第3作 배추에서의 낮은 Cd 濃度は 同作 後半期에 가서 배추가 茂盛하게 자랐기 때문이라 할 수 있다.

CaSiO₃는 土壤의 pH에 急激한 變化를 주지 않으면서 作物을 잘 生育케 하였다. 그리고 Ca(OH)₂만은 못했지만 배추의 Cd 濃度も 相當히 낮추었다. 이 物質이 解離하여 생긴 Ca⁺⁺는 土壤의 酸度を 中和하고 營養分으로 作物에 吸收될 것이다. 그러나 本 研究에서 CaSiO₃는 土壤의 反應에는 큰 影響을 주지 못하였다. 이 처리區에서는 水酸化카드뮴, 炭酸카드뮴의 沈澱도 적었을 것이다. 그렇다면 Cd의 一部分이 CdSiO₃로 沈澱되어 배추에 吸收되지 못했을 것이라고 推測할 수도 있다.

要 約

消石灰와 有機物の 畝用 및 珪酸칼슘의 施用이 카드뮴으로 汚染된 土壤에서 배추의 生育 및 Cd 含量에 주는 影響을 밝히기 爲하여 카드뮴이 處理된 土壤 150g 씩을 담은 小型 花盆에 試驗한 結果는 아래와 같다.

1. 消石灰 單用은 1,2作에서 배추의 生育을 甚히 抑制시켰으며 第3作에 가서는 오히려 다른 處理區보다 生育을 旺盛하게 하였다.

2. 消石灰+有機物區는 初期부터 배추生育이 良好하였고, 배추의 Cd 含量도 消石灰單用區 以下로 낮추었으며 그 效果는 3作까지 繼續되었다.

3. 珪酸칼슘은 土壤의 pH에는 큰 影響은 못주면서도 배추를 正常的으로 生育케 하고 消石灰만은 못하였으나 배추의 生育을 抑制하지 않는 範圍인 乾燥 배추 100g 당 0.21me 까지 Cd 含量을 減少시켰다.

4. 對照區와 有機物만을 單用했을 때는 土壤의 pH가 甚히 낮아지고 배추의 Cd 含量도 높았으며 2作부터는 배추가 거의 다 枯死되었다.

5. 배추의 Cd 含量은 Ca 吸收量과는 負相關, Mg, K,

含量과는 正相關을 보였는데 Mg 含量과 더 密接한 相關을 갖고 特別히 栽培가 거듭될수록 同關係는 더 顯著하였다.

引用 文 獻

1. 이민효, 김규식, 김복영, 한기학(1984) : 석회와 시용이 수도의 카드뮴 흡수 및 생육에 미치는 영향, 한국토양비료학회 17(3), 258~264.
2. Narwal, R.P., B.R. Singh, and A.R. Panhwar, (1983) : Plant availability of heavy metals in a sludge-treated soil 1. Effect of sewage sludge and soil pH on the yield and chemical composition of rape, J. Environ. Qual., 12(3), 358~365.
3. Street, J.J., 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., 7, 286~290.
4. Mahler, R.J., F.T. Bingham, A.L. Page, and J.A. Ryan (1982) : Cadmium-enriched sewage sludge application to acid, and calcareous soils: Effect on soil and nutrition of lettuce, corn, tomato, and swiss cherd. Jour., Environ. Qual., Vol. 11(4), 694~700.
5. McBride, M.B., L.D. Tyler, and D.A. Hovde (1981) : Cadmium adsorption by soils and uptake by plants as effected by soil chemical properties, Soil Science Soc. Amer. Journal Vol. 45(4), 739~744.
6. 오왕근(1982) : 중금속(Cd)의 피해경감을 위한 토양개량에 관한 연구. 개량제의 시용과 상치의 Cd 함량. 서울시립대학논문집 16, 507~515.
7. 오왕근(1983) : 중금속 피해경감을 위한 토양개량에 관한 연구 3. 토양개량과 배추의 수량 및 카드뮴의 함량. 서울시립대학논문집 17, 517~524.
8. 오왕근(1983) : 농지자원의 질적 관리, 한국농업과학협회, 농업과학심포지움, 우리 나라 농업자원의 효과적인 관리와 이용, 44~55.
9. Chubin, R.G. and J.J. Street, (1981) : Adsorption of cadmium on soil constituents in the presence of complexing ligands Jour., of Environ., Qual. Vol. 10(2), 225~228.
10. White M.C. and R.L. Chaney(1980) : Zinc and cadmium and manganese uptake by soybean

- from two zinc and cadmium amended coastal planin soils, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **44**, 308~313.
11. Chang, A.C., A.L. Page, J.E. Warneke, M.R. Resketo, and T.E. Jones, (1983) : Accumulation of cadmium and zinc in barley grown on sludge-treated soils: A long-term field study, *J. Environ., Qual.*, Vol. **12**(3), 391~397.
12. Larsen Vagn Juhl and Hans-Henrik Schierup, (1981) : The use of straw for removal of heavy metals from waste water. *Journal of Environ. Qual.*, Vol. **10**(2), 188~193.