

토양중 중금속함량이 고추의 생육 및 중금속 흡수에 미치는 영향

박노권 · 이종팔 · 박선도 · 최부술 · 김복진¹⁾
경상북도 농촌진흥원 · ¹⁾영남대학교

Effects of Heavy Metal Contents in Soil on the Growth of and their Uptake by Red pepper

No-Kwuan Park, Jong-Pal Lee, Seon-Do Park, Boo-Sull Choi and Bok-Jin Kim¹⁾ (Kyeongpook Provincial Rural Development Administration, Taegu, Korea; ¹⁾Dept. of Agronomy, Coll. of Natural Resources, Youngnam Univ. Gyongsan, Korea)

ABSTRACT : When red pepper was cultivated in the polluted soil with heavy metals, the content of these heavy metals affected. The contents of heavy metals at a site near Zinc mine dump in the Youngyang area were very high compared with those in a normal area and it was highest in 2.0km site, followed 2.5km > 3.0km apart from Zinc mine dump. The growth of red pepper was remarkably poor and the contents of heavy metals in polluted soil were higher than in unpolluted soil. The relationship between the content of Zn, Cu, Pb, Cd, As and the growth of red pepper was negatively correlated, respectively. A higher correlation seemed to exist among the content of Zn, Cu, Cd, As in soil, of Zn, Cd, and As in red pepper. The result indicated that heavy metals were absorbed and accumulated by plants grown in the polluted area.

서 론

산업의 급속한 발전과 더불어 도시화되면서 환경오염 문제가 심각한 사회문제로 대두되고 있는데 환경오염은 크게 대기오염, 수질오염, 토양오염 등¹⁾으로 구분할 수 있다.

중금속에 의한 농경지오염은 중금속을 함유한 폐기물 또는 폐수가 농경지에 유입되거나 대기분진등에 의해서 발생된다.^{2,3,4,5,6)} 중금속으로 오염된 토양에서 자란 식물들은 중금속성분을 많이 흡수할뿐만 아니라 생육에 장애를 초래한다고 보고된바 있다.^{7,8,9,10,11,12)} 토양중 중금속 오염에 의한 피해는 농작물의 생육을 저해시켜 수량을 감소시키는 직접적 피해보다는 중금속이 오염된 농수산물을 섭취하는 인체에 만성적인 중독증상을 일으키는 간접적 피해가 실제로 더 큰 문제를 야기시키고 있으며^{13,14,15)} 금속에 의한 중독증상으로 그 대표적인것은 Hg에 의한 "미나마타"병과 Cd에 의한 "이따이 이따이"병을 들수있다.

우리나라도 과거 전국적으로 많은 금속광산이 산재되고 있었으나¹⁶⁾ 이들 광산은 경제성의 악화로 대부분 휴광 또는 폐광으로 인하여 이들 주변의 농경지오염이 우려되고 있으며 농작물의 피해도 예상된다. 따라서 이들지역에 대

한 눈을 중심으로한 조사와 연구가 관련 연구기관이나 학계에서 이루어지고 있으나^{4-7,10-11)} 고추에 대한 중금속의 피해 양상이나 흡수정도 등은 조사 보고된 자료가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 중금속으로 오염된 토양에 고추를 재배하였을때 중금속에 의한 고추의 피해 양상과 중금속 흡수량을 조사하고, 또한 토양중 중금속함량과 식물체중 함량과의 관계를 구명하여 중금속오염 피해 해석의 기초자료로 활용코자 수행하였다.

재료 및 방법

시료 채취

시료채취 지역은 경상북도 영양군으로서 폐광된 아연광산으로부터 2.5km정도 하류지점에 있는 토양의 시료를 채취하였고, 비오염지 대조시료는 폐광된 광산폐수가 유입되지 않는 인근지역에서 채취하였으며 식물체 시료는 토양과 동일한 지점에서 채취하였다.

시료 조제

토양시료는 하우스내에서 풍건 쇄토한 후, 20mesh체에

통과시킨것을 중금속(Cd, Cu, Pb, Zn, As) 분석시료로 사용하였으며, 식물체 시료는 물로 깨끗히 세척한 후, 건조기(80°C)에서 건조시킨 후 분쇄하여 28mesh체에 통과시킨것을 중금속(Cd, Cu, Pb, Zn, As) 분석용 시료로 사용하였다.

