

# 下水 sludge 사용이 배추의 生育과 土壤의 化學性 변화에 미치는 影響

김수영 · 조경철 · 정순주  
전남대학교 원예학과

Effects of the application of Sewage Sludge on the Growth of Chinese Cabbage (*Brassica campestris* L.) and Changes in Soil Chemical Properties.

Kim Su-Young · Cho Kyung-Cheol · Cung Soon-Ju  
Dept. of Hort. Coll. of Agri. Chonnam Nat'l Univ., Kwangju 500-757, Korea

〈 목 차 〉

ABSTRACT

I. 서 언  
II. 재료 및 방법

III. 결과 및 고찰

IV. 적 요  
인용문헌

## ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effect of sewage sludge application on the growth of chinese cabbage and the changes of chemical properties of soil. The experiment were set up with two different place and cultivated from Feb. 10 to June. 20 of 2000. Treatments are 0, 1.25, 2.5, 5, 10 and 20kg/3.3m<sup>2</sup> of sewage sludge applicated into the soil and recorded the growth characteristics. Chemical properties of soil were also analysed before and after treatment.

The application of the sewage sludge resulted in increasing the content of EC, cations exchange capacity, available phosphate and organic matter. And increased the growth characteristics in terms of the number of leaves, leaf area, fresh and dry

weight regardless of crops experiments. Optimum amount of the sewage sludge depended on chemical properties of soil used.

This results demonstrated that application of sewage sludge in the soil attribute to have play an important both improving soil chemical properties and promoting the crop growth. As lowering the soil pH(pH 6) heavy metal content increased compared with higher pH(pH 7). Feasibility was recognized in the application of sewage sludge as a fertilizer for the growth of chinese cabbage. Detrimental effects such as heavy metal in the soil and crop followed by the application of sewage sludge was not observed.

## I. 序 言

최근 산업의 급진적인 발달과 인구의 도시집중화는 산업폐수 및 도시생활 하수의 증가를 가져왔고<sup>9)</sup>, 도시생활하수의 처리과정에서 최종산물로 나오는 sludge는 그 발생량이 날로 증가하고 있으며, 이것의 폐기로 인하여 발생하는 토양, 수질 및 대기의 2차오염이 환경보존의 차원에서 심각한 문제로 대두되고 있다. sludge를 처리하는 방법으로는 일반적으로 소각, 해양투기 및 매립 등이 알려져 있다. 대부분의 폐기물은 매립 또는 소각에 의해 처리되고 있으나 sludge의 경우 이 두 가지 방법 모두 심각한 문제를 갖고 있어 대체 처리방법의 개발이 시급한 실정이다<sup>5,11)</sup>. 이에 대한 대체처리방법으로 건설자재, 절연재, 토질개량제, 난석, 오폐수 정화제, 인공배지 및 복토재로의 이용에 관한 연구가 진행되고 있다. 슬러지의 재활용 관점에서 가능한 적은 비용으로 많은 양을 간편하게 이용할 수 있는 방법으로 복미, 유럽 등 세계각국에서는 농지주입 방법을 채택하고 있다. 미국은 연간 850만 톤의 sludge 중 42%인 360만 톤을 농경지나 토지개량에 이용하고 있고<sup>27)</sup>, 유럽은 연간 560만 톤 중에서 38%인 250만 톤<sup>16)</sup>, 일본은 연간 1백만 톤의 슬러지의 11.5%인 11만 톤을 농경지나 토지개량에 이용하고 있으나<sup>25)</sup> 우리나라의 경우 3.8%만이 농지환원, 건설자재, 조경 및 지렁이 사육으로 재활용하고 있는 실정이다.

Sludge내에는 질소, 인등의 영양물질을 함유하고 있어 토양주입시 작물의 생장을 촉진시켜 농지의 생산성 향상에 기여할 수 있으며 토양의 투수성 및 보수력을 증가시키고 토양완충능력의 증대에 기여하는 것으로 알려져 있다<sup>12,15,24)</sup>. 또한 높은 CEC와 유기물 함량<sup>26)</sup>은 농경지 시용시 작물 체의 생장에 유리하게 작용할 것으로 생각된다. 그러나 하수슬러지는 유해물질을 함유할 수 있어 이로 인한 피해가 우려되므로 심도 있는 연구가 요청되고 있다.

본 실험에서는 하수 sludge를 이용한 조제 비료의 시여가 토양의 이화학적 성질에 미치는 영향과 배추의 생육 및 수량에 미치는 영향을 검토하고자 수행하였다. 또한 sludge 비료 시용시 가장 문제가 되는 토양과 식물체의 중금속이온의 유무를 분석함으로써 하수 sludge를 이용한 조제비료의 농경지 이용에 대한 문제점들을 파악하고자 하였다.

