

하수슬러지 퇴비 시용이 토양의 화학성 및 벼 생육에 미치는 영향

이홍재, 조주식*, 임영성, 반경녀, 신원교, 허종수

경상대학교 농화학과
*순천대학교 농화학과

Effects of Sewage Sludge Composts on the Chemical Properties of Soil and Growth of Paddy Rice

Hong-Jae Lee, Ju-Sik Cho*, Young-sung Lim, Kyung-Rye Ban, Woon-Kyo Shin, Jong-Soo Heo

Dept. of Agricultural Chemistry, Gyeongsang National Univ., Chinju 660-701, Korea,
Dept. of Agricultural Chemistry, Sunchon National Univ., Sunchon 540-742, Korea
Kyongnam Agricultural Research and Extension Services

ABSTRACT

To investigate the effects of the composts made of sewage sludges on the physico-chemical properties of soil and growth of paddy rice, the variations of chemical properties in soil, the contents of inorganic matters and heavy metals in plant tissues, the contents of heavy metals in brown rice, the growth response of paddy rice and grain yield were investigated. The results were summarized as follows : The contents of organic matters, N, available P_2O_5 and exchangeable K in soil were increased by application of the composts. The contents of N and available P_2O_5 in soil were remarkably decreased at the harvesting time in comparing with the 20th day after application of the composts.

The contents of heavy metals in soil were increased very slightly by application of the compost. At the harvesting time, the contents of N and K were not varied in all plant tissues at the plot of the compost in comparing with the plot of the NPK.

The content of P_2O_5 in plant was increased by application of the composts. The contents of heavy metals in plant tissues and brown rice were not changed among the treatments.

When the composts were applied to the pot at the rates of 1,000, 2,000, 4,000 and 6,000kg/10a with NPK, the numbers of grain yield were increased with 3, 18, 44 and 54% in comparing with NPK plot, respectively.

Dry weight, the numbers of tillers and spikelet of the rice plant were increased by ap-

plication of the composts.

Key Words : Sewage sludge, Compost, Organic matters, Nitrogen, Heavy metals

초 록

하수슬러지의 농지이용가능성을 조사하기 위하여 하수슬러지를 주원료로 하여 생산된 퇴비를 토양에 처리함으로써 벼 생육시기별 토양의 화학적 특성 변화, 식물체중 무기성분 및 중금속함량 변화, 현미중 중금속함량 변화, 작물생육상황, 수량 및 수량구성요소 등을 조사하였다. 토양중 유기물, 질소, 유효인산 및 치환성카리는 퇴비시용 20일 후 퇴비시용량이 증가할수록 증가하였으며, 수확기에는 퇴비시용 20일 후에 비하여 질소, 유효인산은 현저히 감소하였고, 토양중 중금속함량도 퇴비시용량이 증가할수록 증가하였으나 그 증가 폭은 매우 미미하였다. 수확기의 식물체 부위별 질소 및 카리함량은 퇴비시용구가 대조구에 비하여 모든 부위에서 별 차이가 없었으나, 인산함량은 퇴비시용량이 증가할수록 증가하였다. 그리고 식물체 부위별 및 현미중 중금속함량은 처리간 별 차이가 없었다. 벼 수량은 삼요소에 하수슬러지 퇴비를 각각 1,000, 2,000, 4,000 및 6,000kg/10a 시용 하였을 경우 삼요소구에 비하여 각각 약 3, 18, 44 및 54%증가되었으며, 벼의 건물중, 분얼수 및 주당입수는 하수슬러지 퇴비의 시용으로 증가하였다.

주제어 : 하수슬러지, 퇴비, 유기물, 질소, 중금속

1. 서 론

하수슬러지는 다른 슬러지에 비하여 유기물함량이 60%정도 이고 질소 및 인산등의 작물에 필요한 무기원소 등을 다량 함유하고 있는 것으로 알려져 있어 하수슬러지의 농지시용은 농업생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되나, 그러나 하수슬러지는 중금속 및 난분해성 유해물질을 함유할 가능성이 있으므로 그 시용은 신중을 고려하지 않으면 안 될 것이다.

유기물의 시용은 토양의 유기물질 농도를 증가시키고 토양의 수분보유능, 공극량, 입단 안정화 및 온도 절연성 등을 높이는 것으로 알려져 있을 뿐만 아니라(Hortenstien et al., 1973), 토양 pH를 증가시키기 때문에 pH 5.5 이하의 토양에서 나타나는 Al과 Mn의 독성현상을 방지하며, 전기전도도는 증가시킨다고 하였다(Chu et al., 1987).

슬러지의 토양시용시 슬러지중 중금속의 용해성은 환경조건에 따라서 달라지고(Silviera et al., 1977), 기간이 경과함에 따라 비용해성 상태로 변화되는 성질을 가지고 있으며, 토양내 유기물은 중금속 흡착력을 2-4배 증대시키는 것으로 알려져 있으나 미생물에 의하여 유기물이 분해되므로 중금속의 지속적인 흡착을 위해서는 유기물을 보충시켜 주어야 한다는 보고가 있다(정인호, 1995).

