

## 폐하수슬러지 퇴비 시용이 토양의 화학성 및 옥수수의 생육에 미치는 영향

이홍재 · 조주식<sup>1)</sup> · 이원규 · 허증수

경상대학교 농화학과, <sup>2)</sup>경상대학교 공동실험실습관

### Effects of Municipal Sewage and Industrial Wastewater Sludge Composts on Chemical Properties of Soil and Growth of Corn Plant

Hong-Jae Lee, Ju-Sik Cho<sup>1)</sup>, Won-kyu Lee and Jong-Su Heo (Department of Agriculture Chemistry ; Central Laboratory, Gyeongsang National University, Chin Ju 660-701, Korea)

**Abstract :** To study the possibility of agricultural utilization of the municipal sewage and the industrial wastewater sludges, the chemical properties of soil, the growth response of corn plant and uptake of inorganic nutrients in plant tissues were investigated by application of the composts made of the sludges to the pots at the rate of 2,000kg/10a. The contents of organic matter, T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K in soil were increased by application of the composts. Each heavy metals contents in soil were increased very slightly by application of the composts.

The fresh weights of corn plant were increased with 9~19% and 60~79% at the plot of compost and NPK+composts in comparing with the plot of NPK, respectively.

Uptake of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO and MgO in stem and leaf of corn plant were increased by applications of the composts.

**Key words :** Municipal sewage, Wastewater sludge, Inorganic nutrients

## 서 론

현재 국내 일일 생활하수 및 산업폐수의 발생량은 각각 약 1,463만톤 및 874만톤으로 추정하고 있으며 이들 폐하수 처리를 위한 폐하수처리장의 설치가 매년 증가하고 있다<sup>1)</sup>. 이로 인한 폐하수슬러지의 발생량은 매년 증가하고 있으며<sup>2,3)</sup> 현재 그 처리는 매립, 소각 및 재활용 등의 방법으로 처리하고 있으나 대부분 매립에 의존하고 있는 실정이며, 매립처리는 매립지 확보의 어려움 뿐만 아니라 침출수로 인한 인근 토양 및 지하수의 오염이 큰 문제라 아니할 수 없다<sup>4,5)</sup>. 이러한 문제점을 해결하는 방법으로 폐하수슬러지의 농경지시용은 환경오염을 최소화 할 수 있으며 이의 시용으로 농업생산성 향상을 꾀할 수 있으므로 중금속등의 유해물질로 인한 토양환경을 오염시키지 않은 한 바람직한 방법일 것이다<sup>6)</sup>. 폐하수슬러지는 다른 슬러지에 비하여 유기물함량이 높고 질소 및 인산 등의 무기원소를 다량 함유하고 있으나<sup>7)</sup>, 중금속 및 유기성 독성물질 등의 환경유해성 물질이 함유될 가능성이 있기 때문에 슬러지의 농경지시용은 토양 및 작물오염이 우려되므로 그 시용은 신중을 기해야 할 것으로 판단된다<sup>8,9)</sup>.

일반적으로 폐하수슬러지등 유기성 폐기물의 토양시용효과로는 토양의 입단형성, 투수력 및 보수력의 증가, 지온상승, 양이온치환용량 및 토양완충능 증대, 중금속 유해작용 감소,

작물양분공급효과, 유효미생물의 활성 증대, 유효인산 고정 억제 및 고등식물과 미생물의 기능을 돕는 hormone과 vitamin분비의 촉진등 여러 가지 면에서 그 효과가 있는 것으로 알려져 있으나<sup>10,11)</sup> 토양을 환원상태로 만들고 염류농도를 증가시켜 작물에 악영향을 줄 수도 있는 것으로 보고되고 있다<sup>12)</sup>.

따라서 본 실험은 하수 및 공단폐수슬러지의 농지이용가능성을 구명하기 위하여 이들 슬러지를 주 원료로 하여 생산된 퇴비를 토양에 시용하여 옥수수를 재배함으로써 시기별 토양중 이화학적 특성변화 및 침출액별 중금속 함량 변화, 작물 생육상황 및 식물체 부위별 무기성분 흡수량 등을 조사하였으며, 그 결과를 보고코자 한다.

## 재료 및 방법

### 공시재료

공시 작물은 옥수수(품종 : 수원 19호)를 사용하였으며 옥수수 종자를 항온기내에서 3일간 침종하여 발아시킨 다음 발아가 잘된 종자를 선발하여 파종하였다.

