

상추의 생육에 대한 도시하수 슬러지의 영향

이상욱, 윤화모^{*}, 오인혜^{**}

대전광역시 보건환경연구원, 배재대학교 원예학과^{*}, 배재대학교 생물학과^{**}

Effects of Sewage Sludge Application on the Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.)

Sang-Uk Lee, Wha Mo Yoon^{*} and In-Hye Oh^{**}

Institute of Health and Environments,

Taejon-City Metropolitan Government,

*Department of Horticulture, Pai-Chai University**

*Department of Biology, Pai-Chai University***

도시하수 슬러지를 경작지에 투입하여 상추를 재배하였을 때 그 양분으로서의 효과와 식물체 내의 중금속 축적을 조사하였다. 토양에 질소함량을 기준으로 6개의 처리구로 나누어 슬러지를 투입하여 상추를 재배한 결과는 다음과 같다.

질소를 요소로 주입한 대조구에서 슬러지 처리구보다 잎과 뿌리의 길이도 길고 무게도 무거웠다. 슬러지로 처리한 구에서는 슬러지의 투입량이 많아질수록 잎과 뿌리의 길이도 길었고 무게도 무거웠다. 식물체내의 N, K, Ca, Mg는 처리간 차이가 없었고, P의 양은 처리간 차이가 있었다. 상추의 Zn 함량은 슬러지 200%처리구에서 65.8 mg/kg으로 다른 처리구보다는 높았다. 상추의 Zn, Mn, Cd의 축적량은 근채인 알타리 무에 비하여 높았으며, 근채의 잎 부분, 뿌리 부분의 순으로 축적량이 낮았다. 그러나 상추의 Zn, Mn, Cu, Cd의 축적량도 시중 채소류의 자연 함유량 이내 이었다.

This study was aimed to observe the effects of municipal sewage sludge as nutrients on the growth of Lettuce. The effects of heavy metal components of the sludge were also observed. Municipal sewage sludge from Taejon City were treated to the soil of PaiChai University Farm in order to make gradient of nitrogen concentration in soil among 6 experimental groups. Results are as follows :

The longest leaves and roots were produced in control pot, in which urea was supplied as nitrogen source to the soil. Any other sludge-treated groups produced shorter leaves and roots than control group, but the more sewage sludge treated the longer leaves and heavier vegetables were observed. No differences were observed among from 6 experimental groups in the the view point of N, K, Ca and Mg contents, but P contents in leaves from 6 groups varied. Zn content of Lettuce when was 65.8 mg/kg when it grew with sludge 200%. The groups treated with sludge 200% produced the vegetables of the highest Zn contents. Accumulation of Zn, Mn and Cd was more heavier in Lettuce than in Altari radish. Accumulation of Zn, Mn, Cu and Cd in lettuce was not heavier than natural contents of those in market vegetables.

Key words : Sewage sludge, Lettuce, N, P, Cd, Zn

I. 서 론

도시 생활하수 처리과정에서 최종 품질로 나오고 있는 슬러지는 전체 도시 하수의 양에 비하면 아주 적은 양이나, 이 슬러지의 처리문제는 환경보존의 차원에서 심각한 일이다. 최근에는 이 슬러지를 소각, 바다 또는 육지에 처리하고 있는데 이 방법은 여러 가지 환경오염 문제를 유발시키고 있어 농경지에 이용하는 방법이 세계 각국에서 사용되고 있다. 특히 경작지 토양에 처리하면 토양의 물리적 성질을 크게 개량시키는 효과가 있음이 밝혀져 있으며, 실제로 Changels 등(1983)은 실험실과 포장 실험을 통하여 슬러지의 토양 처리가 보수력 증진, 토양수의 전기전도도 증대 및 가비증을 감소시키는 등 토양의 물리적 성질을 개량시키는 효과가 우수하였고 작물의 양분 공급 효과도 뚜렷하였음을 보고하였다. 미국은 연간 850 여만 톤의 슬러지 중의 42%를, 유럽은 연간 560 만 톤 중에서 38%를 농경지나 토지 개량에 이용하고 있다. 그러나 슬러지내 에 함유되어 있는 중금속들에 의해 토양이 오염되고 오염된 토양에서 성장된 식물체로 오염물질이 이용, 축적되어 이를 먹는 인간에게 까지 피해가 오게 되는 문제점이 있을 수 있어 미국 환경보호처에서는 슬러지 투입량을 제한하고 있다(최의소, 1992).

