

목초액 처리가 돈분 퇴비화 과정중 악취저감에 미치는 영향

이종은* · 장기운 · 이종진 · 황준영¹

Reduction of the Odors during Pig Manure Composting Using of Pyroligneous Acid Liquor

Jong-Eun Lee* · Ki-Woon Chang · Jong-Jin Lee · Joon-Young Hwang¹

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the effect of odor removal such as NH₃, volatile organic acid (VOA) during the pig manure composting using of the Pyroligneous acid liquor (PAL). The odor removal efficiencies were evaluated throughout the dilution rates (×0, ×100, ×300) of PAL. The results of the study are as followings.

NH₃ content in all treatments (volume 10L) was approximately 8 mg/kg in compost piles on the first day. In the case of control treatment, it was increased by 46 mg/kg within 10 days and was not detected after 25 days. In contrast, those levels in PA-100 and PA-300 treatments were similar values at 38 mg/kg within 6 days and decreased after 15 days. And GC. equipment was used to analyze the volatile organic acids (acetic acid, butyric acid, isobutyric acid, isovaleric acid, 2,3-methylbutyric acid, and propionic acid). The concentration of acetic acid and butyric acid were the higher than other VOAs during the initial composting day and sharply declined after 15 days. The VOAs in the control treatment were detected until 40 days, but PA-100 and PA-300 treatments were not measured after 15 days. The PA-100 in all treatments was the most

충남대학교 농업생명과학대학 농화학과 (Dept. of Agricultural Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

¹ 한국과학재단 (KOSEF, Daejeon 305-350, Korea)

*교신저자 : 이종은 (E-mail : leejjong@hanmail.net, Tel : 042-821-7887)

effective treatment for NH₃ gas and VOAs reduction during composting.

In addition, these studies for the odor reduction in compost manufacture process would have to research on more effective methods for the PAL utilization in agro-biological aspects

Keywords : Pyroigneous acid liquor, Pig manure, Composting, Ammonia gas, Volatile organic acid

1. 서 언

축분의 자원화에서 해결해야 할 과제 중의 하나는 처리과정 중 발생하는 각종 악취를 감소 또는 제거하는 것이다. 가축분뇨에서 유래되는 악취성분을 보면 생돈분에서는 강산성 가스가 주종을 이루는 반면, 생계분의 경우에는 혐기성 가스가 주종을 이룬다. 톱밥이나 팽화왕겨 등과 혼합된 축분 퇴비화 초기에는 황화합물질, 알데히드, 알콜, 암모니아 등 다양한 종류의 악취 성분이 발생되나, 퇴비화 약 4일째 이후에는 중성과 산성가스가 복합적으로 발생하게 된다. 축분퇴비화 과정 중에서 발생하는 가장 일반적인 악취물질인 암모니아는 혐기성 상태뿐만 아니라 질소 함유 유기물의 호기성 분해과정에서도 발생된다. 또한 과도한 암모니아의 발생은 질소원의 손실을 가져올 뿐만 아니라 퇴비이용율의 한계 등을 야기할 수 있다.

퇴비화 과정 중 암모니아 생성은 일반적으로 pH와 수분함량 그리고 온도 등에 크게 영향을 받으며, Kwon *et al.* (2000)은 고속 퇴비화 시설을 이용한 돈분 퇴비화에서 발생하는 암모니아 가스 발생 경향은 수분 함량과 온도 변화에 밀접한 관계가 있다고 보고하였다. 퇴비화 과정을 통해서 암모니아 가스가 휘산되는 것은 퇴비양분함

량과 작물의 영양측면에서 대단한 손실이다. 암모니아 휘산은 퇴비화의 C/N율에 큰 영향을 미치기 때문이며, 미생물의 영양원으로서 질소의 손실은 퇴비화의 분해시간을 지연시키는 원인이 된다. 또한 작물의 영양생장과 생식생장에 있어서 질소는 없어서는 안 될 필수원소이므로 작물 생육에 있어서 영양원으로서의 손실은 이루 말할 수 없을 것이다. 또한 축분에서 발생하는 암모니아 가스 외에도 탄소 2개에서 5개 화합물인 휘발성 유기산, phenol, p-cresol, indole, skatole, ammonia, hydrogen sulfide, dimethyl disulfide, trimethylamine, styrene, acetaldehyde 등이 함유되어 있다(Oh *et al.*, 1999). 특히 유기산(volatile organic compounds: VOCs)은 혐기상태의 조건인 퇴비화 과정중 초기에 그 발생량이 최고에 달하며 퇴비화가 진행되면서 급격히 감소하는 경향을 보인다(The Composting Council, 1993). 이러한 휘발성 유기산 중에서 acetic acid, butyric acid, iso-butyric acid, valeric acid, iso-valeric acid, propionic acid 등이 대표적인 자극성 휘발성 성분들이다 (Hellman *et al.*, 1974).

이러한 휘발성 유기산들은 식물독성물질임을 Devleeschauwer *et al.* (1981)이 보고하였으며, Chang *et al.* (1996) 역시 퇴비화 과정 중 발생하는 휘발성 지방산들 중 acetic acid와 butyric

acid가 주요 성분임을 보고하였고, 이들 성분들이 식물독성물질임을 배추와 상추의 발아실험을 통해서 확인하였다.