Chaney등(1983)은 슬러지의 토양시용시 슬러지중 중금속의 작물체내 축적특성은 토양의 pH, CEC 및 유기물함량등과 관계가 있으며, Corey등(1981)은 중금속이 작물에 축적되지 않게 하기 위해서는 수화물 형태로 되어야 하며, Gamble등(1984)도 토양중 중금속은 토양 유기물중 carboxyl기나 hydroxyl기와 킬레이트 화합물을 생성시켜야 작물이 이용할 수 없다고 하였다. 그러나 Clapp등(1986)은 유기물중 분자량이 적은 유기산

등과 중금속이 결합하고 있을 경우에는 유기산의 분해로 작물에 해를 줄 수 있다고 보고하였다.

이등(1994)은 하수슬러지의 토양시용이 orchardgrass의 생육에 효과가 있었으며 토양의 이화학적 특성을 개선시키지만 중금속의 종류에 따라 작물체내 부위별 그 차이가 인정된다고 하였고, 김등(1992)은 하수슬러지의 처리로 감자, 무, 배추 및 파내의 Cu 및 Pb의 농도를 증가시켰다고 하였으나, 이등(1996)은 하수슬러지 시용으로 대두 및 당근 중 Pb, Cd, Cr, As 및 Hg 등의 중금속 흡수는 증가되지 않았다고 보고하였으며, 또한 한국환경과학연구협의회(1990)는 하수슬러지의 농지시용에 대한 기초조사 결과 토양중 하수슬러지시용시 현미중 중금속함량에는 큰 차이가 없었다고 보고하였다.

본 연구는 하수슬러지의 농지이용가능성을 조사하기 위하여 하수슬러지를 주원료로 하여 생산된 퇴비를 105일간 2차 후숙시킨 후 처리한 벼의 생육 시기별 토양의 이화학적 특성 변화, 식물체중 무기 성분 및 중금속함량 변화, 현미중 중금속함량변화, 작물생육상황, 수량 및 수량구성요소 등을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

공시 작물은 경남 농촌진흥원의 시험포장에서 생육한 수도품종 화신벼(35일묘)를 사용하였다.

공시 하수슬러지 퇴비는 진주시 환경사업소 하수처리장의 슬러지를 경상대학교 농화학과 환경실험실의 pilot퇴비화조에서 제조한 퇴비를 사용하였다. 퇴비의 제조는 슬러지에 부숙재료로서 톱밥을 30% 첨가하여 약 9일간 1차 퇴비화시킨 퇴비를 105일간 2차 후숙시켜 제조하였다.

공시 토양은 비경작지 토양을 사용하였다. 공시 하수슬러지 퇴비 및 토양의 이화학적 특성 및 중금속의 함량은 각각 Table 1 및 2에서 보는 바와 같다. 즉 유기물 및 유효인산함량은 일반 밭토양에 비하여 낮은 편이나, 규산 및 고토함량은 높은 편이다. 하수슬러지로 제조한 퇴비의 Cd, Pb 및 C함량은 각각 약 1.70, 42.3 및 32.0mg/kg으로서 축분으로 제조한 퇴비에 비하여 약간 높았다.

2.2 시험방법

Pot에 하수슬러지 퇴비만 각각 1,000, 2,000, 4,000 및 6,000kg/10a의 비율로 처리한 구와 삼요소에 퇴비를 각각 1,000, 2,000, 4,000 및 6,000kg/10a의 비율로 처리한 구를 두었으며, 대조구로서

Table 1. Characteristics of Soil Used

pH (1:5H ₂ O)	O.M. (%)	T-N	P ₂ O ₅ (mg/kg)	SO ₄	Ex. - cations			Fe	Mn	SiO ₂	Al
					K	Ca	Mg				
					--(cmol/kg) --			---- (mg/kg) ----			
6.5	0.66	0.08	4	59	0.28	1.39	5.80	123	26	65	31

Table 2. Characteristics of Sewage Sludge Compost Used

pH (1:5H ₂ O)	O.M.	T-N (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂	SO ₄
----- (mg/kg) -----								
6.5	67.2	1.37	0.75	6.76	15.9	3.47	351	496
Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
----- (mg/kg) -----								
154	962	280	90.6	321	1.70	42.3	32.0	8.90

무비구와 삼요소구를 두어 총 10개 처리구를 설치하여 pot실험으로 수행하였다. 각 처리는 4반복으로 하였으며 1/667a 크기의 pot에 완전임의배치법으로 배치하였으며 각 pot에는 화신비 어린묘를 4본씩 이양하였다. 삼요소의 사용은 N, P₂O₅, K₂O를 각각 18, 18, 15kg/10a 사용하였으며 인산 및 카리는 각각 용성인비 및 염화카리로서 이양 당일(1996. 5. 15) 전량기비로 사용하였고 질소는 요소로서 이양 당일 50%, 분얼비(1996. 5. 25) 20%, 수비(1996. 6. 16) 20% 및 실비(1996. 7. 15) 10%를 각각 사용하였다. 생육조사는 이양 후 20일(1996. 6. 5), 유효분얼기(1996. 6. 15), 최고분얼기(1996. 7. 15), 출수기(1996. 8. 7) 및 수확기(1996. 9. 15)에 실시하였고 토양시료 및 식물체 시료 채취는 이양 후 20일 및 수확기에 각각 실시하였다.

