

# 구연산을 이용한 돈분슬러지의 중금속 제거 및 안정성평가를 위한 사료용 옥수수 시비반응 연구

오태석<sup>1</sup> · 김창호<sup>1</sup> · 최봉수<sup>2</sup>

## The City Rhinoreaction Research of the Corn Feed for the Heavy Metal Removal of the Pig Ordure Sludge Using the Citric Acid and Stability Evaluation

Tae-Seok Oh<sup>1</sup>, Chang-Ho Kim<sup>1</sup> and Bongsu Choi<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The study which it sees exclusions the copper and the zinc which contain in pig sludge, It study pig sludge resources fertilizer production which are rational, pig sludge resources fertilizers after seeding, silage corn it investigates growth characteristics and forage value, the result which investigates pig sludge resources fertilizers effectiveness with afterwards is same. With fertilizer ingredients in pig sludge chemical qualities, the content of the nitrogen and the phosphoric acid comes 4.4% to be 6.29%, pH 7.02 and content of the copper and the zinc which is a heavy metal which contains in pig sludge with 805 mg/kg and 1,704 mg/kg, it is a restrictive standard of the fertilizer, 300 mg/kg and 900 mg/kg it sees to be high, it manufactures citric acid 1 hydrate with the organic acid solution, heavy metals of pig sludge where it is a mixture ratio of the organic acid solution, it divides to 25%, 50%, 75% and 100% 4 kind levels, the result which measures the heavy metal exclusion ratio of the copper and the zinc, the mixture ratio of the organic acid solution to be many exclusion ratio of the copper and the zinc is showing a just interrelation, from organic acid solution 100% level content of pig sludge remains copper and zinc 330.03 mg/kg and 41.28 mg/kg, it shows the exclusion ratio of copper 59% zinc 97%. 'Cheonganok' growth characteristics with citric acid 1 hydrate, Treatment 2 and control growth characteristics etc, it exclusion the copper and the zinc it doesn't appear on significant difference statistically but, treatment 3 after only pig sludge in resources disposal where it seeding, growth characteristics of leaf area etc. is badness, it compares in control and treatment 2 the growth characteristics badness, it is appearing, it is caused by with disease and insects occurrence of *Ostrinia furnacalis* and brown spot, the damage was many. From forage value, Treatment 2 where it exclusion the heavy metal with the citric acid 1 hydrate with control it compares and there are not significant difference from crude protein and ADF and NDF contents etc., seeding only Pig Sludge in resources disposal treatment 3, it is caused by with *Ostrinia furnacalis* etc., trunk and aging of the leaf to be high ADF content is low. but from crude protein, the nitrogen ingredient which pig sludge has and interrelation it seemed and high numerical value were confirmed.

(**Key words** : Pig sludge, Heavy metal, Silage, Corn production, Composition)

<sup>1</sup> 공주대학교 식물자원학과 (Department of Plant Resource, Kongju National University, 340-702 Yesan, Korea)

<sup>2</sup> 농촌진흥청 국립식량과학원 (National Institute of Crop Science, RDA, 441-857 Suwon, Korea)

Corresponding author: Chang-Ho Kim, Department of Plant Resource, Kongju National University, 340-702 Yesan, Korea. Tel: 82-41-330-1206 Fax: +82-41-330-1209 E-mail: changho@kongju.ac.kr

## I. 서 론

축산분뇨는 주로 우사, 돈사, 계사와 같은 축산단지에서 배출되는 슬러지를 총괄하며, 고농도 유기물로 관리 및 활용 정도에 따라 농업환경과 생태계에 득 또는 실이 될 수 있는 물질이므로 적절한 관리방안이 필요하다. 그 중에서도 특히 양돈단지에서 배출되는 돈분슬러지의 배출량이 증가하였는데, 농림부(2007)의 보고에 의하면 돼지사육으로부터 발생하는 분뇨는 14,726천 톤으로 전체 분뇨발생량의 40%를 차지한다고 하였다. 돈분슬러지가 가지는 화학적 특성 중에 식물의 양분으로 필요한 구리와 아연이 함유되어 있으나, 적정량 이상으로 돈분슬러지에 포함되어 있어 그것을 그냥 시비할 경우 물과 토양의 오염을 초래하고 식품이나 농산물의 중금속 오염을 일으키기도 한다(Relly, 1991). 이러한 원인으로 정부에서는 농산물에 대한 중금속 조사를 1967년부터 쌀의 수은함량 조사를 시작으로 조사대상 중금속도 적은 양으로 유독한 수은과 납뿐만 아니라 영양소이지만 다량 축적되면 유해한 구리와 아연까지 포함하여 조사하고 있다(박 등, 2009).

돈분슬러지는 질소와 인산의 함량이 높고 유기성물질도 다량 함유하고 있어 자원재활용 측면에서 활용가치가 높은 유기성비료로 활용이 가능하나 폐기물로 보면 처리함에 있어 많은 비용이 발생한다(김, 1997; 이 등, 2000). 가축분뇨의 발생량과 이용현황으로 2005년 41,845톤의 가축분뇨가 발생하였고 이 중 82.1%는 퇴비, 액비로 자원화 되었으며, 정화 및 공공처리량이 10.1%, 해양 배출량이 6.5%에 달하는 것으로 나타났다(이, 2007).

또한 국가 정책으로 경종과 축산이 함께하는 생태를 보전하는 자연친화적 순환농업 구현을 위해 향후 2013년에 90%까지 가축분뇨의 재활

용 비율을 높이고 해양배출량이 없도록 할 계획이다(이, 2007). 이에 따라 세계적으로 축산분뇨의 유기성자재로 인식하고 여러 자원화 방안이 논의 되고 있으나 돈분슬러지 중에 포함된 구리와 아연 같은 중금속과 고농도 유기성물질의 처리방안에 대해서는 아직까지 확실한 처리방안이 정립되어 있지 않다. 이렇게 돈분슬러지를 활용하면 그 화학적 특성으로 인하여 이점이 많으나(농림부, 2005) 돈분슬러지를 비료로 재활용하기 위해서 고농도 유기성물질이라는 것과 중금속 함량이 높다는 것을 해결해야만 한다. 이와 더불어 돈분슬러지를 농업인이 손쉽게 이용할 수 있도록 수분조절제 등을 투입하여 퇴비화 하는 것이 중요하다고 사료된다. 따라서 폐기물로 분류되어 막대한 처리비용과 환경오염을 유발하는 돈분슬러지의 재활용을 통하여 합리적이고 안정적인 돈분슬러지를 이용한 퇴비의 제조방법을 규명하고 작물에 이용 가능성을 검증해 볼 필요성이 있다.

