

發芽種子の呼吸作用에 미치는 Cd, Hg 및 Pb의 影響

成 敏 雄
(慶尙大 科學敎育科)

Effects of Cd, Hg and Pb on the Respiration
of the Germinating Seeds

Sung, Min-Wung
(Dept. of Science Education, Gyeongsang Natl. University)

ABSTRACT

The present study was carried out to investigate the effects of cadmium(Cd), mercury(Hg) and lead(Pb) on the respiration of the germinating seeds. Two kinds of seeds namely, mungbean (*Phaseolus radiatus* L.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) were used for the plant materials. The concentrations of Cd, Hg, and Pb applied for the treatment were 0.1, 1, 10, 100 and 1,000ppm. The germination test was carried out in the dark at 27°C.

Regardless of the kinds of heavy metals, the respiration of the germinating seeds was greatly increased for 24hrs after absorbing the heavy metals, and subsequently the respiration was increased average 0.69mg/g·hr-CO₂ for mungbean and 0.7mg/g·hr-CO₂ for buckwheat. In the lower concentrations of cadmium and lead than 10ppm the germinating rates, seedling growth and the respiration were accelerated, but were decreased at higher concentrations. The germinating rates, the seedling growth and the respiration were not increased in any concentrations of mercury, but were decreased with increase of the mercury concentration.

The inhibition of seeds respiration by mercury was 3 times higher than by cadmium, and 5 times higher than that by lead. The toxicity of three heavy metals on the respiration was showed from the highest to the lowest in the order of Hg, Cd, and Pb.

緒 論

Pb에 의한 植物生長의 抑制(Wilkins, 1957; 成敏雄, 1976), 光合成抑制(Milles et al., 1972), 根瘤菌生成의 抑制 및 蛋白質과 炭水化物的 減少(Huang, Bazzaz and Vanderhoff, 1974), 0~10ppm의 低濃度에서 植物生長의 促進(高橋英一外, 1976), 土壤에서 Pb의 不溶態(Hammett, 1928; Lisk, 1972) 및 植物體內에서 不溶態의 結晶體(Malon et al., 1972; Walton, 1973) 등에 關한 研究報告가 있다.

Pb는 植物의 導管과 細胞間隙에 顯著히 蓄積되며 일의 細胞壁, 細胞質에서도 蓄積된다(Leopold and

Kriedemann, 1975). 옥수수 미토콘드리아의 呼吸作用 減少(Koeppel and Miller, 1970) 등이 報告되었고, 著者에 依하여 Pb이온의 浸透反應(成敏雄, 1976), 大邱市와 晋州市 街路樹의 汚染調査(成敏雄, 1976), 植物體의 Pb吸收 및 有毒性에 미치는 陰이온의 影響(成敏雄·鄭永浩, 1977)이 報告된 바 있다.

Cd는 Pb와 함께 콩의 代謝作用抑制(Huang et al., 1974), 水耕栽培에서 水稻의 Cd 吸收(伊藤秀文·飯村康二, 1976), 水稻에 依한 Zn과 Cd의 吸收와 生育障害(伊藤秀文·飯村康二, 1976), 植物組織에 依한 Cd 吸收의 特徵(Cutler and Rains, 1974), Cd處理에 依한 植物의 耐性(車鍾煥·金炳宇, 1975), 作物과

環境汚染의 重金屬의 多様な 調査(孫秉憲·許仁會, 1974) 等이었다. 最近 Cd에 의한 ATP 減少, 呼吸作用의 抑制(Keck, 1978), 鎳에 의한 水銀(Hg) 蒸氣의 吸收率(Brown and Fang, 1978)을 調査한 報告가 있다.

Hg는 一般의 酵素活性 部位인 -SH의 H와 置換되어 mercapton을 形成하되 酵素를 不活性化하는 것이 有毒性的의 原因이라 한다(Martin, 1968; Maxwell, 1973). Hg는 水銀化合物로서 메틸水銀이 가장 有毒하며 染色體破壞, 細胞分裂防害로 因하여 多倍體 或은 染色體의 非正常分布로서 突然變異를 나타내기도 한다. 特히 Hg는 colchicine보다 約 1,000倍나 더 높은 毒性을 가진다고 한다(Maxwell, 1973).