공시 퇴비 및 토양분석은 토양화학분석법(1989) 및 비료분석법해설(1985)에 준하였다. 특히 공시토양 및 퇴비의 중금속 분석은 시료를 4M-HNO₃용액으로 각각 1시간 침출시킨 다음 여지로 여과하여 그 여액을 atomic absorption spectrophotometer로 분석하였으며, 식물체중 중금속은 각 시료(작물체 5g, 현미 10g)를 증발접시에 취하여 hot plate상에서 가열 회화시킨 다음 냉각시켜 HClO₄ 5ml 및 H₂SO₄ 10ml를 가하여 분해시킨 후 여과하여 여액을 inductively coupled plasma emission spectrophotometer(ICP, Atomscan25, TJA, U.S.A)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 토양중 화학적 특성 및 중금속 변화

하수슬러지 퇴비의 사용량을 달리하여 pot 토양에 처리하여 벼를 재배함으로써 시기별 토양중 화학적 특성 변화를 조사한 결과는 Table 3과 같다.

pH는 퇴비시용 20일 후 퇴비처리구가 무비구와 3요소구에 비하여 증가하였으며 퇴비처리량이 증가

할수록 약간 증가하는 경향이였다. 수확기에는 초기에 비하여 모든 처리구에서 pH가 약간 증가하는 경향이였으나 퇴비처리량 간에는 일정한 경향이 없었다. 퇴비구의 pH가 전반적으로 시일이 경과할수록 상승한 것은 담수에 의해 토양이 환원되었거나 유기물의 사용으로 토양이 더욱 강하게 환원되었기 때문인 것으로 생각되었다.

토양중 유기물함량은 퇴비시용 20일 후 대조구에 비하여 퇴비구가 증가하였으며 퇴비처리량이 증가할수록 유기물함량은 현저하게 증가하였다. 퇴비시용량이 증가할수록 토양중 유기물함량이 현저히 증가한 것은 본 실험에 사용한 공시토양중 유기물함량이 매우 낮았기 때문인 것으로 생각되었다. 또한 처리 시기별로 토양중 유기물함량에는 별 변화가 없었으며 이와 같은 결과는 토양중 유기물의 분해 소모량과 벼 뿌리나 기타 자연적으로 공급되는 유기물의 양이 어느 정도 서로 균형이 유지되었기 때문인 것으로 생각되었다.

토양중 총질소함량은 퇴비시용 20일 후 대조구에 비하여 퇴비시용량이 증가할수록 증가하였으며, 모든 처리구가 시일이 경과할수록 현저히 감소하였으며 수확기때 토양중 질소함량은 퇴비구와 대조구가 서로 비슷하였다. 이는 공시토양중 질소함량이 낮았으므로 퇴비중의 질소를 식물이 대부분 이용했기 때문인 것으로 생각되었다.

토양중 유효인산함량은 퇴비시용 20일 후 대조구에 비하여 퇴비시용량이 많을수록 현저하게 증가하였다. 그러나 모든 처리구에서 수확기가 퇴비시용 초기에 비하여 토양중 유효인산 함량은 현저하게 감소하였다. 이는 공시토양의 유효인산함량이 매우 낮았기 때문에 퇴비중의 인산만 작물이 이용하고 토양중 인산은 작물이 흡수하지 못하는 것으로 판단되었다(이춘희, 1991).

토양중 유효규산은 대조구에 비하여 퇴비시용구가 별로 증가되지 않았다. 그러나 모든 구에서 전반적으로 시일이 경과할수록 유효규산함량이 약간 증

가하는 경향이었으며, 이러한 결과는 유기물을 사용하지 않았을 경우에는 담수환원에 의하여(Park et al., 1986) 그리고 유기물을 사용했을 경우에는 유기물의 분해에 의해서 약간 증가된 것으로 생각되었다.

토양중 치환성 카리 및 석회함량은 대조구에 비하여 퇴비의 사용량이 많을수록 증가하는 경향이었으며 수확기 토양중 카리함량은 대조구와 비슷하였다.

토양중 활성철 및 치환성 망간함량은 대조구에 비하여 퇴비의 사용량이 많을수록 일정한 경향없이 약간 증가하였으며 수확기가 퇴비사용 초기에 비하여 현저히 증가하였다. 유기물을 토양에 사용하거

나 토양반응이 중성으로 되면 토양미생물이 왕성하게 활동하여 철 및 망간의 용출량이 증가되는 것으로 알려져 있다(Ponnamperuma, 1964).

유효 황함량은 대조구에 비하여 퇴비의 사용량이 많을수록 약간 증가하였으며, 수확기에 퇴비사용 초기에 비하여 약간 감소하였다. 그리고 활성 알루미늄함량은 모든 처리구가 대조구에 비하여 퇴비의 사용량이 많을수록 현저히 감소하였으며 처리시일이 경과할수록 현저히 감소하였다. 이는 퇴비사용으로 토양중 pH 및 유기물함량이 높아졌기 때문에 알루미늄이 유기물이나 다른 음이온에 고정되었기 때문인 것으로 생각되었다.

