

규산질비료의 시용이 배추와 상치의 카드뮴(Cd) 흡수에 미치는 영향

김재영* · 박영상**

(* 건국대학교 자연과학대학 원예학과 · ** 충주농업고등학교)

Effects of application of calcium silicate fertilizer by absorption of cadmium on Chines cabbage (*Brassica pekinensis* Rupr.) and Lettuce (*Lactuca sativa*,)

Jae-Young Kim* · Young-Sang Park **

* Department of horticulture, college of natural sciences, Kon-Kuk university, Chung ju, 380-701, Korea
** Chung ju agricultural high school, Chung ju,

적 요

카드뮴 10ppm을 소석회(Ca(OH)₂), 규산질분말(CaSiO₃), 그리고 소석회에 유기물을 첨가한 구, 규산질 분말에 유기물을 처리한 구, 카드뮴을 처리하지 않은 무처리구의 5개 처리구에서 배추와 상치의 카드뮴의 함량을 조사하였다. 배추와 상치의 카드뮴 함량은 소석회구에서 카드뮴의 함량이 제일 낮았고, 배추 겉잎이 속잎에 비해 카드뮴의 함량이 71% 많았다. 토양 카드뮴에서 배추의 카드뮴 흡수량은 무처리구가 91%정도 배추가 토양에서 카드뮴을 흡수 하였는데 반하여 칼슘을 처리한 소석회구에서는 약 16.5%로 낮은 카드뮴의 흡수를 보였다. 수량은 소석회에 유기물을 첨가한구에서 높았다. 상추의 경우 카드뮴의 평균 함량이 배추보다 훨씬 높았으며 상추 겉잎이 속잎보다 약 41% 카드뮴의 함량이 높았다. 상추의 경우 수량이 무처리구에서 가장 높았다. 상추의 속잎에서 카드뮴과 각종 원소들간 즉 인산, 마그네슘, 가리, 칼슘, 질소 상관관계는 부의 상관관계를 보였다.

1. 서 론

지구상의 모든 자연현상은 하나의 거대한 상호 작용계를 형성하고 있다. 즉, 한 지역에 생물학적사회를 형성하고 있는 식물, 동물, 미생물들은 상호 복잡한 상관관계를 유지하고 이런 모든 생물이 생존하는 곳은 물리적 화학적 환경에 영향을 받게 된다. 특히 토양은 농업적 견지에서는 농산물의 생산 배지로서 비옥한 토양은 농산물 생산을 높이는데 필요조건이 되므로 옛날부터 농산물 생산에 알 맞는 토양 환경을 만드는 데 노력을 해 왔다. 그러나 인구 증가, 도시화 현상 및 산업의 발달로 배출되는 각종 오염 물질로 인해 직접 또는 간접으

로 토양과 농산물에 영향을 주고 있다.^{3,4,5,6,7}

요즈음의 현상은 중금속을 포함한 각종 오염 물질이 포함된 굴뚝의 매연, 자동차의 배기가스와 타이어의 마모 먼지, 기타 산업 폐기물과 그리고 4계절 불어오는 서북풍이 중국의 먼지까지도 실어오는 실정이다. 중금속의 발생 및 그 오염원을 보면^{10,12} 카드뮴의 업종으로는 카드뮴 제련이나 도금, 카드뮴 전지, 사진 감광재료, 금속제련, 동선, 전선, 동파이프 제조, 선박 도료 공장에 의하여 발생해 많이 배출한다. 이런 업종들은 도시 어느 곳이나 볼 수 있으며 그 주변의 토양은 날로 오염이 되고 있는 실정이다. 토양은 식량작물을 비롯한 모든 식물체의 생활 기반으로써 식량사슬을 통한 인간 생활과 밀접한 관계가 있다. 여러해전 日本에서 주요 작물인 쌀의

카드뮴 오염으로 "이파이 이파이"병이 발생되어 많은 희생자를 낸 공해사건은 이미 잘 알려진 사실이다. 즉 오염된 토양에서 생육된 농작물을 인간이 섭취하면 건강을 해치거나, 동물의 생육을 저해한다. 주로 토양오염의 원인으로는 유기물, 무기물, 중금속 등이 있으나 중금속은 장기간 잔류하고 농작물을 오염시켜 그것을 식료로 하는 인간과 가축의 체내에 잔류 축적되기 때문에 토양오염의 주체는 토양 중의 중금속이 주된 원인 물질이라고 할 수 있다.^{1,7,19,20)}

1992년 6월 유엔 환경개발 회의가 Rio에서 환경과 개발에 관한 Rio선언과 인류의 실천 강령인 의제에서 명시한 바와 같이 우리 농업도 지속 가능한 환경 보존형 농업차원⁶⁾에서 합리적인 토양관리를위한 자료가 있어야 한다고 생각한다.

