

## 수도 유묘생장에 미치는 정수장슬러지 처리효과

이인복<sup>1)</sup> · 임재신<sup>2)</sup> · 장기운<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>농촌진흥청 원예연구소 원예토양관리팀, <sup>2)</sup>(주)카보텍, 서울시 강남구 삼성동,

<sup>3)</sup>충남대학교 농업생명과학대 생물환경화학과

(2006년 12월 6일 접수, 2006년 12월 20일 수리)

### Effect of Water Treatment Sludge on Growth of Rice Seedling

In-Bog Lee<sup>1)</sup>, Jae-Shin Lim<sup>2)</sup>, and Ki-Woon Chang<sup>3)\*</sup> (<sup>1)</sup>National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon, <sup>2)</sup>Kavotech, Samsung-Dong, Gangnam-Gu, Seoul, <sup>3)</sup>Dept. of Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University, Kung-Dong, Taejon 305-764, Korea)

**ABSTRACT:** To know the effect of water treatment sludge (WTS) as a rice seedling culture soil, rice seeds are sown, germinated and grown on the culture soils mixed with different ratios of WTS to sand (100:0, 50:50, 30:70, respectively), and their growth effects was compared to that of control, commercial culture soil. When WTS is used as a culture soil for rice, the length and weight of the top part of rice seedling somewhat decreased than those of control treatment, while their root length and weight in all WTS treatments significantly increased. Although phosphorus and potassium uptake of rice seedling in WTS treatments was slightly decreased, WTS treatment showed to develop root growth which is necessary in the seedling stage of all plants. Such a stimulatory effect on root growth of rice seedling was significant in the mixture ratio of 50% WTS to 50% sand.

**Key Words:** Water treatment sludge, Rice seedling, Culture soil

### 서 언

2004년 정수장슬러지 발생량은 년 간 44만 톤 수준으로 주요 처리수단은 매립 21%, 재활용 31%, 해양배출 48%로 알려져 있다<sup>1)</sup>. 그 구성성분은 주로 원수에 부유하는 점토, 미사입자 및 조류이며, 원수정화에 첨가되는 alum( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ )이 포함되어있다<sup>2)</sup>.

정수장슬러지는 alum의 첨가로 슬러지내 알루미늄의 함량이 높아지고, alum 중의 무기성 알루미늄 이온은 토양에 유입시 이동 잠재성이 있는 물질이다<sup>2)</sup>. 그러한 관점에서 정수장슬러지를 농업적으로 활용할 때 가장 큰 문제점은 무기성 알루미늄에 의한 식물독성과 무기태 인산의 고정인 거론된다<sup>3-6)</sup>. Parker 등<sup>6)</sup>은 유리  $Al^{3+}$  이온의 활성도(activity)가 작물에 대한 알루미늄 스트레스를 표현하기 위한 최적의 지

표라고 하였다. 토양 pH의 감소로 활성  $Al^{3+}$  이온은 급격하게 증가하고, 이러한 현상은 pH 5.0 이하에서 심각하게 나타난다. 알루미늄에 의한 식물독성은 인의 이용과 밀접한 관계가 있으며, 활성  $Al^{3+}$  이온은 식물체내에서 안정적인 Al-ATP 복합체를 형성함으로써 glucose-6-phosphate의 생성을 방해하여 대사를 저해시킨다<sup>7)</sup>. 반면에 알루미늄은 작물에 대하여 필수원소는 아니지만 낮은 농도에서 종종 벼<sup>8)</sup>, 콩과류<sup>9)</sup>, 옥수수<sup>10)</sup>, 야자나무<sup>11)</sup>, 밀<sup>12)</sup>의 생육을 증가시키거나 유익한 효과를 나타내기도 한다. 더욱이 정수장슬러지에 다량 함유된 칼슘 이온은 알루미늄 독성을 완화시키는 중요한 역할을 한다. Lund<sup>13)</sup>는 칼슘이 용액 중에서 알루미늄과 길항작용을 함으로써 알루미늄의 해작용을 감소시킨다고 하였으며, Franco와 Munns<sup>14)</sup>는 칼슘( $CaCl_2$ )의 처리량 증가로 콩에 대한 알루미늄 독성이 경감하였다고 보고하였다.