시료의 분석

토 양

조제된 공시시료 10g을 삼각 flask에 평량한후 0.1N-HCl 용액 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^{17,18)}, 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.¹⁹⁾

식물체

조제된 공시시료 25g을 증발접시에 평량하여 전열판상에서 가열회화시킨후 이를 다시 550OC 전기로 내에서 탄화물이 없을 때까지(약 8시간)회화시킨 다음 냉각후 Conc-HCl04 및 Conc-HNO3를 각각 5ml씩 가한 다음 시계접시로 덮고 전열판 상에서 증발 건조한 다음에 1N-HCl 25ml를 가하여 용해시킨후 증류수를 가하여 희석시킨 다음 No.6여과지로 여과한 후 그 여액을 토양과 같은 방법으로 측정하였다.¹⁷⁻¹⁹⁾

생육 조사 방법

농촌진흥청 농사시험 연구조사 기준²⁰⁾에 준하여 포장별 임의로 10주씩 선정하여 초장,주당 분지수,주당 과일수를 조사 하였다.

결과 및 고찰

토양 중 중금속함량

영양군에 위치한 광산 하류지역의 토양내 중금속 함량을 알기 위하여 오염지역인 영양과 비오염지역인 칠곡지역의 토양 중 중금속원소별 전체 평균함량은 표1과 같고,칠곡지역에 비해 오염지역인 영양에서 각 원소 공히 함량이 월등히 높았다.

표2는 영양군에 소재한 폐광산의 광구로부터 수계에 따른 거리별 토양중의 중금속 함량으로서 그 평균함량을 보면 2.0Km지점 > 2.5Km지점 > 3Km 지점 순위로 낮았는데,이는 광산에서 발생된 중금속 오염원이 상당히 먼거리 까지 이동되었음을 알 수 있다.

고추잎의 피해증상 및 생육상황

수십년간 논상태에서 버만 재배하던곳에 대체작물인 고추를 재배하였을때 피해증상은 고추잎이 노란색이 되고 생육은 불량하였다(사진). 고추의 생육에 대하여 광산하류지역의 폐수가 유입되었던 곳에서 재배되었는 고추재배지를 생육불량지역, 광산폐수가 유입되지 않았던 인근지역에 재배되고 있는 고추 재배지를 생육정상지역으로 구분하여 조사한 결과 표3에서와 같이 생육불량지역 고추의 초장은 22cm, 주당 분지수 2.6개, 주당 과일수 2.0개로 생육정상지역 고추의 초장 94.9cm, 주당 분지수 12.9개, 주당 과일수 11.6개에 비하여 월등히 불량하였다.



Photo 1. Symptoms of Heavy Metal toxicity to Red pepper

Table 1. Content of heavy metal in soil of the surveyed site.

Growth status	Surveyed site	Zn Cu Pb Cd As				
		(mg/kg)				
Damaged	I	275.23	4.85	0.81	6.32	17.68
	II	150.79	7.04	0.96	5.66	15.34
	III	204.31	5.96	0.90	5.09	16.06
	Mean	210.11	5.95	0.89	5.69	16.36
Normal	I	63.13	2.14	0.14	0.83	2.18
	II	59.19	1.80	0.53	0.44	0.89
	III	61.01	1.82	0.35	0.66	1.25
	Mean	61.11	1.92	0.34	0.64	1.44

고추재배지 토양 중 중금속함량

영양군에 위치한 광산하류지역 폐수 유입지토양중 중금속함량은 표4와 같으며 이들 함량은 김 등⁵⁾이 보고한 장항제련소 인근 토양에서의 토양 중 중금속 함량 평균치 Zn: 172.2, Cu:170.3, Pb: 167.8, Cd:2.24mg/kg과 비교하면 Zn은 높고, Cu, Pb, Cd은 낮게 함유되어 있었지만 일본의 천연부존량이나 김등^{21,22)}이 보고한 우리나라 밭토양 및 채소작물재배지 토양의 자연함유량 Cd:0.128, 0.157, Cu:3.053,3.780, Pb:4.165, Zn:8.499, 16.230, As:0.493 mg/kg등과 서등^{23,24)}이 아연광산 인근토양에서 Cd: 0.143, Cu: 15.71, Pb:17.29, Zn:40.40mg/kg함유되어 있다고한 보고된 것보다 현저히 높은 것으로 보아 영양군에 소재한 광산하류폐수유입지역에는 Zn, Cu, Pb, Cd, As등 중금속원소들이 많이 오염되어 있음을 알수 있었다.