우리나라에서도 슬러지를 농경지에 이용하는 연구가 이루어지고 있다. 장기운 등(1993)은 정수 슬러지가 알타리 무 재배에 비료로서의 효과가 있다는 연구결과를 얻었으나, 김성조 등(1990)은 하수 슬러지의 처리에 따라 작물 내의 Cd과 Zn의 함량이 증가한다는 결과를 얻고 있다. 오인혜 등(1996)은 도시하수 처리 슬러지로 알타리무를 재배하였을 때 슬러지 처리량 증가에 따라 알타리무의 성장은 증가한다는 결과를 얻었으며, 우리가 식용하는 부분인 뿌리의 Zn과 Cd 함량도 시판되고 있는 무의 자연 함량 이내임을 밝혔다.

본 연구에서는 하수 처리 슬러지를 경작지에 투입하여 엽채인 상추를 재배하였을 때 상추의 생육에 미치는 영향과 슬러지내 중금속의 식물체로의 이동을 조사하여 슬러지의 비료로서의 이용가능성을 조사하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에 사용된 슬러지는 대전 하수종말처리장에서 1995년 4월 29일 채취한 것으로 40℃로 풍건시킨후 분쇄하여 100 mesh 표준체를 통과킨 것을 사용하였다. 토양은 배재대학교 부속 농장의 실험포장 토양을 사용하였으며 토성은 식양토이었다. 본 실험에 사용된 슬러지와 토양은 오인혜 등(1996)에 사용된 것으로 유기물 함량 84%, 유기물 함량은 72.9%였다. 이화학적 특성은 표 1과 같다.

실험 작물로는 엽채인 상추(*Lactuca sativa L.*; 뚝섬 적측면 상추)를 사용하였다.

Table 1. Chemical properties of sewage sludge and soil

Item	Sludge	Soil
Water content (%)	84.0	16.3
Organic matter (%)	72.9	4.2
pH	7.0	7.2
CEC (me/100g)	63.6	5.4
P ₂ O ₅ (mg/kg)	9,040	157
Total nitrogen (%)	3.80	0.06
Na (me/100g)	100.5	0.8
Ca (me/100g)	331.7	5.1
K (me/100g)	132.5	1.5
Mg (me/100g)	114.5	0.7
Zn (mg/kg)	1,411	37.1
Pb (mg/kg)	81.8	24.5
Cu (mg/kg)	235.1	4.5
Mn (mg/kg)	313.6	275.6
Cd (mg/kg)	1.59	0.30

2. 실험 방법

1) 슬러지 처리

상추 재배시에는 보통 질소, 인산, 칼리를 각각 20, 15, 20 kg/10a를 시비하여 왔다. 각 처리구에 따라 같은 양의 질소를 처리하기 위해 슬러지의 질소함량을 고려하여 상추 재배에 투입되는 질소 비료의 50%를 슬러지로 공급한 경우(슬러지 50%), 표준 질소량의 50%를 요소로, 나머지 50%를 슬러지로 공급한 경우(요소50%+슬러지 50%), 표준 질소량을 모두 슬러지로 공급한 경우(슬러지 100%), 표준질소량의 200%를 슬러지로 공급한 경우(슬러지 200%), 표준질소량의 100%를 슬러지로

공급하고, 석회를 첨가한 경우(슬러지 100%+Ca)로 하고 표준 질소량을 모두 요소로 공급한 것을 대조구로 하였다. 각 처리구 모두 용성 인비를 처리하고 봉사를 1 g/m² 처리하였다.