원 하수슬러지는 경남 진주시 환경사업소 하수처리장 슬러지를 사용하였고, 원 공단폐수슬러지는 진주시 환경관리공단 폐수종말처리장의 슬러지를 사용하였으며, 폐수종말처리장에 유입되는 폐수의 대부분은 제지공장에서 배출되는

Table 1. Chemical characteristics of soil used.

	pH (1:5)	O.M -----(% )-----	T-N -----	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -----	SO <sub>4</sub> -----	Ex-cations			Fe	Mn	SiO <sub>2</sub>	Al
						K	Ca	Mg				
Soil	6.53	0.96	0.03	45	153	0.12	5.26	0.69	71.8	17.6	105	2.31

Table 2. Chemical characteristics of composts used.

Composts	pH (1:5)	O.M -----	T-N -----	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub>	CaO	MgO	Av.-SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	-----		
										Fe	Mn	Ex.-Al
Sewage <sup>1)</sup>	6.3	71.6	1.37	1.42	0.16	1.81	0.21	320	453	841	225	89
Wastewater <sup>2)</sup>	6.5	56.4	0.67	0.67	0.14	3.52	0.05	382	279	610	95	106
Commercial <sup>3)</sup>	6.4	44.4	0.41	0.68	0.46	4.32	0.34	316	238	254	77	84

1) : Sewage sludge compost    2) : Industrial wastewater sludge compost    3) : Commercial compost

Table 3. Heavy metals contents in composts used.

Heavy metals	(mg/kg)					
	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
Sewage <sup>1)</sup>	99.7	403	1.9	46.0	33.8	11.7
Wastewater <sup>2)</sup>	32.4	429	1.4	69.9	48.2	6.5
Commercial <sup>3)</sup>	96.4	266	1.1	21.3	4.1	8.7

1) : Sewage sludge compost  
2) : Industrial wastewater sludge compost  
3) : Commercial compost

폐수였다.

그리고 공시 하수 및 공단폐수슬러지 퇴비는 경상대학교 농화학과 환경화학 연구실에서 제조한 퇴비를 사용하였으며, 퇴비제조는 각 슬러지에 부숙재료로서 톱밥을 30% 첨가하여 1차 발효과정을 거친 퇴비를 105일간 2차 후숙시켜 제조하였다. 공시 시판용 퇴비는 시중에 유통되는 퇴비를 구입하여 사용하였다.

공시 토양은 비경작지 토양으로서 그 이화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다.

그리고 공시 하수 및 공단폐수 슬러지 및 시판용 퇴비의 화학적 특성은 Table 2과 같고, 공시 퇴비중 중금속 함량은 Table 3에서 보는 바와 같다.

### 시험방법

각 공시 퇴비를 Pot에 각각 2,000kg/10a 및 NPK+2,000kg/10a 비율로 처리하고 대조구로서 무비구 및 삼요소구를 두었다. 삼요소의 시비는 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 18 : 15 : 15kg/10 사용하였으며 인산 및 카리는 각각 용성인비 및 염화카리로서 파종 2일전 사용하였으며, 질소는 요소로서 파종 2일전 50%, 파종 25일 후 25% 및 파종 50일 후 25% 각각 사용하였다.

각 처리는 5반복으로서 1/6,666a Pot에 완전임의배치법으로 배치하였으며, 각 Pot에 옥수수를 3본씩 파종하였다.

토양 시료 채취는 파종 직후 및 수확기에 행하였고, 생

육조사는 파종 25일후, 50일후 및 수확기에 행하였으며, 식물체 시료 채취는 생육조사를 한 다음 식물체를 각 Pot에서 1본씩 채취하였다.

### 분석방법

공시 퇴비 및 토양은 토양화학분석법<sup>13)</sup> 및 비료분석법해설<sup>14)</sup>에 준하여 다음과 같이 분석하였다.

토양 분석은 pH는 초차전극법, 질소는 kjeldahl법, 유효 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 Lancaster법으로 하였으며, 가용성 SiO<sub>2</sub> 및 활성Al은 각각 CH<sub>3</sub>COONa 및 KCl로 침출 후 비색법으로, 치환성 K, Ca 및 Mg는 NH<sub>4</sub>OAC침출법으로, 활성 Fe 및 유효 Mn은 각각 EDTA 및 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>로 침출시킨 다음 그 여액을 atomic absorption spectrophotometer(Shimadzu AA-680, Japan)로 각각 분석하였다.

토양중 중금속 분석은 시료 10g을 습식분해액으로 분해시켜 여과하여 그 여액을 ICP(Atomscan 25, TJA, U.S.A)로 분석하였다.