고추중의 중금속함량

고추중의 중금속함량은 표5에서와 같이 토양중에 중금속함량이 많았던 광산폐수유입지역에서 광산폐수가 유입되지 않는 지역보다 많았으나 Cu와 Pb는 큰차이가 없었으며 중금속 원소별로는 Zn>Cu>Cd>As>Pb순으로 함유되어 있었다. 김 등²⁵⁾이 보고한 고추중의 중금속 자연함유량 Zn:21.38, Cu:4.96, Pb:4.17, Cd:0.00mg/Kg함유되어 있다는 보고와 비교할 때 Zn, Cd함량은 현저히 많았으나, Cu함량은 비슷하였고 Pb함량은 낮았으며, 이 등¹⁰⁾이 보고한 옥수수중의

Table 2. Contents of heavy metal in soil collected at the different distance from Mining site located at Youngyang area.

Distance (km)	Depth (cm)	Zn Cu Pb Cd As				
		(mg/kg)				
2.0	0-15	332.87	44.67	49.07	6.42	30.11
	15-30	298.54	36.16	42.77	6.42	26.54
	Mean	315.71	40.42	45.92	6.42	28.33
2.5	0-15	278.92	35.58	39.01	5.89	26.90
	15-30	214.79	16.84	20.99	5.97	22.32
	Mean	246.86	26.21	30.00	5.93	24.61
3.0	0-15	174.85	14.59	28.86	5.20	22.31
	15-30	180.85	12.50	10.11	5.94	20.91
	Mean	177.85	13.55	19.49	5.57	21.61

Table 3. Growth status of Red pepper in field near Zinc Mining site.

Growth status	Surveyed site	Plant height (cm)	No.of branch/plant	No.of fruit/plant
	II	18.2	2.0	0.1
	III	20.8	2.6	1.9
	Mean	22.0	2.5	2.0
Normal	I	95.0	12.6	11.2
	II	94.7	13.2	12.0
	III	95.0	12.8	11.5
	Mean	94.9	12.9	11.6

Zn, Cu, Cd함량보다 많았고, Pb, As함량은 비슷하였다.

토양중 중금속함량과 고추생육과의 관계

토양중의 중금속함량과 고추생육과의 관계는 표6에서와 같이 고추생육(초장,분지수,과일수)과 토양 중 Zn, Cu, Pb, Cd, As함량과는 유의한 부의 상관관계가 있었다.

토양중 중금속함량과 고추열매중 중금속함량과의 관계

토양중 Zn함량과 고추중의 Zn, Cu, Pb, Cd, As함량과 토양중 Cu함량과 고추중의 Zn, Cd, As함량,토양중 Pb함량과 고추중 Cu, Pb함량,토양중 Cd함량과 고추중 Zn, Cu, Pb, Cd, As함량,토양중 As함량과 고추중 Zn, Cd, As함량과는 유의한 정의 상관관계가 인정되어 토양중에 중금속함량이 많을 경우 고추열매에도 중금속이 흡수·축적되는 것으로 나타났다. 토양중 중금속 함량과 고추열매중 중금속 함량관계는 토양 중 Zn, Cd, As함량과 고추열매중 Zn, Cu, Pb, Cd, As함량과 유의성이 큰 것으로 나타났고, 이 등^{10,11)}의 보고에서도 광산인근 농경지에서 토양중 중금속함량과 옥수수 및 콩잎중의 함량과는 유의성이 있다고 보고한 결과와 일치되어 중금속 오염지에서는 이들 중금속이 식물체에 흡수·축적되는 것으로 생각된다.

요 약

Table 4. Heavy metal contents in Red pepper cultivated near Mining site

Growth status	Surveyed site	Zn Cu Pb Cd As				
		(mg/kg)				
Damaged	I	83.73	4.57	0.40	1.35	0.87
	II	79.79	2.91	0.51	0.88	0.48
	III	81.06	3.75	0.49	0.98	0.52
	Mean	81.56	3.74	0.47	1.07	0.62
Normal	I	5.63	1.46	0.35	0.01	0.02
	II	4.86	1.57	0.32	0.02	0.06
	III	5.26	1.49	0.34	0.02	0.04
	Mean	5.25	1.51	0.34	0.02	0.04

Table 5. Relationship between heavy metal contents in soil and growth status of Red pepper.

