

생활하수슬러지가 토양 화학성 및 장미의 생육에 미치는 영향

최 정*, 이동훈, 박 만, 최충렬, 김광섭

경북대학교 농과대학 농화학과

(2002년 5월 7일 접수, 2002년 6월 3일 수리)

Effect of Municipal Sewage Sludge on Soil Chemical Properties and Growth of Rose (*Rosa hybrida* L.)

Jyung Choi*, Dong-Hoon Lee, Man Park, Choong-Ryeol Choi, and Kwang-Seop Kim (Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

ABSTRACT: This study was conducted to find out the effect of municipal sewage sludge on the growth and heavy metal content of rose and soil chemical properties. Municipal sewage sludge was applied to soil at rate of 0, 3, 5, 10 and 15 ton/10a, the plant height, flower number and stem size of rose were found to be increase in the treatments of sewage sludge. Contents of mineral nutrients in rose stem were determined to be higher at municipal sewage sludge application plots than those of no application. But, there were not any significant increases of heavy metal contents in soil and rose stem with the sludge applications. From the results of this study, it is apparent that the application of municipal sewage sludge would not increase available heavy metals in soil.

Key words: municipal sewage sludge, heavy metal, rose

서 론

도시 하수슬러지란 도시에서 발생한 폐수 및 하수의 처리로 발생하는 잔존물이다. 수질오염방지를 위해 각종 하·폐수에 포함되어 있는 입자상, 고질상 및 용존상의 오염물질을 제거할 때 발생하는 고형상 2차 잔류물로서 Bio Solid (미생물잔재)라고 불려지기도 한다¹⁾. 국내 하수처리장은 1991년에 22개소, 1996년에 76개, 현재는 100여 개로 증설하여 2000년 기준 하수슬러지의 일일 발생량은 3,775 ton에 달하며 2010년도에는 4,000 ton에 달할 것으로 예상된다^{2,3)}. 현재 하수종말처리장의 건설로 하수의 방류수질을 기준으로 깨끗하게 처리하는 것은 가능하나 이때에 발생하는 대량의 하수슬러지의 처리가 문제시되고 있다^{4,5)}. 하수슬러지의 처리방법으로는 매립, 소각 후 매립, 농경지에 사용, 소각 후 건설재료생산, 해양투기 등이 있으나, 미국 등 일부국가에서는 퇴비 대체원으로 활용되고 있으나 우리나라는 현재까지 해양투기와 매립에 의존해 왔다⁶⁾.

그러나 하수슬러지를 경작지에 사용하여 그 토양의 물리

성을 개선시켰으며 작물재배지 토양에 사용한 결과 수량증대를 비롯한 여러 가지 면에서 그 효과가 있었으나 중금속 농도를 높이는 원인이 되기도 하였다⁷⁻⁹⁾. 그러므로 하수 슬러지의 집적으로 인한 환경오염의 피해를 줄이기 위해서는 비식용 식물을 생산하는 잔디밭이나 화훼류 재배토양에 사용하는 방법을 연구해 볼 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 주로 생활하수를 처리하는 대구광역시 신천수질 환경사업소에서 발생하는 하수 슬러지의 처리량을 달리하여 장미 재배지에 사용하였을 경우 장미의 생육 및 토양의 화학성 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구는 대구광역시 신천수질환경사업소 하수처리장의 생활하수슬러지를 이용하여, 대구광역시 동호동 소재 경북 농업과학기술원 포장에서 수행하였으며, 시험전 토양 및 하수슬러지의 화학성은 Table 1과 같았다. 공시 토양의 토성은 양토이었으며, 정에 의한 우리나라 시설화훼재배지 토양의 적정양분함량과 비교할 때¹⁰⁾, 인산과 치환성 양이온 함량이 약간 낮은 것으로 나타났다. 하수슬러지의 유기물 함량은 우리나라 하수 슬러지의 평균 유기물함량 500.3 g/kg과 비

*연락처:

