

도시하수오니의 처리가 작약뿌리의 중금속함량에 미치는 영향

최 정 · 장상문 · 이동훈 · 최충렬 · 박선도¹⁾
경북대학교 농과대학 농화학과 ²⁾경상북도 농촌진흥원

Effect of Municipal Sewage Sludge Application on the Contents of Heavy Metals Content in *Paeonia abiflora* Pall Root

Jyung Choi, Sang-Moon Chang, Dong-Hoon Lee, Choong-Lyeal Choi and Seon-Do Park¹⁾ (Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea, Tel : 053-950-5717, Fax : 053-953-7233, email : choij@bh.kyungpook.ac.kr ²⁾Gyeong-pook Provincial Rural Development Administration, Taegu, Korea)

Abstract : This study was conducted to find out the effect of municipal sewage sludge application on the yield and the heavy metal content in *Paeonia abiflora* Pall root. When the municipal sewage sludge was applied to the soil, the yields and growth of *Paeonia abiflora* Pall increased, and the contents of T-N, P in soils increased, while there is no difference in contents of heavy metals and inorganic materials in roots. Therefore, it is apparent that the contents of heavy metals in roots of *paeonia abiflora* Pall would not due to increase with the municipal sewage sludge application.

Key words : Municipal sewage sludge, heavy metal, *Paeonia abiflora* Pall, Field cultivation, soil conditione

서 론

도시생활하수의 정화처리 과정에서 최종산물로 나오는 sludge는 그 발생량이 날로 증가하고 있으며, 이것의 폐기로 인하여 발생하는 토양, 수질 및 대기의 2차오염이 환경보존차원에서 심각한 문제로 대두되고 있다^{1,2)}. Sludge를 처리하는 방법으로는 일반적으로 소각, 해양투기 및 매립이 알려져 있다. 그러나 최근에는 sludge를 경작지토양에 사용하여 토양의 물리성을 크게 개선시키는 효과가 있음이 보고되었으^{3,4)}, 산림토양에 처리함으로써 식물영양의 공급원으로서의 효과와 함께 하수오니에 함유된 중금속류의 회석 효과가 있음이 보고된 바 있다⁵⁾. 김 등⁶⁾은 쪽파, 무우, 감자 및 배추의 재배지토양에 하수오니를 토양개량제로 처리하여 Cd, Zn의 농도를 조사한 결과, 식물체 중 중금속의 함량이 증가 함을 보고하였다. Rappaport들⁷⁾에 의하면 옥수수 재배지토양에 하수오니를 처리한 결과, 수량 및 잎과 줄기의 중량이 증가되었다. 그러나 하수오니를 경작지

에 사용하면 토양 중 중금속의 농도를 높히는 원인이 될 수 있다^{8,9)} 따라서 도시 생활하수 오니의 집적으로 인한 환경오염의 피해를 줄이기 위해서는 이들 하수오니를 잔디밭이나 산림토양과 같이 비식용식물을 생산하는 경작지에 사용하는 방법도 고려해 볼 수 있을 것이다.

최근에 남¹⁰⁾은 하수오니를 무재배토양에 3년동안 연속처리한 연구결과, 하수오니를 농경지에 사용할 수 있다고 발표했다. 미국의 EPA와 같이 토양의 처리량과 처리시기를 엄격히 기록하고 보고하도록 하여 무분별한 사용을 억제하는 안전장치가 도입된다면 토양과 농작물의 오염없이 하수오니를 농경지에 재활용할 수 있다고 보고하였다. 도시 생활 하수오니를 퇴비의 대체원으로 사용할 때 토양과 식품이 오염되는 것을 방지하기 위해서는 하수오니의 사용전에 충분한 검토가 이루어져야 하겠다.

따라서 본 연구에서는 도시 생활하수 오니를 작약의 재배지에 토양개량제로서 사용량을 달리 하여 첨가하고 작약의 생육상과 뿌리 중 중금속의 함량에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

포장시험

대구광역시 동호동 소재 경북농촌진흥원 포장에서 공시 작물로는 3년생 작약(*Paeonia albiflora* Pall)을 사용하였으며, 하수오니는 대구광역시 소재 신천수질환경사업소 하수종말처리장의 생활하수오니를 사용하였다.

