

제약업종 부산물 및 화장품 제조업 폐수처리오니의 고추 비해에 미치는 영향

임동규 · 이상범¹⁾ · 권순익 · 이승환 · 소규호 · 성기석 · 고문환

농업과학기술원 환경생태과, ¹⁾친환경농업과
(2004년 10월 19일 접수, 2004년 11월 25일 수리)

Affect of Pharmaceutical Byproduct and Cosmetic Industry Wastewater Sludge as Raw Materials of Compost on Damage of Red Pepper Cultivation

Dong-Kyu Lim*, Sang-Beom Lee¹⁾, Soon-Ik Kwon, Seung-Hwan Lee, Kyu-Ho So, Ki-Suk Sung and Koh Mun-Hwan (Environmental and Ecology Division, ¹⁾Organic Farming Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-707, Korea)

ABSTRACT : Three sludge types from pharmaceutical byproducts and one sludge type from cosmetic wastewater sludge as raw materials of compost were used in a field based concrete pot (4 m², 2 m × 2 m) for investigating damage of red pepper cultivation. These sludges and pig manure (1 Mg/10a, dry basis) were incorporated into the upper of clay loam soil prior to transplanting with red pepper. Changes in concentration and properties of heavy metal for both of soil and plant were investigated 4 times during of red pepper growth. Plant height and stem diameter of red pepper in sludge treatments except to Pharmaceutical sludge 3 were poor than those of NPK treatment. This result were regarded as an effect of incompleated decomposition sludge which has a lot of organic matter concentration. Amount of total As was increased rapidly Jul. 8. in soil, total Zn · Cu · Pb · Cd were in harvest time, and 1 N-HCl extractable Zn · Cu · Pb · As were risen at middle stage and then decreased. Amounts of nitrogen in plant (leaf and stem) were high in Phamaceutical Sludge 1 and Pig Manure treatment in early and middle stage because of organic matter and nitrogen concentrations and characteristics. Amounts of Zn, Pb, and Ni in leaf and amount of Zn and Pb in stem were increased in harvest time so that we need to have a concern in detail. Total yield of red pepper was Pig Manure > Phamaceutical Sludge 3 > Phamaceutical Sludge 1 > NPK > Phamaceutical Sludge 2 and Cosmetic Sludge treatment was decreased considerably to compare to others. Amounts of Zn and Cu in green and red pepper in harvest time were higher than the other heavy metals. Finally these results can use to utilize that finding damage on crop for authorization and suitability estimation of raw material of compost.

Key words: pharmaceutical byproducts, cosmetic wastewater sludge, red pepper, heavy metal.

서 론

산업의 급격한 발달로 다량의 폐기물이 발생되어 환경을 오염시키므로, 오니의 처리는 점차 커다란 문제로 대두되고 있는 실정이다. 일반적으로 오니는 매립·소각·해양투기·재활용 등으로 처리되고 있는데 소각은 처리비용과 악취 등으로 민원이 발생되기 쉽고, 해양투기는 런던협약으로 처리에 한계가 있다. 매립의 경우는 환경부에서 하수오니를 2003년 7월부터 금지하고 있으며, 음식물류 폐기물 등 유기성 오니는

2005년 1월부터 직매립을 금지할 계획으로 있어서 유기성 오니를 퇴비원료로 활용하기 위한 요구가 더욱 거세질 것으로 보인다¹⁾.

유기성 폐기물의 일부는 퇴비의 원료로 혼합·제조되어 유통되므로 농경지 오염 및 농작물에 피해를 발생시키기도 한다. 현재 퇴비원료로 활용되고 있는 유용한 폐자원은 농림·수산부산물, 인·축분뇨, 음식물류 폐기물, 하수오니, 산업폐기물 중 유기성 오니 등이다^{2,3)}. 농림·수산부산물은 퇴비의 부자재로, 가축분뇨는 퇴비의 주원료로 많이 활용되고 있다. 음식물류 폐기물은 퇴비원료의 혼합비율에 염분이 제한성분으로 작용하며, 하수오니는 읍·면단위의 농어촌 지역에서 발생하는 오니만 제한적으로 사용이 가능하고 대도시에서 발생하

*연락처:
Tel: +82-31-290-0226 Fax: +82-31-290-0206
E-mail: dklm@rda.go.kr

는 하수오니는 전혀 사용이 불가능한 실정이다. 산업폐기물 중 식료품·음료품 및 담배 제조업의 동식물성 잔재물(공정오니)은 퇴비원료로 사용이 가능하나, 식료품·음료품·담배 제조업의 폐수처리오니와 종이 제조업·제약업 및 화장품 제조업의 부산물 및 폐수처리오니는 사전 분석검토 후 사용 가능한 원료로 규정되어 있다^{3,4)}.

유기성 오니를 농업에 잘 활용한다면 토양의 물리성 및 화학성에 긍정적인 효과를 얻을 수 있어 비료로 활용할 가치는 있으나^{5,8)} 오니의 성분은 생산품의 종류와 제조공정 등에 따라 변이가 크기 때문에⁹⁾ 퇴비원료로 활용하기 위해서는 오니의 특성 등을 잘 파악하는 것이 무엇보다 중요하다^{10,12)}.

따라서 본 연구는 퇴비의 원료로 지정된 제약업종 부산물(공정오니) 및 화장품 제조업 폐수처리오니를 사용한 후 고추를 재배하면서 사용한 오니에 의한 작물의 비료피해를 밝혀내고 시기별 토양 및 작물체 중 중금속 함량을 조사하고자 포장시험을 실시하였다.

재료 및 방법

시험재료

비료공정규격의 부산물비료 퇴비의 비고란에 규정된 퇴비의 원료로 사용 가능한 물질과 사용 불가능한 물질(별표 1)⁴⁾ 중에서 “사전 분석검토 후 사용 가능한 원료”로 고시(03. 12. 31)된 제약업에서 발생하는 오니(3점)와 화장품 제조업에서 발생하는 오니(1점)를 채취하여 분석한 성분함량은 Table 1과 같다.

시험재료의 성분함량을 보면 유기물 함량은 제약업종 오니2(PS2)가, 질소성분은 제약업종 오니1(PS1)가, 인산 및 칼리 성분은 돈분이 다른 시험재료보다 높았다. 시험재료의 유기물과 중금속 함량은 “퇴비의 원료 중 사전 분석검토 후 사용 가능한 원료에 대한 지정요령¹³⁾”의 기준에 적합하였다.