돈분슬러지를 사료작물에 시비하면 옥수수의 경우에 생산량과 질소의 흡수율을 높인다는 보고가 있었으며(Jokela, 1992; Beauchamp, 1983), 특히 Paul 등(1990)은 사일리지 옥수수에서 축산분뇨의 질소 이용효율은 돈분으로 제조한 액비의 경우 18~93%, 화학비료의 경우 약 14~93%가 작물에 의해 이용되어 축산분뇨가 작물의 생육에 있어 비효성분의 공급에 유익하다고 하였다.

이에 본 연구는 토양의 중금속 제거에 사용되는 구연산(이 등, 1998)을 이용하여 돈분슬러지에 함유된 구리 및 아연을 제거한 후 부자재로 수피를 혼합하여 퇴비화 시키는 돈분의 퇴비재활용 방법과 만들어진 퇴비를 시용할 경우 사일리지 옥수수의 생육특성과 사료가치에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 돈분슬러지의 중금속 제거

본 연구에 사용한 돈분슬러지는 충남 당진군 석문면에 있는 돈분장에서 2008년 2월에 약 200 kg을 수거 후에 3일간 건조하였으며 유기산용액의 제조는 1,000 mL의 증류수에 구연산1수화물 (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> · H<sub>2</sub>O)을 포화상태에 도달하는 시점까지 첨가하였으며, 그 첨가량은 90 g이었다. 돈분슬러지에서 구리와 아연의 제거를 위하여 제조한 유기산 용액을 이용하였는데 합리적인 제거율을 알아보기 위하여 다시 유기산 용액과 증류수의 혼합비율을 4가지 수준 (75:25, 50:50, 25:75 및 0:100)으로 구분하였다.

또한 4가지 혼합비율에서 중금속 제거율이 가장 높은 혼합비율을 선택하여 1,000 L당 돈분 50 kg 비율로 혼합하여 교반기에 넣고 10시간 침전시킨 후에 시간당 10분씩 교반하였고, 교반시의 스크루 속도는 50 rpm으로 설정하여 교반 후에 돈분 50 kg당 증류수로 500 L에서 2회 세척 후 돈분슬러지 자원화비료의 원재료로 활용하였다.

### 2. 돈분슬러지의 퇴비화과정

돈분슬러지를 작물재배에 이용하기 위하여 퇴비화시킨 후 다양한 특성을 평가하였다. 퇴비화 과정전에 돈분슬러지의 빠른 퇴비화를 위하여 부자재로 수피를 혼합하였고 혼합비율은 처리구 1은 구리와 아연을 제거하지 않은 돈분

슬러지와 수피를 1:1 비율로 혼합하였고, 처리구 2는 유기산으로 구리와 아연을 제거한 돈분슬러지와 수피를 1:1 비율로 혼합하였다. 처리구 3은 다른 부자재를 전혀 혼합하지 않은 돈분슬러지만을 사용하였다.

각 처리구 3개를 6m<sup>3</sup>씩 교반식 퇴비화 설비에 3미터 간격으로 투입하여 교반과정에서 혼합되는 것을 방지하였으며 송풍은 40마력 모터 2기로 1일 12시간씩 공급하였고 뒤집기는 매일 1회씩 진행하여 투입후 20일이 경과 후에 퇴비화설비에서 배출하여 일주일간 후숙 과정을 거친 후에 자원화비료로 실험에서 사용하였다. 퇴비화 안정화 단계를 검증하기 위하여 Zucconi (1981)의 식물독성실험으로 부숙도를 측정하여 이용하였는데 퇴비화설비에 투입후 5일 간격으로 돈분슬러지를 높이별로 상중하 3곳에서 시료를 채취한 후에 채취된 시료는 건조기에 넣고 70℃에서 30분간 건조한 후에 환류장치를 이용하여 환류를 추출하였고, 퇴비화를 거친 다음 작물의 이용할 경우 안전성 검정을 위하여 여과지를 이용 여과한 후에 petridish에 5 ml를 넣고 배추종자를 10개씩 파종하여 발아율과 뿌리의 길이를 측정하여 발아지수를 산출하였다.

발아지수 (Germination Index) 산출공식은 다음과 같다.

$$\text{Germination Index} = (\text{RT} \cdot \text{LT} / \text{RC} \cdot \text{LC}) \times 100$$

RC : 처리구의 발아된 종자수

RT : 대조구의 발아된 종자수

LC : 실침구의 발아된 종자의 평균 뿌리의 길이

Table 1. Mixing ratio of pig sludge and bark used in the compost

Treatment	Pig sludge	Bark	Pig Sludge (Cu, Zn Removal)
Experimental field-1	50	50	
Experimental field-2		50	50
Experimental field-3	100		

LT : 대조구의 발아된 종자의 평균 뿌리의 길이

처리구 2의 경우 구연산1수화물에 장시간 침전시킨 후 pH가 급격히 낮아져 소석회를 돈분슬러지의 중량비로 2.5% 혼합한 후 그늘진 곳에서 14일간 두어 안정화 시킨 후에 옥수수 재배실험을 진행하였다.

### 3. 옥수수의 생육 및 사료가치 평가

퇴비화 과정을 거친 돈분슬러지의 비효, 비해성 및 사료가치를 평가하기 위하여 이용하였으며, 대상작물로는 사료용 옥수수 (품종: 청안옥)를 이용하였다.