생활하수 오니의 처리량을 0, 3, 5, 10 및 15톤/10a 수준으로 처리하였으며, 시험구배치는 난괴법으로 3반복 실시하였다. 재배방법은 재식거리는 60 x 40 cm, 시비량은 N-P₂O₅-K₂O = 24-20-19 kg/10a로 전량기비로 사용하고 표준재배법에 따라 재배하였다. 포장시험에 사용된 공시토양의 화학성은 Table 1과 같았고, 생활하수 오니의 화학성은 Table 2에 나타내었다.

실험개론

1)공시토양 및 생활하수 오니

Table 1. Chemical properties of the field soil.

pH (1:5)	O.M (%)	Avail.-P ₂ O ₅ (cmol/kg)	Exch.-Cations(cmol/kg)			
			K	Ca	Mg	Na
5.8	2.3	198	0.31	4.05	1.12	0.19

정 등¹¹⁾에 의한 우리나라 작약 재배지 토양의 평균치는 pH 5.8, 유기물 3.0%, 유효태 P₂O₅ 379mg/kg이다. 이와 비교해 보면 본 연구 포장 토양의 유기물과 유효태인산의 함량이 2.3%, 198mg/kg으로써 평균치보다 낮게 나타났다.

Table 2. The chemical properties of the municipal waste sludge cake used in this experiments.

pH (1:5)	OM (%)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	치환성염기(cmol/kg)				Cu	Zn	Cr	Cd	Pb
				K	Ca	Mg	Na					
7.1	16.76	4.26	785	1.92	30.67	9.03	1.56	28.1	49.6	2.5	0.5	2.8

식물체시료의 채취 및 조제.

식물체시료의 채취는 생육조사 후 처리구별로 3본씩 채취하였다. 시료를 흐르는 물로 깨끗이 씻은 후 탈이온수로 3회 정도 행구어 건조시킨 다음 분쇄기로 분쇄하여 폴리에틸렌제 광구통에 넣어 냉장실에 보관하면서 분석시료로 사용하였다.

분석방법

공시 오니 및 토양의 분석은 토양화실험¹²⁾ 및 토양화학분

석법¹³⁾에 준하여 실시하였다. 토양 및 오니 중의 중금속 함량은 건조 시료 10g을 H₂SO₄-H₂O₂로 습식분해한 다음 여과하여 그 여액을 ICP로 분석하였다.

Table 4. The Chemical properties of soils of *Paeonia abiflora* Pall at harvest with the application of M.W.S.

Treat. (ton/10a)	Soil	pH (1:5)	OM (%)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Exch.-cations(cmol/kg)			
						K	Ca	Mg	Na
0	A ^{Top}	6.2	1.7	0.03	163	0.21	5.09	1.32	0.21
	B ^{Sub}	6.3	1.6	0.04	74	0.17	5.21	2.15	0.20
3	A	6.4	1.8	0.45	179	0.24	6.24	1.37	0.36
	B	6.7	1.4	0.13	80	1.21	7.46	3.21	0.20
5	A	6.5	1.9	0.59	183	1.30	6.32	1.97	0.33
	B	6.7	1.3	0.17	74	1.21	6.02	2.21	0.24
10	A	6.3	1.0	0.69	192	0.37	6.93	1.73	0.19
	B	6.5	1.6	0.21	81	0.13	5.62	2.19	0.19
15	A	6.7	1.8	0.71	182	0.53	7.12	1.83	0.12
	B	6.3	1.0	0.30	97	1.27	6.27	1.79	0.18

A: Top soil B: Sub soil

결과 및 분석

수확기 작약 재배토양의 화학성

무시용구에 비해 오니 시용구의 pH가 6.3~6.7로 약간씩 높아지는 경향을 보였는데, 이는 시용 오니의 pH가 7.0로 토양보다 높았기 때문에 판단된다. 하수오니를 시용하면 토양 중 유기물, 전질소, 인산 및 치환성 카리, 석회 및 고토의 함량이 표토에서는 뚜렷하게 증가하였으나, 심토에서는 시용량에 따른 일정한 경향을 나타내지 않았다. 이는 하수오니가 표토에 첨가되었고, 이것이 심토에 이동이 용이하지 않았기 때문에 판단되어 진다.

남¹⁰⁾은 무재배토양에 하수오니를 처리하여 그 효과를 연구한 결과 하수오니의 처리량이 증가할수록 토양 중 질소, 유기물, 인산 및 치환성 양이온의 함량이 증가한다고 보고하였다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 도시하수 오니를 시용하면 토양 중에 유기물, 질소, 유효인산 및 치환성 양이온 함량이 증가하는 것으로 나타났다.

