

## 혐기소화 돈분 액비를 처리한 토양에서 배추의 생육과 비점오염원의 용탈 및 유거

노희명<sup>1,2,\*</sup> · 최효정<sup>1</sup> · 윤석인<sup>1</sup> · 이민진<sup>1</sup> · 김재민<sup>1</sup> · 최홍림<sup>1</sup> · Zhu Kun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 농생명공학부, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학연구원

### Growth of Chinese Cabbage and Losses of Non-point Sources from Runoff and Leaching in Soils as Affected by Anaerobically Digested Liquid Pig Slurry

Hee-Myong Ro<sup>1,2,\*</sup>, Hyo-Jung Choi<sup>1</sup>, Seok-In Yun<sup>1</sup>, Min-Jin Lee<sup>1</sup>,  
Jae-Min Kim<sup>1</sup>, Hong-Lim Choi<sup>1</sup>, and Kun Zhu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

<sup>2</sup>Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

A pot experiment was conducted to study the effect of application rate of anaerobically digested pig slurry on the growth of Chinese cabbage and the outflow characteristics of N and P from leaching and runoff in the upland. Anaerobically digested pig slurry(ADPS) was applied rates of 0, 6, 12, and 18 L pot<sup>-1</sup>, and Chinese cabbages were grown for 50 days. Dry matter yield of Chinese cabbage increased significantly at the rates of 6 and 12 L pot<sup>-1</sup>, but decreased at the rate of 18 L pot<sup>-1</sup> due probably to the high salinity. The EC(1:5) of the soil receiving 18 L pot<sup>-1</sup> of anaerobically digested pig slurry was 0.28 dS m<sup>-1</sup>, which was significantly higher than those receiving 6 and 12 L pot<sup>-1</sup> of anaerobically digested pig slurry. For the leachate and runoff, N and P concentration increased with the application rate of ADPS. Therefore, considering the dual goal of optimum crop growth and minimal discharge of non-point pollution sources to water system, this study suggests that a testing of a site-specific proper application rate of liquid pig slurry including ADPS is prerequisite to achieving optimum agricultural productivity while minimizing water quality degradation.

**Key words:** Anaerobically digested pig slurry, Application rate, Chinese cabbage, Leachate, Runoff

## 서 언

우리나라에서 발생하는 가축분뇨는 연간 5천여만 톤이며, 그 중 양돈분뇨가 1천여만 톤으로 3분의 1정도를 차지하고 있다(MAF, 2007). 특히 양돈분뇨는 다른 축산분뇨와 달리 수분함량이 많아 액비로 활용되는 것이 실용적이나 농도가 높고, 액비로 활용하더라도 축산이 대규모로 이루어지면서 분뇨의 양이 점점 많아져 상당한 양의 분뇨가 폐기되고 있는 실정이다(Lee, 2006). 양돈분뇨의 재활용은 다른 축산분뇨의 재활용과 함께 생물학적 폐자원을 재생에너지 자원으로 전환할 수 있기 때문에 사회적으로도 상당히 관심을 받고 있어, 양돈분뇨의 액비화에 관해서는 그동안

많이 연구되어왔다(Ceotto and Spallacci, 2006; Tani et al., 2006; Béline et al., 1998).

그럼에도 불구하고 현재 액비화 사업이 침체되어 있는데 가장 큰 원인으로 악취의 발생과 분뇨의 높은 농도를 들 수 있다(Tani et al., 2006). 양돈분뇨는 질소와 인 성분의 함량이 높기 때문에, 분뇨를 처리하고 운반하는 과정에서 암모니아와 같은 악취가스가 발생(Van der Stelt et al, 2007)하거나 직접 토양에 처리하면 높은 농도로 인해 작물에 염류 피해(De Smet et al, 1991)를 줄 뿐만 아니라 종종 질소산화물과 같은 온실가스를 대기로 방출(Dambreville, 2008)하기도 한다. 따라서 양돈분뇨의 악취를 줄이고 동시에 질소농도 수준을 적절하게 유지할 수 있도록 여러 가지 처리공정이 개발되고 소개되었다(NIAS, 2000; Lee, 2007; Tani et al., 2006).