공시 퇴비중 pH, 질소, 유효 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 가용성 SiO<sub>2</sub> 및 활성 Al 분석은 공시 토양과 동일한 방법으로 하였으며 유기물은 회화법, 그외 성분은 시료 2g을 습식분해액(HClO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O = 2 : 2 : 1)으로 분해시켜 여액으로 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>은 Vanadate법, 무기성분 및 중금속은 ICP로 분석하였다.

식물체중 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, Fe 및 Mn의 분석은 시료 2g을 습식분해액(HClO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O = 2 : 2 : 1)으로 분해시킨 다음 질소는 Kjeldahl법, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 Vanadate법으로 분석하였으며 K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, Fe 및 Mn는 필요에 따라 회석하여 atomic absorption spectrophotometer로 분석하였다.

식물체중 중금속은 각 시료 20g을 중발접시에 취하여 hot plate상에 가열 회화시킨 다음 냉각시켜 HClO<sub>4</sub> 5ml 및 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10ml를 가하여 분해시킨 후 여과하여 여액을 ICP로 분석하였다.

Table 4. Chemical properties in soil by application of composts.

Treatments		pH	O.M	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>4</sub>	Ex.-cations			Fe	Mn	SiO <sub>2</sub>	Al
							K	Ca	Mg				
		(1 : 5)	----(%)----		---(mg/kg)---		----- (cmol/kg) -----			----- (mg/kg) -----			
Nonfertilizer	A	6.53	0.96	0.04	45	153	0.12	5.26	0.69	71.8	17.6	105	2.31
	B	6.66	1.16	0.02	39	128	0.12	5.40	0.45	76.1	8.1	152	1.92
NPK(18 : 15 : 15)	A	6.38	1.12	0.06	69	355	0.37	5.29	0.80	83.2	19.4	109	1.54
	B	6.69	1.63	0.03	107	223	0.14	5.16	0.66	110.0	10.6	152	3.46
Sewage <sup>1)</sup>	A	6.60	2.46	0.06	176	351	0.14	4.90	0.75	79.1	24.1	105	4.23
	B	6.54	2.11	0.03	96	189	0.09	4.50	0.49	79.9	10.2	125	2.69
NPK + Sewage	A	6.65	2.11	0.07	215	475	0.36	5.39	0.87	146.0	27.2	111	1.92
	B	6.64	2.05	0.04	138	130	0.15	5.52	0.56	89.7	11.2	113	5.00
Wastewater <sup>2)</sup>	A	6.83	2.09	0.05	160	310	0.14	5.92	0.82	99.7	25.4	116	2.38
	B	6.47	2.17	0.03	128	127	0.12	6.95	0.53	81.9	10.8	187	6.54
NPK + Wastewater	A	6.76	1.61	0.08	217	364	0.39	6.13	0.81	104.0	26.6	118	3.46
	B	6.52	1.94	0.03	93	101	0.20	5.94	0.55	76.4	10.0	154	3.08
Commercial <sup>3)</sup>	A	6.80	2.57	0.08	249	200	0.22	7.13	1.15	92.8	21.1	115	3.46
	B	6.52	2.27	0.05	97	123	0.22	7.62	0.60	100.0	6.8	238	3.46
NPK + Commercial	A	7.00	1.95	0.08	305	218	0.68	7.45	1.17	112.0	21.9	122	3.46
	B	6.24	1.96	0.05	180	100	0.26	8.19	0.74	88.7	8.5	210	5.00

1) Sewage sludge compost    2) Industrial wastewater sludge compost    3) Commercial compost

A : At transplanting time    B : At harvesting time

## 결과 및 고찰

### 토양중 화학적 특성 및 중금속 변화

하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비를 Pot에 처리하여 옥수수를 재배함으로써 작물 생육 시기별 토양중 화학적 특성변화를 조사한 결과는 Table 4에서는 보는 바와 같다.