그간 우리나라에서는 논²⁾ 토양 및 현미 중의 중금속 자연 함유량과 밭^{3,4,16)} 토양에서 보리, 콩, 옥수수 등을 부분적으로 중금속에 대해서는 조사한 적은 있으나 채소 작물⁵⁾에 있어서 석회가 카드뮴의 減毒에 관한 석회의 역할에 대해서는 조사가 아주 미미하다고 본다.

이 실험의 목적은 토양 중에 함유하고 있는 중금속중 카드뮴(Cd)을 석회 시어를 통해 식물체와 토양 속의 카드뮴의 減毒作用을 조사하는데 그 목적이 있다.

II 재료 및 방법

전체 밭 토양을 이용하여 카드뮴을 처리를 하면 그 밭이 카드뮴의 오염이 되므로 이 실험은 처리된 토양을 화분 속에 넣어 그 화분에서 배추와 상추를 재배, 수확하였다.

식물체는 배추와 상추를 이용하여 각처리구에 직경 20cm 화분에 배추(삼진 배추)는 1996년 9월12일에 본엽이 2장 나왔을 때 정식 하여 11월12일에 수확 하였고 상추(뚝섬 적숙면 상추)는 1997년 3월 12일에 본엽 2장시 정식 하여 5월 15일 수확하였다. 배추와 상추는 수확후 생체중과 건물중을 조사하였고 식물체내 카드뮴의 함량^{7,18)}을 그리고 인산, 가리, 마그네슘, 칼슘을 상추에서는 질소도 분석하였다. 통계의 처리를 위해 각각 3반복, 난괴법으로 하였다.

토양은 pH가 5.9정도의 산성 밭 토양을 취하여, 카드뮴은 CdSO₄의 시약으로 1 Kg에 18.54mg 으로, 카드뮴(Cd)을 10ppm으로 처리하여 직경 20cm 화분에, 토양에 미리 각각 처리된 토양을 2Kg씩 담고, 각각의 처리는 소석회(Ca(OH)₂)는 토양 2Kg에 7.4g으로 규회석 분말(CaSiO₃)은

11.60g으로 시약으로 처리하였다. 무처리구, 소석회구, 규회석 분말구, 소석회에 유기물을 첨가한구, 규회석분말에 유기물을 첨가한 구의 5개로 처리하였다. 유기물은 1Kg당 10g을 기준으로 퇴비와 부엽토로 사용하였다. 비료는 토양 2Kg당 요소 0.22g로 3회, 인산0.33g, 가리는 0.17g로 3회 시비하였다.

토양의 화학적 특성을 조사하기 위하여 토양분석은 농촌진흥청 농업기술 연구소 토양화학 분석법⁸⁾에 준하여 pH는 초자전극법, 인산은 Lancaster법, 카드뮴은 토양 10g에 0.1N HCl 용액 50ml을 가해 그 여액을 원자흡광 분광기로 측정하였다. 치환성 양이온은 1N-ammonium acetate 용액(pH 7.0)으로 침출하여 원자 흡광 분광기로 측정하였다.

III 결과 및 고찰

<표1>은 토양의 화학적 특성을 나타낸 것이다. 카드뮴을 10ppm처리한 처리구와 무처리구 간의 비교에서 카드뮴의 토양내 함량은 규회석분말을 처리한 시험구가 소석회 처리구보다 유의성이 있을 정도로 낮은 카드뮴 함량을 보였다.

무처리구에서의 토양의 천연 카드뮴 함량은 0.69ppm이며, 10ppm을 처리한 구에서는 7.932ppm - 9.803ppm사이이다. 이중에서 특이한 것은 토양내 카드뮴의 함량이 유기물의 시비구에서는 그 차이를 뚜렷하게 볼 수 없었다. 김⁵⁾등의 보고에 의하면 우리 나라 평균 채소 재배 지의 카드뮴 함량은 0.128ppm으로 우리나라 논토양의 함량 0.127ppm과 유사하며 일반 밭토양이 0.157ppm 이며, 시설 원예지 토양은 0.315ppm이라 하였다.

