

## 아연광산 인근 토양중의 중금속 함량이 콩의 생육 및 중금속 흡수에 미치는 영향

李鍾八\* · 朴魯權\* · 朴善道\* · 崔富述\* · 金福鎭\*\*

### Effects of Heavy Metal Contents in Soils Near Old Zinc-Mining Sites on the Growth of and their Uptake by Soybean

Jong-Pal Lee\*, No-Kwuan Park\*, Seon-Do Park\*, Boo-Sull Choi\*, and Bok-Jin Kim\*\*

#### Abstract

When soybean was cultivated in the polluted soil with heavy metals, the content of these heavy metals affected. The results were summarized as follows.

1. The growth of soybean was remarkably poor and the content of heavy metals in polluted soil were higher than in unpolluted soil.
2. In leaves of all surveyed crops, the content of Zn, Cu, Pb, Cd and As was higher in soybean, followed by corn and rice.
3. Except for Pb, the content of heavy metals in the leaves of soybean was higher than in the stem of soybean, and the components of heavy metals in each part of soybean were shown in order of  $Zn > As > Cd > Cu > Pb$ .
4. The relationship between the content of Zn, Cu, Pb, Cd, As and the growth of soybean was negatively correlated, respectively.
5. A higher correlation seemed to exist among the content of Zn, Cu, Pb, Cd, As in soil, of Zn, Cu and As in soybean leaves, and of Pb, Cd and As in stems of soybean. The results indicated that heavy metals were absorbed and accumulated by plants grown in the polluted area.

---

\*경상북도 농촌진흥원(Kyeongpook Provincial Rural Development Administration, Taegu, Korea)

\*\*영남대학교 자연자원대학 농학과 (Department of Agronomy, College of Natural Resources, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea)

## 서 론

인구가 증가하고 산업의 급속한 발전과 더불어 도시화되면서 환경오염 문제가 심각한 사회문제로 대두되고 있는 실정이다.<sup>1,2,3)</sup> 환경오염을 크게 나누면 대기오염, 수질오염, 토양오염 등<sup>4)</sup>으로 구분할 수 있다.

중금속에 의한 농경지오염은 중금속을 함유한 폐기물 또는 폐수가 농경지에 유입되거나 대기분진 등에 의해서 오염되어진다.<sup>5,6,7,8,9)</sup> 중금속으로 오염된 토양에서 자란 식물들은 중금속성분을 많이 함유할뿐만 아니라 생육에 장애를 초래한다는 연구보고가 있다.<sup>10,11,12)</sup> 토양중 중금속 오염에 의한 피해는 농작물의 생육을 저해시켜 수량을 감소시키는 직접적 피해보다는 중금속이 오염된 농수산물을 섭취하는 인축에 만성적인 중독증상을 일으키는 간접적 피해가 실제로 더 큰 문제를 야기시키고 있으며<sup>14,15)</sup> 중금속에 의한 중독증상으로 그 대표적인 것은 Hg에 의한 “미나마타”병과 Cd에 의한 “이따이 이따이”병을 들 수 있다.

우리 나라도 과거 전국적으로 많은 금속광산이 산재되고 있었으나<sup>16)</sup> 이들 광산은 경제성의 악화로 대부분이 휴광되거나 폐광이 되어있어 이들 주변의 농경지오염이 우려되고 있으며 농작물의 피해도 예상된다. 따라서 이들 지역에 대한 조사와 논을 중심으로 한 연구가 관련 연구기관이나 학계에서 이루어지고 있으나<sup>6-10)</sup> 두과작물에 대한 중금속의 피해 양상이나 흡수정도 등은 조사 보고된 자료가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 중금속으로 오염된 토양에 콩을 재배하였을 때 중금속에 의한 콩의 피해 양상과 중금속 함량을 조사하였다. 또한 토양 중 중금속함량과 식물체중 함량과의 관계를 구명하여 중금속오염 피해 해석의 기초자료로 활용코자 본 조사를 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료 채취

시료채취 지역은 경상북도 영양군으로서 폐광된 아연광산으로부터 3.0km정도 하류지점에 있는 토양의 시료를 채취하였으며, 비오염지 대조시료는 칠곡 지역에서 채취하였으며 식물체 시료는 토양과 동일한 지점에서 채취하였다.

### 2. 시료 조제

#### 가. 토 양

토양시료는 온실 내에서 풍건 쇄토한 후, 20 mesh체에 통과시킨 것을 중금속(Cd, Cu, Pb, Zn, As) 분석시료로 사용하였다.