목초액이란 '목재를 탄화 (열분해)하는 과정에서 발생하는 연기를 냉각시켜 얻어지는 응축물을 일정기간 정치한 다음 분리된 경질유 (상층)와 중질유 (하층)를 분리 제거한 중심층의 수용액을 말하며 담적갈색 내지 적갈색을 띠고 특유의 냄새를 지니고 있는 물질'이라고 정의하고 있다 (KT&G, 1999). 이러한 목초액은 오래전부터 항균, 살균, 보존성 향상, 항산화 효과 및 가공식품의 향취개선을 목적으로 식품용 첨가제로 사용되어 왔으며, 근래에는 토양살균, 작물의 해충 기피, 식물생장 및 뿌리생육 촉진효과 등에 대한 여러 가지 효과가 검증되고 있다. 목초액의 효과에 대한 연구는 국내외적으로 진행되고 있으며 국내에서의 Huh *et al.* (1998~1999)은 쓰레기 매립지의 침출수의 악취제거효과를 조사하였다.

현재까지 국내외에서 목초액을 이용한 연구는 식물과 토양분야에 제한되었으며, 퇴비화에서 발생하는 악취발생량 저감과 부숙도 촉진을 위한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 퇴비부숙 과정중 질소성분들의 손실을 억제하고 또한 부수적으로 발생하는 악취와 식물독성물질인 유기산을 줄이기 위한 방안으로 천연유기폐자원인 목초액의 탈취제 및 부

속촉진 효과를 검증하여 목초액의 활용을 확대하기 위하여 수행하였다.

II. 재료 및 방법

목초액

본 연구에 공시원료로 사용된 참나무류 (*Quercus* spp.) 정제 목초액 (Pyroligneous acid liquor: 木酢液)은 S회사로부터 공급받았으며, 정제식제조법에 의해 약 6개월간 방치 후 상층의 경질유와 하층의 중질유를 제거한 다음 중층만을 취하여 만들어진 것이다. 이하에서는 목초액 (PA)이라 표기하였으며, 원료의 이화학적 특성에 관한 결과(임업연구원 성분기준)는 Table 1과 2에 있다.

목초액 분석방법

목초액의 화학성분에서 pH는 pH meter (Mettler Toledo MP 220)로, EC는 EC meter (TOA CM-11P)를 이용하였다. 총질소는 Kjeldahl법, 유기물은 Tyurin법, 총인산은 HClO₄ 분해법을 통한 분광광도계(UV/Vis.)로 측정하였다. 또한 수용성양이온과 미량이온분석은 ICP (PE-Optima 3300DV)를 이용하여 정량분석하였다. 산도 (acidity)는 0.1N NaOH 용액으로 중화점 기준으로 하여 적정한 값으로 계산하였으며, 비중은 15±1℃의

Table 1. Comparisons of the standard values and sample (PAL)

Materials	Density (g/cm ³)	pH	Acidity	Tars	Refractive index	Colors
				%		
Standard values	1.005~1.04	2.0~3.5	1.5~9.0	< 0.6	-	blight brown and dark red brown
PAL	1.04	3.45	3.10	0.04	3.25	blight brown

Table 2. Chemical properties of pyroigneous acid liquor

pH	EC dS/m	T-N g kg ⁻¹	T-C	T-P	Soluble-cations			
					Mg	Ca	Na	K
3.4	4.5	0.97	1.3	ND*	2.3	34.8	5.1	12.8

*ND : Not detected.

저온항온 순환수조에서 비중계를 이용하여 측정하였고, 용해타르 (tar)는 600±1℃의 전기로에서 48시간 동안 건조 후 중량을 측정하였으며, 굴절률은 Brix refractometer를 이용하였다.

퇴비화 목초액 처리

본 연구는 목초액을 이용한 1.2 m³ 부피의 퇴비화 과정중 발생하는 악취의 발생량을 조사하기 위하여 수행하였다. 또한 목초액은 퇴비제조과정중 원료배합시 100배와 300배 희석액을 관수(5L)하며 뒤집기와 함께 10일과 25일째 동일하게 3회 수행하였으며, 관행구는 물을 같은 조건으로 공급하였다. 이때 돈분과 톱밥을 6:4(v/v) 부피비율로 혼합하였고, 최종적으로 약 55~60% 수준의 수분함량으로 조절하였다.

암모니아가스 측정

암모니아가스 측정은 본 실험의 퇴비화 장치의 규모 (퇴비총부피 500L)가 상대적으로 크기 때문에 측정기기의 최대값이 초과되어 측정하기가 부적합하여 퇴비 총부피의 약 2% (10L)인 플라스틱 용기로 축소 제조하여 퇴비화 공정과정과 동일조건으로 유지하면서 측정하였다. 측정방법은 암모니아 가스측정기 (Toxi Vision NH₃)로 매일 교반 후 최대 가스 발생시에 측정하였다.