퇴비사용 초기에 퇴비구의 pH는 6.6~7.0 범위로서 대조구에 비하여 약간 증가하였으나, 수확기에는 대조구에 비하여 별 변화가 없었다. 토양중 유기물함량도 각 퇴비의 사용으로 증가되었으며 하수슬러지 및 시판용 퇴비가 공단폐수슬러지 퇴비에 비하여 증가하였다. 토양중 유효인산 함량은 각 퇴비를 사용함으로써 삼요소 하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비 처리구가 삼요소구에 비하여 각각 약 312, 314 및 442% 증가하였으나 수확기에는 그 증가 폭이 현저히 감소하였다. 수확기에 유효인산 함량이 감소한 것은 인산이 작물체내로 흡수되었기 때문인 것으로 생각되었다<sup>15)</sup>. 토양중 카리, 석회 및 고토 함량은 퇴비사용 초기에는 퇴비구가 대조구에 비하여 카리는 증가하였으나 석회 및 고토는 별 차이가 없었고 전반적으로 수확기가 초기에 비하여 토양중 카리 및 고토함량은 감소하였고 석회함량은 별 차이가 없었다. 토양중 철, 망간, 규산 및 알루미늄 함량은 퇴비사용 초기에는 퇴비구가 대조구에 비하여 철, 망간 및 알루미늄은 약간 증가하였으며 규산은 별 변화가 없었고, 전반적으로 퇴비사용구의 수확기는 초기에 비하여 철, 망간

및 알루미늄은 감소하였다. 이는 이<sup>16)</sup> 및 김 등<sup>17)</sup>의 결과와 비슷한 경향이었으며, 김 등<sup>18)</sup>은 발토양중 퇴비의 장기사용으로 토양 pH, 유기물, 인산, 치환성염기 및 규산의 함량이 증가한다고 하였다.

하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비를 Pot에 각각 처리하여 옥수수재배 기간 동안 토양중 중금속 함량 변화를 조사한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 Cu함량은 삼요소에 하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비 처리구가 삼요소구에 비하여 각각 약 44, 63 및 78% 증가하였으며, 수확기에는 사용 초기에 비하여 각 퇴비의 종류에 따라 약간의 차이는 있으나 대체적으로 감소하였다. 토양중 Cd, Pb, Cr 및 Ni 함량은 비슷한 경향으로 퇴비중 중금속량, 퇴비 및 중금속 종류에 따라 약간 차이는 있으나 각 퇴비의 사용으로 토양중 중금속 함량이 약간 증가되었으며, 수확기에는 감소하는 경향이었다. 이는 이<sup>16)</sup>의 하수오니의 혼합비율이 높아짐에 따라 토양중 중금속 함량이 높아진다고 한 보고와 비슷한 경향이었다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 하수 및 공단폐수슬러지 퇴비를 사용함으로써 유기물, 질소, 유효인산, 카리, 철 및 망간의 함량은 증가되었다. 그러나 중금속 등도 매우 적은 양이기는 하지만 증가하였으므로 토양중 장기연용했을 때 이들 중금속이 만약 기준치 이상 증가되면 문제가 아닐 수 없을 것으로 생각되었다. 그러나 본 실험에 사용한 폐수슬러지 퇴비사용시 토양중 중금속은 증가되기는 하였으나 증가 정도는 매우 미미한 정도였으며 이는 우리나라 토양

Table 5. Heavy metals contents in soil by application of composts.

(mg/kg)

Heavy metals	Treatments															
	Non-fertilizer		NPK (18 : 15 : 15)		Sewage <sup>1)</sup>		NPK + sewage		Waste-water <sup>2)</sup>		NPK + wastewater		Commer-cial <sup>3)</sup>		NPK + commercial	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Cu	3.62	4.19	3.56	4.21	5.16	5.06	5.14	5.39	4.12	5.79	4.33	4.17	6.38	9.58	6.33	8.76
Zn	17.2	4.11	18.0	4.16	25.4	7.22	22.3	6.46	28.3	14.3	30.3	8.43	23.9	10.5	24.2	8.93
Cd	0.07	0.18	0.18	0.14	0.13	0.18	0.13	0.14	0.21	0.17	0.07	0.13	0.12	0.16	0.14	0.16
Pb	5.98	4.07	6.40	4.79	3.91	5.30	5.06	5.06	5.32	4.39	6.90	3.89	6.54	5.57	7.12	4.78
Cr	3.52	4.43	3.43	3.54	3.94	3.46	4.72	3.10	4.34	2.48	5.66	4.23	4.77	4.08	4.66	3.93
Ni	1.72	1.79	2.56	1.79	2.22	1.89	1.66	1.18	2.19	1.17	2.00	1.99	1.96	1.77	1.82	1.94

1) Sewage sludge compost 2) Industrial wastewater sludge compost 3) Commercial compost  
A : At transplanting time B : At harvesting time

Table 6. Changes of plant heights and leaves by application of composts at the various growing stages.