재배시험

본 시험은 2003년 농업과학기술원 농업생물부(구 잠사곤충부) 포장의 무저 콘크리트 Pot(크기 4 m², 2×2 m)에서 실시하였으며, 시험전 토양의 이화학적 특성은 Table 2와 같이 식양토이고 성분함량은 보통 밭토양이었다.

시험작물은 고추(진미)이고, 종자를 2월 11일에 파종하여 본엽이 2~3매가 될 때 가식(3월 4일)하였으며 5월 3일에 정

Table 2. Physico-chemical properties of experimental soil

Texture	pH (1.5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	T-N (g/kg)	Av.-P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-Cation(cmol ⁺ /kg)				CEC (cmol ⁺ /kg)
						Ca	Mg	K	Na	
C. L.	5.4	0.27	26.6	1.41	127	4.35	1.27	1.11	0.37	14.7

(mg/kg)													
Total													
1 N-HCl													
0.1 N-HCl													
Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	As	Cd	Hg	As	Cu	Cr	Pb	Cd	
Before	95	15	34	39	22	6	1	0.006	0.15	3	0.15	2	0.08
Limits ^{a)}	300	-	-	-	40	-	-	4	6	50	4 ^{b)}	100	1.5

^{a)}Limits : The warning standard of soil contamination (mg/kg), ^{b)}Cr⁶⁺.

식하였다. 처리내용은 무비(N.F.), 화학비료(NPK), 돈분(PM), 제약업종 오니(3종, PS1~3), 화장품 제조업 오니(CS) 총 7처리를 하였다. 화학비료(관행)구의 사용량은 요소·용성인비·염화칼리를 토양검정시비량으로 사용하였으며, 질소 및 칼리는 50:20:20:10의 비율로 분시하였고 인산은 전량 기비로 사용(5월 2일)하였다. 돈분 및 오니 처리구의 사용량은 건물중으로 ha 당 10톤(20톤/ha, 수분함량 50%)에 해당되는 양 만큼 고추 정식 17일 전(4월 16일)에 현물로 사용하였으며, 오니사용구에 부족한 인산 및 칼리성분은 보정해 주지 않았다. 고추의 재식밀도는 100×40 cm이며, 구당 10주(2월, 5주)이고, 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였다.

분석방법

시험재료의 일반성분 및 중금속 성분은 비료분석법 및 공정규격 해설집¹⁴⁾에, 토양 및 식물체분석은 토양 및 식물체 분석법¹⁵⁾에 준하여 분석하였다.

결과 및 고찰

토양 중 일반성분 및 중금속 함량

제약업종 부산물(공정오니) 및 화장품 제조업 폐수처리오니를 사용한 토양의 유기물 함량과 전질소 함량은 Fig. 1과 같다. 토양 유기물의 경우 생육 초기인 6월 11일에는 돈분 > 제약오니2 > 제약오니1구 순으로 낮아졌으며, 생육 중기(7월 8일, 8월 5일)에는 제약오니2와 화장품오니구가 돈분구 보다 약간 높았고, 수확기(10월 1일)에는 돈분구가 다른 처리구 보다 약간 높았으나 기타 오니 처리구 간에는 차이가 없었다.

Table 1. Physico-chemical characteristics of raw materials used

Materials	pH (1.5)	MC	OM	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	Fe	Al	(mg/kg)									
												Mn	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	As	Cd	Hg	
PM	7.0	75.3	82.5	3.90	2.67	1.56	2.01	0.93	0.37	0.19	0.06	880	891	52	4	5	11	0.5	0.6	0.07	
PS1	4.9	69.5	81.5	7.54	0.77	0.12	0.47	0.07	0.36	0.03	0.01	42	258	21	7	1	3	0.6	0.1	0.03	
PS2	5.4	85.2	95.0	2.42	0.16	1.06	0.70	0.11	0.54	0.05	0.02	106	46	10	0.2	1	1	0.5	0.2	1.25	
PS3	7.3	88.2	79.8	5.20	0.17	0.43	0.64	0.13	0.05	0.52	3.42	65	368	99	3	40	5	0.9	1.0	0.05	
CS	8.3	89.7	81.9	3.07	0.21	0.08	0.63	0.03	0.76	0.14	0.48	42	471	28	5	46	2	0.4	1.0	0.03	
Limit	-	-	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	900	500	300	150	50	50	5	2

MC, Moisture Content; PM, Pig Manure; PS, Pharmaceutical Sludge; CS, Cosmetic Sludge.

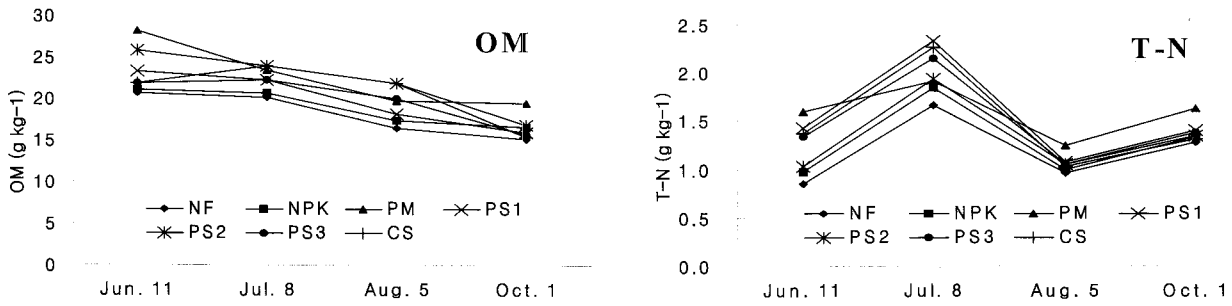


Fig. 1. Concentration of organic matter and total nitrogen in soil during growth period of red pepper. (NF : Non Fertilizer)