Cd, Hg 및 Pb는 二價 陽이온 重金屬이라는 類似性이 있으나(Martin, 1962) 各 元素의 毒性程度에 差異가 있을 것으로 보아 이의 究明을 目的으로 呼吸作用에 미치는 影響을 比較檢討코자 한다.

材料 및 方法

1968年 6月 10日 本校 育種學 研究室에서 購入한 녹두(*Phaseolus radiatus* L.)와 메밀(*Fagopyrum esculentum* Möench) 두 種類의 種子를 發芽用 種子로 使用하였다. 種子를 포르말린으로 消毒한 後 3回 蒸流水로 씻어 100粒씩 濾過紙를 깔 紗에 넣고 Cd(NO₂)₂, HgCl₂, 및 PbCl₂를 증류수에 용해시켜 만든 Cd²⁺, Hg²⁺ 및 Pb²⁺의 濃度를 control, 0.1, 1, 10, 100, 1,000ppm으로 하여 各 10ml씩 넣고 뚜껑을 덮은 後 27°C의 暗室에서 發芽시켰다. 發芽中 種子를 浸漬後 8時間 間隔으로 들어 내어 一定量 무게를 달아 加에 산후 2N KOH 25ml을 넣은 300ml 비이커내에 靑사탕을 얹고 그 위에 얹은 뒤에 비닐로 덮어 24時間동안 CO₂ 發生量을 0.2N HCl로서 中和滴定하여 測定하였다.

結果 및 考察

Cd, Hg 및 Pb의 濃度別 發芽試驗의 結果는 表1에 나타난 바와 같다. 發芽率은 100ppm 以上에서 顯著히 抑制되고 있으며 發芽의 被害는 Hg가 가장 높고 그 다음이 Cd이며 Pb가 發芽被害가 가장 낮았다.

發芽中에 나타나는 重金屬 3種의 被害症狀은 100 ppm 以上에서 側根의 發生이 일어나지 않고 黃褐色으로 변하며 發芽中의 形態로 發根도 停止되는 것이 共通된 特徵이며 根端部는 단단한 性質을 나타내었다.

Table. 1. Germinating ratio of mungbean and buckwheat seeds treated with each concentration of some minerals

ppm minerals	Mungbean			Buckwheat		
	Pb	Cd	Hg	Pb	Cd	Hg
0	97	98	98	48	48	48
0.1	98	98	98	48	49	47
1	98	98	97	50	48	46
10	98	98	96	48	48	46
100	97	85	90	47	40	32
1000	93	50	5	40	35	2

呼吸作用의 測定이 目的이었으므로 계속 성장하면서 나타나는 被害症狀은 觀察에서 除外하였다. 이러한 Pb의 有毒症狀은 著者의 前報(成敏雄, 1977)를 參考하던 도움이 되었다 믿는다.

發芽 3日 後의 植物生長을 調査한 結果는 Fig. 1~2에 나타난 바와 같다. Cd 및 Pb는 10ppm 以下의 低濃度에서 植物의 伸張을 약간 促進시키는 傾向을 나타내고 그 以上 濃度가 增加함에 따라 比例하여 減少하였다. 그와 反對로 Hg는 低濃度에서도 伸張이 抑制되었으며 促進하는 傾向은 없었고 濃度增加에 따라 伸張의 減少傾向은 Pb의 一倍, Cd의 二倍程度로 나타났다. Pb 및 Cd의 低濃度에서 植物生育을 促進하는 傾向은

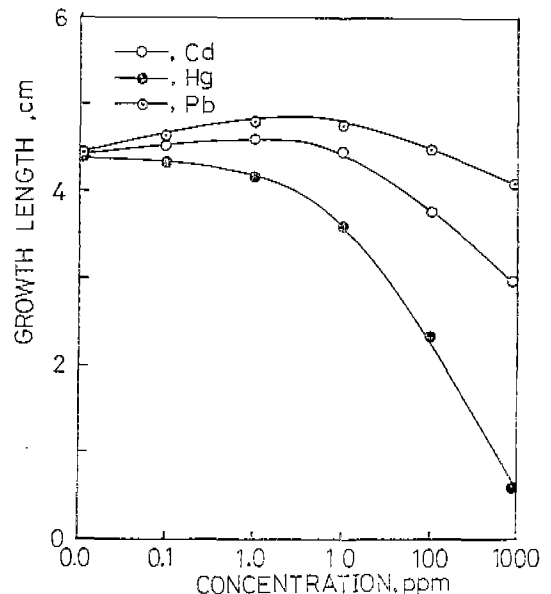


Fig. 1. Shoot length of mungbean grown on some mineral concentration for three days after germination.