수확기 작약 재배토양의 중금속함량.

토양에 하수오니를 시용한 결과 시용량이 증가하면 토양 중의 Zn과 Pb함량은 약간 증가하였으나 그의 중금속의 함량은 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. Table 5에서 볼 수 있는 것과 같이 도시하수 오니를 토양에 처리한 결과 무처리에 비하여 토양 중에 중금속 함량이 약간 증가하였다. 그러나 이 함량은 환경보전법의 토양오염 대책기준치인 Cu, Cd, Pb 및 Cr의 기준 50, 4, 300 및 10 mg/kg에 훨씬 못 미치는 수준으로 나타났다. 이는 Table 2.에서 보여주는 것

Table 5. The heavy metals content in soils of *Paeonia albiflora* Pall at harvest with the application of M.W.S. (mg/kg)

Treat. (ton/10a)	Soil	Cu	Zn	Cr	Cd	Pb
0	A ^{Top}	1.27	0.20	0.07	0.06	0.09
	B ^{Sub}	0.78	0.16	0.04	0.08	0.03
3	A	1.67	0.72	0.09	0.05	0.13
	B	0.73	0.19	0.03	0.06	0.03
5	A	1.72	0.82	0.08	0.03	0.32
	B	0.92	0.17	0.04	0.08	0.27
10	A	1.25	0.64	0.08	0.09	0.27
	B	0.73	0.19	0.06	0.08	0.47
15	A	1.27	0.54	0.23	0.08	0.25
	B	1.20	0.21	0.07	0.09	0.37

A:Top soil. B:Sub soil.

과 같이 하수오니 중 중금속 함량이 아주 낮기 때문에 이들이 토양 중 중금속 함량 변화에 크게 영향을 주지 못하기 때문이다. 따라서 도시 생활하수 오톤 중 유해성분 함량을 철저히 분석한다면 경작토에 시용하여도 무방하다고 여긴다.

작약의 수량구성요소

하수오니를 시용한 토양에서 생육한 작약의 수량구성요소를 조사한 결과는 Table 6과 같았다.

작약을 재배하는 토양에 하수오니를 처리한 결과 작약 뿌리의 수량은 처리 및 수준의 차이가 명확하였다. 뿌리의 생체중은 하수오니 15ton/10a 시용으로 무시용구에 비해 56% 증가한 것으로 나타났다. 줄기무게, 초장, 가지수 및 가지의 굵기도 하수오니의 시용량이 증가할수록 명확하게 증가하였다. 이러한 결과로 볼때 하수오니의 시용은 작물의 수량을 높이는데 효과적인 것으로 나타났다. 이것은 시용된 오톤을 비료함량으로 환산할 때 중비 효과와 더불어 토양 중의 여러 가지 요인이 복합적으로 상승 작용한 결과로 여겨진다.

Table 6. The growth and yields of *Paeonia albiflora* Pall at harvest with the application of M.W.S. (mg/kg)

Treat. (ton/10a)	Root (g/plant)	Index	Stem (g/plant)	Height (cm)	Stem No. (No./plant)	Stem size (mm)
0	591	100	94	75	11.6	7.5
3	647	111	109	81	12.9	7.8
5	686	119	113	85	13.4	7.9
10	803	143	137	86	13.7	8.0
15	864	156	142	89	14.1	8.2

Table 7. The contents of minerals in roots of *Paeonia albiflora* Pall according to the Municipal waste sludge application (%)

Treat. (ton/10a)	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
0	0.74	0.47	1.23	1.13	0.21
3	0.92	0.51	1.21	1.23	0.27
5	1.32	0.62	1.35	1.24	0.23
10	1.24	0.53	0.12	1.24	0.19
15	1.93	0.67	0.23	1.79	0.24

작약 뿌리 중의 무기성분 함량

하수오니를 수준별로 처리한 토양에서 생육한 작약 뿌리 중의 무기성분 함량을 조사한 결과는 Table 7과 같았다.

작약 재배시 하수오니를 시용하면 작약 뿌리 중의 무기성분 함량은 무시용구에 비해서는 증가한 것으로 나타났으나, 처리 수준 간에는 일정한 경향을 나타내지 않았다. 이러한 원인은 시용량이 증가하면 뿌리가 흡수한 무기성분의 절대량은 증가할지라도 뿌리 발육이 왕성하여 수량이 증가함으로(Table 6참조) 무기성분의 농도는 오히려 떨어져 무기성분함량을 희석시킨 결과를 초래한 것으로 판단된다.