정수장슬러지의 토양 및 작물 사용에 관한 영향들은 일부의 연구자들에 의해 검토된 바 있다. Rengasamy 등<sup>15)</sup>은 3개의 다른 토양들에 대하여 ha당 2톤 비율의 정수장슬러지를 처리한 결과 토양 중 수분보유능이 높아지고 옥수수의 생육이 증가

\*연락처자:

Tel: +82-42-821-6738 Fax: +82-42-823-6430

E-mail: kwchang@cnu.ac.kr

하였다고 보고하였다. Heil과 Barbarick<sup>4)</sup>은 각각 pH 5.5와 7.5인 토양의 kg당 5~20 g의 alum 슬러지 사용으로 수수의 생육은 증가하였으나 토양 kg당 25 g 이상의 슬러지 처리수 준에서 이러한 생육증가 효과는 없었다고 하였다. Grabarick과 Krug<sup>5)</sup>는 ha당 17.5톤의 alum 슬러지 사용시 단풍나무와 소나무의 생육과 양분흡수에 별 다른 영향을 없었다고 하였으나, 몇몇 연구자들은 토양특성 개선 및 작물의 생육증진에 긍정적인 효과가 있다고 보고하였다<sup>16,17)</sup>. 이러한 결과들은 alum 슬러지의 작물사용 효과가 작물의 종류, 토양특성 및 사용량 등에 따라 달라짐을 의미한다.

본 연구는 수도 유묘생장에 미치는 정수장슬러지 처리효과를 살펴보기 위하여 시판용 상토를 대조로 하여 정수장슬러지 혼합비율별 수도유묘의 생육반응을 검토하였으며, 그 결과를 보고하고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 시험재료

정수장슬러지는 대덕정수장으로부터 제공받았고, 시판용 수도유묘상토는 모사의 모계품을 구입하여 이용하였으며, 사용된 공시재료들의 화학적 특성들은 Table 1에 제시한 바와 같다. 수도유묘 생산용 벼 종자는 밀양 3호를 이용하였다.

#### 상토조제

정수장슬러지의 수도유묘효과를 시험하기 위하여 시판용 수도상토(commercial culture soil, CCS)를 대조로 하여 수도용 육묘판(약 0.16 m<sup>2</sup>, 0.28 m×0.57 m)에 정수장슬러지: 모래를 중량비 기준으로 100:0(AS100), 50:50(AS50), 및 30:70(AS30)의 비율로 혼합하여 처리하였다. 처리구당 밀양 3호 벼 종자 150 g씩을 차아염소산나트륨으로 살균하여 3일간 발아시킨 종자를 파종한 다음 각 처리구의 상토재료로 복토 후 온실 내에서 생장시켰으며, 실험은 5반복 완전임의배치법으로 실시하였다.

Table 1. Chemical properties of materials used

Properties	Alum sludge	Commercial culture soil
pH (H <sub>2</sub> O, 1:5)	6.9	4.9
EC (dS m <sup>-1</sup> )	0.2	0.8
T-C (g kg <sup>-1</sup> )	70	123
T-N (g kg <sup>-1</sup> )	8	5
C/N	8.8	24.6
Total P (mg kg <sup>-1</sup> )	3148	7035
Ava. P (mg kg <sup>-1</sup> )	73	157
Exch. K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.7	0.9
Exch. Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	11.6	2.1
Exch. Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.8	0.8
Exch. Na (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.6	0.2
CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	26.2	25.5

#### 생육조사 및 토양·식물체분석

생육조사는 발아된 종자를 파종 후 4주째 생육한 수도유묘 50개체를 선별하여 지상부 및 지하부의 길이와 생중량을 측정하여 평균치로 나타내었다.

토양 및 식물체의 분석은 농촌진흥청<sup>18)</sup>의 분석방법에 준하였다. 토양 pH와 EC는 토양과 증류수의 비율 1:5로 혼합하여 진탕 후 측정하였다. 토양 탄소함량 분석을 위하여 Tyurin법을 이용하여 유기물을 측정 후 유기물함량에 전환계수를 적용하여 계산하였다. 총 질소(T-N)는 Kjeldahl법으로 측정하였고, 인은 Vanado-molybdate법으로 비색정량 하였다. 치환성양이온 함량과 양이온교환용량(CEC)은 N-NH<sub>4</sub>OAc를 이용하여 결정하였다. 식물체중 질소함량은 Kjeldahl법으로, 인은 과염소산 분해 후 분광광도계를 이용한 비색법으로, 양이온은 원자흡광분광광도계를 이용하여 측정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 수도유묘의 생육 효과