Tel: +82-53-950-5717 Fax: +82-53-953-7233

E-mail: choij@knu.ac.kr

Table 1. Chemical properties and heavy metal contents in the municipal sewage sludge and soil used

| Sample | pH (1:5) | OM | Av. P ₂ O ₅ | Exch. cations | | | Cu | Zn | Cr | Cd | Mn |
|--------|-------------|------|--------------------------------------|-----------------------------------|------|------|-------------------|------|------|------|------|
| | | | | K | Ca | Mg | | | | | |
| | | g/kg | mg/kg | ----- cmol ⁺ /kg ----- | | | ----- mg/kg ----- | | | | |
| Soil | 6.2 | 21 | 330 | 0.19 | 3.02 | 0.61 | 3.20 | 7.01 | 0.05 | 0.04 | 11.2 |
| Sludge | 7.4 | 94 | 542 | 0.73 | 43.7 | 9.78 | 4.74 | 19.2 | 0.54 | 0.27 | 78.9 |

* Heavy metals in soil and sludge were determined in 0.1 N-HCl extract and acid digest, respectively.

Table 2. Chemical properties and 0.1 N-HCl extractable heavy metal contents in soils after the experiment

| Treatment | Soil | pH (1:5) | OM | Av. P ₂ O ₅ | Exch. cations | | | Cu | Zn | Cr | Cd | Mn |
|-----------|-------------------|-------------|------|--------------------------------------|-----------------------------------|------|------|-------------------|------|------|------|------|
| | | | | | K | Ca | Mg | | | | | |
| ton/10a | | | g/kg | mg/kg | ----- cmol ⁺ /kg ----- | | | ----- mg/kg ----- | | | | |
| 0 | Top ^{a)} | 6.0 | 24 | 330 | 0.19 | 3.09 | 0.78 | 1.76 | 0.71 | 0.35 | 0.07 | 11.9 |
| | Sub ^{b)} | 6.1 | 13 | 321 | 0.43 | 4.09 | 2.82 | 3.27 | 1.66 | 0.26 | 0.07 | 19.7 |
| 3 | Top | 6.8 | 27 | 353 | 0.59 | 4.87 | 4.42 | 1.49 | 0.91 | 0.19 | 0.07 | 17.3 |
| | Sub | 6.6 | 15 | 349 | 0.29 | 2.78 | 1.34 | 1.53 | 0.53 | 0.23 | 0.07 | 11.0 |
| 5 | Top | 6.8 | 29 | 331 | 0.24 | 4.37 | 1.88 | 1.72 | 0.67 | 0.19 | 0.07 | 16.5 |
| | Sub | 7.0 | 12 | 409 | 0.34 | 4.53 | 3.12 | 1.39 | 0.28 | 0.21 | 0.07 | 15.1 |
| 10 | Top | 5.6 | 26 | 354 | 0.11 | 2.34 | 0.41 | 1.99 | 0.77 | 0.23 | 0.07 | 11.9 |
| | Sub | 6.5 | 18 | 507 | 0.23 | 4.57 | 1.31 | 1.96 | 0.59 | 0.02 | 0.07 | 12.4 |
| 15 | Top | 5.4 | 27 | 313 | 0.12 | 2.12 | 0.32 | 1.47 | 0.75 | 0.21 | 0.07 | 11.9 |
| | Sub | 6.2 | 19 | 481 | 0.25 | 4.49 | 1.16 | 1.92 | 0.74 | 0.22 | 0.07 | 16.8 |

^{a)} Top soil: 0~15 cm depth; ^{b)} Sub soil: 15~30 cm depth.

교할 때 매우 낮았으나 공시토양보다는 치환성 양이온의 함량이 높아 무기양분의 효과가 있을 것으로 기대되었다. 시험 전 토양의 중금속 함량은 우리나라 비오염지 발토양의 중금속 평균치보다 낮았으며¹¹⁾, 슬러지의 중금속 함량은 토양보다는 높았으나 토양환경보전법의 토양오염대책기준인 Cu 50 mg/kg, Cd 4 mg/kg, Cr 10 mg/kg보다 낮은 수준으로 토양에 사용할 수 있다고 판단되었다¹²⁾.

장미재배

하수슬러지의 작물 생육에 대한 효과를 조사하기 위하여 3년생 장미묘목을 대상으로 포장시험을 수행하였다. 포장을 15 구획으로 나누어 하수슬러지를 1999년 3월 5일에 0, 3, 5, 10 및 15 ton/10a의 5수준으로 3반복 처리하였으며, 3 요소는 40-40-30 (N-P₂O₅-K₂O) kg/10a 수준으로 전량 기비로 처리하였다. 구당 면적은 8 m², 재식 거리는 100×40 cm이었으며, 시험구 배치는 난괴법으로 하였다. 각 처리구당 5개 장미 개체를 선정하여 1999년 4월 26일 및 9월 25일 생육조사를 실시하였으며 4월 26일에서 9월 25일 사이의 생육변화를 150일간의 생육 차이로 나타내었으며 9월 25일 식

물체를 채취하여 분석용 시료로 사용하였다.