	Days after transplanting						
	25		50		75		
	Plant heights	No. of leaves	Plant heights	No. of leaves	Plant heights	No. of leaves	
Nonfertilizer	33 (70)	4.5 (82)	83 (75)	8.2 (88)	169 (98)	11.2 (97)	
NPK(18 : 15 : 15)	45(100*)	5.5(100*)	110(100*)	9.3(100*)	172(100*)	11.6(100*)	
Sewage <sup>1)</sup>	52(116)	5.9(107)	106 (96)	9.6(103)	185(106)	12.4(107)	
NPK + Sewage	54(120)	6.5(118)	135(123)	11.5(124)	197(115)	13.0(112)	
Wastewater <sup>2)</sup>	47(104)	5.8(105)	102 (93)	8.7 (94)	163 (95)	11.8(102)	
NPK + Wastewater	46(102)	6.1(111)	114(104)	9.9(106)	188(109)	12.1(104)	
Commercial <sup>3)</sup>	46(102)	4.9 (89)	98 (89)	9.8(105)	164 (95)	11.8(102)	
NPK + Commercial	51(113)	6.1(111)	119(108)	10.4(112)	184(107)	12.2(105)	
LSD	1%	5.39	0.76	16.3	1.93	18.1	1.97
	5%	4.83	0.58	11.8	1.46	12.4	1.49

1) Sewage sludge compost, 2) Industrial wastewater sludge compost, 3) Commercial compost

\* : Index

환경보전법<sup>19)</sup>에 토양오염 대책기준으로 Cd, Cu, As, Hg, Pb 및 Cr의 각각 4, 125, 15, 10, 300 및 10mg/kg에 훨씬 못 미치는 수준이었다. 국내 비료공정규격<sup>20)</sup>에도 퇴비중 Cd, Pb 및 Cu함량을 각각 5, 150 및 500mg/kg 이하로 규정하고 있으나, 본 실험에 사용한 퇴비는 이 기준치에 훨씬 못 미치는 수준이었다. 따라서 본 실험에 사용한 퇴비 및 퇴비 시용 후 토양중 중금속함량은 이들 규정에 비하여 매우 낮았으나 장기연용 가능성 여부에 관한 보다 확실한 판단은 다양한 토양조건 및 작물을 대상으로 장기연용시험을 수행한 후에야 내릴 수 있을 것으로 생각되었다.

### 옥수수의 생육현황

하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비를 Pot에 각각 처리하여 옥수수를 재배함으로써 시기별 옥수수의 생육현황을 조사한 결과는 다음과 같다.

옥수수의 초장 및 잎수를 조사한 결과 Table 6에서 보는 바와 같이 초장은 파종 25일 후 삼요소구에 비하여 각 퇴비구가 2~16% 증가하였고, 삼요소+각 퇴비구는 약 2~20% 증가하였다. 그 후 각 퇴비구는 삼요소구와 거의 비슷하였으며, 삼요소+각 퇴비구는 삼요소구에 비하여 약간 증

Table 7. Fresh weight of corn plant by application of composts at the various growing stages. (g/pot)

	Days after transplanting			
	25	50	75	
Nonfertilizer	14 (47)	68(49)	164(52)	
NPK(18 : 15 : 15)	30(100*)	169(100*)	320(100*)	
Sewage <sup>1)</sup>	37(123)	188(111)	382(119)	
NPK + Sewage	42(140)	274(162)	574(179)	
Wastewater <sup>2)</sup>	29(97)	176(104)	352(110)	
NPK + Wastewater	40(133)	263(156)	524(164)	
Commercial <sup>3)</sup>	30(100)	165(98)	348(109)	
NPK + Commercial	39(130)	249(147)	513(160)	
LSD	1%	11.9	42.7	81.7
	5%	8.8	32.2	58.9

1) Sewage sludge compost 2) Industrial wastewater sludge compost 3) Commercial compost

\* : Index

가하였다. 잎수는 파종 25일 후 각 퇴비구는 삼요소구와 비슷한 경향이였으나, 삼요소+각 퇴비구는 삼요소구에 비하여 11~18% 증가하였고, 그 후 시일이 경과할수록 삼요소구와 비슷한 경향이였다. 전생육기간 초장 및 잎수는 하