Table 3. Chemical Properties in Soil by Application of the Sewage Sludge Composts

Treatments (kg/10a)	pH (1:5 H ₂ O)	O.M. --(%)--	T-N	P ₂ O ₅	SiO ₂	Ex.-cations			Fe	Mn	SO ₄	Al			
						K	Ca	Mg							
				-(mg/kg)-		--(cmol/kg)--				---- (mg/kg) ----					
Nonfertilizer	A	5.6	0.66	0.08	4	65	0.28	1.39	5.80	123	26	59	31		
	B	5.7	0.89	0.08	4	90	0.14	1.92	6.08	78	188	174	10		
NPK(18:15:15)	A	5.6	0.69	0.09	16	71	0.34	1.38	5.69	128	26	79	26		
	B	6.1	0.81	0.09	7	89	0.11	1.93	5.99	65	309	64	2		
SS	(1,000)	A	5.6	1.05	0.09	18	64	0.31	1.73	5.63	123	35	75	29	
		B	6.2	1.62	0.09	5	94	0.12	2.09	5.23	138	279	165	7	
	(2,000)	A	5.7	1.82	0.11	37	40	0.33	1.77	5.80	134	37	88	24	
		B	6.2	1.67	0.09	13	97	0.10	2.25	5.23	242	309	114	5	
	(4,000)	A	5.9	2.74	0.12	85	65	0.35	2.33	5.70	131	40	100	10	
		B	6.6	2.90	0.08	29	104	0.12	2.67	4.89	549	303	87	3	
	(6,000)	A	5.9	4.07	0.17	181	66	0.34	2.65	5.60	145	51	108	25	
		B	6.5	3.67	0.10	24	100	0.10	2.73	4.29	641	270	83	4	
	NPK+ SS	(1,000)	A	5.7	1.09	0.10	55	63	0.42	1.55	5.64	120	33	98	29
			B	6.6	1.32	0.06	11	90	0.07	1.87	4.99	580	305	109	7
(2,000)		A	5.7	1.79	0.14	71	61	0.43	1.77	5.77	121	21	96	20	
		B	6.6	1.67	0.07	15	94	0.09	2.26	4.72	599	295	118	5	
(4,000)		A	5.7	2.92	0.17	167	67	0.42	2.19	5.75	133	43	116	9	
		B	6.5	3.41	0.09	23	89	0.07	2.41	4.10	913	257	120	2	
(6,000)		A	5.7	3.26	0.22	204	69	0.46	2.62	5.59	150	53	110	3	
		B	6.5	4.00	0.09	51	82	0.09	2.95	3.90	676	265	142	1	

SS : Sewage sludge compost

A : At 20 days after transplanting

B : At harvesting time

하수슬러지 퇴비의 사용량을 달리하여 pot 토양에 처리하여 벼를 재배함으로써 시기별 토양중 중금속함량을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

먼저 토양중 Cu함량은 퇴비사용 20일 후에는 대조구에 비하여 퇴비사용구가 증가하였으며 퇴비사용량이 증가할수록 약간 증가하는 경향이었고, 수확기에는 퇴비사용 20일 후에 비하여 퇴비사용량이 증가할수록 더 증가하였다. 이와 같은 결과는 무비구와 삼요소구와 같은 대조구에서도 토양중 Cu의 농도가 증가한 것으로 미루어 볼 때 이는 담수로 인한 토양환원에 기인 된 영향도 있겠으나 주로 슬러지 퇴비의 사용으로 퇴비중에 함유되어 있는 Cu가 용출된 것으로 생각되었다.

토양중 Zn함량은 모든 침출액 공히 퇴비사용 20일 후에는 대조구에 비하여 퇴비사용량이 증가할수록 약간 증가하는 경향이었으나 수확기에는 그 증가폭이 감소하는 경향이였다. 이는 Zn이 식물의 미량 필수원소이므로 식물이 흡수한 것으로 생각되었다.

그리고 토양중 Cd, Pb, Cr 및 Ni 함량은 퇴비사용 20일 후에는 대조구에 비하여 약간 증가하였으

며, 수확기에는 퇴비 사용 20일 후에 비하여 중금속 종류 및 퇴비처리량에 따라 약간 차이는 있으나 대체적으로 별 변화가 없거나 약간 증가하는 경향이였다.

이상 하수슬러지 퇴비를 토양에 사용하여 토양중 중금속함량변화를 조사한 결과 Zn 및 Cd를 제외한 조사 중금속에서 퇴비사용량이 증가할수록 약간 증가하였으나 대조구에서도 각 중금속의 함량이 증가한 것으로 보아 토양의 담수환원에 의한 자연적인 현상으로 생각되었다. 그러나 퇴비를 사용함으로써 퇴비사용량에 비례하여 증가하기 때문에 장기연용했을 경우 토양중 중금속 축적으로 인하여 문제가 될 수 있을 것으로 생각되어 본 퇴비의 장기연용 가능성 여부에 관한 보다 정확한 판단은 다양한 토양 조건 및 작물을 대상으로 장기연용시험을 수행한 후에야 내릴 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 식물체 부위별 무기성분 및 중금속 함량

하수슬러지 퇴비의 사용량을 달리하여 pot토양에 사용하고 벼를 재배함으로써 수확기의 식물체중 부위별 무기성분함량을 조사한 결과는 Table 5에서

Table 4. Heavy Metals Contents in Soil by Application of the Sewage Sludge Composts

(unit : mg/kg)