접수 : 2007. 12. 10 수리 : 2008. 1. 25

\*연락처 : Phone: +8228804645,

E-mail: hmro@snu.ac.kr

예를 들어, 양돈분뇨를 퇴비단여과 (Slurry Composting and Biofiltration)한 저농도 액비의 개발 (NIAS, 2000)과 혐기성소화를 거쳐 이용한 기술은 돈분뇨 슬러리를 액비로 가공하는데 많이 이용되고 있는 방법이다. 혐기적으로 소화되어 가공된 액비는 다른 슬러리(현탁액 타입)에 비해 많은 이점이 있다. 혐기성소화조에서 혐기분해과정을 거치면, 악취방지에 효과가 있을 뿐만 아니라, 분해과정 중에 생성되는 메탄가스는 에너지원으로 사용될 수 있고(Hong and Kim, 1984), 고형물은 퇴비로, 액체는 액비로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 방식을 통해 생산된 액비는 고체의 양을 줄일 수 있고 작물에 시용 시 악취를 줄일 수 있기 때문에 사용이 증가되고 있다.

한편, 최근 연구 결과를 보면 돈분액비를 시비하여 작물을 키웠을 경우, 화학비료를 시비하여 작물을 키웠을 경우와 비슷한 작물 생육 효과를 보였다(Lee et al., 2006). 그러나 돈분액비의 다량시비는 잉여 양분이 물의 이동에 따라 옮겨지면서 수계의 오염을 초래하기 때문에 적정시비량을 설정하여 이용하는 것이 중요하다. 결과적으로 돈분액비 시용은 작물의 생육을 고려하면서 환경부하를 최소화하는 방향으로 활용되어야 한다. 그러나 지금까지의 연구는 돈분액비의 농가활용에 맞추어서 작물생육에 적절한 시용량의 설정 연구에 집중되어 왔다. 최근 Ro et al. (2008)은 돈분액비 원액과 퇴비단여과 저농도액비의 질소변환에 미치는 수분의 영향을 연구한 바 있다. 그러나 돈분액비가 환경에 미치는 영향에 대해서는 일반적으로 연구가 미비한 실정이다. 따라서 이 연구는 혐기 소화 돈분액비의 시비수준에 따라 토양으로부터 용출되는 질소와 인의 양을 구명하고자, 인공강우 재현장치 아래 배추를 재배하는 모사실험을 수행하였다.

### 재료 및 방법

**돈분액비(anaerobically digested slurry)** 본 시험에 사용된 혐기소화 돈분액비는 경기도 수원에 위치한 서울대학교 실험목장에서 생산되는 양돈분뇨원액을 가공 처리하여 혐기성 소화조에서 3개월간 저장한 것으로 질소와 인산의 함량은 각각  $1.7 \pm 0.1$ 와  $0.3 \pm 0.1 \text{ g L}^{-1}$ 이었다.

**강우재현장치 및 포트라이시미터** 연구에 사용한 강우재현장치는 강우를 조절할 수 있는 콘트롤박스,

유량측정장치, 강우공극탱크, 정수두 공극장치, 강우공급장치로 구성되어 있다. 빗물을 포트 위에 끌고루 공급하기 위해 세로 3 m, 가로 1 m의 크기의 강우공급장치를 설치하였다. 강우공급장치에 5 cm 간격으로 1200개의 강우분사노즐이 장치되었으며, 포트의 포트에서 1.4 m 높이에 설치하였다.

포트라이시미터로 사용된 포트는 가로와 세로 길이가 각각 1.2 m이고 높이가 0.6 m인 철재포트를 사용하였다. 강우로 토양에서 유거되고 용탈되는 물을 수거하기 위해서, 포트에서 유거수와 용탈수를 각각 수집할 수 있는 저장고를 부대시설로 두었으며, 0.5 m 높이에 걸음망이 설치된 홈으로 유거수가 흐를 수 있도록 하였다. 또한 강우에 의해 토양으로부터 유거와 용탈수로 손실되는 질소와 인의 양을 조사하기 위해 배추 생육기간 동안에 2주 간격으로 세 번 강우를 주었다. 강우강도와 시간은 우리나라의 10년 평균 강우량을 기초로 하였다(KMA, 2007). 각 포트에 행한 강우는 1차에는  $33 \text{ mm hr}^{-1}$ 의 속도로 2시간 38분 동안 88 mm에 해당하는 126 L를, 2차와 3차에는  $50 \text{ mm hr}^{-1}$ 의 속도로 1시간 35분 동안 각각 79 mm에 해당하는 114 L를 주었다.