이 실험의 무처리 토양 카드뮴의 함량이 0.67ppm 이면 우리 나라 평균치 보다 훨씬 높은 토양을 실험 토양으로 하였다고 생각 할 수 있다. 이는 지역이나 토양의 종류에 따라 다소 차이가 나고 작물에 따라서도 차이가 나기 때문으로 생각된다. 유효태 인산은 우리 나라 밭토양의 평균은 200ppm¹¹⁾인데, 이 실험 토양에서는 55 - 62ppm사이로 매우 낮게 유효태 인산을 함유하고 있는 토양 이었으며 유기물을 처리한 소석회나 규회석 분말을 처리한 구에서도 유의성은 없으나 약간의 유효태 인산을 함유하고 있었다. 치환성 가리의 함량도 우리 나라의 평균은 0.5me/100g¹¹⁾이며 실험 토양에서는 0.11-0.16 me/100g으로 나타났다. 유기물을 처리한 처리구에서는 더 치환성가리가 나와야 함에도 오히려

Table 1. Soil chemical properties of treated in experiment

Elements Treatments	cd ^(ppm)	p ₂ O ₅	k ^(me/100g)	mg ^(me/100g)	Ca ^(me/100g)	pH
Control	0.690 c _(w)	55.785 a	0.1697 a	0.5667 a	6.379 c	5.9
Ca(OH) ₂	9.803 a	58.613 a	0.1599 ab	0.705 b	14.812 a	8.15
CaSiO ₃	8.645 b	57.779 a	0.1186 b	0.676 b	14.474 a	8.03
Ca(OH) ₂ +OM _y	9.523 a	62.568 a	0.1313 ab	0.746 b	14.803 a	8.38
CaSiO ₃ +OM	7.932 b	59.017 a	0.1469 ab	0.687 b	13.418 b	8.08

x Mean separation in each column by Duncan's multiple range test at 0.05.

y OM : Organic matter

Table 2. Mineral nutrient concentration in outer leaves of Chinese cabbage.

Elements Treatments	cd ^(ppm)	p ^(%)	k ^(%)	mg ^(%)	Ca ^(%)	Total fresh wt ^(g)	Cation base sum
Control	0.630 c _x	0.369 a	3.689 a	0.236 a	0.720b	87.93 c	4.645
Ca(OH) ₂	1.623 b	0.374 a	3.641 a	0.109 b	1.563 a	122.31 b	5.313
CaSiO ₃	2.783 a	0.398 a	3.623 a	0.111 b	0.973 b	103.25 b	4.707
Ca(OH) ₂ +OM _y	1.633 b	0.351 a	3.589 a	0.119 b	2.245 a	135.73 a	5.953
CaSiO ₃ +OM	1.653 b	0.367 a	2.530 b	0.119 b	1.833 ab	106.40 b	4.482

x Mean separation in each column by Duncan's multiple range test at 0.05.

y OM : Organic matter

Mineral nutrient concentration in inner leaves of Chinese cabbage.

Elements Treatments	cd ^(ppm)	p ^(%)	k ^(%)	mg ^(%)	Ca ^(%)
Control	0.550 b _x	0.259 ab	2.877 ab	0.086 a	0.148 b
Ca(OH) ₂	1.187 a	0.250 ab	2.958 ab	0.098 a	0.251 ab
CaSiO ₃	1.230 a	0.280 a	3.285 a	0.089 a	0.341 ab
Ca(OH) ₂ +OM _y	1.150 a	0.219 b	2.555 ab	0.105 a	0.545 ab
CaSiO ₃ +OM	1.193 a	0.266 ab	1.844 b	0.070 a	0.732 a

x Mean separation in each column by Duncan's multiple range test at 0.05.

y OM : Organic matter

별차 이가 없었다. 치환성 고토는 평균 함량이 0.5-0.7me/100g 이다, 그러나 우리 나라 평균 밭토양의 함량은 2.0 me/100g임을 감안 할 때 상당히 낮은 고토의 함량을 함유하고 있다고 생각한다. 그러나 치환성 석회의 함량은 소석회나

규회석 분말에 Ca가 함유되어 있어서 각각의 처리구들에서는 13-14 me/100g의 높은 함량을 보였다. 각 처리구들의 pH는 소석회에 유기물을 첨가한 구에서 제일 높았고 소석회만 처리한구 그리고 규회석 분말에 유기물을 첨가한 순으로

pH가 높았다. 이들 석회의 사용은 토양을 중화하기 위해 사용하는 것이 일반적이며 이 중화로 토양의 pH를 높이며 토양의 pH는 토양 중에 있는 각종 식물 영양분과 유해 독성 성분의 용해도를 좌우하고 미생물에 영향을 주어 작물의 생육 수량, 유해성분의 양이나 농도를 좌우한다고 생각한다.