## II. 材料 및 方法

본 시험은 전남대학교 농과대학 채소학 실험포와 광주시 용봉동 소재 채소재배 농가포장에 서 수행되었다. 공시재료는 배추(춘하왕배추-홍농종묘)로서 2월 10일에 침종하여 2월 11일 50 공(배추) 트레이에 파종하였고 3월 10일 본엽이 5-7매된 건실한 묘(그림 1)를 정식하였다. 시험 구는 1m×1m로 재식간격은 50×33cm 실험 포별로 각각 5주, 6주씩 난피법 3반복으로 배치 하였다. 시험구 처리는 농가관행으로 하는 복합비료(21-17-17)를 대조구를 하여 sludge 0, 1.25, 2.5, 5, 10, 20kg/3.3m<sup>2</sup>을 각각 경운시 처리하였다. 실험에 사용된 슬러지는 나주하수 종말처리장에서 생산된 것을 사용하였다.

sludge를 토양에 사용 하여 자란 식물체의 생장은 10, 20, 30, 40, 50 일에 채취하여 엽수 엽면적, 엽록소, 각 기관별 생체중과 건물 중을 측정하였고, 시험전후 재배토양의 이화학적 특성을 분석하였으며 시험후 식물체 건물을 이용하여 무기성분과 중금속의 유무를 분석하였다(토양화학분석법, 농촌진흥청 농업기술연구소, 1988). 토양의 pH와 EC는 풍건토와 distilled water를 1:5로 희석하여 진탕한 후 pH meter로 측정하였고 유기물은 Tyurin 법에 의해 측정 하였으며, 실험토양의 CEC(cation exchange capacity: 양이온치환용량)는 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (pH 7.0) 용액으로 추출시킨 후 잔사를 95% ethyl alcohol로 수세 후 질소정량장치에 의한 Kjeldahl 증류하여 NH<sub>4</sub>를 정량 하였다. 전질소는 질소정량장치에 의해 산분해 및 Kjeldahl 증류하여 정량하였다. 유효인산의 함량은 SnCl<sub>2</sub>에 의한 몰리브덴 청법에 의하여 비색시키고 UV spectrophotometer(UV-1201, SHIMAZU)로 흡광도를 측정하였다. 토양의 치환성 양이온과 중금속은 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>(pH 7.0) 용액으로 추출한 후 ICP(Inductively-Coupled Plasma)로 측정하였다. 식물체의 치환성 양이온과 중금속은 건조시료를 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 습식분해한 다음 여 과하여 그 여액을 ICP로 분석하였다. Sludge의 중금속은 비료분석법에 준하여 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 Kjeldahl 분해하여 100ml mess up한 다음 Zn, Cd, Pb, Cr, Cu는 ICP로, Hg와 As는 AA 기로 측정하였다.

## III. 結果 및 考察

### 1. 實驗 前 栽培土壤과 하수 sludge의 異化學的 特性 조사

본 실험에 사용된 슬러지 비료의 유기물 함량은 38.05%로 권 등<sup>1)</sup>이 발표한 우리 나라 하수 슬러지의 평균 유기물 함량 50.03%보다 낮게 나타났다. 그리고 N, P, K 등의 무기염류농도 도 높아 유기질 비료로서의 가능성을 보여주고 있다(표 1). 슬러지 비료의 농지주입시 장점이 라 할 수 있는 것은 인산비료를 주지 않더라도 인산뿐만 아니라 기타 중요한 영양소가 슬러지 비료를 통해 공급될 수 있고, 일반비료에는 거의 없는 철이 다량으로 들어있고 토양에서 흔히

부족 되기 쉬운 아연과 구리도 상당량 함유되어 있다<sup>11)</sup>는 것이다. 또한 본 실험에 사용된 슬러지의 중금속은 부산물비료의 유해규제농도인 비소 50mg/kg, 수은 2mg/kg, 크롬 300mg/kg, 구리 500mg/kg, 카드뮴 5mg/kg, 납 150mg/kg보다 훨씬 낮게 나타났고 납과 카드뮴은 검출되지 않은 것으로 분석되었다.

Table 1. Physico-chemical properties, Exch.-cations and heavy metals of the soil(experiment place I, II) and sewage sludge before the experiment.

Physico-chemical properties	pH	EC (mS/cm)	CEC (me/100g)	O.M (%)	Avail.-P2O5 (ppm)	T-N (%)	Exch.-cations (cmol <sup>+</sup> /kg )											
							Ca	K	Mg	Fe	Na	Zn	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Cr
Place I	7.37	0.24	15.58	1.86	11.93	0.02	1.03	0.07	11.55	0.03	0.05	9.68	0.54	1.81	1.40	0.86	0.8	6.25
Place II	6.13	0.18	11.63	1.57	6.62	0.02	0.81	0.08	5.94	0.01	0.02	7.4	1.31	1.66	1.20	0.11	1.74	5.38
Sludge	7.06	5.64	33.66	38.50	303.28	0.472	49.92	31.61	N.D <sup>1)</sup>	0.257	N.D	772.16	0.924	N.D	192.9	0.92	N.D	112.03

<sup>1)</sup> N.D : not detected.