실험설계는 대조구로 시판되는 퇴비의 원료배합비율 돈분 60%와 톱밥이 40%로 조성된 퇴비이며, 처리구 1, 처리구 2 및 처리구 3은 퇴비화과정에서 처리된 실험구로 하였다, 옥수수 재배법은 옥수수는 이랑거리 60 cm, 재식거리 20 cm 간격으로 110 m<sup>2</sup> 실험구 12개를 조성한 후 대조구 및 처리수준별로 난괴법 3반복으로 조성하였다. 파종은 2008년 5월 24일 파종하였고, 화학비료는 농촌진흥청 표준영농교본 (2002)을 참고하여 처리구별로 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O를 200-150-150 kg/ha 수준으로, 돈분슬러지는 3,000 kg/ha 수준으로 시비하였다.

옥수수는 파종 후 2주 간격으로 간장, 간경, 엽면적, 생체중, 건물중 등의 생육을 조사하였고, 옥수수의 80% 이상의 황변화가 진행되었을 때를 수확기로 판단하여 사일리지 수량을 결정하였다.

각 처리구별 사용된 돈분슬러지의 화학적 특성은 농촌진흥청의 비료품질검사 (농촌진흥청, 2009) 퇴비의 분석방법에 준하여 분석하였다. 사료가치 평가를 위한 지표로는 조단백질, ADF 및 NDF 함량을 분석하였다. 옥수수의 조

단백질 함량은 AOAC법 (1990)을 이용하였고, acid detergent fiber (ADF)와 neutral detergent fiber (NDF)는 Goering과 van Soest법 (1970)에 준하여 측정하였다. 옥수수의 digestible dry matter (DDM) 함량은 미국초지학회에서 제시한 공식 (DDM = 88.9 - 0.779 × ADF)을 이용하였다. ADF와 NDF가 건물소화율과 섭취량과의 높은 상관관계를 가진 사실을 근거로 추정된 상대적 사료가치 (relative feed value, RFV)는 ADF 및 NDF 값으로 산출하였으며 계산식은 다음과 같다 (Holland 등, 1990).

$$RFV = [88.9 - 0.779 \times ADF(\%) \times 120 / NDF] / 1.29$$

### 4. 돈분슬러지와 토양분석법 및 식물체 분석

토양분석은 중금속을 제거한 돈분슬러지를 사용 전과 후의 토양의 화학성변화를 측정하였으며 토양과 돈분슬러지 분석은 농촌진흥청 표준분석법에 의하여 수행하였으며, 식물체 분석은 옥수수를 건조후 분쇄하여 원자흡광분광기로 분석하였다.

### 5. 통계분석

처리구별 통계분석은 SAS (ver 8.0)을 이용하여 사료용 옥수수의 생육특성 및 돈분슬러지 등의 화학적 특성은 분산분석을 수행하여 5% 유의수준에서 유의성을 검증하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 돈분슬러지의 중금속 제거 및 안정성평가

구연산을 이용하여 제조한 유기산 용액과 증류수의 혼합비율에 대한 돈분슬러지의 중금속 제거효과는 Table 2와 같다. 구연산용액의 농도

Table 2. Removal effect of copper and zinc at different levels of  $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$

Organic acid	Committed level of $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
		removal efficiency (%)		removal efficiency (%)	
$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$	None	805.36		1704.33	
		0		0	
	25	674.76		93.88	
	50	16		94	
		427.69		49.74	
	75	47		97	
	100	376.63		42.50	
		53		97	
		330.03		41.28	
		59		98	

가 100%까지 증가함에 따라 돈분슬러지로부터 구리의 제거율은 59%까지 증가하였으며, 이러한 경향은 아연에서 확연히 나타났는데, 구연산용액이 25% 혼합된 수준에서도 아연의 제거율은 94%로 현저히 높았다. 이러한 결과는 토양 중에 함유된 구리와 아연의 제거율이 구연산이 가장 높았으며, 구연산으로 처리된 토양의 중금속에서 구리와 아연의 결합구조도 Cu, Zn-organic complex 형태로 존재한다는 연구결과와도 일치한다(이, 1998).

구연산의 농도가 높을수록 구리와 아연의 제거율이 높기는 하나, 유기산의 구입비용과 중금속 함유 공정규격 범위를 고려할 때, 구리와 아연을 가장 효율적으로 제거할 수 있는 적정 농도를 알 수는 없다. 왜냐하면 유기산 용액들을 투입하면 유기산들은 소량만 구리와 아연과 complex 형태를 이루어 제거되고, 나머지 유기산들은 free ion 상태로 존재하거나 organic-H의 형태로 존재하기 때문이다.

Fig. 1과 2는 농도별로 구연산을 투입할 경우 나타나는 구리와 아연이 유기산들과의 결합 형태를 비율로 표시한 것이다. Fig. 1에서 구연산용액이 25% 중 47%가 Cu- $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$  complex 형태를 이루어 구리제거에 이용되었

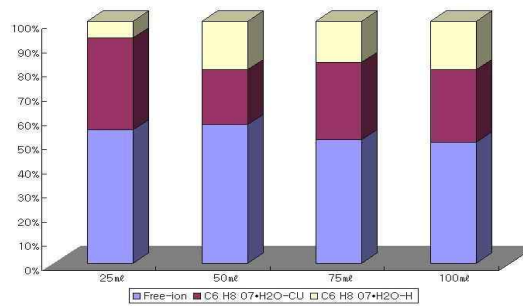


Fig. 1. Form change of the Cu follows on committed level of the  $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$  solution.

다. 반면에 증류수 혼합없이 구연산용액을 100%를 투입한 경우에는 25%가 Cu- $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$  complex 형태를 이루어 구리제거에 이용되었다. 이런 결과는 구리와 아연을 제거하기 위하여 투입한 구연산이 구리제거에 얼마나 효율적으로 이용되었는가를 판단할 수 있다. 구연산수용액의 25%중에 47%가 구리제거에 이용된 것을 구연산 100%중에 25%가 이용된 것보다 더 효율적이다. Cu- $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$  complex 형태를 이루지 않고 free ion 형태로 존재하거나 organic-H 형태로 존재하고 있는 유기산은 재처리하여 활용할 수 있는 방법이 강구되지 못하면 투입되는 유기산 구입비용이 많이 들게 된다. 그리고 자원화비용의 중금속 공정규격에