각 처리구별 토양의 이화학적 특성은 Table 2에서 보는 바와 같이 질소의 함량이 슬러지 200% 처리량에서 가장 높았다. 또 다른 영양염류와 중금속의 함량도 슬러지 처리량이 많을수록 높았다 (Table 2).

2) 상추 재배

배양토에 파종하여 비닐 하우스에서 재배하였고 본엽이 2-3매 나왔을 때에 비닐 포트에 가식하고 본엽이 4-5매 나왔을 때에 포장에 정식하였다. 중간 성장조사는 파종후 58일째에 1차, 67일째에 2차로 각각 엽수, 엽장, 엽폭을 측정하였고 파종 후 78일째에 수확하여 엽수, 엽장, 엽폭, 엽중을 측정하였다(농촌진흥청, 1983). 난괴법으로 재배하였으며, 재배기간 중의 수분함량 40-60% 정도 유지 되도록 수분을 공급하였으며 재배기간 동안 평균 기온은 19.1℃이었다, 기타의 재배는 일반적인 방법에 따랐다(표현규 등, 1989)

3) 성분분석

분석을 위한 토양과 식물체는 수확한 후 air dry하여 분쇄하여 100 mesh 표준체를 통과시킨 후 각각의 성분을 측정하였다(농업기술연구소, 1988).

수분함량은 105℃에서 항량이 될 때까지 dry

oven에서 건조 후 무게의 감소량으로, 유기물 함량은 550℃의 muffle furnace에서 5-6시간 회화하여 구하였다. 토양 pH는 H₂O:풍건토가 5:1의 비율로 되도록하여 진탕후 방치한 후에 pH meter로 측정하였다. 토양 CEC(Cation Exchange Capacity : 양이온치환용량)는 1 N NH₄OAc(pH 7.0)용액으로 토양을 추출시킨 후 잔사를 80% ethyl alcohol (pH 7.0)로 수세 후 질소정량장치(Buchi 322,343)에 의한 kjeldahl distillation으로 NH₄⁺를 정량하였다. 전 질소는 질소정량장치에 의해 산분해 및 kjeldahl distillation하여 정량하였다. 총 인산의 함량은 ascorbic acid에 의한 몰리브덴 청법에 의하여 비색시키고 UV spectrophotometer(Milton Ray 3000)로 흡광도를 측정하였다. 토양의 치환성 Na, Ca, K, Mg은 1 N NH₄OAc(pH 7.0) 용액으로 토양을 추출하여 시료로 하고, 식물체의 Na, Ca, K, Mg은 micro-wave (mis 1200 mega)에 의하여 전처리하여 Inductively-Coupled Plasma (ICP: Atomscan 25)로 측정하였다. 토양 및 식물체의 중금속 함량은 microwave(mis 1200 mega)에 의하여 전처리하여 Zn, Cu 및 Mn은 ICP로, Cd과 Pb는 atomic absorption spectrophotometer(Smith Hieftje 4000)로 측정하였다.

4) 자료 분석

처리간의 차이를 알아보기 위해 ANOVA test를 하였고 처리 반복간의 차이를 Student-Newman-Keulis 검정법으로 하였다. 처리별 전 개체

Table 2. Chemical properties of the soil after sewage was treated to the soil

Treatment	Water content (%)	Organic matter (%)	pH	CEC (me/100g)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Total-N (%)	Exchangeable (me/100 g)				Total (mg/kg)				
							Na	Ca	K	Mg	Zn	Pb	Cu	Mn	Cd
I	15.2	4.5	6.9	8.0	471	0.088	0.85	6.3	3.12	0.79	36.9	25.9	4.9	75.4	0.40
II	16.1	4.4	6.7	6.7	491	0.071	0.81	5.8	2.63	0.69	38.3	22.8	5.2	74.8	0.38
III	15.8	4.6	6.9	6.9	492	0.087	1.02	7.1	2.58	0.85	49.3	27.6	7.0	74.9	0.38
IV	14.9	4.5	7.0	7.0	571	0.113	1.26	8.1	2.61	0.92	53.0	28.5	7.7	75.4	0.63
V	15.3	4.4	6.6	6.6	493	0.082	0.89	11.1	2.10	0.81	43.8	26.4	6.2	74.7	0.39
VI	15.1	4.7	7.0	7.0	490	0.081	0.78	4.8	1.55	0.66	34.1	25.0	4.3	75.1	0.28