Factors	Correlation coefficient (r)				
	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Plant height	-0.8550*	-0.9730**	-0.9252**	-0.9742**	-0.9818**
No. of branch	-0.9144*	-0.9378**	-0.8946*	-0.9954**	-0.9982**
No. of fruit	-0.7647	-0.9974**	-0.9066*	-0.9296**	-0.9440**

* and **: Significant of the 5% and 1% level, Respectivity

Table 6. Relationship between heavy metal contents in soil and fruit in Red pepper.

Fruit soil	Zn	Cu	Pb	Cd	As
Zn	0.9086*	0.9419**	0.9081*	0.9933**	0.9964**
Cu	0.9971**	0.7550	0.7959	0.9630**	0.9504**
Pb	0.5476	0.9743**	0.8163*	0.7847	0.8102
Cd	0.9868**	0.8190*	0.8327*	0.9959**	0.9778**
As	0.9986**	0.7238	0.7739	0.9497**	0.9357**

* and **: Significant at the 5% and 1% level

1. 영양의 광산하류 오염지역의 토양중 중금속함량은 비오염지역인 칠곡에 비해 중금속함량이 현저히 높았고, 광산으로부터 거리별 토양중 중금속함량은 2.0 > 2.5 > 3.0km 순으로 함량이 낮았다.
2. 중금속 오염지역의 고추 생육은 정상지역보다 극히 불량하였고 토양 및 고추중 중금속함량도 월등히 많았다.
3. 고추생육과 토양중 Zn, Cu, Pb, Cd, As함량과는 유의한 부의 상관성이 인정되었다.
4. 토양중 Zn, Cu, Cd, As함량과 고추의 Zn, Cd, As함량과는 고도의 유의성이 있는 것으로 보아 중금속 오염지역에서는 식물체에 흡수 축적되는 것으로 생각되었다.

참 고 문 헌

1. 한기학, 박창奎. 1989. 農業環境化學. 東和技術:31~45.
2. 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.
3. 김복영. 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.
4. 김복영. 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.
5. 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 조사연구. 韓土肥誌 18(4):336~347.
6. 柳順吳, 李春寧. 1980. 亞鉛鑛山地域의 답土壤과 玄米中の 카 드뽀 및 亞鉛含量. 學術院 論文集 自然科學編 19:255~266.
7. 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.

8. 出口正夫. 1995. 渡良?川 鑛毒に 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.
9. 齊藤喜亮. 1961. 鑛害地產植物成分に關する研究(第5報)作物中 銅含量に ついて. 日土肥誌 32(4):145~148.
10. 李鍾八, 朴魯權, 金福鎭. 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.
11. 李鍾八, 朴魯權, 朴善道, 崔富述, 金福鎭. 1996. 亞鉛鑛山 隣近 土壤中的 重金屬含量이 콩의 生育 및 重金屬 吸收에 미치는 영향. 韓國環境農學會誌 15(13):275~281.
12. 정기채, 김복진, 한상국. 1993. 아연광산 인근지역 야생 식물중 의 중금속함 량조사. 한국환경농학회지 12(2):105~111
13. 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 "nonflood" culture. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:715~719.
14. Flick, D.F., H. F. Kraybil and J. M. Dimitroff. 1971. Toxic effect of Cadmium Review Eknvioronmental Research 4(2):71~85.
15. 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.
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. 農村振興廳. 1988. 土壤化學 分析法 :184 185, 223 224.
18. 李敏孝, 金福鎭, 朴永善, 鄭榮鎭. 1981. 畚土壤中的 Cdmium 分析에 關한 研究. 韓土肥誌 14(4):230~235.
19. 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.
20. 農村振興廳. 1995. 農事試驗研究調査基準:527~536.
21. 金福榮, 蘇奎鎭, 金奎植, 趙在規, 趙日換, 禹基大. 1990. 韓國 밭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.
22. 金福榮, 蘇奎鎭, 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.
23. 徐胤洙, 文和會, 金仁基, 金學燁, 金盛煥, 池達顯. 1982. 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.
24. 서운수, 문화희, 김인기, 김학엽, 전성환, 지달현. 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.