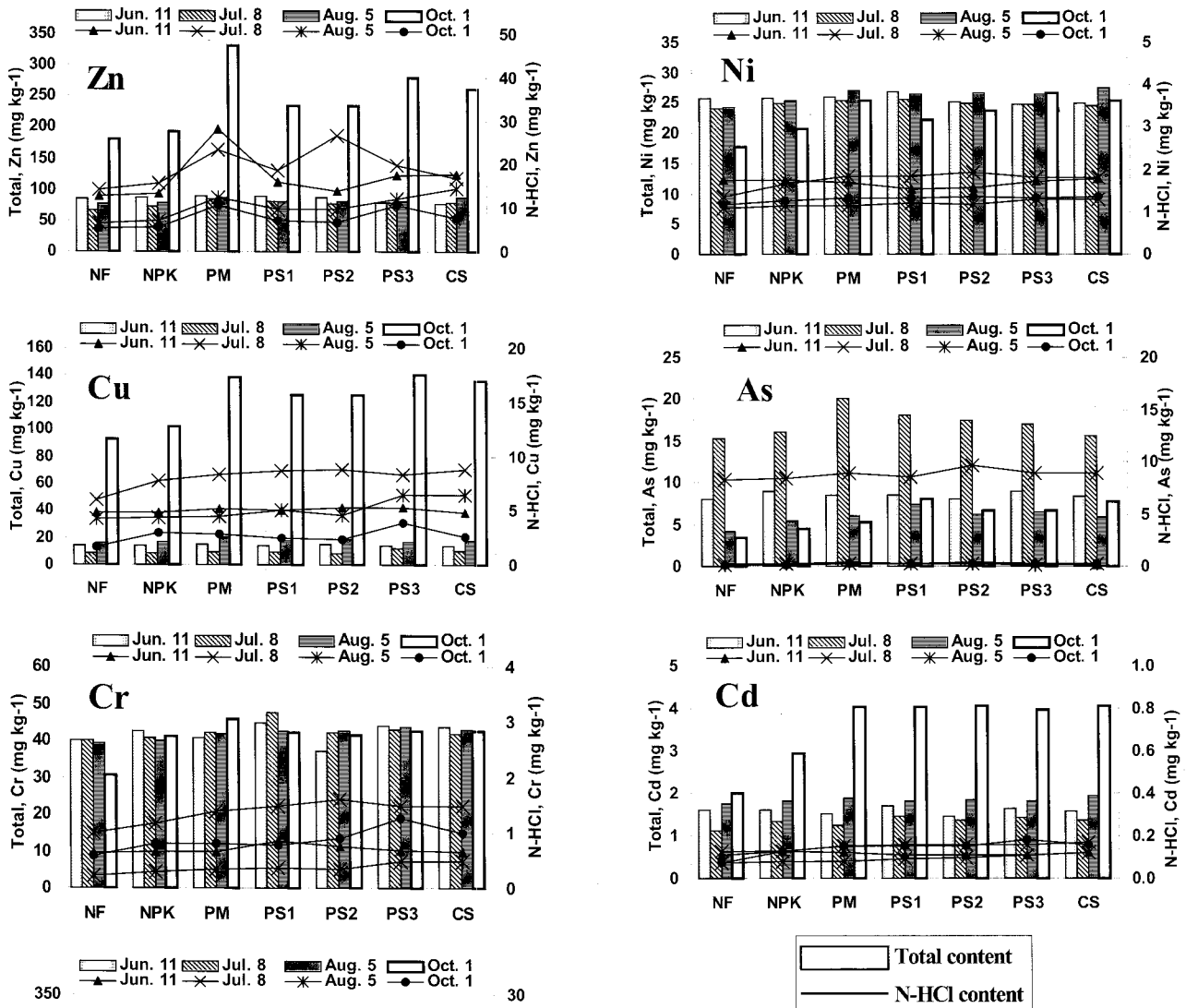


Fig. 2. Concentration of heavy metals in soil during growth period of red pepper.

토양 전질소 함량은 생육 초기(6월 11일)에는 돈분 > 제약오니1 > 화장품오니 > 제약오니3구 순으로 낮아졌으며, 생육 중기(7월 8일)에는 제약오니1, 화장품오니, 제약오니3구가 돈분 구 보다 약간 높았고, 그 이후 돈분구가 다른 처리구 보다 약

간 높았다. 생육 중기인 7월 8일에 토양 중 질소함량이 높은 것은 유기물 함량이 높은 생 돈분과 생 오니를 토양에 사용한 후 시일의 경과, 기온의 상승 및 고추의 생육상황 등으로 인하여 유기물이 분해되어서 질소성분으로 전환되었기 때문인 것으로 생각된다.

토양 중 유기물 및 전질소 함량변화는 서로 비슷한 경향으로 생육 초기에는 돈분구가 가장 높았고, 생육이 진전됨에 따라 오니 처리구가 오히려 돈분구 보다 높았으며, 수확기에는 돈분구가 오니 처리구 보다 약간 높았으나 오니 처리구 간에는 차이가 없었다.

유기물 및 질소함량은 높으나 부숙이 전혀 되지 않은 생 돈분 및 오니들을 토양에 직접 사용할 경우에는 이들이 함유한 유기물과 질소성분의 가용형태와 양분 지속기간이 작물의 생육에 크게 영향을 미칠 것으로 생각된다. 토양 중 유기물 및 질소함량에 대한 영향을 보면 돈분은 시용 초기부터 쉽게 분해되어 작물의 생육 후기까지 영향을 미쳤으나, 제약업종 및 화장품 제조업 오니는 생육 초기에는 분해가 대체로 늦어서 돈분 보다 영향이 적었으나 생육 중기에는 분해가 촉진되어 돈분 보다 오히려 효과가 높았지만 수확기까지 영향이 지속되지 않은 특성을 보여 주었다. Chang 등¹⁶⁾은 정수장 슬러지의 시용으로 유기물 함량과 CEC 등 토양개량에 효과가 있었다고 발표하였는데, 이것은 본 성적과 약간 상이한 것으로 시험재료의 종류에 따라서 효과가 다르게 나타난 것으로 보인다.

생육 시기별 토양 중 중금속 전함량 및 1 N-HCl 가용함량을 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 전함량의 경우 As성분은 생육 중기(7월 8일)에 함량이 급격히 높아졌다가 감소하였으며, Zn·Cu·Pb·Cd성분은 생육 초기 및 중기에는 함량의 차이가 거의 없었으나 수확기(10월 1일)에 갑자기 함량이 증가하였고, Cr과 Ni성분은 시기별로 함량의 차이가 없었다. 1 N-HCl 가용함량에서 Zn·Cu·Pb·As성분은 생육 중기(7월 8일)에 증가하였다가 감소하는 경향이였으며, 기타 성분(Cr·Ni·Cd)은 시기별 차이가 없었다. 수확기 토양의 중금속 함량에서 As성분은 시험 전 토양함량에 비하여 거의 변화가 없었고, Cr·Ni·Cd성분은 약간 증가하였으며, Zn·Cu·Pb성분은 크게 증가하는 경향을 보였다. 우리나라의 토양오염기준과 시기별 토양 중 중금속 함량을 비교하면 생육 중기(7월 8일)에 1 N-HCl 가용성 비소성분만이 토양오염 우려 기준치(6 mg/kg)를 약간 초과하였다가 기준치 이하로 감소하였고 기타 성분은 기준치보다 낮았다.