시판용 상토 처리구와 비교할 때 정수장슬러지 처리구의 수도 유묘 지상부 신장과 생중량 지수는 각각 80~100과 97~99 범위로서 지상부 생육이 다소 불량한 반면, 뿌리의 신장과 생중량 지수는 각각 121~128과 146~153 범위로서 시판용 상토에 비해 뿌리의 생육이 현저히 촉진되는 것으로 나타났다(Table 2와 3). 비록 정수장슬러지 처리구에서 생육한 수도유묘의 지상부 생육이 시판용 상토에 비해 부진한 것으로 나타났지만, 정수장슬러지의 뿌리생육 촉진효과로 인해 수도유묘의 뿌리 매트형성은 시판용에 비교하여 매우 탁월하였으며, 이러한 결과로 볼 때 정수장슬러지는 유묘단계에서의 지나친 지상부 생장에 따른 도복을 방지하고 이식 후 신속한 뿌리활착을 조장할 수 있다는 측면에서 수도용 상토 이용 가능성이 높은 것으로 판단된다. 정수장슬러지 혼합에 따른 이러한 수도유묘의 뿌리생장 촉진효과는 정수장슬러지와

Table 2. Effect of alum sludge on the growth of top and root parts of rice seedling

Treatments	Top length (cm)	Root length (cm)
CCS <sup>1</sup>	12.4 (100) <sup>*</sup> a <sup>**</sup>	5.3 (100) b
AS100 <sup>2</sup>	9.9 (80) b	6.5 (123) a
AS50 <sup>3</sup>	12.4 (100) a	6.8 (128) a
AS30 <sup>4</sup>	10.2 (89) ab	6.4 (121) a

<sup>1</sup> Commercial culture soil

<sup>2</sup> 100% alum sludge

<sup>3</sup> 50% alum sludge : 50% sand

<sup>4</sup> 30% alum sludge : 70% sand

\* ( ) : Length index on two parts of rice seedling on the control basis, corresponding to CCS treatment.

\*\* Means followed by the same letter within each column are not significantly different at 5% level by DMRT.

모래를 50:50의 비율로 배합(AS50 처리구) 하였을 때 가장 효과적이었다. AS50처리구의 근생장과 근중량은 시판용상토 대비 각각 28%와 53% 증가하였다. 한편 상토의 pH가 높은 경우에는 수도육묘가 생장하는 과정 중 입고병 이병율이 증가하여<sup>19)</sup> 일반적으로 시중에 유통되는 수도육묘용 상토의 pH는 4.5~5.5 범위로 추천하고 있다<sup>20)</sup>는 점을 고려할 때, 정수장슬러지의 pH는 6.9로서 현저히 높았음에도 입고병은 발생되지 않았다. 또한 시판용 상토의 수도육묘가 종종 도복되는 결과를 초래한 반면 정수장슬러지가 혼합된 상토에서 생장한 수도육묘는 도복발생이 없었다. 이처럼 정수장슬러지 이용 상토가 수도육묘의 지상부 생장은 억제하는 반면 뿌리발달에 우수한 효과를 보이는 것에 대한 근본적 기작은 불분명하나 기 보고된 일부 자료들에 의하면 정수장슬러지 중 알루미늄과 상관성이 있는 것으로 판단된다.

즉, Howeler와 Cadavid<sup>8)</sup>는 알루미늄독성에 내성이 있는 벼 품종 검색연구에서 내성품종들의 경우 3 mg kg<sup>-1</sup>의 알루미늄 용액 내에서 긍정적인 생육효과가 인정된다고 보고한 바 있고, Vickers 등<sup>21)</sup>은 자운영속 식물의 경우 5 mg kg<sup>-1</sup> 농도의 알루미늄 용액 내에서 뿌리신장이 현저히 촉진된다고 주장하였으며, Borkenhagen과 Iyer<sup>22)</sup>는 질소가 풍부한 환경 내에서 알루미늄이 어린 유묘의 지나친 지상부 신장을 억제함으로써 건설한 초기생장을 유도한다고 밝힌 바 있다. 이러한 알루미늄의 직·간접적 효과 외에도 정수장슬러지는 함유율이 400~600%로 매우 높아<sup>23)</sup> 수분의 공급능이 탁월하여 수도육묘 생산을 위한 상토로 개발할 수 있는 가능성이 높다고 본다.