Treatments (kg/10a)	Cu		Zn		Cd		Pb		Cr		Ni		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Nonfertilizer	1.85	2.07	5.03	4.02	0.16	0.06	4.98	7.64	0.94	1.42	2.16	2.13	
NPK(18:15:15)	2.07	3.53	6.24	6.02	0.12	0.10	5.78	11.5	0.88	1.36	1.57	2.15	
SS	(1,000)	2.23	3.11	5.73	4.42	0.12	0.09	5.57	9.70	0.74	1.02	2.04	3.02
	(2,000)	2.24	3.98	7.06	5.62	0.15	0.11	6.09	11.1	1.00	1.23	2.01	2.93
	(4,000)	2.60	4.37	8.76	6.23	0.19	0.16	5.92	12.9	1.04	1.92	1.98	2.94
	(6,000)	3.38	6.57	13.1	7.04	0.20	0.18	6.75	13.0	1.28	2.36	2.23	2.89
	(1,000)	2.08	4.67	5.45	4.25	0.17	0.12	5.64	11.2	0.86	1.63	2.01	2.95
NPK+ SS	(2,000)	2.77	4.60	7.38	5.16	0.14	0.13	5.79	13.0	0.94	1.91	2.20	2.91
	(4,000)	6.75	5.07	10.3	6.08	0.19	0.16	6.74	12.5	1.26	1.90	2.31	2.90
	(6,000)	6.12	6.53	11.0	8.43	0.20	0.19	6.12	13.2	1.21	2.03	2.09	2.74

SS : Sewage sludge compost A : At 20 days after transplanting

B : At harvesting time

Table 5. Inorganic Elements Contents in Paddy Rice Tissues at Harvesting Time

(Unit : %)

Inorganic elements	Parts of plant	Non-fertilizer	NPK(18 :18:15)	SS				NPK+SS			
				1,000	2,000	4,000	6,000	1,000	2,000	4,000	6,000
T-N	Root	0.26	0.43	0.34	0.40	0.43	0.33	0.34	0.39	0.45	0.42
	Stem	0.24	0.24	0.22	0.20	0.29	0.26	0.18	0.22	0.22	0.27
	Leaf	0.55	0.51	0.41	0.45	0.65	0.71	0.83	0.63	0.61	0.67
P ₂ O ₅	Root	0.13	0.10	0.18	0.18	0.23	0.19	0.13	0.16	0.22	0.22
	Stem	0.07	0.07	0.24	0.24	0.20	0.21	0.17	0.12	0.13	0.17
	Leaf	0.14	0.11	0.21	0.31	0.31	0.29	0.21	0.26	0.21	0.27
K ₂ O	Root	0.76	0.54	0.67	0.55	0.63	0.56	0.42	0.50	0.45	0.48
	Stem	0.89	0.52	0.50	0.51	0.54	0.81	0.79	0.53	0.66	0.85
	Leaf	0.63	0.81	0.64	0.81	0.86	0.75	1.13	1.09	1.07	1.11
CaO	Root	0.04	0.05	0.05	0.07	0.08	0.08	0.06	0.06	0.10	0.10
	Stem	0.11	0.09	0.08	0.08	0.12	0.12	0.09	0.08	0.08	0.11
	Leaf	0.38	0.45	0.33	0.34	0.36	0.37	0.39	0.43	0.33	0.40
MgO	Root	0.24	0.19	0.19	0.18	0.24	0.24	0.18	0.20	0.20	0.21
	Stem	0.15	0.14	0.15	0.16	0.17	0.13	0.11	0.09	0.10	0.10
	Leaf	0.22	0.30	0.27	0.32	0.36	0.27	0.27	0.29	0.25	0.32

SS : Sewage sludge compost

Table 6. Heavy Metals Contents in Paddy Rice Tissues at Harvesting Time

(Unit : mg/kg)

Heavy metals	Part of Plant	Non-fertilizer	NPK(18 :18:15)	SS				NPK+SS			
				1,000	2,000	4,000	6,000	1,000	2,000	4,000	6,000
Cu	Root	8.00	7.78	7.43	6.69	8.39	6.26	8.20	7.45	7.72	7.72
	Stem	2.02	2.45	2.50	2.72	1.80	1.29	2.39	1.19	1.40	1.19
	Leaf	3.23	2.30	2.43	2.13	1.85	1.87	2.75	2.29	2.02	2.58
Zn	Root	81.1	69.1	83.1	70.3	87.2	56.0	54.7	61.9	87.3	68.2
	Stem	15.8	23.6	33.1	29.1	25.5	21.1	21.2	17.2	19.2	21.2
	Leaf	28.0	32.2	24.4	20.6	17.0	14.4	17.4	22.4	23.7	26.1
Cd	Root	1.66	1.70	1.31	1.13	1.48	1.27	1.62	1.63	1.63	1.57
	Stem	0.100	0.110	0.085	0.032	0.039	0.053	0.033	0.041	0.031	0.071
	Leaf	0.120	0.119	0.109	0.135	0.154	0.143	0.144	0.250	0.178	0.136
Cr	Root	33.5	44.3	33.2	30.7	36.8	33.1	40.6	39.6	42.3	39.5
	Stem	1.02	1.16	1.01	0.99	1.01	0.89	0.43	0.76	0.72	0.79
	Leaf	0.12	0.03	0.06	0.29	0.10	0.11	0.23	0.20	0.19	0.18
Fe	Root	21,932	28,258	20,950	18,799	23,511	22,495	24,318	23,654	26,158	24,864
	Stem	56	71	54	67	121	90	36	139	75	102
	Leaf	202	377	379	382	565	653	428	526	735	512
Mn	Root	516	768	608	805	1,058	919	891	821	833	798
	Stem	440	417	393	329	340	241	467	236	250	335
	Leaf	1,467	1,364	1,173	1,153	1,314	947	1,214	1,541	1,381	1,943