맞게 구리를 제거하기 위해서는 구연산의 농도를 증가시켜야 하는데, 농도가 증가될수록 중금속이 제거량은 많아지지만 제거율은 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 구연산과 아연의 결합형태를 나타낸 것인데, 구리와 마찬가지로 구연산용액을 25% 투입할 경우에 Zn-C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>·H<sub>2</sub>O complex 형태를 이루고 있는 비율이 높게 나타났다. 본 실험에서 사용된 구연산은 식품첨가물로도 사용되고 있기는 하나, 고농도 보다는 저농도로 이용되는 것이 안정성 측면에서 좋을 것이다. 고농도의 이용은 안정성과 경제성을 고려하였을 때 그 효용성이 떨어진다고 판단되므로 적정농도 규명이 반드시 필요하며 유기산을 다시금 회수하여 재처리하는 방법이 규명될 경우에는 경비와 시간을 절약할 수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 향후 실험에서는 돈분슬러지에서 구리와 아연을 제거하기 위해서는 유기산의 적정농도를 찾아내는 것이 중요하고 free ion 형태와 orgnic-H 형태의 유기산의 재처리 방법이 강구되어야 할 것이다.

돈분슬러지를 퇴비화설비에 넣고 생산하는 일련의 과정을 퇴비화과정 혹은 부숙이라고 한다. 이러한 과정이 중요한 것은 별도의 처리를 하지 않고 돈분슬러지나 유기물을 함유한 유기자재를 작물에 시비하면 다량의 미부숙 물질은

미생물에 의해 다시 분해되며 이 과정에서 온도가 상승하며 이때에 저분자량의 유기산이 생성되는데 이는 화학적 특성이 급격히 변화를 초래하여 작물에게 비해현상이 나타나 최종적으로는 작물이 고사하는 결과까지 초래할 수 있다(Riffaldi et al., 1986 : Sugahara et al., 1984)고 하였으며 이러한 유기산의 비해현상을 측정하는데 발아지수(Germination Index) 측정법을 사용하고 있다.

구연산 100% 농도의 유기용액으로 구리와 아연을 제거한 돈분슬러지를 퇴비화과정 중 배추종자를 이용하여 발아지수 측정을 검사한 결과는 아래 Fig. 3과 같다.

처리구 1과 2의 경우에는 퇴비화과정 시작후 15일 후에 처리구 1은 90까지 상승하였고 처리구 2는 100까지 상승한 후 안정화 단계에 접어들었으나 처리구 3의 경우에는 처리구 1과 2와 비교하여 퇴비화 시작 15일 후에 80을 보이고 있다. 처리구 3의 경우에는 처리구 1과 2 보다 늦은 안정화단계를 나타내고 있으나 모든 처리구들이 15일 이후에는 발아지수가 80 이상을 나타내고 있으며 Zucchini et al.(1981)은 발아지수가 80 이상일 경우에는 안정적이라고 보고하였는데 이러한 결과로 미루어 보아 각 처리구들의 20일 이상의 퇴비화과정을 거칠 경우에는 안전한 퇴비로 제조된다고 판단한다.

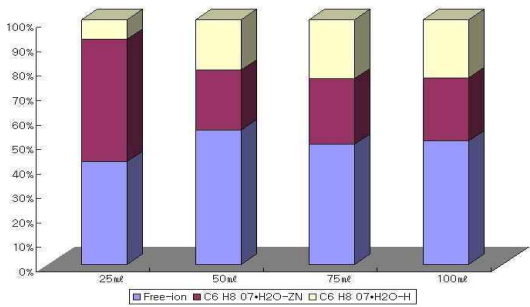


Fig. 2. Form change of the Cu follows on committed level of the C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> · H<sub>2</sub>O solution.

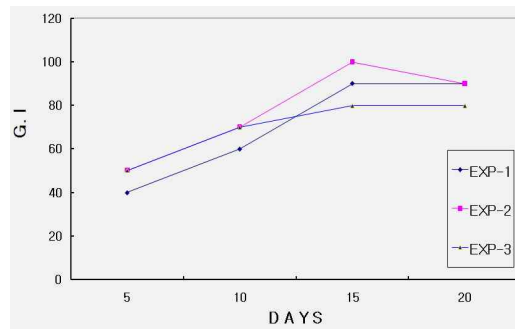


Fig. 3. Change of germination index within the pig sludge during composting.

2. 퇴비화과정을 거친 돈분슬러지의 화학적 특성

퇴비화 과정 종료후 각 처리구별 화학적 특성은 Table 3과 같은데 질소의 경우에는 처리구 3이 4.4%로 가장 높으며 이는 돈분슬러지가 가진 화학적특성에 기인하는 판단되는데 대조구와 처리구 1과 2는 퇴비화과정중에 수피와 같은 부자재가 혼합됨으로 처리구 3에 비하여 질소함량이 낮은 것으로 판단된다. 인산의 함량은 처리구 1이 4.0%, 처리구 2가 3.6%로 돈분슬러지만을 퇴비화한 처리구 3의 6.3% 보다는 낮은 수준이었다. 이렇게 인산의 함량이 차이가 나타나는 것은 질소의 함량과 같게 처리구 1, 2는 부자재인 수피를 혼합하여 퇴비화과정을 진행하여 원료의 배합비율에 따른 차이로 판단되며 처리구 1, 2의 낮은 인산함량은 비효성분으로 볼 때에는 그 효용성이 돈분슬러지에 비하여 떨어진다고 볼 수도 있으나 토양에 인산이 집적되는 경우가 처리구 3에 비하여 낮은 것으로 장기간 연용시 비효성분의 활용도 측면에서는 오히려 유용하다고 사료된다.

중금속 함량부분에서도 처리구 2가 대조구 및 다른 처리구들에 비하여 낮은 수준인데 구리와 아연의 경우에는 Table 7의 결과와 같이 구연산1수화물로 제거된 처리구 2의 구리와 아연의 함량이 180 mg/kg, 249 mg/kg으로 처리구 3의 805 mg/kg, 1,704 mg/kg과 비교하여 보면 23%, 13% 수준으로 낮은 수준이며 구리와 아연 이

외의 비소, 크롬, 니켈 등의 중금속 함량도 대조구나 다른 처리구들 보다 낮게 나타나고 있는데 이는 구연산1수화물에 구리 및 아연 이외의 중금속도 제거된 것으로 판단된다. 이러한 실험결과는 김 등 (2004)의 연구에서도 구연산1수화물과 같은 유기산을 이용하여 토양을 세척하면 구리 및 아연 이외의 다른 중금속도 제거된다고 보고된 결과와 일치한다.