**포트실험** 토양은 경기도 수원시에 위치한 서울대학교 실험목장의 옥수수 밭에서 채취하여 사용하였다. 토양은 pH(1:5=soil:water)가 7.1이고, 총질소가  $0.6 \text{ g kg}^{-1}$ 이며, 총인 함량이  $0.4 \text{ g kg}^{-1}$ 인 사양토이다(Table 1). 채취한 토양을 끌고루 섞은 후 총 4개의 포트에 0.5 m 높이까지 경사없이 채워 넣었다. 각 포트에 강우재현장치를 이용하여 물을 주면서 2주 동안에 걸쳐서 안정화 시켰다. 작물은 배추(*Brassica campestris* L. cv. Hwang sung)를 재배 하였고, 혐기소화 돈분액비(여기서부터는 돈분액비로 표기함)의 처리량에 따라 4개의 처리구를 두었다. 포트는 가로와 세로 길이가 각각 1.2 m이고 높이가 0.6 m인 철재포트를 사용하였다. 준비한 4개의 포트에 돈분액비를 각각 0(CON), 6(PS1), 12(PS2), 18(PS3)  $\text{L pot}^{-1}$  수준으로 처리하였다. 각 처리에서의 질소 처리량은 0, 7.0, 14.0, 21.0  $\text{g N m}^{-2}$ 이고 인 처리량은 0, 1.1, 2.1, 3.2  $\text{g P m}^{-2}$ 에 해당하였다. 배추 모 24주를 4개의 포트에 재식거리  $60 \times 35 \text{ cm}$ 로 하여 6주씩 나누어 심었고, 50일 동안 재배하였다. 토양 수분은 토양수분포텐셜이 -33 kPa이 되도록 유지하였고, 이는  $0.23 \text{ kg kg}^{-1}$ 의 수분함량에 해당한다.

**Table 1. Chemical and physical properties of soil used in the experiment.**

pH <sub>(1:5)</sub>	Bulk Density	Organic C	Total N	Total P	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Texture
	Mg m <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>		
7.1	1.3	7.0	0.6	0.4	6.4	20.9	Sandy loam

**시료 채취 및 분석**

배추 모를 포트에 이식한 후 50일에 지상부의 배추를 모두 수확하였고, 이를 60°C에서 건조시켰다. 각 포트에서 수확한 6개의 배추는 2개를 하나로 묶어서 3개의 시료를 만든 후 분석에 이용하였다. 건조한 시료는 건조량을 측정하였고, 이를 매우 고운 분말 형태로 같은 후, 질소와 인 분석에 이용하였다. 식물체의 총질소 함량은 안정성 동위원소비 질량분석기 (IsoPrime-EA, Micromass, UK)를 이용하여 측정하였다. 식물체의 총인 함량은 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 식물체를 완전 분해 후 ammonium paramolybdate-vanadate 발색법으로 분석하였다(RAD, 2000).

토양은, 돈분액비를 시비하기 전에 채취한 토양과 배추를 수확 후 0~20 cm의 깊이에서 채취한 토양을 분석하였다. 각 포트별로 4지점에서 채취하여 2지점의 토양을 하나로 섞은 후, 포트 당 2개씩 총 8개의 시료를 만들었다. 채취한 토양은 풍건한 후 2 mm 체로 걸러 나온 것을 pH, EC, 총질소, 총인의 분석에 이용하였다. 토양의 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 침출한 후 pH 미터(DMP2000, DMS, Korea)를 이용하여 측정하였다. 토양 혼탁액은 pH를 측정 후 거름층이를 이용하여 거른 후 EC 미터(PW9509/20, Philips, GT Britain)를 이용하여 EC를 측정하였다. 토양의 총질소와 총인 함량을 측정하기 위해서 토양을 0.15 mm 이하로 곱게 같은 후 분석에 이용하였다. 토양 총질소는 안정성 동위원소비 질량분석기 (IsoPrime-EA, Micromass, UK)를 사용하여 측정하였다. 토양 총인은 질산과 과염소산을 이용하여 분해 후, 이를 Ammonium molybdate-ammonium metavanadate 방법으로 발색시켜 흡광광도계(UV-1801, SHIMADZU, Japan)로 농도를 측정하였다.

