

農作物에 對한 납(Pb)의 吸收 및 被害輕減에 關한 研究

III. 水稻의 납 吸收移行에 對한 水管理 및 石灰物質의 效果

金福榮 · 金奎植 · 韓基碩 *

Studies on uptake of lead by crops and reduction of it's damage

III. Effect of water management and lime application on Pb uptake in paddy rice

Bok-Young Kim, Kyu-Sik Kim and Ki-Hak Han

Summary

A pot experiment was conducted to find out the effects of water management and application of slaked lime and wollastonite on Pb uptake of rice in a Pb added soil. The soil was adjusted to 0, 150, 300 and 600 ppm of Pb concentration. The slake lime was applied at the equivalent amount of lime requirement with 150kg/10a adding and the wollastonite, 200kg/10a, respectively.

The results obtained were as follows.

1. The lead contents in leaf stem and brown rice increased with increasing the soil Pb content and the ratio of Pb/(Ca + Mg) equivalent in soil but they showed no influence on yields.
2. The application of lime and wollastonite reduced Pb content in plant.
3. The lead content in plant was higher in intermittently irrigated treatment than in submersed irrigation.
4. The soil pH was increased in the order of lime, wollastonite and control.
5. 1N-NH₄OAC soluble Pb content in soil was higher in the submersed irrigation than in the intermittently irrigated and was higher in wollastonite application treatment than the slaked lime after harvesting.

緒 言

우리나라 土壤中 납(pb)의 自然賦存量은 15.4 ppm¹⁵⁾이나 可溶性 납함량은 4.67 ppm⁶⁾이라고 하며 都市 隣近土壤은 119.0 ~ 522.0 ppm¹⁰⁾, 鑛山隣近地域은 109.8 ppm¹²⁾이라고 報告되고 있으며 日本에서는 土壤中 自然賦存量이 10.0 ppm¹¹⁾, 美國의 납製鍊所隣近에서는 103 g/m²⁵⁾ 혹은 500 m 以內에서 93 ~ 3,119 ppm이나 된다고 報告되고 있으나¹³⁾ 土壤中에 汚染된 납은 土壤內의 여러가지 條件 또는 餘他成分에 따라서 沈澱, 固定, 吸着, 置換에 依한 不溶化 및 難溶化程度가

相異하기 때문에 植物體에 吸收移行되는 量이 相異하다.

成¹⁶⁾은 植物의 發芽와 生長에 影響을 주는 납의 限界濃度는 水耕栽培에서는 100 ppm이었으나 土壤栽培에서는 10,000 ppm이라고 하였고 九州農試⁴⁾에서는 水稻가 1,600 ppm에서도 生育과 收量에 影響이 없고 玄米에 移行도 적었으나 小松菜에서는 1,600 ppm 에서 25%나 減收되고 莖葉에 吸收가 많다고 하였다.

金⁹⁾ 등은 銅含量이 200 ppm인 土壤에서 消石灰施用으로 26 ~ 30%, 硅灰石施用으로 27 ~ 48% 增收되었다고 하였고, 消石灰施用으로 土壤의 pH를 上昇

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

시켜 水稻體內的 카드뮴含量을 減少시킨다고 하였고⁸⁾, 또한 石膏를 處理하므로써 玄米中 카드뮴含量을 減少시킨다고 報告⁹⁾ 하였다.

石塚²⁾ 등은 培養液中에 黃酸根이 含有되어 있으면 납은 pbso₄ 로서 沈澱되기 때문에 50 ppm에서 生育減少가 있었으나 無黃酸培養液의 경우는 10 ppm에서 有害가 認定되었다고 하며 David¹⁾ 는 植物生育에 납의 影響은 磷酸이 結晶된 狀態에서 더욱 촉진된다고 하였다.