Gardiner 등¹⁷⁾도 슬러지의 처리량이 늘어날수록 토양 중에서 중금속 함량이 높아졌다고 하였으며, 이것은 슬러지에 함유된 중금속 함량에 비례하여 증가한 것으로 본 성적과 비슷한 경향이였다. 한편 Hg성분은 전함량 및 1 N-HCl 가용함량이 전혀 검출되지 않았지만, Microwave를 이용한 분해방법¹⁴⁾은 시료량은 적고 회석비율은 많아서 Hg성분 같이 검출되는 양이 적은 성분에 대해서 앞으로 좀 더 검토하는 것이 필요하다고 생각되었다.

고추의 생육상황

퇴비원료로 고시된 제약업종 부산물(공정오니) 및 화장품 제조업 폐수처리오니를 사용한 토양에서 재배한 고추의 초장 및 간경은 Table 3과 같다.

고추의 생육은 돈분구가 타 처리구 보다 월등히 좋았고 그 다음은 화학비료구와 제약오니3구는 서로 비슷하였으며, 제약오니2 > 제약오니1 > 무비 > 화장품오니구 순으로 낮아졌다. 생육 초기(6월 8일)에는 제약오니3구가 돈분 및 화학비료구와 서로 비슷하였고 다른 오니구들은 이들 처리구들 보다 생육이 전반적으로 불량하였다. 그러나 생육 후기(9월 20일)에는 화장품오니구를 제외한 다른 오니구들은 회복이 되어 서로 비슷하였으나 화장품오니구는 끝내 회복되지 않고 무비구보다 오히려 생육이 불량하였다. 제약오니3구를 제외한 다른 오니구들의 생육이 초기에 불량한 것은 토양 중에 사용한 생 오니가 충분히 부숙 할 수 있는 시간적 여유가 없었고, 오니 중에 다량으로 함유되어 있는 유기물이 부숙 되면서 발생하는 열 및 가스의 영향인 것으로 생각된다.

생육후기(9월 20일) 이후 수확기(10월 1일)까지 포장을 관찰한 결과 생육이 불량했던 구에서 질소성분의 부족현상이 두드러지게 나타나서 잎이 연록색이 되었으며, 수확기로 갈수록 잎이 낙엽되어 떨어지는 현상도 발생하였는데 그 정도는 무비구가 가장 심하였고 그 다음이 화장품오니구이고 제약오니2구에서는 그 현상이 경미하였다.

따라서 퇴비원료로 지정된 화장품오니구의 생육이 후기에 도 회복되지 못하였으므로, 현재 퇴비원료 지정요령에 규제되어 있는 유기물과 중금속 성분(8성분)만으로 퇴비원료로 활용 가능성을 결정하기에는 부족한 점이 있으므로 이에 대해 앞으로 좀 더 많은 연구를 하여서 보완하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

Table 3. Plant growth of red pepper at different times

Treatment	Plant height (cm)				Stem diameter (mm)			
	Jun. 11	Jul. 8	Aug. 5	Sep. 20	Jun. 11	Jul. 8	Aug. 5	Sep. 20
NF	66.6	97.2	99.3	109.4	10.41	15.77	16.58	18.34
NPK	74.3	101.9	108.3	116.7	11.15	16.69	18.21	21.23
PM	73.3	110.9	117.5	124.7	11.57	17.32	19.02	22.08
PS1	59.8	96.2	109.5	118.5	8.64	14.74	16.96	19.41
PS2	65.0	99.8	107.3	115.1	10.16	15.63	17.23	18.80
PS3	74.5	108.0	111.5	116.4	11.75	17.61	18.83	20.33
CS	54.4	87.0	89.2	98.5	8.10	14.17	15.37	17.37

식물체 중 전질소 및 중금속 함량

시기별 고추 식물체의 잎과 줄기 중 전질소 함량은 Fig. 3과 같다. 잎 중 질소함량은 생육 초기에 가장 높았다가 그 후 생육이 진행되면서 고추 식물체의 부피가 급격히 증가하므로 질소함량은 감소하기 시작하여 수확기에 가장 낮았다. 고추 식물체의 줄기 중 질소함량도 전반적으로 잎 중 질소함량과 비슷한 양상이었으나, 단지 생육 중기(7월 8일)에 급격히 낮아졌다가 다시 높아진 것이 약간 달랐다.

처리별 고추 식물체 잎의 질소함량은 생육 초기에는 화학비료구가 가장 높았고 제약오니·돈분구 순으로 낮았으나, 생육 중기에는 제약오니1·돈분·제약오니2구가 다른 처리구보다 높았으나 수확기에는 차이가 없었다. 고추 식물체 줄기의 질소함량은 고추 잎의 질소함량과 약간 다르게 생육 초기에는 오니구들이 화학비료구 보다 높았으나, 생육 중기에는 제약오니1 및 돈분구가 다른 처리구 보다 높았으며, 수확기에는 제약오니1구가 가장 높았고 다른 구들은 차이가 없었다. 전반적으로 고추 식물체(잎, 줄기)의 질소함량이 제약오니1 및 돈분구에서 높은 것은 이들 시험재료의 유기물 및 질소성분의 특성과 함량에 기인된 것으로 보인다.

Hector 등¹⁸⁾도 가축분뇨 퇴비, 하수오니 퇴비 및 생활하수 슬러지를 포트(8 m², 2×4 m)에 2.5 cm 두께로 250 kg N/ha 사용하였을 때 가축분뇨는 325 kg N/ha, 생활하수 슬러지는 86 kg N/ha 만큼 토양에 질소 공급효과가 있었다고 하였다.

시기별 식물체 중 중금속 함량변화는 Fig. 4와 같다. 고추 식물체 잎의 시기별 중금속 함량을 보면 Cu성분은 생육 중기에는 초기보다 약간 감소하였다가 수확기에 다시 함량이 약간 증가하는 경향이었고, Zn·Pb·Ni성분은 생육 중기에는 초기에 비해 감소하였다가 수확기에 함량이 크게 증가하였으며, Cr·As·Cd성분은 시기별로 차이가 없었다. 처리별로는 수확기에 Zn성분은 돈분 및 화장품오니구에서, Cu성분은 화장품오니구에서, Ni성분은 제약오니2·제약오니3 및 화장품오니구에서 다른 처리구 보다 상당히 높았다. Pb성분은 수확기에 오니(제약오니1~3, 화장품오니)구가 다른 처리구 보다 월등히 높았다.