토양 및 식물체 분석

공시토양 및 하수슬러지의 분석은 최 등의 방법¹³⁾과 토양화학분석법¹⁴⁾에 준하여 pH는 시료와 증류수의 비를 1:5로 혼합하여 왕복진탕기로 30분간 진탕후 pH meter (ORION 720A)로 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법 그리고 치환성 양이온은 NH₄OAc 추출법으로 실시하였다. 토양중 중금속 함량은 2 mm체를 통과한 시료 10 g을 0.1 N-HCl 용액 50 mL를 가하고 상온에서 왕복진탕기로 1시간 진탕 후 여과한 여액 중의 중금속을 분석하였으며, 슬러지의 중금속 함량은 H₂SO₄-H₂O₂로 습식 분해한 다음 ICP (Perkin Elmer OPTIMA 3000)로 분석하였다.

식물체 분석은 각 처리구별로 3주씩 채취하여 수확한 줄기는 건조기 내에서 건조한 후 분쇄기로 갈아 분석용 시료로 사용하였다. 식물체의 질소 함량은 황산 분해후 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate법, 중금속 및 무기성분분석은 Ternary solution (HNO₃:HClO₄:H₂SO₄ = 10:4:1)로 습식 분해한

Table 3. Growth of rose in the different treatments of municipal sewage sludge

| Treatment | Height | | Difference of 150 days | No. of flower | Stem size | | Difference of 150 days |
|-----------|----------------------|---------|------------------------|-----------------|-----------|---------|------------------------|
| | Apr. 26 [†] | Sep. 25 | | | Apr. 26 | Sep. 25 | |
| ton/10a | cm | cm | | No./plant | mm | mm | |
| 0 | 93 | 136 | 43 ^a | 17 ^a | 9 | 14 | 5 ^a |
| 3 | 98 | 152 | 54 ^b | 21 ^b | 11 | 18 | 7 ^b |
| 5 | 95 | 153 | 58 ^b | 23 ^b | 8 | 15 | 7 ^b |
| 10 | 96 | 165 | 69 ^c | 27 ^c | 9 | 16 | 7 ^b |
| 15 | 92 | 173 | 81 ^d | 29 ^c | 8 | 16 | 8 ^c |

* Column values followed by the same letter are not significantly different ($P=0.05$) according to DMRT.

[†] Date of measurement.

Table 4. Mineral nutrient contents in stem of rose in the different treatments of municipal sewage sludge

| Treatment | T-N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | Na |
|-----------|------|-------------------------------|------------------|------|-----|-----|
| ton/10a | g/kg | | | | | |
| 0 | 21.6 | 5.2 | 15.2 | 9.1 | 6.1 | 0.2 |
| 3 | 27.5 | 6.1 | 16.4 | 10.7 | 7.4 | 0.2 |
| 5 | 23.3 | 6.5 | 17.1 | 10.9 | 8.1 | 0.3 |
| 10 | 27.3 | 6.8 | 18.9 | 13.1 | 8.9 | 0.4 |
| 15 | 25.2 | 7.3 | 19.0 | 10.3 | 7.0 | 0.3 |

다음 그 여액을 ICP (Perkin Elmer OPTIMA 3000)로 분석하였다.

결과 및 고찰

장미재배 토양의 화학성

장미를 재배한 토양의 화학적 특성을 조사한 결과는 Table 2와 같았다. 토양의 화학적 특성은 하수슬러지의 사용량에 따른 처리간에는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 유기물의 함량은 표토가 심토보다 높은 것으로 나타났는데 이는 시험기간 동안 처리한 슬러지가 충분히 분해되지 않아 하부로 이동하지 않았기 때문으로 여겨지며, 양이온 함량은 처리간에 일정한 경향을 보여주지 않았다. 토양중의 산 가용성 중금속 함량은 현저히 증가시키는 현상은 발견되지 않았다. 이는 하수슬러지에 함유된 중금속의 농도가 낮았기 때문으로 고찰된다.