SS : Sewage sludge compost

Table 7. Heavy Metal Contents in Brown Rice

(Unit : mg/kg)

Treatments (kg/10a)	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Mn
Nonfertilizer	1.76	16.1	0.029	0.211	19.9	25.8
NPK(18:18:15)	1.91	18.6	0.021	0.222	19.5	17.6
SS	1,000	1.25	13.7	0.027	0.160	13.7
	2,000	2.09	22.4	0.017	0.163	25.1
	4,000	1.30	17.6	0.018	0.164	24.9
	6,000	1.04	12.5	0.020	0.164	18.6
NPK+ SS	1,000	1.93	17.7	0.018	0.163	16.1
	2,000	1.39	16.9	0.017	0.155	19.4
	4,000	1.19	16.6	0.014	0.141	34.7
	6,000	1.75	19.2	0.015	0.118	39.6

SS : Sewage sludge compost

보는 바와 같다.

식물체중 질소함량은 퇴비시용구가 삼요소구에 비하여 식물체의 모든 부위에서 별 차이가 없었으며, 식물체 부위별로는 잎 > 뿌리 > 줄기 순으로 질소함량이 높았다. 그러나 식물체중 인산함량은 식물체 모든 부위에서 퇴비시용구가 대조구에 비해 전반적으로 상당히 높았으며 잎 > 뿌리 > 줄기 순으로 인산함량이 높았다. 식물체 부위별 카리, 석회 및 고토함량은 퇴비시용구가 대조구에 비하여 퇴비처리량 및 식물체 부위에 따라 다소 차이는 있으나 별 변화가 없었다.

벼 수확기의 식물체 부위별 및 현미중 중금속함량을 조사한 결과는 각각 Table 6 및 7에서 보는 바와 같다. 먼저 식물체 부위별 중금속함량을 조사한 결과 모두 퇴비 시용량에 따라 별 차이가 없었고, 조사된 중금속 모두 뿌리에 가장 많이 함유되어 있었다. Cu함량은 뿌리에 6.3~8.2mg/kg, 줄기 및 잎에 1.2~3.2mg/kg 함유되어 있었고, Zn함량은 뿌리에 56~87mg/kg, 줄기 및 잎에 14~33mg/kg 함유되어 있었으며, Cd함량은 뿌리에 1.1~1.7mg/kg, 줄기에 0.03~0.1mg/kg 그리고 잎에 0.1~0.25mg/kg 함유되어 있었으며, Cr함량은 뿌리에 30~44mg/kg, 줄기에 0.4~1.2mg/kg 그리고 잎에 0.03~

0.29mg/kg 함유되어 있었다.

그리고 식물체중 부위별 Fe함량은 퇴비시용량에 따라서는 대조구와 비교하여 뿌리에서는 일정한 경향이 없었으나 처리량에 따라 변동의 폭이 심하였으며, Fe함량의 대부분이 뿌리에 존재하고 있었으며 그 다음은 잎, 줄기 순이었고 잎에서는 퇴비시용량이 증가할수록 일정한 경향없이 약간 증가하였다. Mn함량은 대조구에 비하여 퇴비시용량에 따라 일정한 경향이 없었고 잎 > 뿌리 > 줄기 순으로 많았다.

현미중 중금속함량은 퇴비시용량에 따라 큰 차이가 없었다. 현미중 Cu함량은 1.2~2.1mg/kg으로서 이는 김등(1982)과 유등(1988)이 보고한 우리나라 현미중 Cu잔류량인 약 3.0mg/kg 및 2.3mg/kg에 비하여 낮았으며, 일본(1977)의 현미중 잔류량인 3.2mg/kg에 비하여 낮았다.

현미중 Zn함량은 13~22mg/kg으로서 이는 김등(1982)과 유등(1988)이 보고한 우리나라 현미중 Zn잔류량인 약 20.6mg/kg 및 16.6mg/kg과 거의 비슷하였으며, 일본(1977)의 27.1mg/kg에 비하여 낮았다. 현미중 Cd함량은 0.014~0.029mg/kg으로서 이는 김등(1982)이 보고한 0.052mg/kg과 유등(1988)이 보고한 0.064mg/kg에 비하여 낮았으며, 일본(1977)의 현미중 Cd함량인 0.052mg/kg에 비하

여 낮았다. 또한 현미중 Cr함량은 0.1~0.22mg/kg 이었다. 현미중 Fe 및 Mn함량은 처리량이 증가할 수록 약간 증가하였다.

3.3 벼 생육 상황

하수슬러지 퇴비의 사용량을 달리하여 pot토양에 사용하여 벼를 재배함으로써 벼의 생육시기별 분얼 수 및 건물중등 생육상황을 조사한 결과는 Table 8에서 보는 바와 같다.