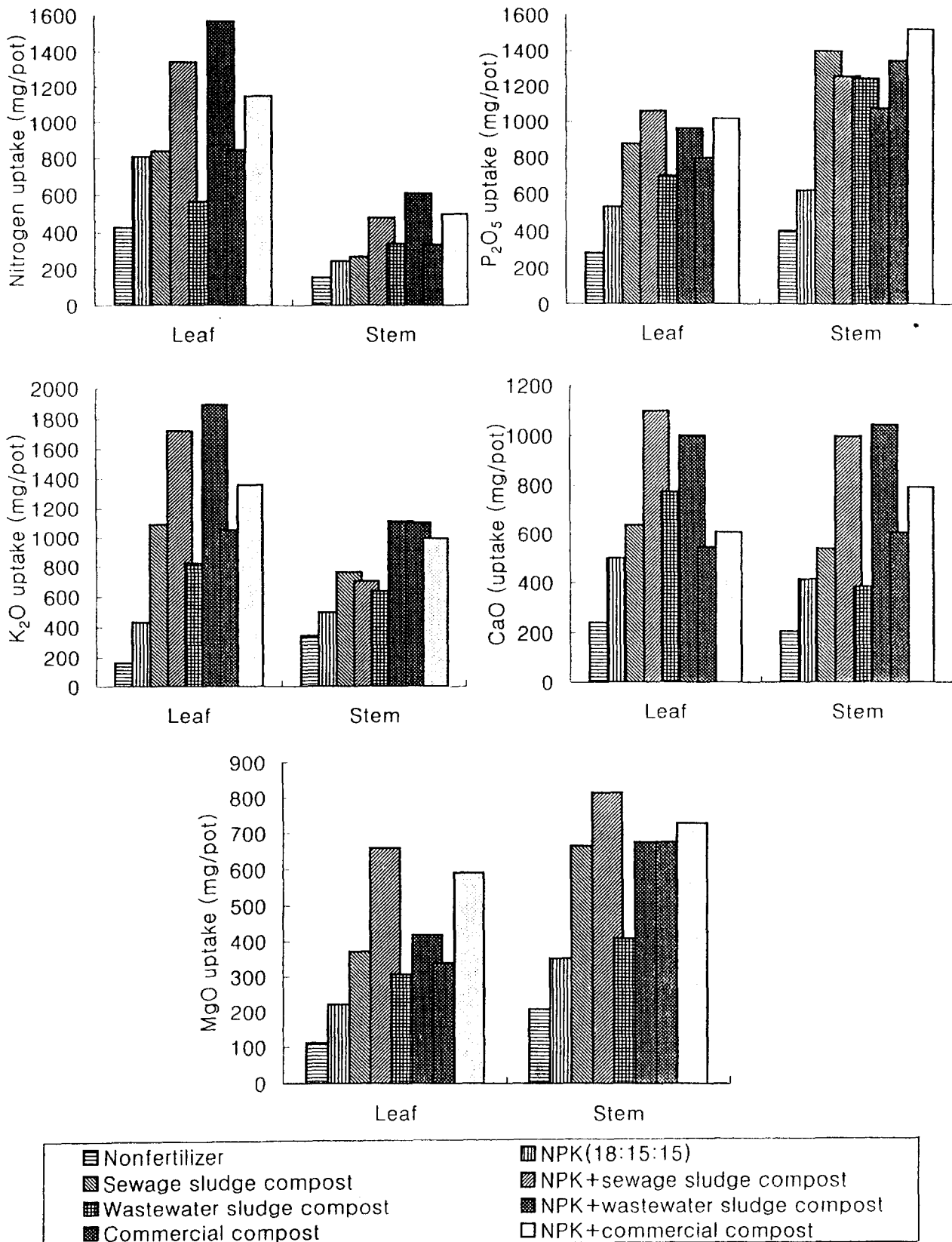


Fig. 1. Inorganic nutrients uptake in corn tissues by application of composts.

수슬러지 퇴비구가 공단폐수슬러지 퇴비나 시판용 퇴비에 비하여 증가하였다.

옥수수의 생체중을 조사한 결과 Table 7에서 보는 바와 같이 파종 25일 후 생체중은 하수슬러지 퇴비구는 삼요소

구에 비하여 약 23% 증가되었으나 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비구는 삼요소구와 비슷하였다. 그리고 삼요소에 하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비 처리구는 삼요소구에 비하여 각각 약 40, 33 및 30% 증가되었다. 파종 50일후 생체중의 증가율은 각 퇴비구만 사용한 구에서는 거의 비슷한 경향이었으나, 삼요소에 퇴비를 사용한 구에서는 증가되었다. 수확기의 생체중은 하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비구가 삼요소구에 비하여 각각 약 19, 10 및 9% 증가하였고, 삼요소에 하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비구에서는 삼요소구에 비하여 각각 약 79, 64 및 60% 증가되었으며, 하수슬러지 퇴비구 > 공단폐수슬러지 퇴비구 > 시판용 퇴비구 순으로 증가하였다.