#### 나. 식물체

식물체 시료는 1N-CH<sub>3</sub>COOH 용액으로 가볍게 씻은 다음 맑은 물로 깨끗이 씻은 후, 건조기(80°C)에서 건조시킨 것을 분쇄하여 28mesh체에 통과시킨 것을 중금속(Cd, Cu, Pb, Zn, As) 분석용 시료로 사용하였다.

### 3. 시료의 분석

#### 가. 토 양

조제된 공시시료 10g을 삼각 flask에 칭량한 후 0.1N-HCl용액 50ml를 가하고 상온에서 회전 진탕기로 1시간 진탕한 후에 No.6 여과지로 여과한 다음 그 여액을 Atomic Absorption Spectrophotometer (Perkin Elmer 2380)로 Cd, Cu, Pb, Zn함량을 측정하였으며<sup>18,19)</sup> As는 토양 10g에 1N-HCl용액 50cc를 가하고 1시간 진탕한 후에 No.6여과지로 여과한 다음 그 여액을 Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer(Jobin Yuon JY50)로 측정하였다.<sup>20)</sup>

#### 나. 식물체

조제된 공시시료 25g을 증발접시에 칭량하여 전열판 상에서 가열 회화시킨 후 이를 다시 550°C 전기로 내에서 탄화물이 없을 때까지(약 8시간)회화시킨 다음 냉각 후 Conc.-HClO<sub>4</sub> 및 Conc.-HNO<sub>3</sub>을 각

각 5ml씩 가한 다음 시계집시로 덮고 전열판 상에서 증발 건조한 다음에 1N-HCl 25ml를 가하여 용해시킨 것을 No.6여과지로 여과한 후 그 여액을 토양과 같은 방법으로 측정하였다.<sup>18-20)</sup>

#### 4. 생육 조사 방법

농촌진흥청 농사시험 연구조사 기증<sup>21)</sup>에 준하여 포장별 임의로 10주씩 선정하여 경장, 분지수, 줄기 굵기를 조사하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 콩잎의 피해증상 및 생육상황

수십 년간 논 상태에서 비만 재배하던 곳에 대체 작물로 콩을 재배하였을 때 피해증상은 콩잎이 노란색이 되고 생육은 불량하였으며(Photo 1), 콩의 생육상태를 정상과 불량지역으로 구분하여 조사한 결과는 Table 1에서와 같이 생육불량지역 콩의 경장은 42.5cm, 분지수가 2.5개, 줄기 굵기가 0.34cm로 생육 정상지역 콩의 경장 75.2cm, 분지수 5.3개, 줄기 굵기 0.67cm보다 매우 불량하였다.

#### 2. 토양 중 중금속 함량

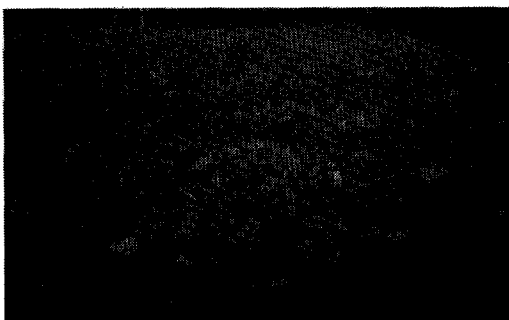
영양군에 위치한 아연광산 하류지역의 토양 내

중금속 오염정도를 알기 위하여 오염지역인 영양과 비오염지역인 칠곡지역의 토양 중 중금속 원소별 전체 평균 함량조사 결과는 표2와 같으며 칠곡지역에 비해 오염지역인 영양에서 각원소 공히 함량이 높았다.

영양의 아연광산 하류지역의 토양 중 중금속함량은 김 등<sup>21)</sup>이 보고한 장항제련소 인근 토양에서의 Cu : 40.81mg/kg, Pb : 52.21mg/kg함유되어 있다는 것 보다 적었지만 일본의 천연부존량이나 김 등<sup>22,23)</sup>이 보고한 우리 나라 밭토양 및 채소작물 재배지 토양의 자연함유량 Cd : 0.128 0.157mg/kg, Cu : 3.053 3.780mg/kg, Pb : 4.165mg/kg, Zn : 8.499 16.230mg/kg, As : 0.493mg/kg 등과 서 등<sup>24,25)</sup>이 아연광산 인근 논토양에서 Cd : 0.143mg/kg, Cu : 15.71 mg/kg, Pb : 17.29mg/kg, Zn : 40.40mg/kg함유되어 있다고 한 보고들보다 현저히 높은 것으로 보아 영양군에 소재한 아연광산 하류지역은 Zn, Cu, Pb, Cd, As등 중금속 원소들이 많이 오염되었음을 알 수 있다.