유거수와 용출수는 강우재현 후 각각 2시간, 96시간 후에 모아진 용액에 대해서 총질소와 총인을 분석하였다. 총질소는 persulfate를 이용한 방법을 사용하여 분석하였고, 총인은 ascorbic acid를 이용하여 발색하

는 방법을 사용하여 분석하였다 (APHA et al., 1998a, 1998b).

**통계분석** 토양의 질소와 인의 함량, pH, EC는 처리구 사이의 유의적인 차이를 비교하기 위하여 일반화선형모델을 이용하였다. 분할구배치법으로 2반복의 데이터를 이원변량 분석을 하여 0.05의 유의수준에서 최소유의차(least significant difference, LSD)를 구하였다(SAS Institute, 1990). 시간을 주구요인, 처리를 세구요인으로 두었다.

**결과 및 고찰**

**토양의 특성변화**

토양 pH는 6.8~7.4의 범위로 변화가 거의 없었다 (Table 2). 토양 EC는 작물생육 50일이 작물생육 0일에 비해 PS3 처리구를 제외하고 감소하였다(Table 2). 이는 강우에 의한 용탈과 유거로 염이 유출되었기 때문이라고 판단된다(Kim et al., 2004). PS3 처리구는 과량시비에 의해 토양에 잔류하는 염의 양이 많기 때문에 EC값도 0.28 dS m<sup>-1</sup>로 가장 높게 나타났다.

토양 총질소와 총인의 함량은 돈분액비의 처리에 의해 처리구와 시기별로 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(Table 3). 토양의 총질소 함량의 경우 시기별로 PS2가 다소 증가하였으나 다른 처리구에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 50 DAT에 처리구 간에는 PS3이 다른 처리구에 비해 총질소 함량이 높게 나타났다. 인의 경우 시기별로 CON, PS1은 증가하였고, PS2와 PS3는 다소 감소하거나 증가하였으나 유의적인 차이는 보이지 않았다. 50 DAT에 처리구 간에는 PS3의 총인 함량이 높게 나타났다. 이와같은 미비한 변화는 돈분액비를 시비한 양에 비해 본래 공시토양의 질소와 인의 양이 많았기 때문이며, 따라서 일시적인 돈분액비의 처리에 의해 토양내에서 큰 변화를 보이지 않았다고 판단된다

**Table 2. Changes in electrical conductivity and pH of soil before and after Chinese Cabbage cultivation.**

Treatment	pH <sub>(1:5)</sub>		EC <sub>(1:5)</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	
	0 DAC <sup>†</sup>	50 DAC	0 DAC	50 DAC
CON <sup>‡</sup>	7.1	7.2	0.17	0.14
PS1	7.0	6.8	0.20	0.14
PS2	7.0	7.0	0.20	0.15
PS3	6.9	7.4	0.26	0.28
LSD(P≤0.05)				
Treatment	0.2		0.11	
Time	0.2		0.08	

<sup>†</sup> 0 DAC means day before Chinese Cabbage cultivation ; 50 DAC means day after Chinese Cabbage cultivation

<sup>‡</sup> CON: no fertilization as control, PS1: application with digested liquid pig slurry at 6 L pot<sup>-1</sup>, PS2: application with digested liquid pig slurry at 12 L pot<sup>-1</sup>, PS3: application with digested liquid pig slurry at 18 L pot<sup>-1</sup>

**Table 3. Concentrations of total N and P in soil before and after Chinese Cabbage cultivation.**

Treatment	Total N		Total P	
	0 DAC <sup>†</sup>	50 DAC	0 DAC	50 DAC
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
CON <sup>†</sup>	1.0	1.1	0.61	0.78
PS1	1.1	1.0	0.61	0.65
PS2	0.7	0.9	0.69	0.68
PS3	1.1	1.2	0.79	0.82
LSD(P≤0.05)				
Treatment	0.1		0.05	
Time	0.1		0.04	