### 식물체 부위별 무기성분 흡수량 및 중금속 함량

하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비를 Pot에 각각 처리하여 옥수수를 재배함으로써 시기별 옥수수의 수확기 때의 식물체 부위별 무기성분 흡수량 및 중금속 함량을 조사한 결과는 각각 Fig. 1 및 Table 8에서 보는 바와 같다.

Table 8. Heavy metals contents in plant tissues. (mg/kg)

Treatments	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Mn
Leaf						
Nonfertilizer	3.587	17.28	0.447	2.014	64.46	23.43
NPK(18 : 15 : 15)	4.797	22.21	0.488	1.988	68.63	22.39
Sewage <sup>1)</sup>	3.969	15.37	0.483	2.146	51.22	20.40
NPK + Sewage	4.052	18.45	0.573	2.174	57.92	22.80
Wastewater <sup>2)</sup>	3.931	24.59	0.390	2.073	59.94	23.07
NPK + Wastewater	3.333	16.34	0.550	2.219	51.73	25.92
Commercial <sup>3)</sup>	4.462	23.55	0.586	2.090	63.47	18.36
NPK + Commercial	4.198	17.56	0.614	1.924	59.88	24.66
Stem						
Nonfertilizer	1.060	7.738	0.101	0.530	12.64	23.21
NPK(18 : 15 : 15)	1.667	7.586	0.088	0.729	19.23	25.55
Sewage <sup>1)</sup>	1.203	7.729	0.074	1.078	17.89	22.05
NPK + Sewage	1.066	6.674	0.107	1.339	20.45	28.24
Wastewater <sup>2)</sup>	1.156	7.056	0.108	0.579	19.75	21.83
NPK + Wastewater	1.645	5.805	0.140	1.105	19.15	24.98
Commercial <sup>3)</sup>	1.558	8.169	0.100	1.183	23.74	20.77
NPK + Commercial	0.831	5.716	0.104	0.830	18.88	25.42

1) Sewage sludge compost

2) Industrial wastewater sludge compost

3) Commercial compost

식물체 부위별 무기성분 흡수량은 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 잎 및 줄기중 질소의 흡수량은 삼요소에 하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비 처리구가 삼요소구에 비하여 각각 약 65 및 94%, 87 및 145%, 41 및 100% 증가하였다. 인산의 흡수량도 질소의 흡수량과 비슷한 경향으로 각 퇴비의 시용으로 현저히 증가하였으며 각 퇴비구가 삼요소구에 비하여 잎 및 줄기중 각각 약 50~65% 및 101~125% 증가하였다. 또한 모든 시험구에서 줄기가 잎에 비하여 그

흡수량이 많았다. 카리, 석회 및 고토의 식물체 부위별 흡수량은 질소 및 인산의 흡수량과 비슷한 경향이었으며, 카리의 흡수량은 잎이 줄기에 비하여 많았으며, 고토는 줄기에 잎에 비하여 많았다.

식물체 부위별 중금속 함량은 Table 8에서는 보는 바와 같이 잎 및 줄기중 Cu, Fe 및 Mn함량은 모두 퇴비시용구가 대조구에 비하여 별 차이가 없었으나, Zn함량은 퇴비의 종류에 따라서 변화가 심하였고, Cd함량은 모든 부위에서 퇴비의 종류 및 삼요소의 처리유무에 따라 약간의 차이는 있으나 대조구에 비하여 퇴비구가 Cd함량이 약간 증가되었다. 이와같이 퇴비구의 Cd함량이 약간 증가한 것은 김등<sup>21)</sup>의 하수오니의 무에 대한 시용효과 시험에서와 비슷한 결과였다. Cr함량은 잎에서는 별 차이가 없었으나, 줄기에서는 퇴비 시용구가 약간 증가되었다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 삼요소에 하수슬러지, 공단폐수슬러지 및 시판용 퇴비의 시용으로 옥수수의 생육상황 및 생체중은 전생육 기간 동안 증가되었고 무기성분 흡수량도 모든 부위에서 많았으나 퇴비의 시용으로 각 부위별 조사 중금속중 Cd 및 Cr함량이 약간 증가되었다. 이와 같은 결과는 시제품 퇴비를 사용할 경우에는 비슷한 경향이었으나, 퇴비의 장기연용으로 특정 중금속이 식물체내에 기준치 이상 축적될 가능성도 완전히 배제할 수 없을 것으로 생각되므로 장기연용 가능성 여부에 관하여는 금후 토양별 및 작물별 연용시험을 수행한 연후에 판단해야 할 것으로 생각되었다.