각 실험토양의 pH, EC, 양이온 치환용량(CEC), 유기물함량(OM), 유효인산(avail.-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 및 전질소(T-N)의 함량은 실험토양 I의 이화학적 성이 다소 높게 나타났으며, 비소(As)를 제외한 양이온과 중금속도 실험포 I의 토양에서 높게 나타났다. 토양의 중금속 함량에 있어서는 우리 나라 경작지의 평균 중금속 함량<sup>2)</sup>과 비교해 볼 때 Zn 15.20 Cu 3.11, 그리고 Pb 2.260mg/kg보다 낮게 나타났으나 Cd 0.162, Cr 0.41mg/kg보다는 다소 높은 수치를 나타내었다.

## 2. 하수sludge 施用에 따른 배추의 生育

<표 2>는 정식 50일 후의 하수 sludge 투입량에 따른 배추의 성장특성을 비교한 것이다. 배추의 엽수와 엽면적, 생체 중에 있어서 sludge를 10kg/3.3m<sup>2</sup>을 사용한 처리구에서 가장 양호한 성장을 나타내었는데 엽수는 무처리에 비해 12매, con(관행21-17-17)에 비해 10.4매가 더 많아 처리간의 유의차가 인정되었으며 생체 중에 있어서도 대조구에 비해 1kg 정도 차이가 나고 있어 하수 슬러지의 시용에의 수량의 증가가 인정되었다. 또한 엽록소의 함량에서 10kg/3.3m<sup>2</sup>을 처리한 구에서 가장 높아 진한 녹색을 띠었다. 이는 최 등<sup>12)</sup>이 도시하수오니를 작약재배지에 시용한 결과 줄기 무게, 초장, 가지수 및 가지의 굵기가 하수오니를 시용 할수록 증가하였다는 보고와 유사하게 모든 성장특성이 양호해지는 결과를 나타내고 있다. 또한 실험포 II의

경우에는 엽수와 엽면적, 생체중 및 건물 중에 있어서 sludge를 5kg/3.3m<sup>2</sup>을 사용한 처리구에서 양호한 생장을 나타내었고 5kg/3.3m<sup>2</sup> 이상에서는 생장이 감소되고 있다. 엽록소 함량은 20kg/3.3m<sup>2</sup>을 처리한 구에서 가장 진한 녹색을 띠었는데 상대적으로 많은 sludge 내의 질소성분이 식물체로 많이 흡수되는데서 연유한 것으로 생각되었다.

Table 2. Growth characteristics of chinese cabbage as affected by the amount of sewage sludge applicated into the soil at 50 days after transplanting.

Growth characteristics	No. of leaves (ea/plant)	Leaf area (dm <sup>2</sup> )	Chlorophyll content (kg/gFW)	Fresh weight (kg/plant)			Dry weight (kg/plant)			
				Leaf	Root	Total	Leaf	Root	Total	
Place I	0	52.7b <sup>y</sup>	139.0 <sup>b</sup>	28.9	1.9 <sup>c</sup>	14.1	1.9	88.4	1.7	90.1
	con	54.3 <sup>ab</sup>	154.4 <sup>ab</sup>	37.9	2.3 <sup>bc</sup>	15.5	2.4	91.3	1.7	93.1
	1.25	55.3 <sup>ab</sup>	158.5 <sup>ab</sup>	34.3	2.4 <sup>bc</sup>	16.9	2.4	93.9	1.9	95.9
	2.5	57.0 <sup>ab</sup>	161.6 <sup>ab</sup>	38.7	2.6 <sup>abc</sup>	17.7	2.6	96.4	2.2	98.6
	5	57.0 <sup>ab</sup>	168.2 <sup>ab</sup>	35.4	2.5 <sup>abc</sup>	16.4	2.5	109.6	2.3	111.9
	10	64.7 <sup>a</sup>	197.4 <sup>a</sup>	41.2	3.3 <sup>a</sup>	19.1	3.3	111.0	2.4	113.4
	20	60.3 <sup>a</sup>	173.4 <sup>ab</sup>	40.7	3.0 <sup>ab</sup>	14.4	3.0	104.6	2.3	106.9
Place II	0	43.5	107.7 <sup>z</sup>	28.7 <sup>y</sup>	1.4	18.9	1.5	63.02	2.1	65.1
	con	44.0	139.5 <sup>y</sup>	36.0 <sup>xy</sup>	2.1	22.3	2.1	70.7	2.2	72.9
	1.25	46.3	143.9 <sup>y</sup>	32.0 <sup>y</sup>	2.3	21.0	2.3	69.2	2.0	71.2
	2.5	47.7	166.6 <sup>xy</sup>	33.6 <sup>y</sup>	2.4	22.4	2.4	74.0	2.6	76.6
	5	49.0	170.7 <sup>x</sup>	36.0 <sup>xy</sup>	2.5	23.3	2.5	77.7	2.9	80.5
	10	48.7	165.1 <sup>xy</sup>	34.7 <sup>xy</sup>	2.3	20.0	2.3	77.1	2.5	79.6
	20	48.0	159.0 <sup>xy</sup>	41.6 <sup>x</sup>	2.0	17.7	2.0	74.5	2.3	76.8

<sup>z</sup> Mean separation within each column by DMRT at 5%.