Treatment I (urea 50%+sludge 50%), II (sludge 50%), III (sludge 100%), IV (sludge 200%), V (sludge 100%+Ca), VI (control)

수 중 20개를 취하여 분석하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

상추의 2차 중간 생육조사 결과는 Fig.1과 같다. 1차 중간 생육조사 결과는 2차 중간 생육조사 결과와 비슷한 경향을 보였다. (N 50%+ 슬러지 50%)처리구는 1차 중간생육 조사시에 다른 처리구에 비하여 성장이 빠르게 진행되어 대조구 보다 잎의 수도 많았고 길이도 길었다.

상추는 중간 생육조사에서는 처리 간의 차이가 많았으나 수확기로 갈수록 처리별 차이가 적어졌다. 이는 중금속 처리한 채송화 재배에서 고농도 중금속의 처리에 따른 생리적 저해현상은 시간이 경과함에 따라 회복된다는 김병우(1982)의 결과에서도 설명되었다. 상추의 수확 후의 생육조사 결과는 Table 3과 같다. 무게는 대조구에서 가장 무거웠다(Fig. 2). 상추의 경우 슬러지의 처리구가 대조구보다는 잎의 수도 적었고 잎의 길이도 짧았으나 슬러지 처리구별 차이는 없었다.

상추의 처리구별 영양물질의 함량 중 N, K, Ca, Mg의 함량은 처리구간의 차이가 없었으며 (p>0.05), P의 함량은 대조구와 슬러지 200% 처리구에서 적었고 다른 처리구에서는 차이가 없었다 (Table 4).

상추의 식물체 내의 중금속 함량은 슬러지 200% 처리구의 Zn함량이 65.8 mg/kg으로 가장 높았으며 그 이외의 처리구에서는 크게 차이가 없

Table 3. Effects on the amount of sludge on the growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.)

Treatment	Leaf number	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Weight (g)	Height (cm)
I	22.4 ^a	21.2 ^a	21.7 ^a	287.9 ^a	21.5 ^a
II	21.4 ^a	20.2 ^a	21.4 ^a	263.6 ^a	18.4 ^a
III	21.9 ^a	20.4 ^a	22.7 ^a	269.8 ^a	18.2 ^a
IV	23.7 ^a	21.7 ^a	23.0 ^a	291.5 ^a	18.4 ^a
V	22.9 ^a	21.4 ^a	21.9 ^a	286.9 ^a	20.3 ^a
VI	24.7 ^a	22.3 ^b	23.5 ^a	321.3 ^b	21.8 ^a

* Treatment I (urea 50%+sludge 50%), II(sludge 50%), III(sludge 100%), IV(sludge 200%), V(sludge 100%+ Ca), VI(control)

** The values with the same upper letter are not significantly different.

었다(Table 5 및 Fig. 3). 슬러지를 200%하여 재배된 상추의 Zn 함량도 김길생 등(1993)이 보고한 국내 농산물의 Zn 함량 보다 적은 양으로, 슬러지의 경작지 처리의 가능성을 보였다. 문영희 등(1990)은 토양에 Zn 100 ppm 이상 첨가한 토양에서 생육된 배추는 40-50%의 생육 억제를 보였다고 하였다.