고추 식물체 줄기의 시기별 중금속 함량을 보면 Zn·Pb성분은 생육 초기 및 중기에는 함량이 차이 없이 서로 비슷하다가 수확기에 함량이 급격히 증가하였으며, 기타 성분들은 시기별로 큰 차이 없이 비슷하였다. 처리별로는 Zn성분은 오니구가 생육 초기 및 중기에는 돈분구보다 함량이 높았으나, 수확기에는 화장품오니구가 가장 높았고 그 다음은 돈분구로서 제약오니구들 보다 함량이 더 높았다. Pb성분은 수확기에만 오니구들의 함량이 다른 처리구보다 약간 높은 경향이였다.

고추 식물체(잎, 줄기)의 중금속 성분 중에서 Zn과 Pb함량이 수확기에 급증한 것은 상당히 주목할 사항으로 생각된다. 돈분을 토양에 사용할 경우 수확기에 Zn성분이 토양에 많이 용출되어 고추 식물체(잎, 줄기)의 함량이 급격히 높아졌다는 사실은 돈분을 퇴비원료로 많이 사용할 경우에는 Zn성분의 토양 및 작물체 집적에 주의를 기울여야 할 것으로 판단되었다.

Miller 등¹⁹⁾도 알팔파 재배토양에 하수오니를 처리하였을 때 작물체내 중금속 함량이 증가하였는데 특히 산성토양에서는 다른 성분보다도 Cu와 Zn이 약 40~50% 이상 더 많이 흡수하였다고 하였다.

고추의 수량, 수확기 고추의 전질소 및 중금속 함량

고추의 적과수량은 Table 4와 같이 3회(8월 13일, 9월 6일, 10월 1일)에 걸쳐 수확하였는데 총 누적수량을 보면 돈분구의 수량이 가장 많아서 화학비료구보다 16% 증수하였으며, 그 다음은 제약오니3구로 약 10% 증수하였고, 제약오니1구와 화학비료구와 서로 비슷하였다. 제약오니2구는 화학비료구 보다 수량이 약간 감소하였고, 화장품오니구는 화학비료구보다 25% 감수하였으나 무비구보다는 수량이 약간 많았다. 돈분구와 제약오니3구는 화학비료구 보다 수량이 많이 증수되었으나 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

화장품오니구와 제약오니2구의 적과수량이 크게 감소한 원인은 생육 후기에서 수확기까지의 질소공급의 부족에 의한 생육부진과 잎의 낙엽에 의한 것으로 판단된다. 따라서 이 두 오니처리구의 비해에 의한 수량감소의 원인은 앞으로 좀 더 많은 연구를 통해서 밝힐 필요가 있다고 생각된다.

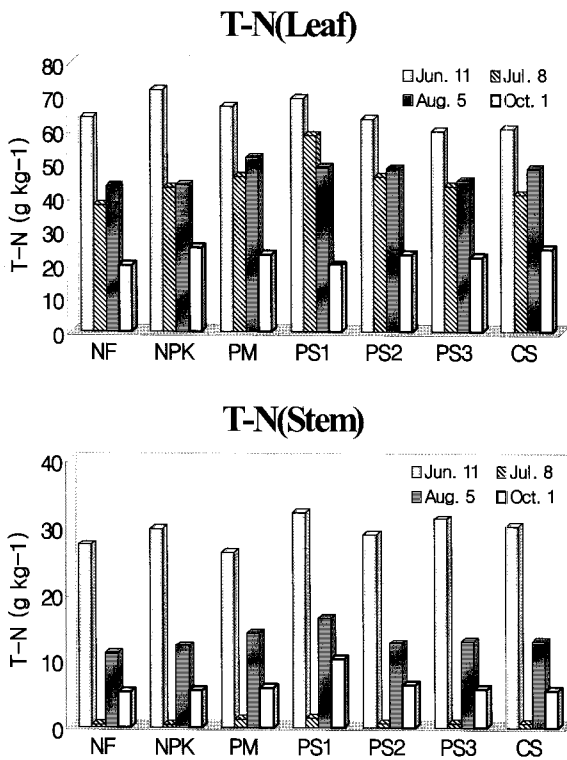


Fig. 3. Concentration of total nitrogen in leaf and stem during growth period of red pepper.

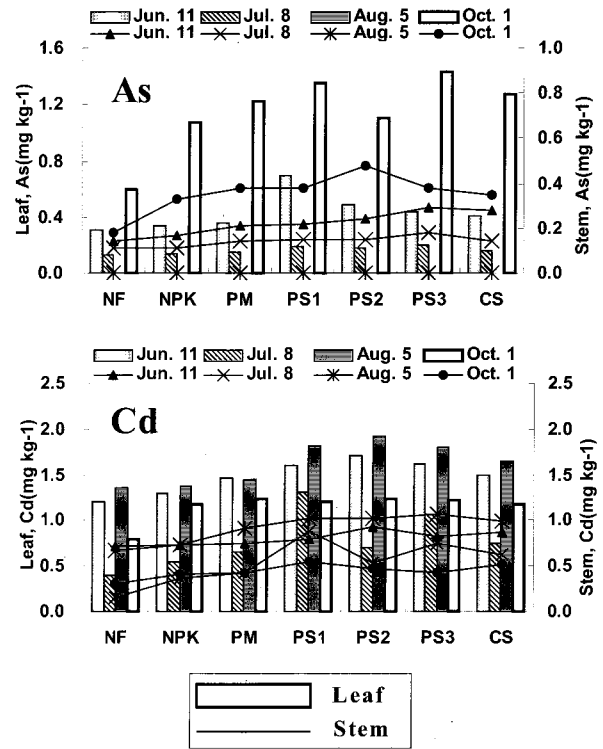
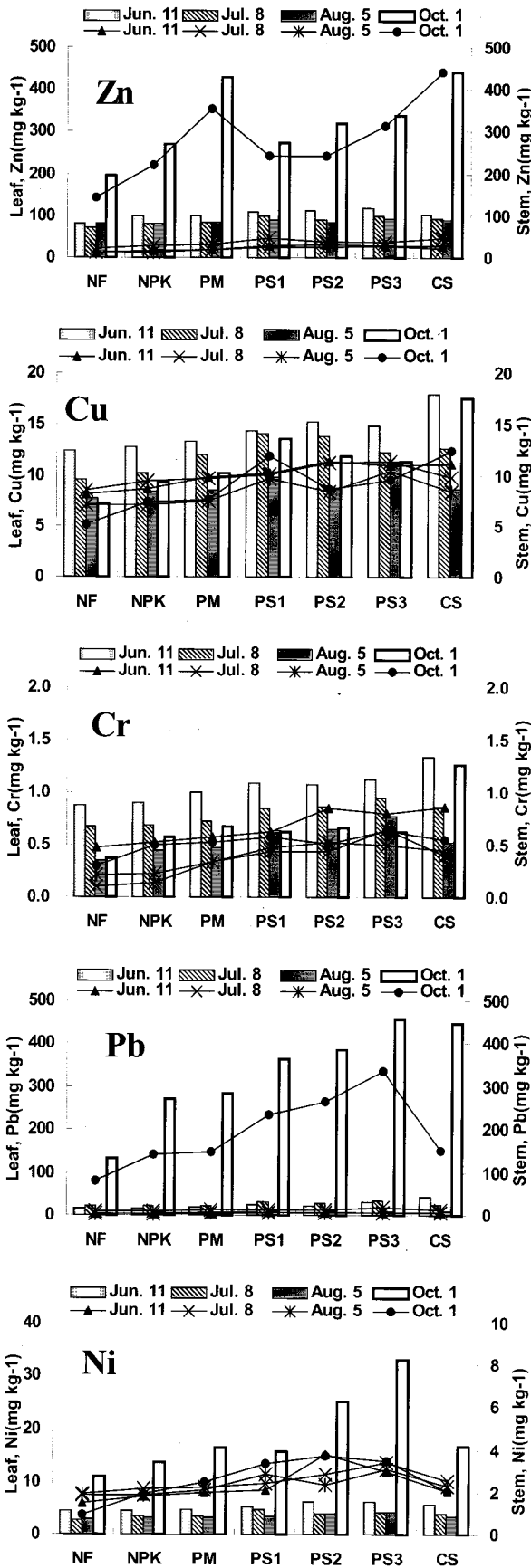