<sup>†</sup> 0 DAC means day before Chinese Cabbage cultivation ; 50 DAC means day after Chinese Cabbage cultivation

<sup>†</sup> CON: no fertilization as control, PS1: application with digested liquid pig slurry at 6 L pot<sup>-1</sup>, PS2: application with digested liquid pig slurry at 12 L pot<sup>-1</sup>, PS3: application with digested liquid pig slurry at 18 L pot<sup>-1</sup>

**배추 건물중 및 질소와 인 흡수량** 배추의 건중량은 돈분액비의 처리에 의해 증가하였고, 시비량이 증가함에 따라 더욱 높게 나타났으나 PS3 처리구에서는 다른 돈분액비 처리구에 비해 건중량이 크게 감소하였다(Table 4). PS1과 PS2에서 배추 건중량의 증가는 돈분액비의 시비에 의해 작물이 이용할 수 있는 양분의 양이 증가하여 배추의 생육을 좋게 했기 때문이라고 판단된다. 그러나 PS3 처리구 배추의 건중량이 감소한 것은 돈분액비의 과량 시비에 의해 토양염이 다량 존재하여 작물의 생육에 영향을 줄 수 있기 때문이다. Table 2에서 보는 바와 같이 PS3 처리구는 토양의 EC가 0.28 dS m<sup>-1</sup>로 높았다. 이러한 경향은 토양의 염류농도가 2-4 dS m<sup>-1</sup>인 토양에서 상추의 수량이 가장 높았으며, 토양 EC가 그보다 낮거나 높으면 수량이 감소된다고 보고한 Kang et al. (1996)의 결과와 일치하였다.

작물의 질소 및 인 흡수 양상은 서로 유사하였으며, PS3 처리구를 제외하고는 돈분액비의 처리량이 많아질수록 높은 흡수량을 보였다(Table 4). 이는 작물의 생육 결과를 크게 반영한 것으로, 건중량에 따라 질소 및 인의 흡수량이 결정되었다고 판단된다. 작물의 질소흡수량은 PS2 처리구에서 주 당 1.08 g이었으며, 이는

처리구 중 가장 높은 값이다. 또한 무처리구와 비교하여 처리량이 많아질수록 1.7~2.3배의 질소흡수량을 보였다. 작물의 인 흡수량은 PS2 처리구에서 0.184 g plant<sup>-1</sup>로 가장 높았다. PS3 처리구는 작물의 질소 및 인의 흡수량이 각각 0.81, 0.112 g plant<sup>-1</sup>이었다. 이는 돈분액비의 과다 시비로 인한 작물의 생육 저해와 함께 질소와 인의 흡수량이 감소한 것이고, 한편으로는 작물에 이용되지 못하고 토양에 잔류되는 질소와 인의 양이 많아질 수 있음을 제시한다. PS3 처리구에서의 변화는 염농도 증가에 따른 배추의 생육저해가 삼투포텐셜 감소에 의한 결과인지 아니면 특정이온에 의한 효과인지는 불명확하다(Ro et al., 2002).

**돈분액비 시용에 따른 질소와 인의 유출 특성** 돈분액비를 처리한 후 강우에 의한 표면 유거수와 용탈수 중 질소와 인의 무기성분 함량은 서로 비슷한 경향을 보였다(Table 5). 유거수의 경우 질소는 암모니아태 질소보다 질산태질소의 농도가 높았다. 이는 표토가 호기조건의 상태이기 때문에, 처리된 돈분액비에 함유된 암모니아태 질소의 질산화작용이 왕성하게 일어났기 때문이라 생각된다. 또한 토양에서 암모니아태 질소에 비해 질산태 질소의 이동성이 좋기 때문

**Table 4. Dry matter yield and uptake of N and P by Chinese Cabbage after 50 days of cultivation.**

Treatment	Dry matter yield	N uptake	P uptake
	----- g plant <sup>-1</sup> -----		
CON <sup>†</sup>	9.1	0.47	0.083
PS1	14.1	0.82	0.126
PS2	20.6	1.08	0.184
PS3	12.9	0.81	0.112
LSD(P≤0.05)			
Treatment	4.8	0.4	0.04