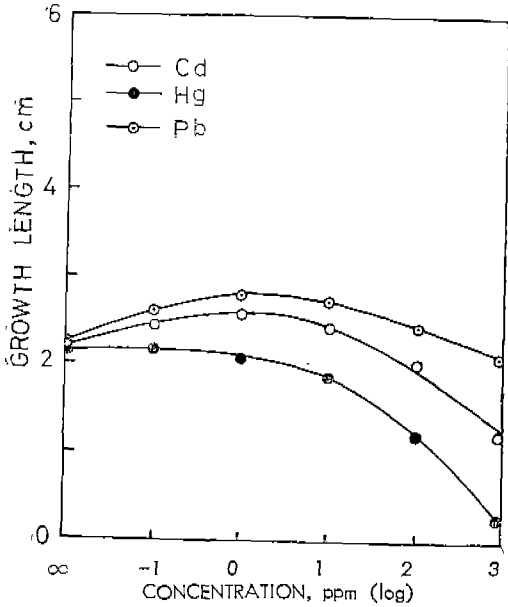


Fig. 2. Shoot length of buckwheat grown on some mineral concentrations for three days after germination.

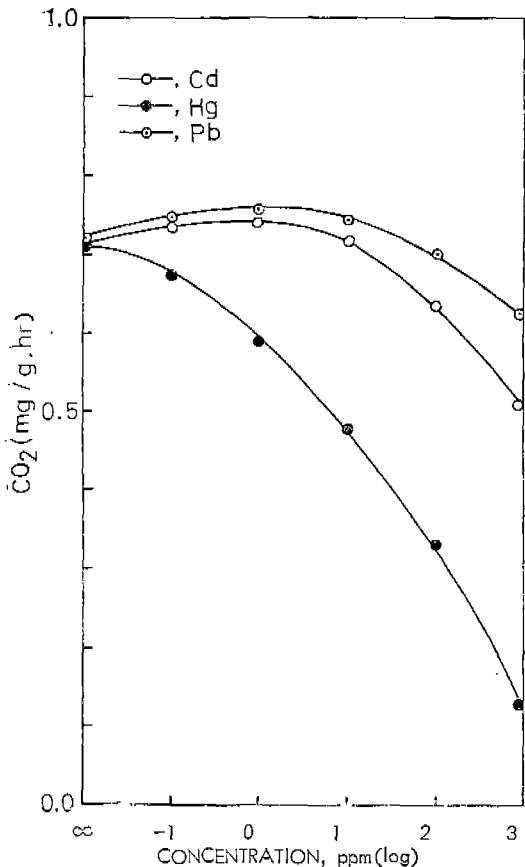


Fig. 3. Respiration of mungbean seedling grown for three days after germination.

報告(高橋英一外, 1976) 된 바 있으나, 그의 機作은 밝혀지지 않고 있다. Hg의 微量에서라도 生長이 抑制되는 理由는 Hg가 酵素系의 活性部位와 強力하게 結合되어 代謝阻害劑로 作用하기 때문이라 生覺된다 (Kenneth, 1973).

發芽後 3日 동안 生長한 幼植物의 呼吸作用을 各 重金屬의 濃度別로 測定한 結果는 Fig. 3~4와 같이 나타났다. 그 結果에 依하면 Cd 및 Pb는 10ppm 以下의 濃度에서 呼吸作用이 促進되는 傾向이 있으나, 그 以上 濃度가 增加할 수록 呼吸作用은 比例하여 減少하는 傾向을 나타낸다. 同一濃度에서 Hg는 Cd와 Pb보다 4~5倍이상 呼吸作用을 抑制하며 Cd는 Pb보다 約 一倍 程度로 呼吸作用을 抑制시킨다. Hg는 微量이라도 存在하면 呼吸作用은 減少하는 傾向을 나타내고 있으며 濃度가 增加할 수록 呼吸作用의 抑制는 顯著하다. 呼吸作用의 抑制가 가장 높은 元素부터 Hg>Cd>Pb의 낮은 順으로 나타났다.