Fig. 4. Concentration of heavy metals in leaf and stem during growth period of red pepper.

Table 4. Yield of red pepper in each harvest time

Treatments	Yield (kg/10plant, pot)				Yield Index
	Aug.13	Sep. 6	Oct. 1	Total	
N.F.	3.56	3.49	0.65	7.70	73.3
NPK	4.51	4.98	1.01	10.50	100.0
PM	4.32	6.58	1.26	12.16	115.8
PS1	3.64	5.65	1.29	10.58	100.7
PS2	3.52	5.63	1.08	10.23	97.4
PS3	4.48	5.87	1.14	11.49	109.5
CS	1.95	5.02	0.87	7.84	74.6
LSD 5%	1.35	1.17	0.44	1.60	
CV %	20.49	12.40	23.85	8.93	

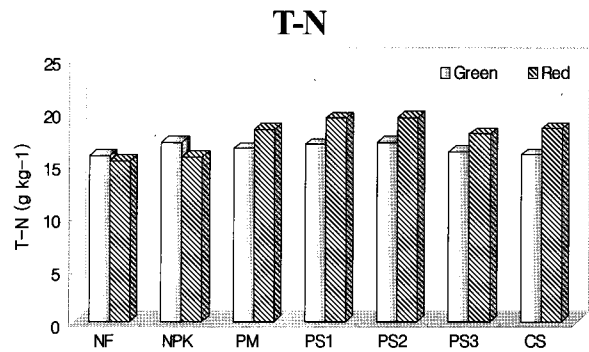


Fig. 5. Concentration of total nitrogen on different part of red pepper in harvest time.

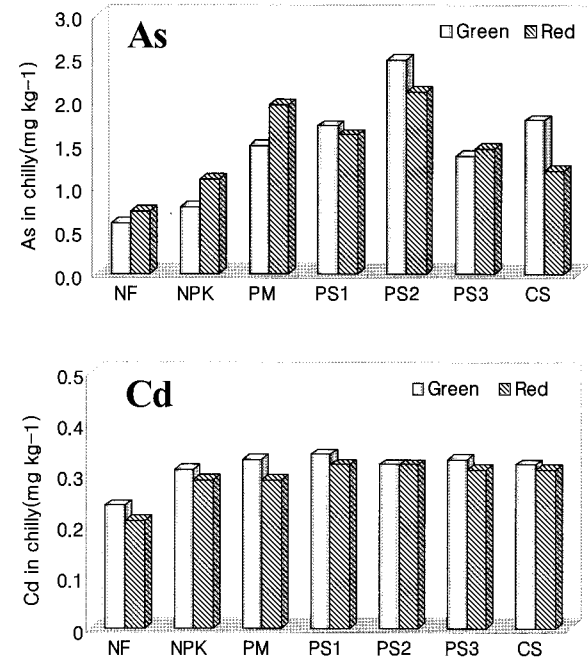
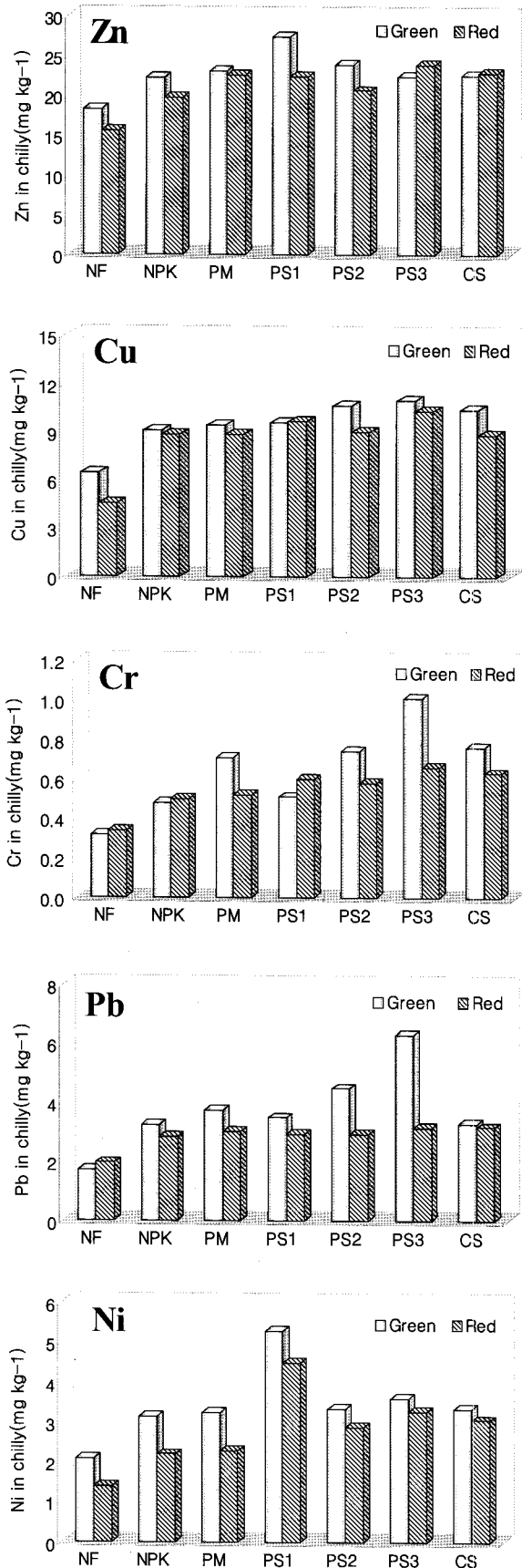


Fig. 6. Concentration of heavy metals in leaves and stems of green pepper and red pepper.