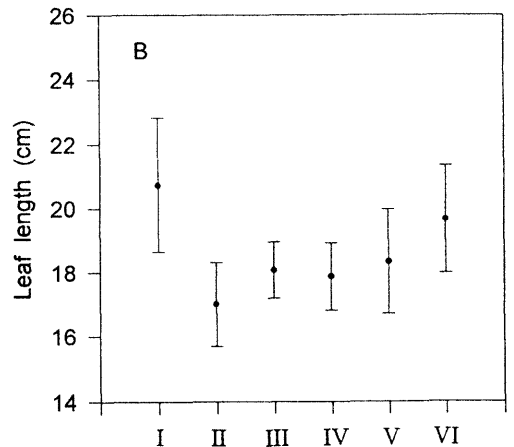
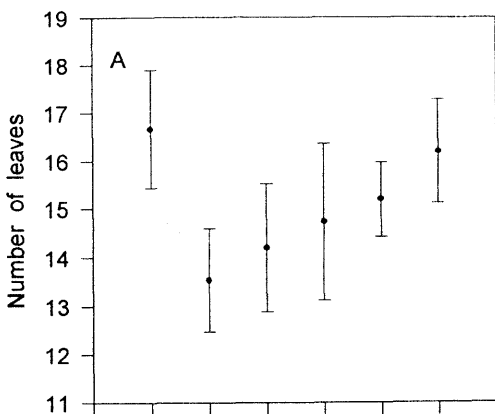


Fig. 1. Number of leaves(A) and leaf length(B) of lettuce in treatment group at 67th day from sowing. Treatment groups are as follows: I, urea 50%+sludge 50%; II, sludge 50%; III, sludge 100%; IV, sludge 200%; V, sludge 100%+Ca; VI, control. Vertical bar indicates standard error.

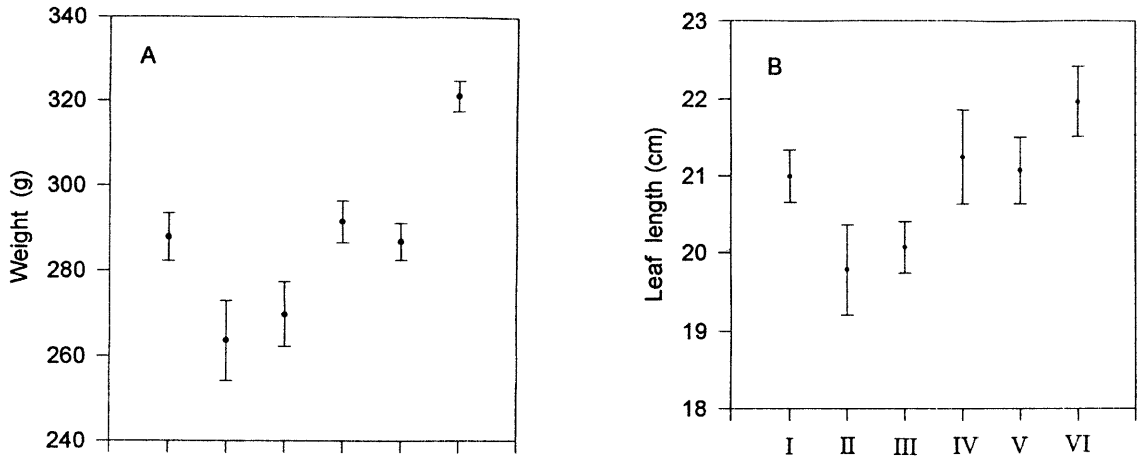


Fig. 2. Weight(A) and leaf length(B) of lettuce in treatment group at the time of harvest. Treatment groups are as follows ; I, urea 50%+sludge 50%; II, sludge 50%; III, sludge 100%;IV, sludge 200%; V, sludge 100%+Ca; VI, control. Vertical bar indicates standard error.