#### 3. 광산 하류지역에 재배되고 있는 작물중의 중금속함량

아연광산 하류 조사지역 내에서 재배되고 있는 주요작물별 중금속 함량은 Table 3에서와 같이 콩 > 옥수수 > 벼 순이었으며 특히 벼보다 콩, 옥수수



Normal



Damaged

Photo 1. Symptoms of Heavy Metal toxicity to Soybean

Table 1. Growth status of Soybean in field near Zinc-Mining site.

Growth status	Surveyed site	Plant height(cm)	No. of branch/plant	Dia. of stem(cm)
Damaged	I	46.8	2.8	0.37
	II	38.2	2.2	0.31
	III	42.4	2.6	0.35
	Mean	42.5	2.5	0.34
Normal	—	75.2	5.3	0.67

Table 2. Content of Heavy Metal in soil of the experimental sites.

Growth status	Surveyed site	Zn	Cu	Pb	Cd	As
		mg/kg				
Damaged	I	251.16	17.10	1.99	8.30	21.11
	II	346.84	16.64	2.23	9.20	26.75
	III	302.02	16.86	2.12	8.74	23.92
	Mean	300.01	16.87	2.11	8.75	23.93
Normal	—	9.72	7.46	1.60	1.32	0.39

Table 3. Mean Content of Heavy Metal in leaves of the three crops cultivated at near Zinc-Mining site.

Crops	Zn	Cu	Pb	Cd	As
	mg/kg				
Corn	1937.02	14.33	0.60	8.58	14.00
Rice	70.04	2.31	0.38	2.18	0.84
Soyben	2488.34	15.01	0.98	19.99	64.12

Table 4. Heavy metal content by site of Soybean cultivated near Zinc-Mining site.

Growth status	Surveyed site	Leaves(mg/kg)					Stems(mg/kg)				
		Zn	Cu	Pb	Cd	As	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Damaged	I	2466.42	16.83	1.03	19.30	60.90	600.95	8.21	1.51	14.80	46.04
	II	2514.26	15.02	0.98	20.68	64.12	1440.30	8.94	1.64	14.90	49.84
	III	2484.34	13.20	0.92	20.00	67.34	1026.63	8.57	1.58	14.85	47.94
	Mean	2488.34	15.02	0.98	19.99	64.12	1022.63	8.57	1.58	14.85	47.94
Normal	—	37.74	8.31	0.95	0.99	0.12	30.86	8.10	1.28	0.93	0.18

에서 중금속함량이 매우 높았던 것은 중금속흡수가 용이한 상태인 산화상태에서 작물이 자람과 동시에 작물별 생리적 특성에 따른 차이에 기인된 것으로 추정된다.

#### 4. 콩잎 및 줄기중의 중금속함량

콩잎과 줄기중의 중금속함량은 Table 4에서와 같이 토양 중에 중금속함량이 많았던 영양지역에서 칠곡지역보다 많았으나 Pb와 Cu는 큰 차이가 없었으며 식물체 부위별로 Pb외에는 줄기보다 잎에서 많았고 중금속함량은  $Zn > As > Cd > Cu > Pb$  순으로 많이 함유되어 있었다.

김 등<sup>23)</sup>이 보고한 채소작물중의 중금속 자연함유량 Cd : 0.0~0.55 mg/kg, Cu : 2.4~9.8 mg/kg, Zn : 21.4~139.9 mg/kg, 함유되어 있다는 보고들보다 현저히 많으며 이 등<sup>26)</sup>이 보고한 옥수수중의 중금속함량보다도 많았다.

#### 5. 토양 중 중금속함량과 콩 생육과의 관계

토양중의 중금속 함량과 콩 생육과의 관계는 Table 5에서와 같이 토양 중 Zn, Cu, Pb, Cd, As 함량과 유의한 부의 상관관계가 있었다.

#### 6. 토양 중 중금속함량과 식물체 중 중금속함량과의 관계

토양 중 함량과 콩잎, 줄기중의 중금속함량은 Table 6, 7에서와 같이 토양 중 아연함량과 콩잎중의 아연, 카드뮴, 비소함량과 콩줄기중의 납, 카드뮴, 비소함량과는 각각 정의 상관관이 인정되어 토양 중 함량조사만으로도 콩잎, 줄기중의 함량을 추정할 수 있을 것으로 생각되며, 토양 중 구리함량과 콩잎중의 아연, 카드뮴, 비소함량과 콩줄기중의 카드뮴, 비소함량과는 각각 정의 상관관이 인정되었다.