Hong 등²⁰의 연구에서도 오니를 처리한 모든 구에서 일부의 초기생육이 부진한 것은 토양에 사용한 오니의 부숙과정에서 발생한 암모니아가스에 의한 피해인 것으로 생각된다고 하였다. 그러나 생육후기에는 생육이 빠르게 회복되어서 수확기에는 모든 처리구에서 통계적으로 수량 차가 나지 않는다고 하였는데 이는 본 성적과 비슷하였다.

수확기 식물체(잎, 줄기, 청과, 적과)의 전질소 함량은 Fig. 5와 같다. 고추 식물체의 부위별 질소함량은 잎이 가장 높았고, 그 다음은 적과가 청과보다 약간 높았으며, 줄기의 질소함량은 잎·청과·적과의 질소함량보다 상대적으로 아주 낮았다. 처리별 고추의 질소함량을 보면 잎에서는 화학비료구가 가장 높았고 그 다음은 화장품오니구이며, 줄기에서는 제약오니1구가 가장 높았고 이들 외에 기타 처리는 서로 비슷하였다. 청과와 적과의 질소함량은 처리 간에 차이가 없었다.

수확기 고추 청과 및 적과의 중금속 함량(Fig. 6)은 청과가 적과보다 전반적으로 중금속 성분별 함량에서 약간 높은 경향을 보여 주고 있었는데, 이것은 수확기 고추 식물체의 청과 및 적과의 질소함량과는 약간 다른 결과이었다. 고추의 청과 및 적과에 흡수된 중금속 성분별 함량은 Zn성분이 가장 높았고, 그 다음으로 Cu성분이 높았으며, 다른 중금속 성분들은 함량이 아주 낮았다. 처리별로는 청과에서 Zn 및 Ni성분은 제약오니1구가, Pb성분은 제약오니3구가 타 처리구들 보다 조금 높은 경향을 보여 주었다.

그러므로 유기성 오니를 퇴비원료로 사용할 경우 오니 중의 Zn·Cu·Pb·Ni성분의 함량과 특성은 상당히 중요한 것으로 판단된다. Kim 등²¹은 우리나라 전국 주산단지에서 조사

한 수확기 농산물 중 곡류·두류·서류·채소류 및 과실류 생체 중 중금속 함량의 평균범위는 외국에서 조사한 결과와 비슷한 수준이었다고 하였으며, Nathalie 등²²⁾은 농경지 토양에 투입한 하수오니에 존재하는 무기양분이나 중금속 성분이 작물에 그대로 흡수 및 이용할 수 있기 때문에 식물체에 존재하는 중금속 함량도 중요하다고 하였다.

퇴비원료 중 "사전 분석검토 후 사용 가능한 원료"로 지정된 원료에 대해 퇴비원료로 사용을 신청할 경우 현재 퇴비원료의 규정에는 유기물과 중금속 성분(8성분)만 규제하고 있으므로, 퇴비 제조회사가 신청하여 허가된 원료로 퇴비를 제조할 경우 원료의 종류, 혼합비율, 제조방식, 제조과정 등에 따라 퇴비제품의 특성과 성분 등이 달라지므로 허가된 원료가 퇴비원료로서 적합한지 작물에는 피해가 없는지 등은 판단하기는 곤란한 실정이다.

따라서 유기성 오니를 퇴비의 원료로 사용할 경우에는 현재 퇴비원료에 규제되어 있는 중금속 함량 외에 토양 중에 집적되는 중금속의 함량과 작물체의 중금속 함량도 중요하므로, 앞으로 유용 유기성 자원을 퇴비원료로 지정할 때는 작물의 식용 부위의 중금속 성분과 함량도 고려해야 할 것으로 생각되었다.

본 시험에서 얻어진 결과를 토대로 하여 퇴비원료로 사용하는 재료에 대해 적합성을 판단하기 위해 작물의 비해 시험방법을 제시하고자 한다. 작물의 비해 시험방법은 퇴비원료를 현물(건물 중으로 1톤/10a 환산)로 작물의 파종이나 정식(이식) 15일 전에 사용하고, 1~2회 토양을 경운한 다음 작물을 재배한다. 작물의 비료 사용량은 퇴비원료를 토양검정시비 혹은 표준시비량으로 사용하고, 질소성분은 사용한 퇴비원료의 질소량으로 충분하므로 생략하고, 인산 및 칼리성분은 사용된 퇴비원료에서 부족된 양 만큼 화학비료로 대체하여 사용한다.

요약

본 연구는 퇴비의 원료로 지정된 제약업종 부산물(공정오니) 및 화장품 제조업 폐수처리오니를 사용한 후 고추를 재배하면서 사용한 오니에 의한 작물의 비료의 피해를 밝히기 위해 포장에서 작물의 생육과 수량(적과, 청과), 시기별로 토양 및 식물체 중 중금속 함량 등을 조사하였다.

토양 중 유기물 및 질소성분은 시험재료의 성분함량이 높은 처리구에서 생육 초기(6월 11일)에 높았다. 토양의 중금속 성분에서 전함량의 경우 As성분은 생육 중기(7월 8일)에 함량이 급격히 높아졌다가 감소하였으며 Zn·Cu·Pb·Cd성분은 수확기에 갑자기 함량이 증가하였고, 1 N-HCl 가용함량에서 Zn·Cu·Pb·As성분은 생육 중기에 증가하였다가 감소하는 경향이였다.