Table 4. Effects of the amount of sludge on the nutrient contents of lettuce

Treatment	T-N(%)	P(mg/kg)	K(mg/kg)	Ca(mg/kg)	Mg(mg/kg)
I	3.261 ^a	1,184 ^b	43,370 ^a	10,685 ^a	3,499 ^b
II	2.626 ^a	1,133 ^b	48,330 ^a	10,534 ^a	3,551 ^a
III	2.928 ^a	1,195 ^b	41,780 ^a	10,597 ^a	3,908 ^b
IV	3.020 ^a	980 ^b	37,960 ^a	10,321 ^a	3,754 ^a
V	3.789 ^a	1,193 ^b	42,100 ^a	10,943 ^a	3,932 ^a
VI	3.119 ^a	1,021 ^a	36,600 ^b	11,151 ^a	4,010 ^b

* Treatment I (urea 50%+sludge 50%), II (sludge 50%), III (sludge 100%), IV (sludge 200%), V (sludge 100%+Ca), VI (control)

** The values with the same upper letter are not significantly different.

그러나 이 농도는 슬러지 내의 Zn 함량에 비하여 상당히 높은 것으로 지나치게 높은 농도의 Zn을 처리한 결과로 사료된다. 상추의 Pb 함량도 모든 처리구에서 차이가 없었으며 이는 시중 상추 내의 Pb 함량 이내(김길생 등, 1993)이었다.

상추에서 중금속 축적량은 오인혜 등(1996)이 하수처리 슬러지로 재배한 알타리무에서와 뚜렷하게 차이가 있었다(Table 6). 슬러지 200%를 처리하여 재배한 농작물을 비교하였을 때, Zn의 축적

Table 5. Contents of heavy metals in lettuce treated with sludge

Treatment	Zn(mg/kg)	Mn(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Pb(mg/kg)	Cd(mg/kg)
I	41.8 ^a	89.3 ^a	6.0 ^a	3.5 ^a	0.34 ^a
II	41.5 ^a	85.6 ^a	5.6 ^a	4.3 ^a	0.46 ^a
III	45.8 ^a	91.2 ^a	6.7 ^a	3.9 ^a	0.42 ^a
IV	66.8 ^b	102.6 ^a	7.1 ^a	4.9 ^a	0.61 ^a
V	47.1 ^a	86.9 ^a	6.8 ^a	4.6 ^a	0.44 ^a
VI	40.3 ^a	91.4 ^a	6.1 ^a	4.7 ^a	0.50 ^a

* Treatment I (urea 50%+sludge 50%), II (sludge 50%), III (sludge 100%), IV (sludge 200%), V (sludge 100%+Ca), VI (control)

** The values with the same upper letter are not significantly different.

량은 상추에서 65.8 mg/kg, 알타리무의 잎에서 57.6 mg/kg, 뿌리에서 28.4 mg/kg으로 상추에서 가장 높고 알타리무의 잎, 뿌리의 순으로 축적량이 적었다. 또 Mn의 경우에서도 상추에서 102.6 mg/kg으로 가장 높고, 알타리무의 잎에서 84.2 mg/kg, 뿌리에서 12.3 mg/kg으로 적었다. Cu, Pb, 및 Cd에서도 경향은 유사하였다. 즉 중금속의 축적량은 엽채에서 가장 높고, 근채에서는 뿌리와 잎의 순으로 적음을 알 수 있었고 따라서 농작물의 종류에

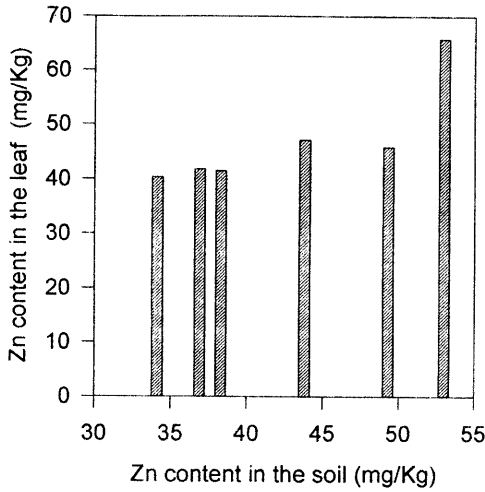


Fig. 3. Contents of Zn in the lettuce according to Zn contents in the soil.