장미생육

하수슬러지 사용량에 따른 장미의 생육특성은 Table 3과 같았다. 하수슬러지 사용량을 증가함에 따라 장미 줄기의 비대생장과 신장생장이 뚜렷해 졌으며, 주당 꽃송이도 많아졌다. 4월 26일에서 9월 25일 사이의 150일간의 생장 차이를

Table 5. Contents of heavy metals in stem of rose in the different treatments of municipal sewage sludge

| Treatment | Mn | Cu | Zn | Pb | Cd | Cr |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|
| ton/10a | mg/kg | | | | | |
| 0 | 15.6 | 3.97 | 3.61 | 2.13 | 0.07 | 0.12 |
| 3 | 17.0 | 4.12 | 2.41 | 2.32 | 0.08 | 0.16 |
| 5 | 18.0 | 4.11 | 2.63 | 2.02 | 0.07 | 0.16 |
| 10 | 17.3 | 4.61 | 2.01 | 2.07 | 0.11 | 0.17 |
| 15 | 18.4 | 4.62 | 2.17 | 2.08 | 0.12 | 0.15 |

비교한 결과 하수슬러지의 사용량이 증가할수록 생육차이는 커지는 것으로 나타났다. 이는 하수슬러지 사용에 의하여 하수슬러지에 함유된 비료성분의 용출이 증가하였기 때문으로 고찰된다. 그러나 장 등은 정수장 슬러지를 대두 및 당근 재배지에 사용할 경우 수량은 증가한다고 하였다¹⁵⁾.

장미 줄기 중의 무기성분 함량

하수슬러지 사용량을 달리하여 재배한 장미 줄기의 무기성분 함량을 조사한 결과는 Table 4와 같았다. 슬러지 사용량을 달리하여 장미를 재배한 결과 생육기간이 경과할수록 대부분의 성분들이 무사용구에 비해 슬러지 처리구에서 자란 장미줄기에서 무기성분 함량이 높게 나타났으나, 처리량에 따른 명확한 차이는 나타나지 않았다. 임 등에 의하면 장미의 양분흡수는 부위에 따라 다소 다른 반응을 보이며 관비농도의 증가에도 불구하고 식물체 조직 중 양분 흡수량은 큰 차이가 없었다¹⁶⁾. 최 등의 연구결과와 같이⁹⁾ 슬러지의 사용량을 증가하면 장미 뿌리가 흡수한 무기성분의 절대량은 증가하나 장미줄기가 왕성하게 성장하기 때문에 무기성분이 희석되어 뚜렷한 차이가 없는 것으로 판단된다. Jones 등이 발표한 장미의 엽중 적정 양분함량의 범위와 황 등이 보고한

장미의 양분 흡수량이 T-N > K > Ca > P > Mg의 순으로 높았던 결과와 비교할 때 본 연구에서도 그들과 거의 같은 결과를 보여주었다^{17,18}.

장미 줄기 중의 중금속 함량

하수슬러지 사용량을 달리하여 장미를 재배한 후 장미 줄기의 중금속 함량을 조사한 결과는 Table 5와 같았다. 슬러지의 사용량을 증가하면 망간과 구리의 흡수량이 증가하였으나, 타성분에서는 일정한 경향이 없었으며 중금속의 흡수량은 오히려 적게 나타났다. 이러한 원인은 하수슬러지 자체의 중금속 함량이 산업폐수 슬러지 중의 중금속 농도에 비하여 매우 낮았기 때문에¹⁹ 생활하수슬러지를 사용하여도 토양 중의 농도(Table 2)에는 거의 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 이 등도 옥수수재배지에 하수슬러지 및 공단폐수 슬러지를 사용한 결과 식물체 중 무기성분의 함량은 증가하였으나, Cu, Fe 및 Mn의 함량은 대조구에 비하여 차이가 없음을 보고하였다²⁰.

이러한 결과로 볼 때 하수슬러지의 사용은 화훼작물의 수량을 높이는 데는 매우 효과가 있을 것으로 여겨지며, 생활하수 슬러지의 경우도 유해성분 함량을 조사하여 단기적으로 사용하면 경작지에도 크게 문제가 없을 것으로 판단된다.