0.1ppm 및 100ppm에서 種子의 發芽時間別 呼吸作用을 測定한 結果는 Fig. 5~8에 나타난 바와 같다. 0.1

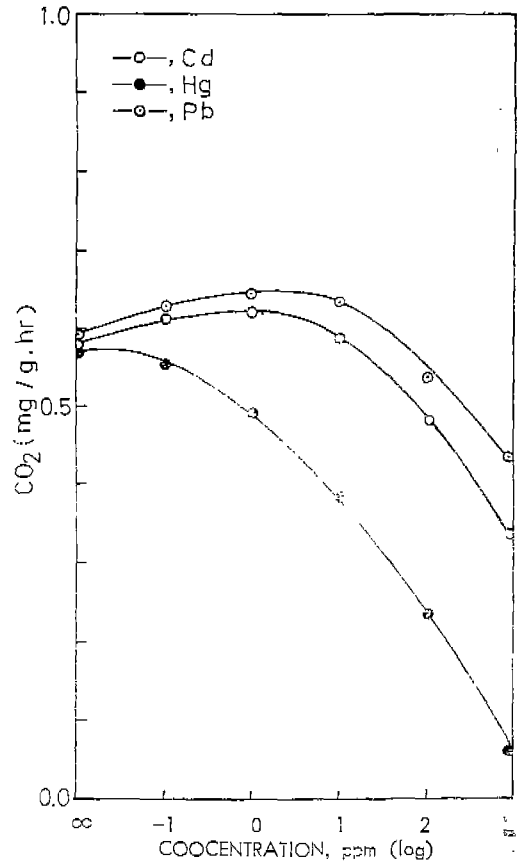


Fig. 4. Respiration of buckwheat seedling grown for three days after germination.

ppm에서 呼吸作用을 測定한 結果 浸漬後 24時間까지 急激히 增加하나 16~24時間 以後부터 重金屬의 種類別 差異를 나타내며 이때가 發芽가 旺盛한 時期에 該當하며 녹두의 境遇 呼吸量 CO_2 0.69mg/g·hr, 메밀의 境遇 0.79mg/g·hr를 維持하다가 48時間 以後는 急激히 減少한다. 이것은 種子의 發芽中 物質消耗과 經인 呼吸作用에서 葉綠體로 合成되는 時期로 移行되기 때 分이라 생각된다. 金屬種類別 低濃度인 0.1ppm에서 呼吸作用은 Cd 및 Pb에 依하여 control 보다 若干의 促進傾向을 나타내나 Hg에 依하여는 抑制된다(Fig. 5~6). 이와 같이 3種 元素의 低濃度에서의 呼吸作用抑制 程度는 差異를 發見할 수 없으나 100ppm에서는 뚜렷히 control 보다 Hg에 依하여 가장 抑制되고 그 다음 Cd이며 Pb가 呼吸作用을 가장 적게 抑制하였다 (Fig. 7~8).

지금까지의 報告에 依하면 Pb가 옥수수 미토콘드리아의 呼吸作用을 減少시킨다는 報告(Koeppe and Miller, 1970) 외에 낮은 濃度 0.0001%에서 微生物에 有毒性을 나타내며 그 理由로서 細胞內의 酵素活性 部位의 관능기와 結合하여 酵素를 不活性으로 하기 때문이라 한다(Frobisher, 1968). 그러나 本實驗에서 Cd 및 Pb는 低濃度에서 發芽種子의 生長促進과 呼吸作用 促