<sup>y</sup> Mean separation within each column by DMRT at 5%.

〈그림 1〉은 50일 동안의 슬러지의 사용량을 달리하여 재배한 배추의 엽록소의 경시적인 변화를 나타낸 것이다. 대체로 엽록소는 증가하는 경향을 보여주었는데 10kg/3.3m<sup>2</sup>, 20kg/3.3m<sup>2</sup>의 슬러지를 사용한 경우 40mg/gFW이 넘는 엽록소 함량을 보였고 슬러지를 처리한 시험구는 대체로 그 함량이 증가하는 편이었으나 슬러지를 처리하지 않은 무처리구는 생육후 20일 이후부터 엽록소의 함량이 낮아져 엽의 황화현상이 나타났는데 이는 기존토양의 양분이 시간이 흐른 후 식물체의 생장에 다 소모되었기 때문으로 사료된다. II 실험포의 경우에도 엽록소의 함량이 가장 높게 유지되었던 슬러지 20kg/3.3m<sup>2</sup> 사용구는 슬러지내의 질소함량이 높았던 이유이며 생육중반 이후 엽록소 함량의 차이가 생긴 것은 고품의 입상으로 이루어진 슬러지가 관수에 의해 서서히 영양물질이 용해되어 슬러지 내의 질소, 유기물 등이 식물체에 영향을 끼친 것으로 생각된다.

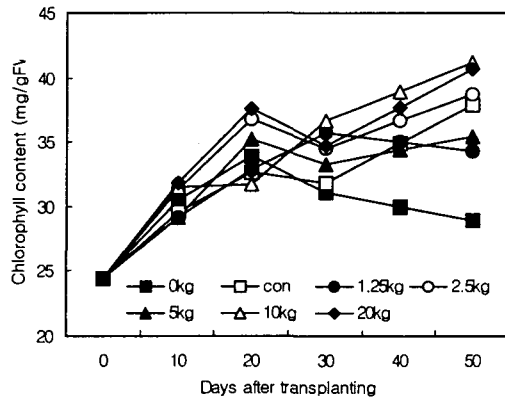


Fig. 1. Chlorophyll content of chinese cabbage as affected by the amount of sewage sludge applied into the soil. (place I)

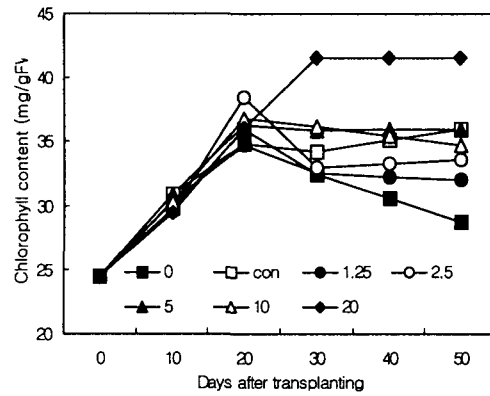


Fig. 2. Chlorophyll content of chinese cabbage as affected by the amount of sewage sludge applied into the soil.(place II)

Table 3. Growth analysis of chinese cabbage as affected by the amount of sewage sludge applied at 50 days after transplanting.

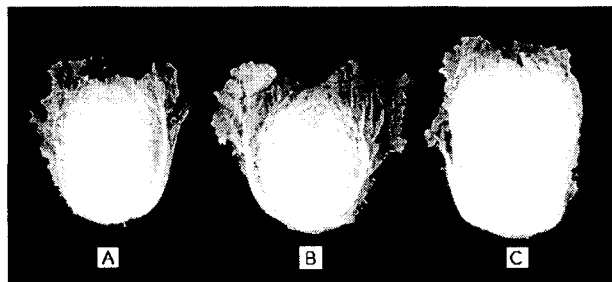
	T/Rz ratio(%)	RGR (g/10days)	NAR (g/dm <sup>2</sup> /week)	CGR (g/m <sup>2</sup> /week)	LAI (dm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	LAR (dm <sup>2</sup> /g)	RLGR (dm <sup>2</sup> /week)
0	52.60	0.07	3.79	3.47	3.93	0.02	0.05
con	52.67	0.07	3.31	3.39	4.21	0.02	0.04
1.25	48.38	0.07	3.67	3.49	6.40	0.02	0.06
2.5	44.22	0.08	3.96	3.87	6.30	0.02	0.06
5	48.39	0.09	4.67	4.65	7.02	0.02	0.06
10	45.38	0.08	4.26	4.61	10.45	0.02	0.07
20	46.50	0.09	4.58	4.42	8.80	0.02	0.07
0	29.80	0.09	4.50	2.71	3.17	0.02	0.07
con	32.07	0.09	4.18	3.03	3.81	0.02	0.08
1.25	35.12	0.08	3.76	2.82	3.95	0.02	0.07
2.5	28.47	0.08	4.04	3.03	3.95	0.02	0.08
5	27.16	0.10	3.63	3.39	4.91	0.03	0.11
10	30.90	0.09	3.86	3.20	4.36	0.02	0.08
20	32.26	0.09	4.11	3.17	4.06	0.02	0.08

<sup>2</sup> T/R ratio=top/root ratio, RGR=relative growth rate, NAR=net assimilation rate, CGR=crop growth rate, LAI=leaf area index, LAR=leaf area ratio, RLGR=relative leaf growth rate.