3. 중금속을 제거한 돈분슬러지 시용에 따른 사일리지 옥수수의 생육

다양한 방법으로 퇴비화한 돈분슬러지를 사용하여 재배한 옥수수의 생육을 조사하여 Table 4에 나타냈다. 옥수수의 경태 (간경)는 전 생육기간 처리구별 차이가 없었으며, 간장은 처리구 2에서 옥수수의 생육기간이 증가와 함께 신장하였다. 줄기 신장이 가장 크게 나타난 처리구 2는 엽면적이 증가하였고 이는 최종 산물인 건물중의 증대를 가져왔다.

처리구 3은 옥수수의 수확기 (2008년 8월 22일)의 엽면적이 5,522 cm<sup>2</sup> plant<sup>-1</sup>로 처리구 2보다 낮았으며, 이러한 엽면적의 차이는 동화산물의 생산량의 차이로 이어져 건물중에서도 처리구 2에 비하여 8% 정도 낮은 수준이었다.

처리구 3에서 간장, 엽면적 등의 옥수수 생육이 불량한 원인은 돈분슬러지의 화학적 특성에 기인하는 것으로 사료되는데, 처리구 3은 질소와 총탄소 함량이 각각 4.4와 67%로 성분

Table 3. Chemical properties of composts fermented by different practices

Treatments	OM	T-N	T-P	K	Cu	Zn
	..... % .....				..... mg kg <sup>-1</sup> .....	
Control pot	77.4	3.2	2.8	1.2	241.9	731.5
Experimental field-1	71.1	3.4	4.0	1.1	401.8	1030.5
Experimental field-2	68.2	3.2	3.6	0.9	180.1	249.2
Experimental field-3	67.8	4.4	6.3	1.3	805.4	1704.3

OM: Organic matter, T-N: total nitrogen, T-P: total phosphorous.

Table 4. The growth characteristics of a corn in soils amended with pig sludge compost

Date	Treatments	Stem diameter	Clum length	Leaf area	Fresh weight	Dry weight
		(mm)	(cm)	cm <sup>2</sup> plant <sup>-1</sup>	g	
Jun. 13	Control pot	11.1	44 ab*	229 b	12.8 a	10.2 a
	Experimental field-1	10.3	45 a	252 a	11.7 ab	8.7 ab
	Experimental field-2	11.4	43 b	232 b	12.8 a	10.4 a
	Experimental field-3	10.8	41 c	197 c	10.8 b	8.2 ab
Aug. 22	Control pot	27.3	235 c	5597 c	1030 c	315.5 a
	Experimental field-1	28.4	241 b	5710 b	1033 b	307.7 b
	Experimental field-2	29.1	250 a	5763 a	1045 a	307.2 b
	Experimental field-3	27.5	241 b	5522 d	1002 d	283.8 c

\* Means followed by the same letter in the same columns are not significantly different ( $p < 0.05$ ).

만으로는 높은 수준이나 이들의 상관관계를 따져서 실제 유용한 성분을 나타내는 C/N율은 15.4로써 실질적인 식물체 생육에 있어서는 낮은 C/N율로 작물 생육에 부적합하다고 사료된다.

처리구 2는 출용기가 7월 28일 전후로 파종 후 평균 68일 정도 소요되었으며 이는 대조구와 비슷한 수준이었다. 그러나 다른 처리구보다 생육 속도가 낮았던 처리구 3은 다른 처리구에 비하여 출용기가 4일 정도 지연되었으며, 이러한 출용기 지연은 출사기에도 영향을 미쳐 다른 처리구보다 2일 정도 지연되었으나 통계적인 유의차는 나타나지 않았다 (Table 4). 출사기와 출용기의 지연은 수확기의 지연으로 이어지는데 (김 등, 1998 ; Aldrich et al., 1986), 대조구와 처리구 1, 2는 파종 100~103일 후에 수확기 도달하였지만 처리구 3은 108일까지 소요되었다.

한편 착수고율은 처리구 3에서 49.7%로 가장 높았으며, 처리구 2의 경우 대조구와 비슷한 수준이었다. 착수고율은 도복과 직접적인 연관이 있는데 수확기가 지연된 처리구 3은 우리나라의 기상여건상 여름철에 태풍 등의 발생이 많고 이로 인하여 작물에 물리적 손상이 일어날 확률이 대조구 및 처리구 2 보다 높을 것

으로 사료된다 (김 등, 1998).

박과 서 (2006)의 보고에서는 간장의 차이보다 착수고율이 높거나 경엽의 무게가 많은 집단에서 도복지수가 높다고 보고하였는데, 돈분슬러지의 중금속을 제거한 보다 안정적인 퇴비를 이용함에 있어서 대조구와 비슷한 수준이 나타났다.

#### 4. 돈분슬러지 시용에 따른 사일리지 옥수수의 수량

구연산으로 중금속을 제거한 돈분슬러지를 시용한 옥수수의 건물, 이삭수량은 각 처리구 간 비슷한 경향이 나타났다 (Table 6). 대조구는 건물 및 이삭수량에서 각각 16.0과 6.96 Mg ha<sup>-1</sup>으로 처리구 1과 2보다 낮았으며 TDN에서도 대조구와 다른 처리구 간 비슷한 경향이 나타났다.

한편 인산을 일정수준 이상 시비할 경우 이삭의 수확량이 증가한다고 하였는데 (강 1991), 옥수수의 생육이 저조했음에도 불구하고 처리구 3에서 높은 이삭수량을 나타내는 것은 돈분슬러지의 인산 함량이 6.3%로 (Table 3) 다른 처리구에 비하여 높았던 이유에서 기인한 것으로 사료된다.