고추의 생육(초장, 간경)은 초기에는 오니구(제약오니3구 제외)가 화학비료구보다 전반적으로 불량하였는데 이는 유기물 함량이 높은 미 부숙된 오니의 영향인 것으로 생각되며, 생육 후기에는 회복이 되어서 화장품 오니구를 제외하고는

서로 비슷하였다. 고추 식물체(잎, 줄기)의 질소함량에서 생육 초기 및 중기에 제약오니1과 돈분구가 높은 것은 이들 시험재료의 유기물 및 질소성분의 특성과 함량에 기인된 것으로 보이며, 식물체 중 중금속 함량에서 잎은 Zn·Pb·Ni성분이, 줄기는 Zn·Pb성분이 수확기에 급격히 높아졌으므로 이들 성분에 대해서 주의할 필요가 있다고 생각된다. 고추의 총 적과 수량은 가축분뇨 > 제약오니3 > 제약오니1 > 화학비료 > 제약오니2구 순으로 낮아졌으며, 화장품오니구는 타 처리구보다 상당히 감소하였다. 수확기 고추 청과 및 적과의 중금속 함량은 Zn과 Cu성분이 타 성분들보다 높았고, 처리별로는 청과에서 Zn 및 Ni성분은 제약오니1구가, Pb성분은 제약오니3구가 타 처리구들보다 조금 높아서 유기성 오니를 퇴비원료로 사용할 경우 오니 중의 Zn·Cu·Pb·Ni성분의 특성과 함량이 상당히 중요할 것으로 판단된다.

따라서 퇴비원료로 지정된 오니 중에서 화장품오니와 제약오니2에서 생육 후기부터 수확기에 걸쳐 질소성분의 부족 현상에 의한 생육부진과 낙엽, 어떤 원인인지 알 수 없지만 비해에 의한 수량감소 등의 원인을 앞으로 연구를 통해서 밝힐 필요가 있다고 생각된다.

본 시험의 결과는 퇴비원료로 지정하거나, 지정된 퇴비원료의 사용을 신청할 때 허가할 퇴비원료가 작물에 대해 적합한지 알아보는 방법의 일환으로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Ministry of Environment (2004) Home page (<http://www.me.go.kr>).
2. Ministry of Agriculture and Forestry (2004) Fertilizer Control Act.
3. Rural Development Administration (2004) Official Specification of Fertilizer.
4. Rural Development Administration (2004) Possible materials and non possible materials of using as raw materials of compost (Asterisk table 1).
5. Levi-Minzi, R., Riffaldi, R., Guidi, G. and Poggio, G. (1985) Chemical characterization of soil organic matter in a field study with sewage sludges and composts, In: Williams, J. H., et al. (Eds), Long Term Effects of Sewage Sludge and Farm Slurries Applications, Elsevier, New York, NY, p.151-160.
6. Dar, G. H. (1997) Impact of lead and sewage sludge on soil microbial biomass and carbon and nitrogen mineralization, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 58, 234-240.
7. Elsgaard, L., Petersen, S. O. and Deboř, K. (2001) Effect and risk assessment of linear alkyl-benzenesulfonate (LAS) in agricultural soil, 2. Effects on soil microbiology as influenced by sewage sludge and incubation time,

- Environ. Toxicol. Chem.* 20, 1664-1672.
8. Petersen, J. (2001) Review of Danish field experiments with sewage sludge and composted household refuse as a fertilizer source, In : Dhir, R. K., et al.(Eds.), Recycling and Reuse of Sewage Sludge, Proceedings of the International Symposium at University of Dundee, Scotland, UK, March 19-20, 2001, Thomas Telford Publishing, p.175-189.
 9. Smith, S. R., Woods, V. and Evans, T. D. (1998) Nitrate dynamics in biosolids-treated soils, I. Influence of biosolids type and soil type, *Bioresource Technol.* 66, 139-149.
 10. Debosz, K., Petersen, S. O., Kure, L. K. and Ambus, P. (2002) Recycling of sewage sludge and household compost: effects on soil fertility under laboratory and field conditions, *Appl. Soil Ecol.* 19, 237-248.
 11. Eom, K. C., Lim, D. K., Jung, K. Y., Shin, J. S. and Kim, J. H. (2003) Development of models for sustainable agriculture adaptable to different agricultural regime, Development on practical using models of organic resources in detail agricultural regimes, Ministry of Agriculture and Forestry, p.107-225.
 12. Lim, D. K., Kwon, S. I., Lee, S. B. and Koh, M. H. (2003) The present status, characteristics and prospect of agricultural use on organic waste resources in domestic, Agricultural use and assessment of environment contamination on organic waste resources at International Science Seminar, UNDP Environment-Friendly Agriculture Project Group, Rural Development Administration and National Institute of Agricultural Science & Technology, p.47-106.
 13. National Institute of Agricultural Science & Technology (2004) The specified gist on possible materials of using after analysis and investigation among raw materials of compost.
 14. National Institute of Agricultural Science & Technology (2003) Official Methods of Analysis of Fertilizer and Explanation Book for Official Specification of Fertilizer.
 15. National Institute of Agricultural Science & Technology (2000) Official Methods of Analysis of Soil and Plant.
 16. Chang, K. W., Lee, I. B., Lim, J. S., Kim, Y. H., Lee, S. S. and Lim, H. T. (1996) Effect of application of water treatment sludge on the yields and chemical properties of soybean (*Glycine max*) and carrot (*Daucus carota*), *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 29, 275-281.
 17. Gardiner, D. T., Miller, R. W., Badamchian, B., Azzari, A. S. and Sisson, D. R. (1995) Effects of repeated sewage sludge applications on plant accumulation of heavy metals, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 55, 1-6.
 18. Hector, G. A. and Russell, D. B. (2003) Nitrogen mineralization of sewage sludge and composted poultry manure applied to willow in a greenhouse experiment, *Biomass and Bioenergy* 25, 665-673.
 19. Miller, R. W., Al-Khazraji, M. L., Sisson, D. R. and Gardiner, D. T. (1995) Alfalfa growth and absorption of cadmium and zinc from soil amended with sewage sludge, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 53, 179-184.
 20. Hong, S. D., Seok, Y. S. and Sa, T. M. (2001) Effect of waste sludge of fermentation by-product on the growth of young radish and chemical properties of soil, *J. Kor. Environ. Agric.* 20, 8-14.
 21. Kim, M. K., Kim, W. I., Jung, G. B. and Yun, S. G. (2001) Safety assessment of Heavy metals in agricultural products of Korea, *J. Kor. Environ. Agric.* 20, 169-174.
 22. Nathalie, K., Bonin, G., and Massiani, C. (2001) Biological and ecophysiological reactions of white wall rocket (*Diplotaxis erucoides* L.) grown on sewage sludge compost, *Environmental pollution* 117, 365-370.