<표 3>은 배추의 정식후 50일 동안의 생장해석을 나타낸 것이다. T/R ratio는 실험포 I에

서 월등히 높았는데 이는 실험포 I의 지상부 생장율이 훨씬 양호하였음을 보여주며 반면에 실험포 II의 지하부 비율이 컸던 것으로 보여진다. 최 등<sup>12)</sup>은 하수슬러지의 사용으로 입단이 증가하여 토양경도가 낮아진 것으로 고찰되어 sludge의 사용은 토양물리성 개선에 효과적이었다고 하였으며, 토양공극율과 수분이동에 있어서도 sludge 속에 함유된 collid 응집제가 토양입자를 응집시켜 입단을 증가시켜 공극율도 높아지고 토양의 투수성도 증가되는 것으로 보고된 바 있다. 본 실험에서도 슬러지의 사용은 토양물리성을 개선시켜 근의 생장과 뿌리뻗음이 양호하여 10kg/3.3m<sup>2</sup>, 5kg/3.3m<sup>2</sup> 사용구에서의 T/R 율이 낮은 비율을 보였고 이는 지상부 엽의 양호한 성장과도 연결되는 것으로 고찰된다. 또한 엽면적 지수(LAI)가 가장 높았던 10kg/3.3m<sup>2</sup>, 5kg/3.3m<sup>2</sup> 사용구의 순동화율(NAR)이 낮아진 것으로 나타났는데 이는 엽의 상호차폐로 인한 결과로 추정된다.

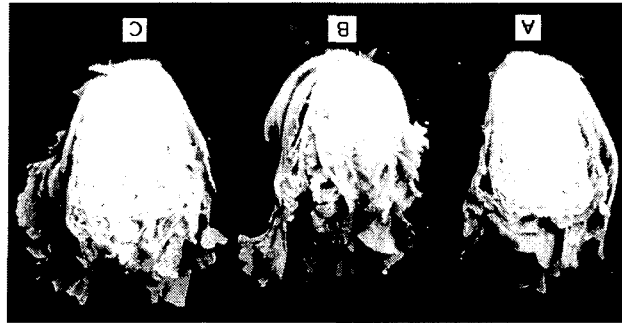
<그림 3>은 Sludge 사용량에 따른 배추 결구상태(정식후 50일)를 나타낸 것으로 외부로부터 15엽을 제거한 상태이다. 그림은 대조구와 2.5kg/3.3m<sup>2</sup>, 10kg/3.3m<sup>2</sup> 처리구인데 대조구와 2.5kg/3.3m<sup>2</sup>에 비해 10kg/3.3m<sup>2</sup> 처리구는 내부가 건실하고 엽수도 확연히 많고 그 무게도 유의성이 인정되어 상품적인 가치가 향상되는 것으로 나타났다.



A : control(21-17-17)  
 B : 1.25kg/3.3m<sup>2</sup> of sewage sludge applied.  
 C : 10kg/3.3m<sup>2</sup> of sewage sludge applied.

Fig. 3. Appearance of chinese cabbage as affected by the amount of sewage sludge applied into the soil at 50 days after transplanting. (Place 1)

<그림 4>는 sludge를 처리하지 않은 0kg/3.3m<sup>2</sup> 처리구와 대조구, 그리고 5kg/3.3m<sup>2</sup>로 대조구와 무처리구에 비해 5kg/3.3m<sup>2</sup> 처리구는 내부가 충실하고 엽수도 현저히 많으며 그 구중도 처리간에 유의차가 인정되었다.



B : 0 kg/3.3m<sup>2</sup> of sewage sludge applied.  
 C : 5kg/3.3m<sup>2</sup> of sewage sludge applied.

Fig. 4 Appearance of chinese cabbage as affected by the amount of sewage sludge applied into the soil at 50 days after transplanting. (Place II)

3. 下水 sludge의 施用으로 인한 土壤의 化學性 變化

Table 4. Chemical properties of chinese cabbage in the Place I and Place II soil affected by the amount of sewage sludge applied into the soil after experiment.