요 약

생활하수슬러지를 장미 재배지에 토양 개량제로서 사용량을 달리하여 첨가하고 장미의 생육상, 토양 및 식물체 중 중금속의 함량에 미치는 영향을 조사하였다. 장미 재배지에 하수슬러지를 사용하면 사용량이 증가함에 따라 신장과 비대생장이 증가했으며 주당 꽃송이도 많아 생육이 양호한 것으로 나타났다. 토양 중 중금속 함량은 사용량의 증가에 따라 일정한 경향은 없었으며 식물체에 의한 대부분의 무기성분 흡수량은 하수 슬러지의 사용량에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 결과적으로 생활 하수 슬러지는 유해물질의 농도가 낮으면 경작지에 처리하여도 무관할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 경북대학교 1998년 공모연구과제 연구로 수행되었음.

참고문헌

1. Choi, E. S., Park, H. W. and Park, W. M. (1995) Utilization of sewage sludge on agriculture, *Korean J. Environ. Agric.* 14, 72-81.
2. Lee, H. J., Cho, J. S., Choi, H. S. and Heo, J. S. (1997) Development of operating parameters for composting of municipal sewage sludge, *Korean J. Environ. Agric.*

- 14, 72-81.
3. Yang, J. E. and Lee, K. S. (2001) *Agricultural environment*, The Korean Society of Environmental Agriculture, Suwon, p.263-278.
4. Albiach, R., Canet, R., Pomares, E. and Ingelmo, F. (2001) Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years, *Bioresource Technol.* 77, 109-114.
5. Schmidt, J. P. (1997) Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land-applied sewage sludge, *J. Environ. Qual.* 26, 4-10.
6. 환경부 (2001) 환경백서.
7. Choi, J., Chang, S. M., Lee, D. H., Choi, C. R. and Park, S. D. (1998) Effect of municipal sewage sludge application on the change of physico-chemical properties and contents of heavy metals in soils, *Korean J. Environ. Agric.* 17, 170-173.
8. Walter, I. and Cuevas, G. (1999) Chemical fractionation of heavy metals in a soil amended with repeated sewage sludge application, *Sci. Tot. Environ.* 226, 113-119.
9. Choi, J., Chang, S. M., Lee, D. H., Choi, C. R. and Park, S. D. (1998) Effect of municipal sewage sludge application on the contents of heavy metals content in *Paeonia abliflora* Pall root, *Korean J. Environ. Agric.* 17, 287-290.
10. Jong, B. G., Choi, J. W., Yun, E. S., Yoon, J. H., Kim, Y. H. and Tung, G. B. (1989) Chemical properties of the horticultural soil in the plastic film house in Korea, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 33, 9-15.
11. National Institute of Agricultural Science and Technology (1999) *Survey on the changes of heavy metal contents of agricultural field in Korea*, A counter measuring studies to the changes of agricultural environment, p.33-60.
12. Ministry of Environment (1999) Soil Environmental Conservation Act.
13. Choi, J., Kim, J. J. and Shin, Y. O. (1990) *Method of soil analysis*, Hyung-sul Press, Seoul, p.9-87.
14. National Institute of Agricultural Science and Technology (1988) *Methods of soil chemical analysis*, Sam-mi press, p.15-240.
15. 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 and carrot, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 29, 275-281.

16. Lim, J. H., Lee, I. B. and Park, J. M. (2001) Effect of nitrogen and potassium fertigation concentrations on the growth and yield of cut-flower rose, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 34, 413-420.
 17. Jones, J., Benton, J., Wolf, B. and Mills, H. A. (1991) *Plant analysis handbook*, Micro-Macro Publishing, Inc. p.127-192.
 18. Hwang, K. S. and Ho, Q. S. (2000) Chemical properties of the greenhouse soil and nutrient contents in leaves and stems of carnation, lily, and rose, *Korean J. Environ. Agric.* 19, 247-251.
 19. Nam J. J. (1996) Reddish growth and soil chemical properties affected by sewage sludge with long term application, Master thesis, Kyungpook National University.
 20. Lee, H. J., Cho, J. S., Lee, W. K. and Heo, J. S. (1997) Effects of municipal sewage and industrial wastewater sludge composts on chemical properties of soil and growth of corn plant, *Korean J. Environ. Agric.* 16, 220-226.
-