Table 5. Growth period of a corn in soils amended with pig sludge compost

Treatments	Silking stage (days)	Heading stage (days)	Harvest season (days)	Ear setting (%)
Control pot	63	69	103a	40.4c
Experimental field-1	65	68	100a	47.7b
Experimental field-2	64	67	102a	42.0c
Experimental field-3	66	72	108ab	49.7a

Table 6. Yield of a corn harvested in soils amended with pig sludge compost for silage

Treatments	Dry matter Mg ha <sup>-1</sup>	Ear production (Mg ha <sup>-1</sup> )	TDN (Mg ha <sup>-1</sup> )	TDN content %
Control pot	16.0c	6.96d	11.8c	73.4
Experimental field-1	17.7a	7.18a	13.1a	73.9
Experimental field-2	17.3b	7.02c	12.7b	73.2
Experimental field-3	15.5d	7.10b	11.6d	74.6

5. 돈분슬러지의 처리방법에 따른 옥수수의 병해충 발생

옥수수 파종 후 생육기간 동안 병해충으로 조명나방과 깨시무늬병에 대한 피해율을 조사하여 Table 7에 나타내었다. 대조구와 비교하여 처리구 1과 2는 조명나방과 깨시무늬병의 피해 정도가 비슷하거나 오히려 낮았지만, 처리구 3은 병해충 발생률이 높았는데 그 원인은 돈분슬러지의 화학적 특성 (Table 3) 중 질소성분이 4.4%로 다른 처리구보다 높았던 것에 기인하는 것으로 판단된다. 이러한 질소를 옥수수가 과다하게 흡수한 결과 작물이 연약해져 병해충이

발생하기 적합한 영양상태를 조성되어 병해충에 대한 방어기작이 약해졌다고 사료되며, 이는 축산분뇨를 시비한 영농농가에서 병해충발생이 많았다는 조사와도 일치한다(최 등 2006).

6. 돈분슬러지 처리방법에 따른 사일리지 옥수수의 사료가치

Table 8은 돈분슬러지를 시비하여 생산한 옥수수의 부위별 사료가치를 나타낸 것이다. ADF는 대조구로 처리한 시판 퇴비구에서 가장 높았으며 처리구 2에서도 종실을 제외한 잎과 줄기에서 높은 값을 나타내 결과적으로 옥수수

Table 7. Treatment damages by blight and harmful insects occurrence presentcondition

Treatments	<i>Ophiobolus heterostrophus</i> Drechs			<i>Ostrinia furnacalis</i>		
	July	August	September	July	August	September
Control pot	1*	9	11	0**	13	20
Experimental field-1	0	5	9	1	11	18
Experimental field-2	1	7	8	0	13	18
Experimental field-3	3	11	21	0	21	44

\* Infected leaf area: (damage area/leaf area)×100

\*\* Damage ratio of plant: (disease plant/reash plant)×100

Table 8. Feed values of a corn harvested from soil amended with pig sludge compost

Plant parts	Treatments	ADF (%)	NDF (%)	CP (%)	DDM (%)	RFV
Ear	Control pot	23.32a*	39.05ab	8.28b	70.7b	168.5bc
	Experimental field-1	19.68c	36.91b	8.72b	73.5a	185.4a
	Experimental field-2	21.67b	38.48b	8.29b	72.0a	174.1b
	Experimental field-3	19.16c	42.98a	9.44a	73.9a	160.1c
Leaf	Control pot	22.50a	42.57a	10.47a	71.3ab	155.9c
	Experimental field-1	22.24a	40.06a	9.93a	71.5ab	166.2ab
	Experimental field-2	22.52a	41.25a	9.94a	71.3ab	160.9b
	Experimental field-3	18.42b	40.89a	9.97a	74.5a	169.6a
Stem	Control pot	21.95a	41.75a	8.55b	71.8a	159.9c
	Experimental field-1	21.56a	38.29b	8.36b	72.1a	175.1a
	Experimental field-2	22.30a	39.22b	8.90b	71.5a	169.6b
	Experimental field-3	19.85b	38.07b	10.84a	73.4a	179.4a
Total	Control pot	23.58a	43.52a	7.24c	70.5b	150.9b
	Experimental field-1	23.45a	42.65a	8.94ab	70.6b	154.3b
	Experimental field-2	22.82a	43.77a	8.08bc	71.1b	151.4b
	Experimental field-3	17.53b	41.86ab	9.29a	75.2a	167.5a

ADF: Acid detergent fiber, NDF: Neutral detergent fiber, CP: crude protein, DDM: digestible dry matter, RFV: realative feed value.

전체에 대해서는 대조구와 차이가 없었다. 반면 처리구 3은 모든 부위에서 가장 낮은 값을 나타내 1개체의 전체 ADF 함량이 17.53%로 가장 낮은 수준이었다. 돈분슬러지를 부자재와 혼합하여 퇴비화한 처리구에서 옥수수의 NDF는 잎 40.06~41.25%, 줄기 38.07~39.22%로 유의차가 나타나지 않았으나, 처리구 3은 종실부분에서 42.98%로 다른 처리구보다 높은 값을 나타냈으며 이는 처리구 3에 시비한 돈분슬러지의 인산 함량이 높아 종실의 생육이 적합한 것으로 판단되며 이러한 결과는 이삭의 건물생산량과 NDF의 관계가 정의상관관계를 나타낸다는 손 등 (2006)의 연구와도 일치한다.

옥수수의 조단백질 함량은 대조구 및 처리구 1, 2에서 유의차가 없었으나 처리구 3은 다른

처리구보다 높게 나타났다. 조단백질 함량은 질소질 공급량에 따른 차이에 기인한다고 보고하였는데(최, 1990), 돈분슬러지가 지닌 높은 질소질 성분으로 인하여 처리구 3에서 옥수수의 조단백질 함량이 증가하였다고 사료된다.

RFV는 처리구 3의 잎과 줄기부분에서 각각 167과 174로 높게 나타났으며, 개체별 RFV도 처리구 3이 167로 가장 높았다. 그 다음으로 처리구 1이 154이나 대조구나 처리구 2의 150과 154로 통계적인 유의차는 없었다.