Experiment place	Treatment (kg/3.3m <sup>2</sup> )	pH	EC (mS/cm)	CEC (me/100g)	O.M (%)	Avail.-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)
Place I	0	7.63	1.20	16.21	31.17	0.77
	con	7.58	1.17	16.18	28.59	0.93
	2.5	7.69	1.18	16.79	33.76	1.11
	10	7.28	1.99	19.91	96.90	1.20
	20	6.53	3.37	24.61	257.07	1.40
Place II	0	5.90	0.50	13.10	31.46	0.89
	con	6.16	0.52	14.30	35.37	0.87
	2.5	6.23	0.65	14.65	51.44	1.01
	10	5.65	1.17	14.68	69.85	1.07
	20	5.78	1.73	16.32	182.08	1.13

시험종료 후 시험토양을 분석한 결과는 표 4와 같다. 재배토양의 pH는 슬러지의 사용량이 많아질수록 증가하다가 sludge양이 10kg/3.3m<sup>2</sup>(실험포 I), 5kg/3.3m<sup>2</sup>(실험포 II)을 초과하면 감소하여 남<sup>4)</sup>의 연구결과와 유사하게 나타났으나, 슬러지의 주입으로 산성토양의 pH를 증가시켜 토질을 개량할 수 있었다는<sup>2,12)</sup> 보고와는 상이하게 나타났다. 그러나 슬러지를 주입한 토양의 EC, CEC, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>유기물은 모두가 sludge 사용량이 증가할수록 높아, 최 등<sup>12)</sup>이 작약재배지에 슬러지를 사용 하여 질소, 인산 및 무기염류의 함량이 증가하였다는 결과와 유사하였다.

배추의 생장은 비교하였을 때 하수sludge의 5-10kg/3.3m<sup>2</sup> 사용이 작물의 수량을 높이는데는 효과적인 것으로 나타났는데 이는 슬러지의 사용으로 토양의 물리성 개선<sup>12, 24)</sup>, 유기물의 증대<sup>2)</sup>,



토양미생물의 증가 등에 의한 효과로 판단된다. 그리고, 재배환경에 따라 pH를 비롯한 EC, CEC, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함량이 다소 높았던 I 실험포에서의 배추의 생장이 더 양호하게 나타났다.

4. 下水 sludge 의 施用으로 인한 栽培土壤과 배추의 置換性 양이온과 重金屬 含量 變化

정식후 50일 후의 토양의 무기이온과 중금속(표 5)에 있어 I 실험포의 경우 sludge의 사용량이 많아질수록 토양의 치환성 칼리와 칼슘, 나트륨 및 고토는 높아지는 경향으로 김 등<sup>2)</sup>과 최 등<sup>12)</sup>의 연구와 유사하였다. 또한 중금속의 경우에도 아연, 비소, 카드뮴, 구리에서도 점차 높아지는 경향으로 김 등<sup>3)</sup>의 하수슬러지의 처리가 작물내의 Cd와 Zn 함량이 증가되었다는 결과와 일치하였다. 그러나 중금속의 함량은 극히 미미한 수준이었고 대조구와 비교하였을 때 거의 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 또한 포장환경이 달랐던 II 실험포는 치환성 양이온의 함량이 I 실험포에 비해 낮게 나타났으나 중금속에 있어서는 비슷한 수준이었다.

Table 5. Exch.-cations and heavy metals content of chinese cabbage in the Place I and Place II soil as affected by the amount of sewage sludge applied into the soil.

Treatment (kg/3.3m <sup>2</sup> )	Exch.-cations content (cmol <sup>+</sup> /kg)						Heavy metals content (mg/kg)						
	Ca	K	Mg	Fe	Na	Zn	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Cr	
Sludge	49.92	31.61	N.D <sup>1)</sup>	0.26	N.D	772.16	0.92	N.D	192.9	0.92	N.D	112.03	
Place I	0	16.23	0.09	9.72	0.09	0.54	14.69	N.D	1.07	1.34	N.D	N.D	2.87
	con	16.50	0.09	10.26	0.09	0.65	15.00	N.D	1.10	1.35	N.D	N.D	2.98
	2.5kg	17.21	0.08	10.24	0.09	0.55	15.44	N.D	1.12	1.39	N.D	N.D	3.02
	10kg	17.26	0.10	10.01	0.09	0.62	15.1	0.19	1.10	1.48	0.35	N.D	2.98
	20kg	17.57	0.10	10.34	0.10	0.64	16.56	1.17	1.15	1.47	0.13	N.D	3.03
Place II	0	14.73	0.08	6.90	0.09	0.28	13.50	N.D	1.03	1.35	0.75	N.D	2.64
	con	11.68	0.06	6.60	0.09	0.34	14.30	N.D	1.05	2.44	0.27	N.D	2.62
	2.5kg	14.99	0.07	7.97	0.09	0.49	14.04	0.47	1.05	1.24	N.D	0.44	2.69
	10kg	13.82	0.07	6.36	0.09	0.21	12.93	2.04	0.98	1.27	N.D	N.D	2.58
	20kg	15.25	0.08	7.47	0.09	0.40	13.92	2.10	1.03	1.39	0.02	N.D	2.61