납은 一般的으로 다른 成分에 比하여 植物에 吸收가 어려운 金屬이며, 土壤에서 植物生長에 必要한 陰이온, 인 H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ 等과는 沈澱反應을 나타낸다고 報告¹⁰⁾ 하였다. 最近 납은 土壤에서 뿐만 아니라 植物體內에서도 不溶態의 結晶體로 發見된다는 研究도 報告되고¹¹⁾ 있다.

本 試驗은 水稻에 對한 납의 吸收移行과 물管理 및 石灰物質의 效果를 究明코자 납의 濃度를 달리하고 常時灌水 및 間斷灌水와 石灰物質인 消石灰와 硅灰石 等を 施用하여 Pot 試驗을 實施하여 그 收量 및 水稻體中の 납 含量을 調査한 結果를 報告하고자 한다.

材料 및 方法

供試土壤은 水原市 塔洞의 畚土壤(砂壤土) 表土를 使用하였으며 그 理化學的 性質은 表1과 같다. 供試土壤 15kg에 납을 土壤에 對한 重量比로서 0, 150, 300, 600 ppm되도록 pb(NO₃)₂로 添加하고 石灰物質은 無施用, 消石灰中和量+ 150kg/10a, 硅灰石 200kg/10a 該當量을 土壤과 充分히 混合시키고 窒素, 磷酸, 加里는 成分量으로 15 : 9 : 11kg/10a에 該當되는 量을 尿素, 重過石, 鹽化加里로 施用後 1/2,000 a Wagner pot에 充塡시키고 灌水하였다. 窒素는 基肥 50%, 移秧後 15日(6月7日)에 30%, 55日(7月18日)에 20%씩 分施하였고 磷酸과 加里는 全量 基肥로 施用하였다. 苗移秧은 曙光며 45日 苗를 pot 當 1本 4株씩 3反覆으로 5月24日에 하였으며 물管理는 移秧後 44日부터 間斷灌水와 常時灌水로 나누어 收穫(9月30日) 10日 前까지 繼續灌水하였다.

土壤 및 植物體分析에서 土壤은 風乾시켜 0.5mm 체를 通過시킨後 pH는 測자電極法으로, 납은 1N-NH₄OAC (pH 4.5)로 浸出하여 atomic absorption spec-

Table 1. Some chemical properties of soil used

pH (1:5H ₂ O)	OM (%)	C. E. C (me/100g)	Ex. cation (me/100g)			Av - P ₂ O ₅ (ppm)	Av - SiO ₂ (ppm)	Pb* (ppm)
			K	Ca	Mg			
5.6	1.3	5.5	0.29	2.74	0.63	88.0	95.0	2.1

* 1N - NH₄OAC extraction

trophotometer (1L - 251)로 測定¹⁴⁾ 하였으며 植物體는 幼穗形成期和 收穫期에 採取한 植物體 莖葉을 乾燥器內에서 乾燥시켜 20 mesh로서 粉碎하여 蒸發접시에 秤量하여 hot plate 上에서 炭化시킨後에 550°C 以下の 電氣爐內에서 完全灰化시켜 冷却後 C-HClO₄ 와 C-HNO₃ 를 加하여 溶解後 다시 乾固시킨 다음 1N-HCl 로 再溶解시켜 atomic absorption spectrophotometer 로 납을 測定하였다.

結果 및 考察

1. 收量

납을 土壤에 處理하고 石灰物質인 消石灰 및 硅灰石을 改良劑로 施用한 後에 물管理를 달리하여 水稻를 栽

한 結果 收量은 表2와 같이 對照區에 比하여 間斷灌水區는 150 ppm에서는 多少增收되고 300 ppm 에서는 減收, 그리고 600 ppm에서는 다시 增收되었으나 有意性은 없었다. 常時灌水區에서는 모든 濃度에서 減收되었으나 역시 有意性은 없었다.

납은 水稻에서는 1,600 ppm에서 生育과 收量에 影響이 없고¹⁾ 10,000 ppm에서 影響을 가져온다¹⁶⁾ 는 報告와 같이 本 試驗에서도 600 ppm까지는 收量增減에 影響이 없었다. 消石灰 및 硅灰石施用區에서도 對照區와 類似한 收量으로 有意性있는 收量增減은 없었다.