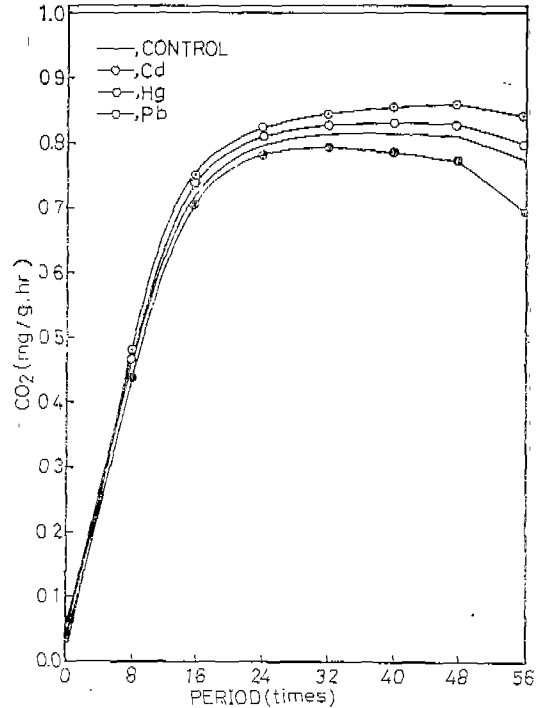


Fig. 6. Respiration by the period of the germinating buckwheat treated with the concentration of 0.1ppm some mineral solution.

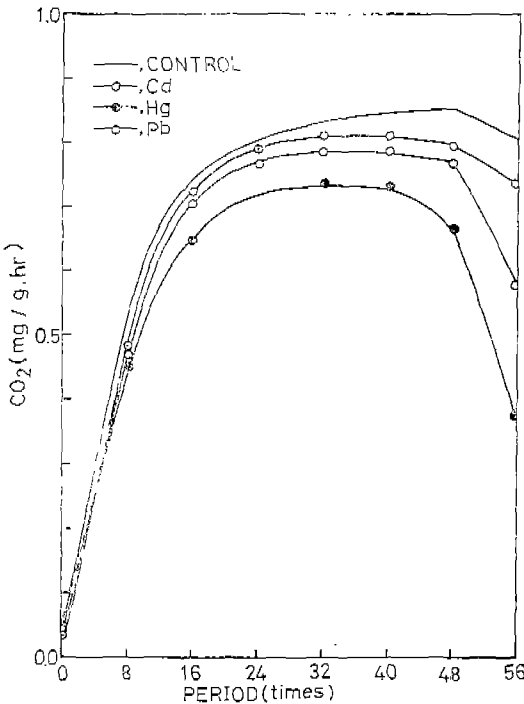


Fig. 5. Respiration by the period of the germinating mungbean treated with the concentration of 0.1ppm some mineral solution.

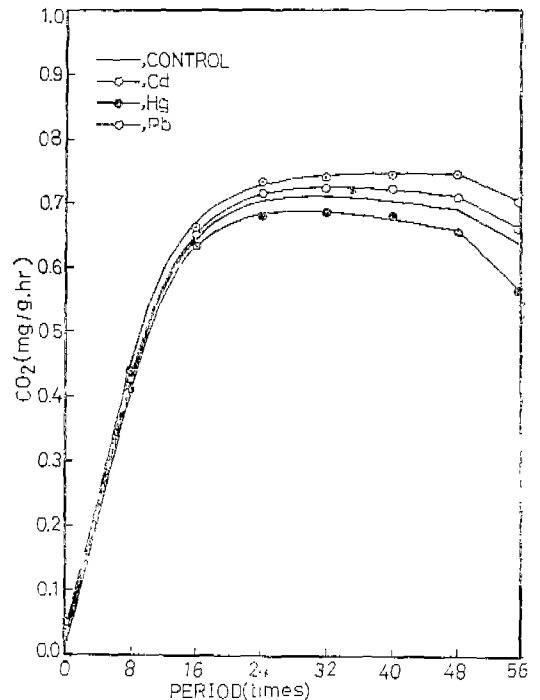


Fig. 7. Respiration by the period of the germinating mungbean treated with the concentration of 100ppm mineral solution.