그러나 배추내로 이동된 중금속의 양을 감안한다면 토양내로 용출되었을 중금속의 양은 I 실험포보다 훨씬 많았을 것으로 생각된다. 작물에 의한 중금속의 흡수는 중금속의 존재형태, 토양의 pH, CEC, 유기물량 및 재배작물의 종류에 따라 변화하는데<sup>3)</sup>, 특히 토양의 pH는 식물체의 중금속 축적율에 영향을 미치며<sup>8)</sup>, 대부분의 경우 산성쪽에서 높고, 중성을 갈수록 낮아지는 것으로 보고된 바 있다<sup>21)</sup>. 본 실험에서도 배추 엽내로 이동한 중금속의 함량(표 6)은 pH가 산성(pH 5.65-6.23)인 II 실험포에서 훨씬 더 많은 흡수량을 보이고 있으며, 이는 토양

의 pH가 낮아져 중금속의 용출이 일어나 중금속이 식물체내로 이동하기 쉬웠던 것<sup>14)</sup>으로 판단되었다. 또한 토양 중의 유기물은 중금속과 킬레이트화 되는바 토양에 유기물을 시용함으로써 작물에 대한 해를 경감시킬수 있는 것으로 알려져 있고<sup>8, 23)</sup>, 하수슬러지를 20-40ton/ha의 주입시 유기물 함량의 증가로 인해 벼와 옥수수의 열매내 중금속 함량이 낮아졌다<sup>22)</sup>는 보고와 유사하게 본 실험에서도 유기물의 함량이 많았던 20kg/3.3m<sup>2</sup>(II 실험포)의 시용구에서 아연, 카드뮴, 구리 및 크롬의 중금속의 함량이 낮아진 것을 볼 수 있었다. 그러나 슬러지의 시용량의 많고 적음과 중금속 검출량이 일관성을 보이지 않았으며, 규제농도 이하로 검출되었기 때문에 슬러지의 비료로서의 이용은 가능하다고 본다.

Table 6. Exch.-cations and heavy metals content in the Place I and Place II plant as affected by the amount of sewage sludge applied to the soil.

Treatment (kg/3.3m <sup>2</sup> )	Exch.-cations content (cmol <sup>+</sup> /kg)					Heavy metals content (mg/kg)							
	Ca	K	Mg	Fe	Na	Zn	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Cr	
Place I	0	6.95	3.02	2.23	0.12	1.34	4.15	N.D	0.3	0.75	N.D	0.04	0.68
	con	5.09	3.08	1.61	0.13	1.05	2.63	N.D	0.18	0.66	N.D	0.01	0.21
	2.5	6.80	3.27	2.07	0.12	1.64	4.19	0.09	0.32	0.72	N.D	0.01	0.69
	10	5.06	3.69	1.66	0.12	1.36	5.99	0.15	0.31	0.82	N.D	0.2	0.50
	20	8.47	4.25	2.54	0.14	2.75	6.91	0.35	0.54	1.24	N.D	0.6	1.20
Place II	0	8.90	3.70	2.19	0.12	1.07	10.52	1.06	0.83	1.97	0.62	N.D	1.50
	con	10.86	3.91	3.52	0.13	1.72	14.12	1.63	1.10	2.41	0.36	N.D	2.18
	2.5	9.12	5.48	2.59	0.12	2.28	15.89	1.33	1.19	2.87	0.81	N.D	2.01
	10	7.60	2.81	1.93	0.12	1.50	15.58	2.08	1.19	2.83	0.48	0.03	1.92
	20	7.65	2.56	2.00	0.11	1.44	14.91	1.97	1.14	2.70	0.53	0.07	1.89

슬러지의 시용으로 배추를 재배하였을 때 슬러지 내에 다량 함유되어 있는 질소, 유효인산, 유기물 및 무기양분들은 토양의 화학성을 증가시키며 토양의 물리성, 투수성, 보수력을 양호하게 하는 것으로 보여 이로 인한 배추의 생장을 돕고 수량을 증대시키는 것으로 나타났다. 그러나 pH가 낮은 산성 토양에서 중금속의 용출이 일어나 중성이상의 토양에 비해 상대적으로 많은 중금속이 검출되기는 하였으나 규제농도 이하로 나타나 배추재배에 하수슬러지 시여시 실용적으로 유용한 비료로서 이용가치가 있는 자원으로 판단되었다.

## IV. 摘 要

하수슬러지를 배추의 재배지에 0, 1.25, 2.5, 5, 10, 20kg/3.3m<sup>2</sup>를 각각 경운시 사용하여 재배한 결과 재배토양의 EC, CEC, 유효인산, 유기물 등의 토양의 화학성을 개선시키고 배추의 엽수, 엽면적, 생체중 및 건물중을 증가시키는 것으로 나타났다. 슬러지의 사용량에 있어서는 10kg/3.3m<sup>2</sup>, 5kg/3.3m<sup>2</sup>(실험포 I, 실험포 II)을 사용한 처리구에서 양호한 생장을 보였으나 토양의 pH에 따른 유해물질의 용출이 다소 증가되었으므로 재배토양의 산도를 고려하여야 할 것으로 판단되었다. 그러나 그 양은 규제농도 이하의 미미한 양이었으므로 재배토양의 화학성을 증가시키고 생장과 수량을 증대시키는 하수슬러지는 배추 재배시 유용한 비료로서 사용이 가능한 것으로 생각되었다.