#### 7. 구연산으로 처리한 돈분슬러지의 안정성 평가

식품의 중금속 오염은 식품의 수확, 가공, 포

장 등의 과정에서 우발적으로 일어나기도 하지만 대부분은 오염된 물과 토양 등이 환경오염이 많은곳에서 재배되었을 경우에 일어난다(최 등, 2010). 이렇게 중금속에 오염된 농산물이 인간에게 이행되었을 경우 자연적 또는 인위적 방법으로 쉽게 분해되지 않고 축적된다. 체내에 들어온 모든 금속이 그대로 축적되는 것은 아니나 식품에 의해 섭취된 실제 흡수량은 섭취 식품이나 농산물의 종류 등에 따라 달라지나 저농도 일지라도 그 독성이 건강상에 위해를 끼칠 수 있다(Relly, 1991).

이러한 이유로 정부에서는 축산분뇨를 이용한 비료의 경우 구리와 아연의 중금속 함유량에 대하여 공정규격을 설정하고 지속적으로 감시하고 있다.

상기와 같이 돈분슬러지에 함유된 구리와 아연을 제거 후 사용된 돈분슬러지 재활용비료의 중금속함량에 대한 안정성 평가를 토양과 옥수수의 잔존중금속함량으로 실시하였고 그 결과는 아래 Table 9와 10과 같다.

구연산으로 돈분슬러지의 구리와 아연을 제거한 처리구 2가 옥수수 재배 후 토양잔존 중금속함량도 가장 낮게 나타내고 있는데 구리의 경우에는 처리구 2가 2.40 mg/kg으로 가장 높은 구리의 잔존량을 나타낸 처리구 3의 8.00 mg/kg과 비교하였을 경우 30% 수준이었고 아연의 경우에도 처리구 3의 경우에는 22.37 mg/kg으로 가장 낮은 아연의 잔존량을 나타낸 처리구 2의 4.26 mg/kg 보다 약 5배 높은 잔존량을 나타내고 있다.

Table 9. Heavy metal contents in soil amended with pig slurry compost

Treat ment	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
before	3.03b	6.84c	0.28a	0.366a	1.89a	0.05a
Control pot	2.41c	7.30b	0.28a	0.185bc	1.19b	0.04a
Experimental field-1	3.16b	7.83b	0.12c	0.161c	0.81c	0.02b
Experimental field-2	2.40c	4.26d	0.12c	0.139c	0.85c	0.02b
Experimental field-3	8.00a	22.37a	0.19b	0.266b	1.07b	0.05a

Table 10. Copper and zinc content in a corn cultivated in soils amended with pig slurry compost

Treatment	Region	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Control pot		2.56ab	14.12b
Experimental field-1	ear	2.09bc	15.00b
Experimental field-2		1.91c	9.89c
Experimental field-3		2.66a	22.42a
Control pot		15.30b	27.18b
Experimental field-1	leaf	10.73c	27.56b
Experimental field-2		11.73c	20.74c
Experimental field-3		75.30a	50.56a
Control pot		5.57b	13.80c
Experimental field-1	stem	2.82c	17.01b
Experimental field-2		2.57c	13.80c
Experimental field-3		6.98a	28.69a

Table 11. The effects of pig slurry compost on the content of copper and zinc in a corn

Materials	ear	leaf	stem	plant
Cu	0.62	0.92	0.94*	0.68
Zn	0.99	0.96*	0.96*	0.93

\* Significant at the 0.05 probability levels.

이러한 토양의 잔존중금속 함량은 옥수수의 중금속 함량에서도 같은 경향을 나타내고 있다 (Table 10). 토양중의 구리와 아연의 잔존량과 함께 처리구 3의 옥수수내 구리와 아연의 함유량도 다른 처리구들보다 가장 높게 나타나고 있으며 처리구 2가 가장 낮은 중금속 함량을 나타내고 있다.

특히 옥수수중에서 식용이나 사료용으로 가장 많이 사용되는 이삭부분의 중금속함량중 아연의 경우에는 처리구 3이 22.47 mg/kg 가장 높게 나타났으며 처리구 2가 9.89 mg/kg로 처리구 3에 비하여 44% 수준으로 낮게 나타났고 이러한 구리와 아연의 옥수수내 함유량과 처리구에 시비된 자원화비료의 구리와 아연의 함량에 대하여 상관관계를 분석한 결과는 Table 11과 같다.

구리의 경우에는 돈분슬러지의 구리의 함량과 옥수수의 구리의 함량은 정의 상관관계를 보였으며 이중에서도 줄기의 부분에서  $r=0.94$ 로 시비한 처리구의 구리의 잔존량과 높은 정의 상관관계를 나타내며( $p<0.05$ ) 아연의 경우에도 구리와 유사한 결과로 옥수수의 아연함량은 자원화비료의 아연의 함량과 정의 상관관계를 나타내고 있는데 앞의 경우에는  $r=0.96$ 이고, 줄기는  $r=0.99$ 로 5% 신뢰수준에서 유의차가 인정되는 정의 상관관계를 확인할 수 있다.

이렇게 구리와 아연을 제거하지 않은 돈분슬러지를 사용한 경우에는 토양과 농산물에 구리와 아연의 함유량이 증가하는 것이 통계적으로 확인되고 있으므로 토양과 농산물에 구리와 아연 축적을 방지하기 위해서는 구연산으로 돈분

슬러지의 구리와 아연을 제거하여야 할 것으로 판단한다.

#### IV. 요약

본 연구는 돈분슬러지에 함유되어 있는 구리와 아연을 제거하여 합리적인 돈분슬러지 자원화비료 생산법을 연구하였고, 돈분슬러지 자원화비료를 시비 후 사일리지 옥수수의 생육특성과 사료가치를 조사하여 돈분슬러지 자원화비료의 효용성을 평가하였다. 돈분슬러지의 화학적 특성으로 질소와 인산의 함량은 각각 4.4와 6.29%였으며, 구리와 아연의 함량은 각각 805와 1,704 mg kg<sup>-1</sup>이었다. 구연산을 유기산 용액으로 제조하여 돈분슬러지의 구리와 아연 제거율은 유기산용액의 혼합비율이 많아질수록 증가하였고, 유기산용액 100% 수준에서 구리는 59%, 아연은 97%까지 제거하였다. 구연산으로 구리와 아연을 제거한 후 퇴비화과정에서도 처리구 2는 15일 후 발아지수가 100으로 가장 높았고 처리구 3이 80으로 가장 낮은 수준으로 나타나 안정적인 자원화비료로 생산되었다고 판단할 수 있다. 돈분슬러지로 제조된 자원화비료를 시비한 후 재배한 옥수수는 대조구와 비교하여 처리구 1과 2는 통계적 유의차가 나타나지 않았으나 돈분슬러지만을 자원화한 뒤 시비한 처리구 3에서 엽면적 등의 생육특성이 불량하였으며 조명나방과 깨씨무늬병의 발생으로 인한 피해가 많았다. 옥수수의 사료가치 측면에서 처리구 2는 ADF, NDF 및 조단백질 함량이 대조구와 차이가 없었으며, 처리구 3은