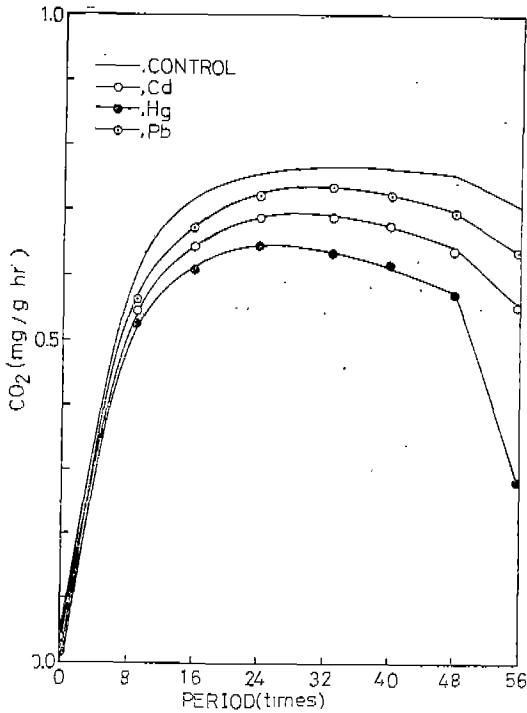


Fig. 8. Respiration by the period of the germinating buckwheat treated with the concentration of 100ppm mineral solution.

摘 要

Cd, Hg 및 Pb는 二價 金屬元素로서 類似性이 있으므로 그 有毒性的 差異를 究明코자 녹두(*Rhaseolus radialis* L.와 메밀(*Fagopyrum esculentum* Mönch)의 種子를 材料로 各 元素의 濃度別 發芽種子의 呼吸作用에 미치는 影響을 調査한 結果는 다음과 같다.

金屬元素의 種類에 關係없이 呼吸作用은 種子浸漬後 24時間까지 急激히 增加하였으며 浸漬後 48時間까지 發芽가 旺盛한 時期이며 呼吸作用은 最大에 이르렀다. 이때 呼吸量은 녹두의 境遇 平均 0.69mg/g·hr·CO₂이며 메밀의 境遇 0.79mg/g·hr·CO₂였다. 그 以後부터 急激히 減少하였다. 그 理由は 呼吸作用에서 葉綠體形成時期로 移行되기 때문이라 생각된다.

發芽率과 植物生長은 Cd및 Pb의 10ppm以下 低濃度에서 若干 促進하나 그 以上の 濃度增加에 따라 減少하였다. Hg의 境遇는 低濃度와 高濃度를 막론하고 濃度增加에 따라 減少傾向도 增加하였다.

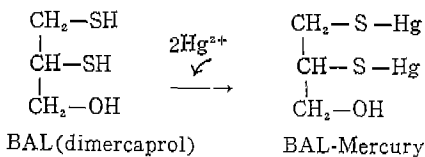
呼吸作用의 抑制은 Pb를 基準으로 하였을 때 Hg는 Pb보다 4~5倍, Cd는 Pb보다 約 1倍程度 높게 나타났다. 呼吸作用抑制의 가장 높은 元素부터 Hg>Cd>Pb의 낮은 順序로 나타났다.

參 考 文 獻

Brown, C.L. and Sheng C. Fang. 1978. Uptake of mercury vapor by wheat. *Plant Physiol.* 61: 430-433.
 車鍾煥, 金炳宇. 1975. 環境汚染防止를 위한 植物生態學的 研究(IV)-Cadmium 處理土壤에 依한 여러 植物의 生長反應. 韓國植物學會誌, 18(1): 23-30.
 Cutler, J.M. and D. W. Rains. 1974. Characterization of cadmium uptake by plant tissue. *Plant Physiol.* 54: 67-71.
 Haghiri, F. 1973. Cadmium uptake by plants. *J. Environ. Qual.* 2: 93-96.
 Huang, C.Y., F.A. Bazzaz and L.N. Vanderhoff. 1974. The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead. *Plant Physiol.* 54: 122-124.
 伊藤秀文, 飯村康二. 1976. 水稻의 카드뮴 吸收時期와 玄米への 移行. 日本土肥誌. 47(11): 493-498.
 伊藤秀文, 飯村康二. 1976. 水稻による亞鉛, 카드뮴의 吸收와 生育障害, 日本土肥誌. 47(2): 39-43.
 伊藤秀文, 飯村康二. 1976. Cd濃度를 一定레벨에 保つた 水耕栽培における 水稻의 Cd吸收. 日本土肥誌. 47(10): 482-487.
 John, M.K. 1971. Lead contamination of some agricultural soils in western Canada. *Environ. Sci. Technol.* 5: 1199-1203.
 John, M.K., C.J. Van Laerhoven and H.H. Chuah. 1972. Factors affecting plant uptake and phytotoxicity of cadmium added to soils. *Environ. Sci. Technol.* 6:1005-1009.
 茅野充男. 1973. 重金属의 吸收時期および 吸收徑路와 水稻玄米