## 引用文獻

1. 권순익, 정광용. 1994 유기성폐기물의 비료성분 표준단위 설정. 농업과학기술원 시험연구 보고서(농업기술연구소편). pp.74-100.
2. 김복진, 홍승범, 김태주. 1996. 무생육에 대한 도시하수오니의 사용효과. 한국토양비료학회지. 29(4) : 419-423.
3. 김성조, 백승화, 김주영, 유한중. 1990. 도시하수슬러지의 경작지 처리가 식물체중의 Cd 및 Zn 함량에 끼치는 영향. 한국환경농학회지. 9 : 121-131.
4. Nam, Jae-jak. 1996. Radish growth and soil chemical properties affected by sewage sludge with long term application. Master thesis. Kyungbook National University.
5. 백남진. 1998. 안정화시킨 제지슬러지의 차수재 및 복토재로서의 활용가능성.
6. 우승순, 방명렬, 박정희, 윤경애, 정학수, 김영진. 1996. 하수슬러지 케이크의 농경지 이용에 관한 연구. 강원도보건환경연구원보 7 : 145-154.
7. 원양수. 1993. 하폐수 슬러지 성분 및 성상에 의한 소각처리 타당성 검토. '93환경문제 심포지움. 영남대학교 환경문제 연구소 pp.81-93.
8. 임수길, 이용준, 최호진. 1991. 토양중에서 Cd, Cu 및 Zn의 흡착 및 용탈에 미치는 토양용액의 pH. 한국 환경농학회지 10 : 119-127.4.
9. 정갑영, 신제성, 박영선, 한기학. 1981. 산업폐기물의 비료화에 관한 연구. 한토비지. 14(2) : 11-18.
10. 최의소. 1992. 폐기물 처리와 자원화 연구. 청문각 서울. p.613.

11. Choi, Eui-So, Hoo-Won Park, Won-mok Park. 1995. Utilization of sewage Sludge on agriculture. *Korean J. Environ. Agric.* 14(1) : 72-81.
12. 최의소, 유광태. 1998. 생석회를 이용한 하수소화슬러지의 복토재와 토지개량재로서 이용 가능성. *한국생물환경학회지* 14(3) : 331-337.
13. 최필권, 이석재, 허평, 김상훈, 황찬원, 김태현, 송희일, 김은아, 김태열. 1999. 하수슬러지의 농지이용에 관한 연구. *경기도보건환경연구원보* 11 : 237-252.
14. Alva, A.K., Huang, B., Paramasivam, S. 2000. Soil pH affects copper fractionation and phytotoxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(3) : 955-962
15. Epstein, E. 1975. Effect of sewage sludge on some physical properties. *J. Environ. Qual.* 4(1) : 1 39-142.
16. Garvey, D. 1992. Treatment and disposal of sewage sludge. *Proc. of Sludge 2000. Sewage sludge use and disposal.* Robinson college. Cambridge.
17. Haug, R.T. 1980. Composting of solid waste during extended human travel and habitation in space. *Waste Management & Research* 9 : 453-463.
18. Henry C. L., and Dale W. C. 1994. Biosolidism utilization in forest lands, sewage sludge. *Land utilization and the environment.* SSSA Misc. Publication pp. 89-100.
19. Hong-Jae Lee, Ju-sik Cho, Won-Kyu Lee and Jong-Su Heo. 1997. Effect of municipal sewage sludge and industrial wastewater sludge composts on growth properties of soil and growth of corn plant. *Korean J. Environ. Agri.* 16(3) : 220-226.
20. Kim, S.J., A.C. Chang, A.L. Page and J.E. Warneke. 1988. Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils. *J. Environ. Qual.* 17 : 568-573.
21. McGrath, S.P. 1984. Metal concentrations in sludges and soils from a long-term field trial. *J. Agri. Sci. Cambridge* 103 : 23-25.
22. Simeoni, L.A., Barbarick, K.A. and Sabey, B.R. 1984. Effece of small-scale composting of sewage sludge on heavy metal availability to plants. *J. Environ. Qual.* 13(4) : 213.
23. Steve P, Mcgrath., Amar M. Chaudri and Ken E. Giller. 1995. Long-term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. *Journal of Industrial Microbiology.* 14 : 94-104.
24. Summer, M.E. 2000. Beneficial use of effluents, wastes, and biosolids. *Commum. Soil Sci. Plan.* 31(11-14) : 1701-1715.

25. Tamaka, K. 1991. Present and future status of sewage sludge treatment and disposal in Japan. Waste Water Pacific Rim News.
26. Tester, C.F., L.J. Sikora, J.M. Tyler and J.F. Parr. 1982. Nitrogen utilization by tall fescue from sewage sludge compost amended soils. Argon. J. Soil Sci. 33 : 141-163.
27. U. S. EPA. 1991. Sludge management practices in the U. S.. Biocycle 2(3) : 46.