벼의 분얼수는 벼 이앙 20일 후에는 대조구에 비

하여 퇴비사용구가 증가하였으며, 퇴비사용량이 증가할수록 증가하여 최고분얼기까지 비슷하게 증가하였고 그후에는 그 증가 폭이 약간 감소하는 경향이었다.

벼의 건물중은 퇴비사용량이 증가할수록 증가하였다. 수확기의 건물중은 삼요소구를 100으로 하였을 때 퇴비만 사용한 구는 퇴비사용량에 따라 18~82%였다. 그리고 삼요소에 하수슬러지 퇴비를 각각 1,000, 2,000, 4,000 및 6,000kg/10a 사용하였을 경우 벼의 건물중은 삼요소구에 비하여 각각 약 5,

Table 8. Number of Tillers and Dry Weight of Paddy Rice at Various Growing Stages

Stages	Treatments (kg/10a)										LSD	
	Non-fertilizer	NPK(18:15)	SS				NPK+SS				1%	5%
			1,000	2,000	4,000	6,000	1,000	2,000	4,000	6,000		
Number of tillers (Number)												
At 20 days after trans-planting	1.0	5.8	4.4	5.5	5.5	6.2	5.8	7.2	7.7	6.6	0.91	1.28
Effective tillering stage	1.1	12.0	7.8	10.8	14.2	15.0	16.5	17.8	21.1	19.5	1.3	1.8
Maximum tillering stage	2.3	18.5	7.7	10.9	16.1	19.3	22.8	25.9	28.4	30.8	1.5	2.1
Heading stage	1.3	19.2	5.3	9.2	14.4	18.8	19.5	20.9	24.4	25.0	1.7	2.4
Harvesting time	1.5	24.7	4.8	8.5	13.3	16.0	24.0	23.5	27.5	31.3	1.9	2.7
Dry weights (g/pot)												
Effective tillering stage	0.28 (11.5)	2.48 (100)	1.47 (60.5)	1.89 (77.8)	2.27 (93.4)	2.68 (106)	2.50 (103)	3.46 (142)	3.43 (141)	3.89 (160)	0.51	0.70
Maximum tillering stage	1.5 (5.12)	17.2 (100)	4.3 (24.7)	7.3 (42.2)	11.3 (65.7)	16.3 (94.8)	19.5 (113)	22.5 (131)	24.5 (142)	24.8 (144)	3.1	2.9
Heading stage	2.5 (5.40)	46.3 (100)	9.0 (19.4)	15.5 (33.5)	30.3 (65.4)	40.3 (87.0)	52.3 (113)	52.8 (114)	67.5 (146)	66.3 (143)	1.8	2.4
Harvesting time	3.8 (7.42)	50.5 (100)	9.0 (17.8)	12.3 (24.4)	26.8 (53.1)	41.3 (81.8)	53.0 (105)	65.0 (129)	70.8 (140)	89.3 (177)	2.0	2.6

SS : Sewage sludge compost () : Index

29, 40 및 77%증가되었으며 퇴비사용량이 증가할수록 현저히 증가하였다.

벼의 수량 및 수량구성요소를 조사한 결과는 Table 9에서 보는 바와 같다. 벼의 수량은 삼요소구에 있어서는 pot당 약 23.9g이었다. 하수슬러지 퇴비만 각각 1,000, 2,000, 4,000 및 6,000kg/10a 사용하였을 경우 벼의 수량은 삼요소구에 비하여 각각 약 13, 19, 45 및 78%로서 감소하였으나 퇴비 사용량이 증가할수록 현저히 증가하였다. 그러나 삼요소에 하수슬러지 퇴비를 각각 1,000, 2,000, 4,000 및 6,000kg/10a 사용하였을 경우 벼의 수량은 삼요소구에 비하여 각각 약 3, 18, 44 및 54%증가되었으며 퇴비사용량이 증가할수록 현저히 증가하였다.

벼의 주당수수는 퇴비사용량이 증가할수록 증가하였으며, 무비구에 비하여 퇴비사용구가 현저히 증가하였다.

4. 결 론

하수슬러지의 농지이용가능성을 조사하기 위하

여 하수슬러지를 주원료로 하여 생산된 퇴비를 105일간 2차 후숙시킨 후 토양에 처리하여 벼 생육기간 토양의 화학성 및 벼 생육에 미치는 영향을 조사하였다. 하수슬러지퇴비를 사용함으로써 토양 중 유기물, 질소, 유효인산 및 치환성카리는 퇴비 사용량이 증가할수록 증가하였으며, 수확기에는 퇴비사용 20일 후에 비하여 질소 및 유효인산은 현저히 감소하였다. 토양중 중금속함량은 퇴비사용량이 증가할수록 증가하였으나 그 증가 폭은 매우 미미하였다.

하수슬러지퇴비를 사용함으로써 식물체 부위별 질소 및 카리함량은 퇴비사용구가 대조구에 비하여 모든 부위에서 별 차이가 없었으나, 인산함량은 퇴비사용량이 증가할수록 증가하였다. 그리고 식물체 부위별 및 현미중 중금속함량은 처리간 별 차이가 없었다.