進은 相反되는 結果가 된다. 이러한 差異는 材料生物의 差異도 있겠으나 低濃度에서 生長과 呼吸作用의 促進機作은 안으로 研究課題라 생각된다. Cd는 Hg 및 Pb와 類似性을 띤 二價金屬元素이므로 이들 元素 모두가 有毒性的 機作이 酵素의 活性部位와 結合하여 蛋白質金屬復合物을 形成하여 不活性酵素로 만드는 同一機作이라 假定한다면 呼吸作用의 代謝에 關係하는 酵素의 活性部位와 結合하여 呼吸作用을 抑制하는 것이라 할 수 있을 것이다.

水銀(Hg) 解毒劑(antidote)는 비소毒性 때문에 처음으로 開發되었으며, BAL(dimercaprol)은 -SH 基를 가지고 있다. 이는 安定한 mercaptide ring을 形成하는 -SH基를 가지고 있으며 組織으로부터 쉽게 除去되는 水溶性 化合物로 된다. 왜냐하면 水銀은 生物學的으로 重要한 다른 基와 다시 作用하기 때문에 다른 影響도 超來할 수 있다. BAL과 Hg와의 結合機作은 다음과 같다.



- 中への 重金属 とりこみ量との 関係. 日本土肥誌. 44(6) : 204-210.
- Keck, R.W. 1978. Cadmium alteration of root physiology and potassium ion fluxes. 1978. 62 : 94-96.
- Koeppel, D.E. and R.J. Miller. 1970. Lead effects on corn mitochondrial respiration. *Science*. 167 : 1376-1378.
- Leopold A.C and P.E. Kriedemann. 1975. Plant growth and development. McGraw-Hill Co. pp.49.
- Lisk, D.J. 1972. Trace metals in soil, plants and animal. *Adv. Agron.* 24 : 267-325.
- Malin, H.M. 1971. Metals focus shifts to cadmium. *Environ. Sci. Technol.* 5 : 754-755.
- Malone, C., D.E. Koeppel and R.J. Miller, 1974. Localization of lead accumulated by corn plants. *Plant Physiol.* 53 : 388-394.
- Martin, F. 1968. Fundamentals of microbiology. Saunders Co. pp.244-246.
- Maxwell, K.E. 1973. Environment of life. Dickenson Publishing Co. pp.40-53.
- Milles, C.D., J.R. Brandle, D.J. Daniel, O. Chu-Der, P.D. Schnare, and D.J. Uhlik. 1972. Inhibition of photosystem II in isolated chloroplast by lead. *Plant Physiol.* 49 : 820-825.
- Schuck, E.A. and J.K. Locke. 1970. Relationship of automotive lead particulates to certain consumer crops. *Environ. Sci. Technol.* 4 : 324-330.
- 成敏雄. 1976. 鉛(Pb) 이온의 浸澱과 植物生長의 抑制에 關한 研究. 韓國植物學會誌. 19(1) : 1-6.
- 成敏雄. 1976. 晋州市街路樹의 鉛(Pb) 汚染에 關하여. 韓國植物學會誌. 19(4) : 107-116.
- 成敏雄, 鄭永浩. 1977. 植物體의 鉛(Pb) 吸收 및 有毒性에 미치는 陰이온의 影響. 韓國植物學會誌. 20(1) : 7-14.
- 孫東憲, 許仁會. 1974. 穀物中の 重金属 含有量에 關한 研究 (1). 中央大論文集. 19 : 75-84.
- 高橋英一, 藤聰明, 伴資英, 宮下慶一郎, 三宅靖人. 1976. 鉛, 植物生育に與える影響. 日本土肥誌. 46 : 222-227.
- Turner, M.A. 1973. Effect of cadmium treatment on cadmium and zinc uptake by selected vegetable species. *J. Environ. Qual.* 2 : 118-119.
- Walton, J.R. 1973. Granules containing lead in isolated mitochondria. *Nature*. 243 : 100-101.
- Wilkins, D.A. 1957. Technique for the measurement of lead tolerance in plants. *Nature (London)*. 180 : 37-38.

(1978. 12. 22 접수)