Table 6. Contents of heavy metals in Altari radish and lettuce with sludge 200%

Vegetables \ heavy metals		Zn(mg/kg)	Mn(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Pb(mg/kg)	Cd(mg/kg)
Altari radish	root	28.4	12.3	2.4	N.D.	0.25
	leaf	57.6	84.2	2.8	N.D.	0.88
Lettuce		65.8	102.6	7.1	4.9	0.61

* N.D.= Not detected

따라 중금속의 축적량이 다르다는 결과를 얻었다.

본 연구에서는 슬러지를 경작지에 투입해서 채소를 재배하였을 때 슬러지의 유기질 비료로서의 효과와 중금속의 이동 및 축적을 보았으며, 그 결과는 슬러지를 알타리무의 생장에 이용하였을 경우(오인혜 등 1996)와 같이 슬러지 처리구의 성장은 대조구보다는 크지 않았으나, 슬러지 투입량이 증가할수록 채소의 생장이 증가하였다. 또한 슬러지 200% 처리구에서 재배된 채소 내의 중금속 함유량은 우리나라 시중 채소류의 자연 함유량의 범의이내이었고 재배토양의 중금속 함량도 슬러지 200% 처리구에서도 높지 않았으므로 슬러지의 경작지 투입은 가능한 것으로 사료된다.

또한 슬러지를 무해화하여 농작물 재배에 이용하는 방법도 더 많은 연구가 진행되어야 할 분야로 우리나라에서는 그와 같은 연구가 그다지 수행되지 않고 있다. Hayakawa and Watanabe(1990)는 슬러지를 고온 회화할 경우 인산이 가용성 인

산으로 되며 중금속은 불용화되어 슬러지 내의 중금속의 영향이 감소할 수 있음을 제시하였다. 본 연구에 사용된 슬러지를 고온 회화하여 인산 및 중금속의 함량을 측정하여보니 인산의 경우 30% 가량 증가하였고 중금속은 감소하였다(미발표 자료). 이에 대한 연구는 추후 좀 더 수행하고자 한다.

IV. 감사의 글

본 논문은 1996학년도 배재대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 것임.

V. 참고 문헌

김길생, 이종욱, 소주섭, 서석춘, 정소영, 유순영, 송경희, 손영옥, 이해찬, 권우창. 1993. 식품중의 미량금속에 관한 조사연구. 국립보건원보. 30(2): 366-377.

김병우. 1982. 수종식물의 생육에 미치는 중금속의 영향에 관한 연구. 한국생태학회지, 5(4): 176-186.

김성조, 백승화, 김주영, 유한중. 1990. 도시 하수 슬러지의 경작지 처리가 식물체중의 Cd 및 Zn 함량에 미치는 영향. 한국환경농학회지 9(2): 121-131.

농업기술연구소. 1988. 토양화학 시험법. 450 pp.

농촌진흥청. 1983. 농사 시험 연구 조사 기준. 495 pp.

문영희, 김영휘, 양환승. 1990. 토양중에 있어서 무우와 배추의 생육에 미치는 중금속 Cr, Ni, Cd, Cu 및 Zn의 영향. 한국환경농학회 9(2): 113-119.

오인혜, 이상욱, 윤화모. 1996. 도시 하수 슬러지 부여가 알타리무의 생육과 화학성분에 미치는 영향. 한국생태학회지 19(3): 271-282.

장기운, 김상덕, 김영한. 1993. 알타리 무우 생육에 대한 정수슬러지의 사용효과. 한국토양비료학회지. Vol. 26(2): 78-84.

최의소. 1992. 폐기물 처리와 자원화. 청문각.

표현규, 최연일, 이강희. 1989. 채소원예각론. 향문사. 398 pp.

Chang, A.C., A.L. Page, and Warneke, J.E. 1983. Soil conditioning effects of municipal sludge compost. *J. Environ. Enginee.* 109(3): 574-583.

Hayakawa, O. and N. Watanabe. 1990. Effect of incineration treatment on chemical properties in sewage sludge. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 61: 127-133.