벼 수량은 삼요소에 하수슬러지 퇴비를 각각 1,000, 2,000, 4,000 및 6,000kg/10a 사용 하였을 경우 삼요소구에 비하여 각각 약 3, 18, 44 및 54%증가되었으며, 벼의 건물중, 분얼수 및 주당입수는 하수슬러지 퇴비의 사용으로 증가하였다.

Table 9. Grain Yield and Yield Components of Paddy Rice

Treatment (kg/10a)	Grain yield (g/pot)	No. of panicles per plant	No. of spikelets per panicle	Percent of filled grain	Weight of 1,000 grains(g)	
Nonfertilizer	2.3(9.5)	1.3	62.7	85.1	19.4	
NPK(18:18:15)	23.9(100)	19.5	74.0	94.9	24.1	
SS	1,000	3.1(12.9)	4.0	44.3	79.7	21.7
	2,000	4.4(18.5)	6.0	44.9	85.4	21.9
	4,000	10.7(44.8)	12.5	58.0	92.2	24.2
	6,000	18.6(77.9)	15.5	72.7	93.1	23.7
	1,000	24.6(103)	20.0	75.2	94.3	24.8
NPK+SS	2,000	28.2(118)	19.8	72.7	94.2	23.6
	4,000	34.4(144)	22.5	79.5	97.0	23.6
	6,000	36.8(154)	26.0	74.2	95.1	24.5
LSD	1%	2.2	1.6	5.4	-	1.4
	5%	3.8	2.1	7.2	-	1.8

SS : Sewage sludge compost () : Index

참고문헌

- 김복영(1982), "답토양 및 현미증 중금속의 천연잔류량에 관한 연구". 농업시험연구소보.
- 비료분석법 해설(1985), 김영일.
- 정인호(1995), "제지 및 공단폐수슬러지의 분해 특성". 경상대학교석사학위 논문
- 토양화학분석법(1989), 농촌진흥청 농업기술수련소.
- 하수슬러지의 농지주입에 대한 기초조사 연구(1990), 한국환경과학평의회.
- Chaney, R.(1983), "Land treatment of hazardous waste : Pontential effects of waste constituents on the food chain". Noyes Data Crop. Park Ridge, NJ.
- Chu, L. M. and Wong, M. H. (1987), "Heavy metal contents of vegetable crops treated with refuse compost and sewage sludge". Plant Soil. Vol. 103, No. 2, pp. 191~197.
- Clapp, C. E., S. A. Stark, D. E. Clay and Larson W. E.(1986), "Sewage sludge organic matter and properties : The role of organic matter in modern agriculture". The Hague, Netherlands pp. 209~253.
- Corey, R. B., R. Fujii and Henrickson, L. L. (1981), "Bio-availability of heavy metals in soil-sludge systems" Dep. of Eng. and Appl. Sci., Univ. of Wisconsin. pp. 449~465.
- Gamble, D. S., C. H. Langford and Underdown A. W.(1984), "The inter-relationship of aggregation and cation binding of fulvic acid. Complexation of trace metals in natural waters", The Hague, Netherlands, pp. 349~356.
- Hortenstine, C. G. and Ruthwell, D. F.(1973), "Pelletized municipal refuse compost as a soil amended and nutrient source fir sorghum". J. Environ. Qual. Vol. 2, No. 3, pp. 343~344.
- Kim, S. J., S. H. Baek and Chung, D. J. (1992), "Effect of municipal sludge on contents of lead and copper in corp plants". Korean J. Environ. Agric. Vol. 11, No. 1, pp. 9~19.
- Lee, C. H. (1991), "Effects of compost, lime, and silicate fertilizer on the availability of accumulated phosphorus in paddy and upland soils". Ph. D. Thesis. Gyeongsang Nat. Univ.
- Lee, I. B., J. S. Lim, H. T. Lim and Chang, K. W.(1996). "Effect of sewage sludge on the yields and chemical properties of soybean (*Glycine max*) and carrot (*Daucus carota*)". J. of KOWREC. Vol. 4, No. 1, pp. 53~60.
- Lee, J. S.(1994), "The effect of sewage sludge compost amended soils on the growth of orchardgrass seedlings". J. of KOWREC. Vol. 2, No. 2, pp. 77~88.
- Park, Y. S., W. K. Oh and Park, N. J.(1986), "Effect of flooding and organic matter to the release of iron, manganese and silica in soils". J. Korean Soc. Soil Sci. Fert., Vol. 19, No. 1, pp. 1~75.
- Ponnamperuma, F. N. (1964), "Dynamic aspects of flooded soil and nutrition of the rice plant".
- IRRI symposium on the muneral nutrition of rice plant.
- Rhu, H. I., Y. S. Suh, S. H. Jun, M, H. Lee, S. J. Hur and Kim, S. Y.(1988), "A study

on the natural content of heavy metal in paddy soil and brown rice in korea". Rep. of NIER, Kor.Vol. 10, pp. 155~163.

Silviera, D. J. and Sommers, L. E.(1977), "Extractability of copper. zinc, cadmium

and lead in soil incubated with sewage sludge". J. Environ. Qual. Vol. 6. pp. 47~50.

農林水産技術會義 事務局(1977), 農用地土壤の 特定有害物質による 汚染の 解析に 關する 研究