토양 중 납함량과 콩잎중의 카드뮴함량과 콩줄기중의 아연, 납, 비소함량과는 정의 상관관이 인정되어 토양 중 함량으로 콩잎, 줄기중의 함량을 추정할 수

있을 것으로 생각되며, 토양 중 카드뮴함량과 콩잎중의 아연, 카드뮴, 비소함량과 콩줄기중의 납, 카드뮴, 비소함량과는 정의 상관관이 인정되었다. 그리고 토양 중 비소함량과 콩잎중의 아연, 카드뮴, 비소함량과 콩줄기중의 납, 카드뮴, 비소함량과는 정의 상관관이 인정되어 토양 중에 함량이 많을 경우에 잎, 줄기 모두에 흡수 축적되는 것으로 나타내고 있었다.

토양 중 함량과 식물체중 함량과는 일반적으로 아연, 구리, 카드뮴, 니켈에서 유의성이 있는 것으로 나타나고 있고 이 등<sup>26)</sup>의 보고에서도 광산 인근 농경지에서 토양 중 중금속 함량과 옥수수 잎중의 함량과는 대부분이 고도의 유의성이 있는 것으로 보아 중금속 오염지에서는 이들 중금속이 식물체에 흡수 축적되는 것으로 생각된다.

### 요 약

중금속으로 오염된 토양에 콩을 재배하였을 때 토양 중 중금속함량이 콩의 생육 및 중금속흡수에 미치는 영향을 요약하면 다음과 같다.

1. 중금속 오염지역의 콩 생육은 현저히 불량하였고, 토양 중 중금속함량도 월등히 많았다.
2. 중금속 오염지역내에 재배되고 있는 작물별 잎중의 Zn, Cu, Pb, Cd, As 등 중금속함량은 콩에서 가장 많았고 다음은 옥수수, 벼 순이었다.
3. 콩의 부위별 중금속함량은 Pb외에 줄기보다 잎에서 많았으며, 원소별로는  $Zn > As > Cd > Cu > Pb$  순이었다.
4. 콩 생육과 토양 중 Zn, Cu, Pb, Cd, As함량과는 유의한 부의 상관관이 인정되었다.
5. 토양 중 Zn, Cu, Pb, Cd, As함량과 콩잎의 Zn, Cd, As함량과 콩줄기의 Pb, Cd, As함량과는 고도의 유의성이 있는것으로 보아 중금속 오염지에서는 식물체에 흡수 축적되는 것으로 생각되었다.

**Table 5. Relationship between heavy metal contents in soil and growth status of soybean.**

Factors	Correlation coefficient(r)				
	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Plant height	-0.9986*	-0.9686**	-0.9881*	-0.9936**	-0.9998**
No. of branch	-0.9959**	-0.9774*	-0.9816*	-0.9972**	-0.9998**
Dia. of stem	-0.9928**	-0.9819*	-0.9757*	-0.9984**	-0.9986**

\* and \*\*: significant at the 5% and 1% level, Respectively

**Table 6. Relationship between heavy metal contents in soil and leaf of soybean.**

Soil	Plant	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Zn		0.9696*	0.8275	0.1553	0.9793*	0.9737*
Cu		0.9984**	0.9223	0.3023	0.9951**	0.9941**
Pb		0.9396	0.7765	0.0957	0.9536*	0.9468
Cd		0.9966**	0.8908	0.2411	0.9992**	0.9957**
As		0.9843*	0.8591	0.1958	0.9910**	0.9859*

\* and \*\*: significant at the 5% and 1% level, Respectively

**Table 7. Relationship between heavy metal contents in soil and stem of soybean.**

Soil	Plant	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Zn		0.9422*	0.8275	0.9967**	0.9671*	0.9804*
Cu		0.7993	0.5901	0.9272	0.9990**	0.9945**
Pb		0.9713*	0.8600	0.9998**	0.9362*	0.9553*
Cd		0.8747	0.6960	0.9700	0.9957**	0.9994**
As		0.9165	0.7607	0.9886**	0.9825*	0.9918**

\* and \*\*: significant at the 5% and 1% level, Respectively

**참고문헌**

1. 吉野寛, 増鳥博, 松岡義浩. 1979. 第11部内 環境保存. 日土肥誌 50(5): 474-485.