### 요 약

하수 및 공단폐수슬러지의 농지이용가능성을 구명하기 위하여 이들 슬러지를 주 원료로 하여 생산된 퇴비를 토양에 시용하여 옥수수를 재배함으로써 시기별 토양중 화학적 특성 변화, 중금속 함량 변화, 작물생육상황, 식물체 부위별 무기성분 흡수량 및 중금속 함량 등을 조사하였으며 그 결과는 다음과 같다.

퇴비 시용으로 토양중 유기물, 질소, 인산 및 카리 함량이 증가되었고, 토양중 중금속 함량도 증가되었으나 매우 미미한 증가였으며 규제 농도에 훨씬 못 미치는 농도였다.

옥수수의 생체중은 각 퇴비구 및 삼요소+각 퇴비구가 삼요소구에 비하여 각각 약 9~19% 및 60~79% 증가하였다.

퇴비시용구가 삼요소구에 비하여 옥수수의 잎 및 줄기에서 질소, 인산, 카리, 석회 및 고토의 흡수량이 증가되었다.

### 참고문헌

1. 환경부(1996). 환경백서, 168~183.
2. 환경처(1992). 토양생물을 이용한 유기성슬러지의 처리 기술 개발과 재활용에 관한 연구.
3. 김수생, 신항식(1993). 유기성폐기물의 자원화와 폐기

- 물관리, 유기성폐기물자원화, 1(1) : 5~19.
4. 남궁완, 최정영(1993). 유기성폐기물의 자원화기술, 유기성폐기물자원화, 1(1) : 33~47.
  5. 정봉수, 강용태(1986). 하수오수에 왕겨 및 톱밥을 혼합한 호기성 퇴비화, 28(3) : 99~106.
  6. 정인호(1995). 제지 및 공단폐수슬러지의 분해특성, 경상대학교석사학위 논문.
  7. Mccalla, T.M., J.R. Petterson, and C. Leu-hing(1977). Properties of agricultural and muncipal wastes, 9~43. In Elliott, L.F., and F.J. Stevenson(ed), Soils for management of organic wastes and wastewater. American Society of Agronomy, Inc.
  8. Rappaport, B.D., D.C. Martens, R.B. Reneau, and T.W. Simposn(1988). Metal availability in sludge-amended soils with elevated metal levels. *J. Environ. Qual.*, 17(1) : 42~47.
  9. 한국환경과학연구협의회(1990). 하수슬러지의 농지주입에 대한 기초조사 연구.
  10. Epstein, E., J.M. Tayer and R.L. Chaney(1976). Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties, *J. Environ. Qual.*, 5(4) : 422~426.
  11. Hortenstine, C.G. and D.F. Ruthwell(1973). Pelletized muncipal refuse compost as a soil amended and nutrient source fir sorghum, *J. Environ. Qual.*, 2(3) : 343~344.
  12. Pagliai, M., G. Guidi, M. Lamarca, M., M. Giachetti, and G. Luccamante(1981). Effect of sewage sludge and composts on soil porosity and aggregation, *J. Environ. Qual.*, 10(4) : 556~561.
  13. 토양화학분석방법(1989). 농촌진흥청 농업기술수련소.
  14. 비료분석법해설(1985). 김영일.
  15. 김정제, 조병옥, 이상규(1987). 유기질 비료(Bio-com) 사용이 상치와 썩갓의 생육 및 수량에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 20(2) : 169~177.
  16. 이주삼(1994). 하수오니침가 토양이 Orchardgrass유식물체의 생육에 미치는 영향, 유기성폐기물자원화, 2(2) : 77~88.
  17. 김정제, 홍병주, 고용균(1991). 축산폐기물의 이용에 관한 연구 : 가축분뇨가 토양화학성 및 옥수수생육에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 24(2) : 137~143.
  18. 김창배, 박노권, 이숙희, 박선도, 최부술(1994). 밭 토양에서 규산 및 퇴비의 장기연용에 의한 보리수량 및 토양의 이화학성 변화, 한국토양비료학회지, 27(3) : 195~200.
  19. 토양환경보전법(1997). 농림부.
  20. 비료공정규격(1995). 농림수산부.
  21. 김복진, 홍성범, 김태주(1996). 무 생육에 대한 도시하수오니의 사용효과, 한국토양비료학회지, 29(4) : 419~423.