〈표 2〉는 배추 겉잎과 속잎의 각 원소들의 함량을 나타낸 것이다. 배추내 카드뮴의 함량은 겉잎 무처리구에서는 0.63 ppm인데 반해 처리구에서는 1.623-2.783ppm으로 카드뮴의 처리구에서 많이 검출 되었다. 겉잎과 속잎에서는 겉잎이 속잎보다 카드뮴의 함량이 71% 정도 많고 겉잎은 무처리구에 비해 약 2.7배 정도, 속잎은 2.2배 정도 많이 검출 되었다.

토양의 카드뮴 함량에 비해 겉잎의 흡수 정도는 무처리구가 91%정도로 배추에 카드뮴이 흡수 하였는데 칼슘을 처리한 소석회구에서는 16.5% 정도, 규회석분말 처리구에서는 32.1%정도로 칼슘을 처리한 처리구에서 카드뮴의 흡수 량이 많이 감소됨을 볼 수 있었다. 유기물 처리 구에서는 카드뮴 함량이 유기물을 처리하지 않은 소석회나 규회석 분말구보다

도 별로 유의차가 없었다. 치환성 칼슘의 량이 많은 소석회와 소석회에 유기물을 처리한 구에서는 배추체내의 염기총량을 증가하는 요인이 되며 이 증가는 배추의 카드뮴의 농도 저하와 흡수량 감소 즉, 처리구들의 칼슘이 배추 겉잎 및 속잎의 칼슘의 증가, 그리고 다른 양이온의 증가와 더불어 배추내의 카드뮴의 농도 저하와 카드뮴의 흡수량 감소를 가져왔다고 생각한다. 이러한 경향은 오¹⁵⁾의 논문에서도 같은 경향을 보였다. 김⁵⁾ 등의 조사 보고에 의한 배추의 우리 나라 평균 카드뮴의 함량은 0.49ppm인데 비해 본 실험에서 무처리의 겉잎과 속잎의 함량은 0.63ppm과 0.55ppm 으로 약간 높은 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 모본 토양 자체의 카드뮴이 우리 나라 평균치 이상으로 함유한 결과라 생각 할 수 있다. 배추의 겉잎에서는 인산, 가리, 마그네슘, 등 속잎보다 더 많이 그 함량이 나타났는데 이동성이 큰 원소들이므로 겉잎이 속잎보다 더 많이 함유하고 있는 것으로 생각된다.

상추의 겉잎과 속잎의 카드뮴함량과 각종 원소들의 함량을 나타낸 것이 〈표 3〉이다.

Table 3. Mineral nutrient concentration in outer leaves of Lettuce.

Elements Treatments	cd(ppm)	N(%)	P(%)	k(%)	mg(%)	Ca(%)	Total fresh wt(g)
Control	0.660 b _x	2.340 ab	0.288 a	3.949 a	0.398 a	1.791 b	107.33 a
Ca(OH) ₂	8.063 a	2.047 ab	0.238 b	3.722 a	0.536 a	2.468 a	76.06 b
CaSiO ₃	8.200 a	2.230 ab	0.249 b	3.588 a	0.534 a	2.171 a	76.38 b
Ca(OH) ₂ +OM _y	7.957 a	1.957 b	0.241 b	3.131 a	0.479 a	2.202 a	57.59 c
CaSiO ₃ +OM	8.870 a	2.450 a	0.146 c	3.146 a	0.487 a	1.653 b	87.89 b

x Mean separation in each column by Duncan's multiple range test at 0.05.

y OM : Organic matter

Mineral nutrient concentration in inner leaves of Lettuce.

Elements Treatments	cd(ppm)	N(%)	p(%)	k(%)	mg(%)	Ca(%)
Control	0.770 b _x	1.363 a	0.163 a	3.456 a	0.307 a	0.787 ab
Ca(OH) ₂	3.153 a	1.240 a	0.140 ab	3.039 ab	0.305 a	0.744 b
CaSiO ₃	3.643 a	1.143 a	0.136 ab	3.178 ab	0.298 a	0.887 a
Ca(OH) ₂ +OM _y	3.187 a	1.220 a	0.140 ab	2.717 b	0.282 a	0.844 ab
CaSiO ₃ +OM	3.600 a	1.140 a	0.125 b	3.122 ab	0.268 a	0.842 ab

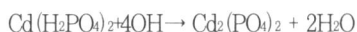
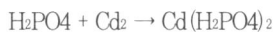
x Mean separation in each column by Duncan's multiple range test at 0.05.

y OM : Organic matter

Table 4. Correlation coefficients between Cd and mineral elements in lettuce inner leaves.