<sup>†</sup> CON: no fertilization as control, PS1: application with digested liquid pig slurry at 6 L pot<sup>-1</sup>, PS2: application with digested liquid pig slurry at 12 L pot<sup>-1</sup>, PS3: application with digested liquid pig slurry at 18 L pot<sup>-1</sup>

에 유거될 가능성이 높다(Wild, 1981). Kim et al. (2004)은 돈분액비의 처리량이 증가할수록 유실되는 무기성분의 양이 많아졌다고 하였는데, 이는 토양 중 무기성분 함량이 증가하기 때문이다(Choudhary et al., 1996). 본 연구에서는 PS2를 제외하고 유거되는 질소의 농도가 증가하였다. PS3 처리구는 유거수에 암모니아태 질소와 질산태 질소가 각각  $0.9 \text{ mg L}^{-1}$ 와  $8.2 \text{ mg L}^{-1}$ 의 농도가 존재하였고, 총질소 농도는  $10.5 \text{ mg L}^{-1}$ 였다. 우리나라의 질소에 대한 방류수 수질 기준인  $60 \text{ mg L}^{-1}$ 의 농도(MOE, 2007)보다 낮지만, 돈분액비를 과다 시비하게 되면 수계로 오염물질을 유출할 가능성이 있다고 제시하였다.

용탈수의 질소 농도는 유거수에 비해 높은 농도를 보였고, 처리 및 처리량에 따라 용탈되는 양의 증가는 더욱 뚜렷하게 나타났으며, 이는 유거수에서의 변화 양상과 비슷하였다(Table 5). 먼저, 용탈수내 암모니아태 질소는  $0.1 \sim 0.3 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 낮은 수준을 보였고, 질산태 질소는  $23.2 \sim 67.6 \text{ mg L}^{-1}$ 로 높은 농도를 보였다. 이는 토양에서 암모니아태 질소에 비해 질산태 질소의 이동성이 좋기 때문이다(Wild, 1981). 돈분액비 처리량이 증가할수록 질산태질소의 유출량이 높아졌고, 이는 처리량의 증가에 따라 토양 중 질소 함량이 증가하기 때문이다(Choudhary et al., 1996). 또한 용탈수의 높은 질산태 농도는 본래 토양의 특성에도 관련이 있다고 판단된다. 돈분액비를 처리하지 않은 무처리구의 용탈수 중 질산태 질소의 농도가  $23.2 \text{ mg L}^{-1}$ 였는데 이는 본래 토양의 질산태 질소와 비슷한 농도이고(Table 1), 짧은 기간의 안정화로 아직 많은 양의 질산태 질소가 용탈되고 있음을 보여주고 있다. 이 농도는 최고 농도를 보인 PS2 용탈수 중 질산태 농도인  $67.6 \text{ mg L}^{-1}$ 의 1/3에 해당하는 양이 본래 토양에서 유래되었고 나머지  $44 \text{ mg L}^{-1}$ 가 돈분액비의 시비에서 유래된 양이다. 총질소 농도에서도 본래 토양의 특성을 제외하면 최고 농도를 보인 PS3에서 돈분액비에서 유래된 용탈수 중 질소의 농도는  $58 \text{ mg}$

$\text{L}^{-1}$ 이다. 이 수준은 우리나라의 질소에 대한 방류수 수질 기준인  $60 \text{ mg L}^{-1}$ 에 근접한 농도이다. 이와 같은 결과는 돈분액비에서 유래된 질소, 특히 질산태 질소는 이동성이 좋기 때문에 과량시비에 의해 지하수로의 유출될 가능성이 높고, 이는 지하수 오염을 발생시킬 수 있음을 제시한다.