줄기와 잎의 노화정도가 높아 ADF 값이 낮았으나 돈분슬러지가 가진 질소성분과 정의상관 관계를 보인 조단백질 함량은 다른 처리구 보다 높았다. 안정성측면에서는 구리와 아연이 제거된 처리구 2의 토양은 처리구 3 보다 구리의 경우에는 44%, 아연의 경우에는 19% 수준으로 낮았고 옥수수내의 구리와 아연의 함량도 처리구 3이 가장 높게 나타나고 있으며 처리구 2와 처리구 3 사이에 통계적인 유의차가 인정되었다.

## V. 인 용 문 헌

1. 강영길. 1991. 화산회토에 있어서 인산시비량이 단옥수수의 생육 및 수량에 미치는 영향. 한국작물학회지 36:52-56.
2. 김두환. 1997. 산업폐기물의 수분조절제 대체가 양분 분포의 퇴비화에 미치는 영향. 축산시설환경학회지 3:19-26.
3. 김창호, 박상철, 이효원. 1998. Silage용 옥수수의 생육특성, 수량 및 생육해석의 품종간 비교. 한국조지학회지 18:79-88.
4. 김성현, 이인숙. 2004. 구리 내성 식물에 관한 연구. 한국생태학회지 27(1):43-47.
5. 농림부. 2007. 가축통계.
6. 농림부. 2005. 축산환경 시책 및 기술자료.
7. 농촌진흥청. 2009. 공고 제2009-56호 (비료의 품질검사).
8. 농촌진흥청. 2002. 표준영농교본.
9. 박상원, 윤미연, 김진경, 박병준, 김원일, 신중두, 권오경, 정덕화. 2008. 탑라이스 생산지역 논토양 중 중금속 함량과 쌀의 안전성. 한국식품위생안전성학회지 v.23 no.3 pp. 239-247.
10. 박용하, 서경원. 2006. 휴, 폐금속 광산지역의 토양오염관리정책의 평가. 지하수토양환경 11:1-11.
11. 손범영, 문현귀, 정태욱. 2006. 국내육성 사일리지옥수수의 일반생육특성 및 사료가치의 품종간 비교. 한국작물학회지 51(3):19-25.
12. 이기철, 강순기, 공성호. 1998. 저분자량 유기산 세척을 이용한 오염토양으로부터의 Cu 제거에 관한 연구. 대한지하수환경학회지 pp. 30-36.
13. 이정철, 이시래, 이완희, 서정근, 김정우. 2000. 가축분뇨를 이용한 기능성 원예배양토 개발-배양토의 혼합비율이 Tagetes 'Orange Boy'와 Brassica 'Jeung II -Poom'의 plug seedling의 생장에 미치는 영향. 한국생물환경조절학회지 2000년 학술발표논문집 pp 51-57.
14. 이상철. 2007. 자연순환형 친환경 축산정책 방향. 한국중축개량협회. pp.38-43.
15. 최상집. 1990. 남부지방에서 옥수수와 수수의 사일리지 생산성. 영남대 대학원 석사학위논문.
16. 최동윤, 노재승, 이상철. 2006. 양돈분뇨 액비를 이용한 경종농가의 작물재배실태조사. 축산시설환경학회지 12:141-150.
17. Aldrich, S.R., W.O. Scott and R.G. Holeft. 1986. Modern comproduction. 3rd ed., A&L Publications, Champaing, Illinois.
18. AOAC. 1990. Official method of analysis. 15th ed. Association of official analytical chemists. Washington D. C.
19. Beauchamp, E.G. 1983. Response of corn to nitrogen in preplant and sidedress applications of liquid cattle manure. Can. J. Soil Sci. 63:377-386.
20. Goering, H.K. and P.J. van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis. Agr. Handbook No. 379, Agricultural Research Service, USDA, Washington, D.C
21. Holl, C., W. Kezam, W.P. Kautz, E.J. Lazowski, W.C. Mahanna and R. Reinhart. 1990. The pioneer forage manual-A nutritional guide. pioneer Hi-Berd Int. Des Moines, IA.
22. Jokela, W.E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects of corn yield and soil nitrate. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:148-154.
23. Reilly C. 1991. Metal contamination of food. 2nd ed. Elsevier Science Publishing Co., New York, USA. p 5-21.
24. Paul, J.W., Beauchamp, E.G., Whiteley, H. and Sakupwanya, J. 1990. Fate of manure at the Arkell and Elora Research Station 1988-1990. Omtario Ministry of Agriculture and Food, Toronto, ON. Special Research Contract.

25. Riffaldi, R., R. Levi-Minzi A. Pera and M. de Bertoldi. 1986. Evaluation of Compost Maturity by Means of Chemical and Microbial Analyses. *Waster Management & Research* 4:387-396.
26. Sugahara, K., S. Koga, and A. Inoko. 1984. Color Change of straw during composting. *Soil Sci. Plant Nutr.* 30(2):163-173.
27. Zucconi, F., A. Pera, M. Forte, and M. de Bertoldi. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle* 22:54-57.
28. 최채만, 최은정, 김태량, 홍채규, 김정현. 2010. 서울에서 유통 중인 채소류의 중금속 함량에 관한 연구. *한국식품영양과학회지* 39(12):1873-1879.  
(접수일: 2011년 9월 15일, 수정일 1차: 2011년 10월 17일, 수정일 2차: 2011년 11월 3일, 게재확정일: 2011년 11월 21일)