2. 鄭永浩, 金福榮, 李重吉, 한기학. 1973. 環境汚染에 의한 農作物 被害 調査 研究. 金泳燮 博士 回甲紀念 論文集: 61-72.

3. 涉谷政夫, 山漆交雄, 尾形保, 能勢和夫. 1975. 土壤汚染, 環境汚染と農業: 137-170.

4. 한기학, 朴昌奎. 1989. 農業環境化學. 東和技術: 31-45.

5. 金福榮. 1990. 土壤汚染과 改良對策. 農工技術 7(2): 135-143. 對策. 農工技術 7(2): 135-143.

6. ———. 1993. 土壤 汚染實態와 改善 對策. 環境保全型 農業을 위한 土壤 管理 심포지엄 韓國土壤肥料學會 別券: 68-98.

7. ———. 1993. 製鍊所 및 鑛山隣近 土 壤中 重金屬 含量 調査. 農作物 被害 調査(事例編) 農業 技術 研究所 報告書: 74-94.

8. 金成朝, 梁恒承. 1985. 製鍊所 隣近 地域의 土壤

- 및 水稻體中 重金屬含量에 관한 調査研究. 韓土肥誌 **18**(4) : 336-347.
9. 柳順昊, 李春寧. 1980. 亞鉛鑛山地域의 답土壤과 玄米中の 카드뮴 및 亞鉛含量. 學術院 論文集 自然科學編 **19** : 255-266.
  10. 青峰重範 本莊吉男. 1954. 長崎縣下縣部佐順村의 鑛毒土壤について, 日本土壤肥料學會誌 **25**(1) : 27-30.
  11. 金福榮. 1995. 土壤中 重金屬含量이 파, 상치의 重金屬吸收 및 生育에 미치는 影響. 韓國環境農學會誌 **14**(3) : 253-262.
  12. 出口正夫. 1995. 渡良瀨川 鑛毒에 關する 研究 灌溉水の性質と水稻被害の實體について, 日本土壤肥料學會誌 **26**(3) : 81-87.
  13. 齊藤喜亮. 1961. 鑛害地産植物成分に關する 研究 (第5報)作物中銅含量について, 日本土壤肥料學會誌 **32**(4):145-148.
  14. Bingham, F.T., A.L. Page, R.J. Mahler and T.J. Ganje. 1976. Cadmium availability to rice in sludge-amended soil under "Flood" and "non-flood" culture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **40** : 715-719.
  15. Flick, D.F., H. F. Kraybil and J. M. Dimitroff. 1971. Toxic effect of Cadmium Review *Environmental Research* **4**(2) : 71-85.
  16. 박용하. 1994. 休·廢鑛 金屬鑛山地域의 汚染管理對策 韓國環境技術開發院 單行本 : 5-14.
  17. 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 **6** : 179.
  18. 農村振興廳. 1988. 土壤化學 分析法 : 184-185, 223-224.
  19. 李敏孝, 金福鎮, 朴永善, 鄭榮鎬. 1981. 畚土壤中的 Cdium分析法에 關한 研究. 韓國土壤肥料學會誌 **14**(4) : 230-235.
  20. 農林水産技術協議事務局. 1972. 土壤および作物體の分析法 (1), (2), (3). 日土肥誌 **43**(7), (8), (9) : 264-270, 305-311, 349-356.
  21. 農村振興廳. 1995. 農事試驗研究調查基準 : 527-536.
  22. 金福榮, 蘇奎鎬, 金奎植, 趙在規, 趙日換, 禹基大. 1990. 韓國 畚土壤 및 穀物中の 重金屬 自然含有量에 關한 調査研究. 農試論文集(土壤肥料編) **32**(2) : 57-68.
  23. 金福榮, 蘇奎鎬, 金奎植, 禹基大. 1992. 菜蔬作物과 그 栽培 土壤中 重金屬 自然含有量에 關한 調査研究. 農試論文集 **34**(2) : 56-70.
  24. 徐胤洙, 文和會, 金仁基, 金學燁, 金盛煥, 池達顯. 1962. 土壤中 重金屬 自然含有量에 關한 調査報告. 國立環境研究所報 **4** : 198-198.
  25. ———. 1981. 土壤重金屬 自然含有量에 關한 研究.-畚土壤中心으로-. 國立環境研究所報告 **3** : 177.
  26. 李鍾八, 朴魯權, 金福鎮. 1994. 亞鉛鑛山 隣近 土壤中的 重金屬含量이 옥수수 生育에 미치는 影響. 韓國環境農學會誌 **13**(3) : 241-250.