인의 경우, 돈분액비의 처리량이 증가함에 따라 유거수에 함유된 인의 농도는 증가하였으나 용탈수 함유된 인의 농도는 큰 차이를 보이지 않았다. 유거수에 함유된 인의 농도는  $0.9 \sim 2.0 \text{ mg L}^{-1}$ 로 용탈수에서 인의 농도인  $3.5 \sim 3.9 \text{ mg L}^{-1}$ 보다 낮았고, 우리나라의 방류수 수질 기준인  $8 \text{ mg L}^{-1}$ (MOE, 2007)보다 낮았다. 일반적으로 인은 토양에 유입된 후 토양에 흡착되어 이동성이 크게 떨어진다고 알려져 있으나, 일부 연구에서는 인이 용탈에 의해서도 많은 양이 이동될 수 있다고 보고되기도 했다(Zhang et al., 2003). 그러나 본 연구에서는 돈분액비를 시비한 후에 용탈수의 인 농도변화가 거의 없었는데, 이는 토양에서 인의 이동성이 떨어진다는 것을 뒷받침해주고 있다. 반면에 표토에 시비한 돈분액비는 빗물에 섞여 지표면을 따라 유거될 수 있기 때문에, 시비량이 증가함에 따라 유거수에 함유된 인의 농도가 증가했다고 판단된다(Zhang et al., 2003).

결론으로, 돈분액비를 시비했을 때에 작물생장이 좋아졌다. 표준시비량의 2배로 처리했을 경우 작물 건중량 및 질소와 인의 흡수량이 증가하였으나, 표준시비량의 3배로 돈분액비를 처리했을 경우 감소하였다. 이는 토양 내 잔류하는 질소와 인의 양을 증가시켜 수계로 유출되는 가능성을 높이게 되고, 본 연구에서 이를 확인하였다. 따라서 돈분액비는 비료로서의 가치가 충분히 있지만 앞으로 작물에 따른 적절한 시비량을 설정하여 이용하는 것이 필요하다.

## 요 약

돈분액비의 처리량이 배추 건중량 및 질소와 인의

**Table 5. Concentrations of total N,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ , and total P in runoff water and leachate water in soil with application of anaerobically digested pig slurry.**

Treatment	runoff				leachate			
	total N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	total P	total N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	total P
----- $\text{mg L}^{-1}$ -----								
CON <sup>†</sup>	7.4	0.2	4.5	0.9	27.9	0.1	23.2	3.8
PS1	9.0	0.3	7.5	1.7	33.0	0.2	28.5	3.6
PS2	7.2	0.3	6.3	1.4	84.2	0.3	67.6	3.5
PS3	10.5	0.9	8.2	2.0	86.0	0.3	66.1	3.9

<sup>†</sup> CON: no fertilization as control, PS1: application with digested liquid pig slurry at  $6 \text{ L pot}^{-1}$ , PS2: application with digested liquid pig slurry at  $12 \text{ L pot}^{-1}$ , PS3: application with digested liquid pig slurry at  $18 \text{ L pot}^{-1}$

이용률, 그리고 유거와 용탈에 의한 질소와 인의 유출 특성에 미치는 영향을 구명하기 위해 포트실험을 하였다. 작물은 토양에 돈분액비를 0, 6, 12, 18 L pot<sup>-1</sup> 처리한 후 50일 동안 재배하였다. 돈분액비 시비에 의해 배추의 건중량은 증가하였고 12 L pot<sup>-1</sup> 처리하였을 경우 가장 크게 증가하였다. 그러나 돈분액비를 18 L pot<sup>-1</sup> 처리하였을 경우 배추 건중량은 감소하였다. 이는 돈분액비의 과다시비로 토양의 염도가 증가했기 때문이라고 판단된다. 돈분액비를 18 L pot<sup>-1</sup>로 처리한 토양의 EC(1:5)는 0.28 dS m<sup>-1</sup>로 다른 처리구보다 유의적으로 높았다. 용탈수와 유거수에서 질소와 인의 농도는 돈분액비의 시비량이 증가함에 높아졌다. 작물의 생육을 증가시키면서 수계로의 비점오염원의 유출을 최소화하는 것을 고려할 때, 본 연구는 돈분액비를 농업적으로 이용하기 위해서는 작물과 지역의 특성을 고려한 적절한 시비량을 설정하는 것이 필요하다고 제안한다.

## 사 사

본 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업 (Eco-technopia 21 project)”으로 지원받은 과제입니다.