2. pH의 變化

납을 濃度別로 處理하고 石灰物質을 改良劑로서 施用한後 灌水 43日後에 土壤의 pH를 調査한 結果는 그림 1에서와 같이 土壤의 납濃度가 높아짐에 따라서 消

Table 2. Effect of application of lime material on yield index of rice by the different treatments (Unit : %)

Pb Conc. (ppm)	Intermittently irrigated				Submersed			
	Cont.	S. Lime	Wollast.	Average	Cont.	S. Lime	Wollast.	Average
0	100 (128.8)*	-	-	100	100 (137.9)*	-	-	100
150	102.4	103.4	104.3	103.4	95.4	98.4	96.6	96.8
300	96.0	94.7	95.3	95.3	96.7	96.7	88.6	94.0
600	99.2	97.9	100.5	99.2	97.9	91.9	94.8	94.8
Average	99.4	98.7	100	99.4	97.5	95.6	93.3	96.4

* Yield (g/pot) was in the parentheses.

* No statistical significance in yield among treatments could be observed.

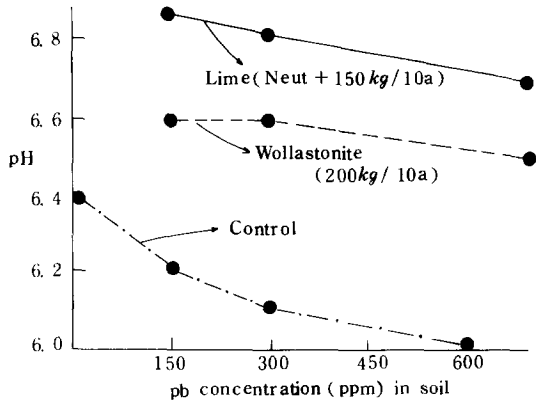


Fig. 1. Changes of the soil pH with respect to Pb concentration by applied of lime materials.

石灰施用區는 土壤의 pH가 6.9에서 6.7로, 硅灰石區는 6.6에서 6.5로, 對照區는 6.4에서 6.0으로 떨어졌다. 消石灰가 pH가 높은것은 알카리物質이기 때문이며 硅灰石에도 칼슘成分이 많아 對照區보다 높은것으로 생각된다. 납의 濃도가 높아짐에 따라서 pH가 낮아지는 것은 pb(NO₃)₂의 化合物을 施用하였기 때문에 pb 濃도가 높을수록 相對的으로 NO₃⁻가 많이 添加되어 土壤溶液으로 解離되어 나오는 NO₃가 많아 土壤膠質의 H⁺와 置換되기 때문에 pH가 낮아지는 것으로 생각된다.

3. 植物體中 납含量

植物體中 납含量은 表 3, 4에서와 같이 莖葉 및 玄

Table 3. Lead content in plant as affected by the different soil Pb concentration, application of lime materials and irrigation managements (Unit : ppm)

Pb Con. (ppm)	Ear formation stage					
	Intermittently irrigated			Submersed		
	Cont.	S. Lime	Wollast.	Cont.	S. Lime	Wollast.
0	8.7	-	-	14.6	-	-
150	15.1	4.3	6.5	22.7	15.0	22.3
300	19.5	9.3	7.3	28.4	19.5	28.0
600	62.0	34.5	28.4	65.3	39.3	38.5

Pb Con. (ppm)	Harvesting stage					
	Intermittently irrigated			Submersed		
	Cont.	S. Lime	Wollast.	Cont.	S. Lime	Wollast.
0	4.4	-	-	4.6	-	-
150	5.6	4.7	4.8	5.5	4.5	4.8
300	6.7	5.3	5.5	6.8	5.2	6.3
600	17.5	8.0	7.6	14.3	9.4	9.0

米 모두 土壤의 납 處理濃도가 높을수록 그 含量이 높아지는 傾向이었으며 常時澆水區가 間斷澆水區보다 납

含量이 많았고 幼穗形成期는 收穫期보다 그 含量이 많았다.