	P	Mg	K	Ca	N
Cd	-0.63446*	-0.30206	-0.67020*	-0.41349	-0.45203
P		-0.40420	0.61397*	-0.15771	0.72976*
Mg			0.21474	0.14752	0.12139
K				-0.11183	0.44968
Ca					-0.1845

일반적으로 상추의 겉잎과 속잎은 겉잎에서 카드뮴의 함량이 많이 나타났고, 배추와 비교하여 볼 때 카드뮴의 함량은 무처리구에서 배추가 0.63ppm 이지만, 상추는 0.66ppm으로서 유사하지만 처리 구에서는 8.275ppm으로 매우 높은 함량을 보였다. 작물에 따라서 흡수 농도의 차이가 많다는 것을 알 수 있다. 처리 구의 상추는 평균 92% 이상 토양에서 카드뮴을 이 실험에서 흡수하였다고 생각 할 수 있고 무처리구에서는 95%의 높은 흡수율을 보여 주고 있다. 처리구들 중에서 소석회 처리구가 상추내 카드뮴의 함량을 유의성은 없지만 낮게 나타 났으며, 속잎에서도 같은 경향 이었다. 상추의 우리 나라 19개지역 19개체로서 조사한 김⁵⁾의 보고에 의하면 평균 분포 함량은 0-0.28ppm으로 보고하였다. 본 실험에서는 무처리구의 카드뮴함량이 0.66ppm으로 상당히 높게 검출 되었다. 이러한 경향은 모본 토양 자체의 카드뮴이 우리 나라 평균치 이상으로 함유한 결과라 생각 할 수 있다. 인산의 함량이 무처리구에서 0.288%로 높고, 소석회나 규회석분말을 처리한 구에서는 무처리구에서 보다 그 함량이 낮은데 그 이유는 수용성 인산에 의하여 카드뮴이 침전되었을 것으로 추정하며, 오¹³⁾의 보고에 의하면,



로 생각되어 인산도 카드뮴을 침전시켜 그 용출을 줄인다고 보고하였다.

토양의 중금속 오염은 특정 공장부근이나 광산 지대에만 국한되지 않는다. 중금속이 일시에 투입 될 수 있는 기회는 매우 다양하고¹²⁾ 일시에 투입되는 양이 적더라도 토양의 중금속은 없어지지 않고 계속 집적되어 마침내는 위험한 수준에 이르기 때문이다. 도시 쓰레기나 하수 처리물¹⁰⁾ 등의 시용이 토양의 중금속원인이 되는 경우가 흔히 있다. 본 실험에서 카드뮴을 10ppm을 처리 하였을 때 상추에서는 칼슘을 처리

하였음에도 불구하고 8ppm이상의 상추내 카드뮴 함량을 보였음을 매우 심각한 일이라 생각된다.

그리고 상추의 수량은 배추의 후작으로 각 처리구간 pH의 농도가 너무 높아 석회 처리 구에서 상추가 제대로 자라지 못하였다고 생각한다.

표4는 상추의 속잎에서 카드뮴과 다른 원소간의 상관 비를 나타낸 것이다. 카드뮴과 인산과의 관계는 유의성이 있는 부의 상관으로 나타났다. 이러한 관계는 수용성 인산이 카드뮴을 침전시키므로 인산의 함량이 높을수록 카드뮴의 함량이 낮아지는 결과가 아닌가 생각하며, 카드뮴과 마그네슘과의 관계에서는 부의 상관으로 나타났는데 이러한 점은 오¹⁵⁾의 발표에 의하면 차이가 없는 정 상관으로 본 실험과는 상반된 결과를 나타냈다. 마그네슘은 엽록소의 중심 성분 원소인 동시에, 탄수화물, 단백질, 지방, 기타 비타민의 합성에 참여하는 중요한 효소의 활성제로서 필수적인 역할을 하는 원소로서 본 실험에서는 평균치보다 낮은 토양의 고토 함량으로 상추에 흡수되어 부의 상관이 나온 것이 아닌가 생각한다. 이러한 경향은 질소에서도 마찬가지로 부의 상관 관계를 보였다. 카드뮴과 칼슘의 상관관계에서는 부의 상관 관계를 나타냈는데 오¹⁵⁾는 칼슘의 함량이 높을수록 카드뮴의 함량이 낮아짐을 볼 수 있다고 하여 이 발표와 일치가 된다. 카드뮴과 가리는 유의성이 있는 높은 부의 상관관계로, 그리고 가리와 인산과는 유의성이 있는 높은 정 상관관계를 보였다.