작약 뿌리 중의 중금속함량

토양에 하수오니를 수준별로 처리하고 작약을 재배하여 뿌리 중의 중금속 함량을 분석한 결과는 Table 8과 같았다.

중금속 함량이 높은 토양에서 생육할수록 식물체 중 중금속 함량이 높아진다. 그런데 Table 8의 결과를 보면 작약재배 토양에 하수오니를 시용하면 시용량에 따라 흡수한 중금속의 절대량은 증가하였으나(Table 6참조) 작약 뿌리 중의 중금속 농도에는 뚜렷한 영향을 미치지 못했다.

이것은 하수오니 자체의 중금속 함량이 아주 낮았고, 이로 인해 하수오니를 시용하여도 토양 중의 중금속 농도에 영향이 거의 없었기 때문(Table 5 참조)으로 고찰된다.

Table 8. The contents of heavy metals in root of *Paeonia albiflora* Pall with the application of Municipal waste sludge. (mg/kg)

Treat. (ton/10a)	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr
0	4.5	2.9	0.06	0.05	0.7
3	6.3	2.7	0.05	0.05	1.4
5	4.9	2.7	0.08	0.05	1.4
10	3.9	2.9	0.12	0.07	1.4
15	4.7	2.8	0.07	0.06	1.4

요 약

작약재배지에 도시 하수 오니를 시용하여 재배지토양 및 작약뿌리 중에 함유된 중금속함량을 조사한 결과는 다음과 같다.

작약재배지에 하수오니를 시용하면 시용량이 증가할수록 수량과 생육이 양호 하였으며, 토양 중 총질소와 인산 함량이 증가 하는 편이며 중금속 함량에는 차이가 없었다.

하수오니의 시용량을 증가하면 작약뿌리에 의한 무기성분 및 중금속 흡수량은 증가했으나 뿌리 중의 농도는 변화가 없었다. 결과적으로 도시 하수 오니도 유해물질이 낮으면 경작토에 처리하여도 무방하다.

참고문헌

1. Hong-Jae Lee, Ju-sik Cho, Won-kyu Lee and Jong-su Heo(1997), Effect of municipal sewage and industrial wastewater sludge composts on chemical properties of soil and growth of corn plant, *Korean J. Environ. Agr.*, 16(3):220~226
2. Lee H.J., J.S Cho, H.S. Choi and J.S. Heo (1997), Development of operating paramesters for composting of wanicipal sewage sludge, *Korean J. Environ. Agric.*, 16(4):382~389
3. Epstein, E(1975), Effect of sewage sludge on some soils physical properties, *J. Environ. Qual.*, 4(1):139~142.
4. Khaleel, K., R. Reedy, and M. R. Overcash(1981), Changes in soil physical properties due to organic waste applications, *J. Environ. Qual.*, 10(2):133~141.
5. Henry C. L., and Dale W. C.(1994), Biosolidism utilization in forest lands, sewage sludge: Land utilization and the environment, *SSSA Misc. Publication*, p.89~100.
6. Kim S.J., S.H.Back, J.Y. Kim and H.C Yoo(1990), Effect of Municipal sludge on contents of cadimium and Ziu in crop plauts, *Korean J. Environ. Agric.*, 9(2):121~131
7. Rappaprot, B. D., D. C. Martens, R. B. Reneau, Jr, and T. W. Simpson(1988), Metal availability in sludge-amended soils with elevated metal levels, *J. Environ. Qual.*, 17(1):42~47.
8. Persicani, Danilo(1995), Analysis of leaching behaviour of sludge applied metals in two field Soils, *Water, Air and Soil Pollution*, 83:1~20.
9. Chang, A. C., A. L. Page, and J. E. Warneke(1983), Soil conditioning effects of municipal sludge compost, *J. Environ. Engin.*, 109:574~583.
10. Jae-jak Nam (1996), *Redish growth and soil chemical properties affected by sewage sludge with long term application*, Master thesis, Kyungpook National University.
11. Goo-Bok Jung, Bok-youn kim, kyu-sik kim, Jong-sik Lee and In-soo Ryu chemical Plant cultivated Soils, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.*, 19(1):20~25
12. Choi JJ., and Syn Y.O.,(1990), *Method of analysis Soils*
13. National Agricultural Science and Technology Institute, RDA(1990), *Method of Analysis Chemistry Soil:Plant Soil Microbial.*