Table 4. Lead content in brown rice as affected by the different soil Pb concentration, application of lime materials and irrigation management

Pb con. (ppm)	Intermittently irrigated			Submersed		
	Cont.	S. Lime	Wollast.	Cont.	S. Lime	Wollast.
0	0.43	—	—	0.51	—	—
150	0.62	0.47	0.59	0.66	0.61	0.57
300	0.91	0.71	0.83	1.00	0.76	0.89
600	1.78	1.00	1.10	1.87	1.01	1.19

石灰物質施用으로 因하여 植物體 및 玄米 모두 對照區에 比해 납含量이 적어지는 傾向이며 消石灰區가 硅灰石區보다 吸收輕減效果가 좋았다.

이는 카드뮴汚染地에서도 消石灰施用으로 水稻體中 카드뮴含量이 減少되었는데 카드뮴의 吸收抑制效果는 칼슘보다 주로 土壤의 pH上昇때문이라고 하였는데⁸⁾ 납에서도 消石灰가 硅灰石보다 吸收抑制輕減效果가 좋은 理由는 消石灰가 硅灰石보다 pH를 더 上昇시켰기 때문인 것으로 생각된다.

그림 2, 3은 土壤中 pb/(Ca + Mg)當量比와 收穫期 莖葉 및 玄米中 납 含量은 消石灰(中和量 + 150kg/10a) 및 硅灰石(200kg/10a)을 施用하였을때 莖葉中 pb含量과 土壤中에 含有된 總Ca와 Mg의 當量合計와 土壤에 含有된 總pb含量과의 當量比間에는 그림 2와 같이 r = 0.960 **의 正의 相關關係를 나타내었고 植物體中 pb含量과 玄米中 pb含量間에는 r = 0.967 **의 正의 相關이 있었다. 따라서 土壤中의 可溶性

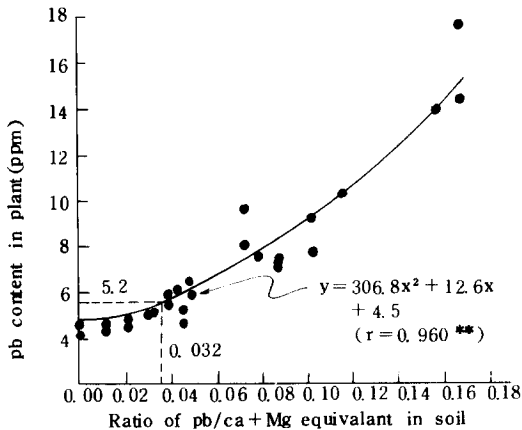


Fig. 2. Relationships between the ratio of Pb/Ca+Mg equivalent in soil and Pb content in shoot.

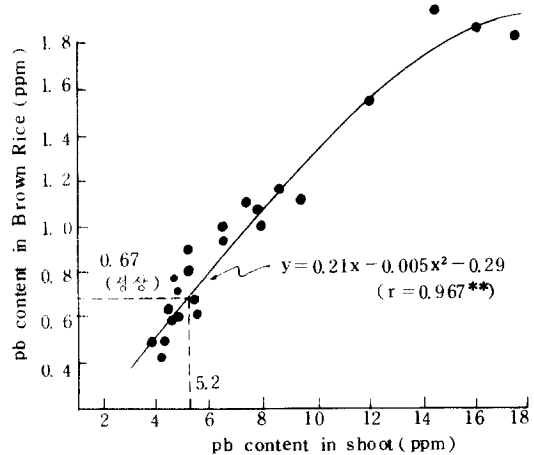


Fig. 3. Relationships between the Pb content in shoot and Pb content in brown rice.