## 인 용 문 헌

- American Public Health Association. 1998a. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. Washington, D.C.
- American Public Health Association. 1998b. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed. Washington, D.C.
- Béline, F., J. Martinez., C. Marol, and G. Guiraud. 1998. Nitrogen transformations during anaerobically stored <sup>15</sup>N-labelled pig slurry. *Bioresource Technology* 64:83-88.
- Ceotto, E., and P. Spallacci. 2006. Pig slurry applications to alfalfa: Productivity, solar radiation utilization, N and P removal. *Field Crops Research*. 95:135-155.
- Choudhary, M., L. D. Bailey, and C. A. Grant. 1996. Review of the use of swine manure in crop production: Effects on yield and composition on soil and water quality. *Waste Management and Research*. 14:581-595.
- Dambreville, C., T. Morvan, and J. C. Germon. 2008. N<sub>2</sub>O emission in maize-crops fertilized with pig slurry, matured pig manure or ammonium nitrate in Brittany. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 123:201-210.
- De Smet, J., J. Wontroba., M. de Boodt, and R. Hartmann. 1991. Effect of application of pig slurry on soil penetration resistance and sugar beet emergence. *Soil and Tillage Research*. 19:297-306.
- Hong, C.J., and J.S. Kim. 1984. Biogas production from animal waste by compost heating-methane fermentation system. *Korea J. Waste Management* 1(1):79-92.
- Kang, B.G., I.M. Jeong, K.B. Min, and J.J. Kim. 1996. Effect of salt accumulation on the germination and growth of lettuce (*Lactuca Sativa*, L.). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(4):360-364.
- Kim, J.G., G.B. Lee, D.B. Lee, S.B. Lee, and S.Y. Na. 2004. Influence of liquid pig manure on rice growth and nutrient movement in paddy soil under different drainage conditions. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(2):97-103.
- KMA. 2007. Weather observation data. Korea Meteorological Administration
- Lee, J.T., I.J. Ha, H.D. Kim, J.S. Moon, W.I. Kim, and W.D. Song. 2006. Effect of liquid pig manure on growth, nutrient uptake of onion, and chemical properties in soil. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 24(2):148-156.
- Lee, J.Y. 2006. Policy direction for livestock manure management.
- Lee, S.B. 2007. Utilization of Slurry composting and biofiltration for Rice Cultivation Technology. National Institute Animal Science, Suwon, Korea.
- MAF. 2007. Statistical research annual report of agriculture and forestry. Ministry of Agriculture and Forestry. Seoul, Korea.
- MOE. 2007. Water Quality Conservation Act. Ministry of environment, Republic of Korea.
- NIAS. 2000. Development swine slurry evaporation system integrated aerobic and aerobic (SESA2) process. Research report of National Institute of Animal Science, p. 53-79, RDA, Suwon, Korea.
- RAD. 2000. Methods for chemical analysis of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Ro, H.M., L.S. Kim, M.J. Lee, H.J. Choi, and C.H. Park. Soil Moisture Regime Affects Variation Patterns in Concentration of Inorganic Nitrogen from Liquid Pig Manure during Aerobic Incubation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(1)
- Ro, H.M., W.J. Choi, E.J. Lee, S.I. Yun, and Y.D. Choi. 2002. Uptake Patterns of N and P by Reeds (*Phragmites australis*) of Newly Constructed Shihwa Tidal Freshwater Marshes. *Korean J. Ecol. Field Biol.* 25(5):359-364.
- SAS Institute. 1990. SAS/STAT guide for personal computers. Version 6.03. SAS Institute, Cary, N.C.
- Tani, M., N. Sakamoto., T. Kishimoto, and K. Umetsu. 2006. Utilization of anaerobically digested dairy slurry combined with other wastes following application to agricultural land. *International Congress Series*. 1293:331-334.
- Van der Stelt, B., E.J.M. Temminghoff., P.C.J. Van Vliet, and W.H. Van Riemsdijk. 2007. Volatilization of ammonia from manure as affected by manure additives, temperature and mixing. *Bioresource Technology*. 98(18):3449-3455.
- Wild, A. 1981. Mass flow and diffusion. In the chemistry of soil process, New York.
- Zhang, H.C., Z. H. Cao., Q.R. Shen, and M.H. Wong. 2003. Effect of phosphate fertilizer application on phosphorus (P) losses from paddy soils in Taihu Lake Region: I. Effect of phosphate fertilizer rate on P losses from paddy soil. *Chemosphere*. 50(6):695-701.