참고문헌

1. 김규식, 이민호, 김홍영, 김선관, 김복진. 1978. 유해물질의 농작물 피해 기준설정. 농업기술 연구소. 시험연구 보고서(토양비료편):65-72.

2. 김복영, 김규식, 김복진, 한기학. 1978. 중금속 원소의 수도에 의한 흡수 및 수량에 관한 연구. 농시연구보고서 20(농업기술편):1-9.
3. 김복영, 김규식, 조재현, 이민호, 김선관, 박영선, 김복진. 1982. 한국 논 토양 및 현미중 중금속의 천연부존량에 관한 연구. 농시연구보고: 24 : 51-57.
4. 김복영, 소규호, 김규식, 조재현, 조일환, 우기대. 1990. 한국 밭토양 및 곡물중의 중금속 자연함유량에 관한 조사연구. 농시 논문집 32(2):57-68.
5. 김복영, 소규호, 김규식, 우기대, 유순호. 1992. 채소작물과 그 재배 토양중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구 농시논문집34(2):56-70.
6. 김복영(1993). 토양 오염실태와 개선대책. 환경 보존형 농업을 위한 토양관리 심포지엄. 한국토양비료학회. 별권: 68-98.
7. Narwal, R.P., B. R. Singh and A. R. Panawar. 1983. Plant availability of heavy metal in a sludge-treated soil. 1. Effect of Swage sludge and soil pH on the yield and chemical composition of rape. J. of Environ. Quality. 12(3):356-358.
8. 농촌진흥청. 1980. 토양화학 분석법:263-275.
9. Mulla D. J., A. L. Page and T. J. Ganje. 1980. Cadmium accumulation and bioavailability in soil from long-term phosphate fertilization. J. of Environ. Quality. 9(3):408-411.
10. Miller, W. A. W. P. and W. W. Mcfee. 1983. distribution of cadmium, zinc, copper, and lead in soil in industrial northwestern Indiana. J. of Environ. Quality. 12. (1):29-33.
11. 박양호, 정이근, 유인수. 1988. 밭토양의 화학적 특성 연구. 1. 밭토양 주요 화학성분 함량과 분포에 관한 조사연구. 농시논문집 30(2):29-35.
12. Baxter, J. C., M. Aguilar, and K. Brown, 1983. Heavy metals and persistent organic sewage sludge disposal site, J. of Environ. Quality. 12(3): 311-316.
13. 오왕근. 1981. 중금속(Cd)의 피해경감을 위한 토양개량에 관한 연구; 1. Cd의 침출과 개량제 시용으로 인한 치환성 Cd의 감소. 한국 토양비료학회지 14(4):242-249.
14. 오왕근. 1982. 중금속(Cd)의 피해경감을 위한 토양개량에 관한 연구; 2. 계량제의 시용과 Cd의 함량, 서울 시립 대학 논문집. (16):507-514.
15. 오왕근. 1983. 중금속 피해 경감을 위한 토양개량에 관한 연구; 3. 토양반응과 배추의 수량 및 카드뮴의 함량. 서울 시립 대학 논문집. (17):517-524.
16. 유순호, 이춘녕. 1980. 아연광산 지역의 답토양과 현미중의 카드뮴 및 아연함량. 학술원논문집. 자연과학편 19:255-266.
17. 이민호. 1980. 답토양중 Cadmium의 분석방법에 관한 연구. 경상대학교 대학원 논문집.
18. 이민호, 김복진, 박영선, 빈영호. 1980. 답토양중 Cadmium의 분석 방법에 관한 연구. 한국토양 비료학회지 14(4):230-235.
19. 김복영, 우기대등. 1991 농업환경 오염대책 종합기술 개발. 농촌진흥청 특정 연구 보고서:3-44.
20. 정동효. 1986. 우리나라 식품의 중금속 오염, 식품의 독성. 현대과학신서:165-193