總 pb含量과 Ca와 Mg의 含量을 알면 石灰物質의 施用量을 決定할 수 있을 것으로 생각되므로 水稻栽培前에 豫防對策樹立이 可能할 것으로 보이나 本 試驗은 Pot 條件에서 수행되었으므로 圃場에서의 檢討가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

成人 1 人의 납 正常攝取量이 0.4 mg/日¹⁸⁾ 이라고 하므로 1 人當 쌀 600 g를 먹는다고 보면 쌀중 납含量은 0.67 ppm以下이어야 하며 그림 2, 3에서 보면 이는 植物體中에 5.2 ppm에 該當하며 이때 土壤中에 pb/Ca + Mg 當量比는 0.032였다.

植物體中 납 總吸收量은 表 5와 같이 間斷灌水區에서 對照區 0.65 mg/pot에 比하여 납 600 ppm處理區는 5.0 mg/pot로 增加되었고 常時灌水區에서는 對照區 0.93 mg/pot에 比하여 6.11 mg/pot로 增加되었고 間斷灌水區보다 吸收量이 많았다. 消石灰 및 硅灰石施用으로 吸收量의 減少가 顯著하였다.

Table 5. Absorbed lead content in plant (leaf and brown rice) as affected by the different soil Pb concentration, application of lime material and irrigation (Unit : mg / pot)

Pb con. (ppm)	Intermittently irrigated			Submersed		
	Cont .	S. Lime	Wollast .	Cont .	S. Lime	Wollast .
0	0.65	—	—	0.93	—	—
150	1.48	0.60	1.00	1.34	0.91	1.29
300	2.07	1.27	1.36	2.27	1.39	2.04
600	5.02	2.62	2.85	6.11	2.06	3.41

4. 試驗後 土壤中 납含量

試驗後 土壤中의 1N-NH₄OAC可溶性 납含量은 表6과 같이 납處理濃도가 높을수록 납含量이 增加하였으며 常時澆水區가 間斷澆水區보다 많았고 消石灰 및 硅灰石

施用으로 土壤中 可溶性 납含量이 減少되었다. 植物體에서도 常時澆水區가 납含量이 많았고 消石灰 및 硅灰石施用으로 납이 減少되었는데 이는 납이 間斷澆水區가 固定이 더 많이되고 常時澆水區는 還元에 依하여 固

Table 6. 1N-NH₄OAC (pH 4.5) extractable Pb concentration in soil after harvest (Unit : ppm)

Pb con. (ppm)	Intermittently irrigated			Submersed		
	Cont .	S. Lime	Wollast .	Cont .	S. Lime	Wollast .
0	1.5	—	—	1.5	—	—
150	68.6	44.1	62.3	79.9	73.0	75.5
300	142.8	130.0	135.9	167.4	138.4	163.0
600	283.1	237.9	274.7	365.1	299.5	341.9

定이 減되었는데 이는 카드뮴等과는 反對現狀으로 이 問題는 앞으로 더 研究되어야할 것으로 생각된다. 消石灰 및 硅灰石은 pH上昇 및 Ca의 影響으로 납이 不溶性 또는 難溶性으로 되기때문에 植物體나 혹은 土壤中 可溶性 납含量이 낮아지는 것으로 생각된다.

摘 要

水稻에서 납(pb) 吸收樣相 및 吸收輕減效果를 究明하기 爲하여 土壤에 납을 0, 150, 300, 600 ppm 으로 處理하고 消石灰 및 硅灰石을 施用하여 pot 栽培하고 水稻의 莖葉, 玄米中 납含量 및 吸收量과 pH, 칼슘, 마그네슘含量과의 關係를 調査한 結果는 다음과 같다.

1. 土壤中 납處理濃도가 增加할수록 莖葉과 玄米中 납含量 및 吸收量이 增加하였으나 收量은 別影響이 없었다.

2. 石灰物質施用으로 水稻의 납吸收抑制效果가 認定되었다.