### 수도육묘의 성분조성

Table 4에는 정수장슬러지 이용 상토에서 생장한 수도육묘의 주요 화학성분 흡수량을 나타내었다. 정수장슬러지 처리구의 수도육묘 중 질소와 칼슘의 흡수는 각각 42~44 g kg<sup>-1</sup> 그리고 18.8~19.1 g kg<sup>-1</sup> 범위로서 시판용 상토 처리

구의 42 g kg<sup>-1</sup>와 18.3 g kg<sup>-1</sup>에 비해 다소 높은 경향이였다. 이는 Table 1에 제시한 바와 같이 정수장슬러지 중 질소 및 칼슘함량이 시판용 상토에 비해 다소 높았던 사실과 관련이 있는 것으로 판단된다. 정수장슬러지 처리구의 수도육묘 중 칼륨 흡수량은 25.0~25.5 g kg<sup>-1</sup> 범위로서 시판용 상토에서 생장한 육묘의 25.5 g kg<sup>-1</sup>와 유사한 반면, 인 흡수량은 7.1~7.6 g kg<sup>-1</sup> 범위로서 시판용 상토의 육묘 중 8.3 g kg<sup>-1</sup>에 비해 다소 낮은 흡수량을 보였는데, 이는 정수장슬러지 중 다량 함유된 알루미늄이 인산과 결합하여 Al-P 복합체 형태로 불용화 되어 슬러지 중 가용성 인의 이용도가 감소하였던 때문으로 판단된다<sup>24)</sup>. 이러한 이유로 Yoshida와 Kitou<sup>25)</sup> 정수장슬러지 사용에 따른 수도의 인 흡수량 감소를 고려하여 정수장슬러지에 인을 첨가하여 인의 흡수량을 증진시키는 연구를 시도한 바 있으나, 본 연구의 결과로 볼 때 수도육묘 중 인의 흡수가 다소 낮긴 했으나, 시판 수도용 상토에 비교하여 뿌리발육이 증진되고, 전반적으로 생육이 건설하여 추가적인 인의 공급은 필요치 않은 것으로 판단되었다.

### 적 요

정수장슬러지의 수도육묘용 상토로서의 사용 가능성을 검토하기 위하여 정수장슬러지와 모래의 비율을 달리하는 상토들을 조제 후 시판용 상토를 대조로 수도육묘의 생육 및 무기 성분흡수 특성을 조사하였다. 정수장슬러지 이용 상토는 시판용 상토에 비해 수도육묘 지상부의 신장 및 생중량이 다소 부진하고 인의 흡수량이 낮았던 반면, 지하부의 신장 및 생중량은 현저한 증가를 보여 정수장슬러지가 수도육묘의 뿌리발달에 탁월하고 뿌리의 매트형성이 우수하였다. 따라서 비록 정수장슬러지 이용 상토가 시판용 상토에 비해 수도육묘의 지상부 생장이 부진하고 인의 흡수가 다소 낮다 할지라도, 상토의 필수 조건인 뿌리의 매트형성이 탁월하고 단간의 지상부가 직립으로 매우 건설하며, 높은 pH에도 불구하고 입고병과 같은 병 발생이 없어 수도육묘용 상토로 이용 가능성이 높은 것으로 판단된다. 정수장슬러지 첨가에 따른 이러한 수도육묘의 뿌리생장 증가 효과는 정수장슬러지와 모래를 50:50 비율로 혼합한 상토에서 가장 우수하였다

Table 3. Effect of alum sludge on the fresh weight of rice seedling

Treatments	Top weight (f.w. mg plant <sup>-1</sup> )	Root weight (f.w. mg plant <sup>-1</sup> )
CCS <sup>1</sup>	81.5 (100) <sup>†</sup> a**	25.3 (100) b
AS100 <sup>2</sup>	79.4 (97) a	38.1 (151) a
AS50 <sup>3</sup>	79.6 (98) a	38.8 (153) a
AS30 <sup>4</sup>	81.0 (99) a	36.9 (146) a

<sup>1</sup> Commercial culture soil

<sup>2</sup> 100% alum sludge

<sup>3</sup> 50% alum sludge : 50% sand

<sup>4</sup> 30% alum sludge : 70% sand

\* ( ): Length index on two parts of rice seedling on the control basis, corresponding to CCS treatment.

\*\* Means followed by the same letter within each column are not significantly different at 5% level by DMRT.

Table 4. Concentration of inorganic nutrients of rice seedling at 30 days (g kg<sup>-1</sup>)

Treatments	N	P	K	Ca	Mg
CCS <sup>1</sup>	42	8.3	25.5	18.3	3.4
AS100 <sup>2</sup>	44	7.1	25.0	19.0	2.8
AS50 <sup>3</sup>	43	7.6	25.5	18.8	3.0
AS30 <sup>4</sup>	42	7.4	24.6	19.1	3.0

<sup>1</sup> Commercial culture soil

<sup>2</sup> 100% alum sludge

<sup>3</sup> 50% alum sludge : 50% sand

<sup>4</sup> 30% alum sludge : 70% sand

## 참고문헌

1. 환경부. (2005) 2004년 전국 폐기물 발생 및 처리현황. 환경부.
2. Wang, F., Couillard, D., Auclair, J. and Campbell, P. G. C. (1998) Effects of alum-treated wastes water sludge on barley growth, *Water, Air, and Soil Pollution* 108, 33-49.
3. Elliott, H. A. and Dempsey, B. A. (1991) Agronomic effects of land application of water treatment sludge, *J. AWWA*, 83, 126-131.
4. Heil, D. M. and Barbarick, K. A. (1989) Water treatment sludge influence on the growth of Sorghum-Sudangrass, *J. Environ. Qual.* 18, 292-298.
5. Grabarek, R. J. and Krug E. C. (1987) Silvicultural application of alum sludge, *J. AWWA*, 81, 84-88.
6. Parker, D. R., Kinraide, T. B. and Zelazny, L. W. (1988) Aluminum speciation and phytotoxicity in diluted hydroxy-aluminum solutions, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 438-444.
7. Adams, F. (1984) Soil acidity and liming, *Agronomy Series No 12*, Am. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wisconsin, USA, p.57-97.
8. Howeler, R. H. and Cadavid, L. F. (1976) Screening of rice cultivars for tolerance to Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method, *Agron. J.* 68, 551-555.
9. Andrew, C. S., Johnson, A. D. and Sandland, R. L. (1973) Effect of aluminum on the growth and chemical composition of some tropical and temperature pasture legumes, *Aust. J. Agric. Res.* 24, 325-339.
10. Clark, R. B. (1977) Effect of aluminum on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn, *Plant Soil*, 47, 653-662.
11. Kumar, P. H. (1979) Effect of aluminum on growth of *Areca triandra* Roxb. in sand culture, *Sci. Hortic.* 10, 183-185.
12. Foy, C. D. and Fleming, A. L. (1978) The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acidic soils, *ASA Spec. Publ. no. 32*, Am. Soc. of Agron, Madison, WI. p.301-328.
13. Lund, Z. F. (1970) The effect of calcium and its relation to some other cations soybean root growth, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 34, 456-459.
14. Franco, A. A. and Munns, D. N. (1982) Acidity and aluminum restraints on nodulation, nitrogen fixation and growth of *Phaseolus vulgaris* in nutrient solution, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46, 296-301.
15. Rengasamy, P., Qades, J. M. and Hancock, T. M. (1980) Improvement of soil structure and plant growth by addition of alum sludge, *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.* 11, 533-541.
16. Chang, K. W., Kim, S. D. and Kim, Y. H. (1993) Effect of water treatment sludge application on the growth of Altari radish, *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 26, 78-84.
17. 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, *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 29, 275-281.
18. 농촌진흥청 농업기술연구소 (1988) 토양화학분석법: 토양, 식물체, 토양미생물, 농업기술연구소.
19. 최승락, 강수웅, 유창영. (1982). 상자육묘 입고병 발생 환경과 방제에 관한 연구, *경남농업기술원보고서(식물환경분야)*.
20. 농협협동조합중앙회 (1996) 비료사용방법, *농협협동조합중앙회*, p.148.
21. Vickers, J. C., Zak, J. M. and Odurukwe, S. O. (1977) Effects of pH and Al on the growth and chemical composition of cicer milkvetch, *Agron. J.* 69, 511-513.
22. Borkenhagen, J. E. and Iyer, J. E. (1972) Aluminum sulfate as a stabiliser nursery stock development, *J. For.* 70, 33-34.
23. 한국수자원공사 (1995) 정수장슬러지 최적처리방안에 관한 연구, *한국수자원공사보고서*.
24. Bugbee, G. J. and Frink, C. R. (1985) Alum sludge as a soil amendment: Effects on soil properties and plant growth, *The Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin* 827, 1-7.
25. Yoshida, S. and Kitou, M. (1992) A simple manufacturing method of plant culture soil by combination of weed and sludges produced from water purification process, *Jpn. J. Alternative Resource and Environ.* 28, 215-219.