3. 물管理에서 水稻의 납吸收抑制效果는 間斷澆水區가 常時澆水區보다 좋았다.

4. 土壤中 pb/Ca + Mg 當量比가 增加할수록 植物體中 납含量이 增加하였다.

5. 石灰物質施用에 따른 土壤의 pH는 消石灰> 硅灰石> 無施用의 順이었다.

6. 試驗後 土壤中 1N-NH₄OAC可溶性 납含量은 常時澆水區가 間斷澆水區보다 높았고 石灰物質別로는 無施用> 硅灰石> 消石灰의 順이었다.

引 用 文 獻

1. David E. Koeppel Raymond J. Miller. 1970. Lead Effects on Corn Mitochondrial Respiration. Science 167:1376-1378.
2. 石塚喜明, 田中明. 1962. 水稻の要素代謝に關する 研究(第8報) 鉛, 水銀 砒素, 特に これらの 害作用を中心として 日本土壤肥料學雜誌 33 : 9 : 421-423.
3. 小林隆. 1975. 土壤中微量重金屬の天然賦存量 および 毒性等 について. 公害と對策 11 : 11 : 82-94.
4. 九州農試. 1973. 農用地 土壤の特定有害物質に よる 汚染の解析に關する 研究. 九州農試土壤汚染資料 3 : 129-171.
5. Jackson D.R. and A.P. Watson. 1977. Disruption

- of Nutrient Pools and Transport of Heavy Metals in a Forested Watershed Near a Lead Smelter. *J. Environ. Qual.* 6.4:331-337.
6. 金福榮, 金奎植, 趙在規, 李敏孝, 金善寬, 朴英善, 金福鎮. 1982. 韓國 논土壤 및 玄米中 重金屬(cd, cu, zn, pb)의 天然賦存量에 關한 調査研究. *農試報告* 24 : 51 - 57.
 7. 金正玉, 河永來, 金福鎮. 1978. 水稻品種別 重金屬 吸收抑制에 對한 물管理 및 石膏의 效果. *土壤肥料學會誌* 11. 2 : 113 - 118.
 8. 金奎植. 1980. 畚土壤에 있어서 石灰施用이 水稻의 카드뮴 吸收에 미치는 影響. *忠北大學校 大學院 論文集* 6 : 179 - 190.
 9. _____, 金福榮, 李敏孝, 韓基鎔, 金萬識. 1985. 水稻의 銅被害에 對한 물管理 및 石灰物質의 效果. *韓國環境農學會誌* 4. 2 : 102 - 107.
 10. 李圭男, 趙南俊, 李光國. 1981. 서울市內 일원의 高水敷地土壤汚染度 調査. *서울綜合技試研報* 17 : 264 - 274.
 11. Lisk, D.J. 1972. Trace Metals in Soil, Plants and Animals. *Adv. Agron.* 24:267-326.
 12. 문화회, 김인기, 전성환, 김학영, 이홍채. 1981. 광산 지역 農耕地 土壤中 重金屬 含有量. *국립환경연구소보* 3 : 175.
 13. 武長宏, 吉羽雅昭. 1984. 群馬縣安中市의 亞鉛製鍊所週邊地域의 重金屬による 土壤汚染と その經年變化. *日本土壤肥料學雜誌* 55. 3 : 225 - 234.
 14. 農村振興廳. 1980. 土壤化學分析法 : 263 - 275.
 15. 서울수, 문화회, 김인기. 1981. 土壤重金屬 自然含有量에 關한 研究. — 논 土壤을 中心으로 — *국립환경연구소보* 3 : 177.
 16. 成敏維. 1976. 鉛(pb) 이온의 沈澱과 植物生長의 抑制에 關한 研究. *韓國植物學會誌* 19. 1 : 1 - 6.
 17. Walton, J.R. 1973. Granules containing lead in isolated Mitochondria. *Nature.* 243:100-101.
 18. 吉川博. 1966. 金屬의 健康への 影響. *公害と對策* 8. 6 : 17 - 26.