휘발성 유기산 분석

유기산을 분석하기 위한 시료는 변질 또는 부

패를 방지하기 위하여 처리구 및 시기별로 채취하여 냉동 (-4℃) 보관하였으며 4일째를 제외한 뒤집기 직후인 1, 4, 10, 15, 25, 40, 50, 60일째로 하였다. 냉동시료 10 g을 취하여 증류수 100 ml를 가한 후 인산용액 (H₃PO₄)을 첨가하여 pH 2.0으로 조절한 다음, 내부표준물질로서 탄화수소인 dodecane 20μl를 가했다. 다음 200 rpm에서 한 시간 동안 진탕 추출하였다. 추출한 용액을 여과한 다음, 여과액을 분획여두에 옮겨 diethyl ether 50ml를 가하여 총 2회 추출하였다. 상층액인 diethyl ether 층을 무수 Na₂SO₄를 통과시켜 수분을 제거하고 감압 농축한 다음, N,O-bis-trifluoroacetamide에 1% trimethylchlorosilane을 첨가한 용액 100μl, pyridine 100μl를 가하여 80℃에서 30분간 반응시켜 trimethylsilation화 시킨 후 GC로 분석하였고 이때의 분석조건은 아래 Table 3과 같다.

III. 결과 및 고찰

암모니아 가스

호기성정체식퇴비화장치 (ASPS)의 규모를 축소화하여 PVC 재질의 소형퇴비화장치를 제작 (10L)하여 실험한 결과 암모니아 가스의 발생량은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 암모니아 발생 정도는 퇴비더미의 온도변화(Fig. 1)와 비례하여 증감하는 밀접한 상관성을 보였다. 초기 온도 변

Table 3. Optimal conditions of gas chromatography for analysis of volatile organic acids

Instrument	Gas chromatography
Model	HP 5890 series II
Column	Supelcowax fused silica capillary 30m×0.25ID, 0.25µm film
Detector	FID HP 3394 series II
Integrator	Attenuation: 32mV
Temperature Oven	50°C(5min), increase 3°C/min, 240°C(20min)
Injector/Detector	250°C / 270°C
Split ratio/Flow rate	60 : 1 / 1 ml/min
Head pressure/Chart speed	30 kg/cm ² / 0.5cm
Injection volume	0.4µl

화가 급격히 증가하는 약 5일 전후에 PA-100과 PA-300 처리구에서 암모니아 발생량이 급격히 증가하였다. PA-100에서 36.0 mg/kg을 보였고, PA-300은 32.8 mg/kg 수준으로 측정되었으나 관행구에서는 16.0 mg/kg으로 현저히 낮은 발생을 보였다. 퇴비화가 진행되면서 목초액 처리구에서 발생량은 약 18 mg/kg 수준이었던 반면, 관행구에서는 가장 높은 발생량으로 약 46 mg/kg으로 나타났다. 이는 퇴비더미의 온도변화가 목초액처리구에서 관행구보다 빠르게 상승한 경향과 밀접한 관계로 보였다. 또한 관행구에서는 약 25일부터 목초액 처리구들은 약 15일부터 암모니아 발생이 거의 일어나지 않았다. 그리고 본 연구기간 동안 암모니아 가스의 발생총량을 합산하여 본 결과, 관행구는 428 mg/kg 이었으며, PA-100과 PA-300 처리구에서는 각각 282 mg/kg, 308 mg/kg으로 나타났다. 따라서 관행구로 비교하였을 때 PA-100은 34.1%, PA-300은 29.0%의 감소를 보였다. 또한 10명을 기준으로

관능시험을 달관조사한 결과, 목초액을 처리한 PA-100 처리구에서 악취발생이 가장 적게 조사되었다.

Huh *et al.* (1999)은 매립지 침출수에 목초액 처리가 암모니아의 경우 5배, 황화수소의 경우 2배 이상의 제거효과가 있음을 보고하였고, Park *et al.* (2003)은 목초액을 20배 희석하여 분무한 축사내의 암모니아 가스의 제거율이 다른 탈취제에 비해 우수하였다. 이는 목초액의 탈취효과 뿐만 아니라 페놀성분들로 인한 가리움효과 (eclipsed effect)와 같은 기능을 갖고 있기 때문이다. 또한 악취성분의 제거는 식물 정유에 의한 소취 메커니즘 등으로 설명될 수 있으며, H₂S의 경우 알데히드 성분 (-CH=CHCHO)에 의해 -CH=CHCOSH₃로 반응하며, NH₃의 경우에는 방향족 화합물의 >C-H 결합이 >C-NH₃로 치환되는 반응이 일어나 악취를 줄일 수 있게 된다. 목초액의 경우도 함유되어 있는 초산 및 알데히드 등에 의한 중화반응과 페놀 및 크레졸 등에 의한 가리움 작용에 의한 것으로 판단된다.

휘발성 유기산 휘발성 유기산 중에서 acetic acid는 Devleeschauwer (1981), Espstein (1987)과 Falcon *et al.* (1987)에 의하면 300 mg/kg 이상이면 식물생장에 대한 독성피해가 있음을 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 목초액을 첨가한 돈분 퇴비화 과정중 휘발성 유기산 화합물의 GC기기의 측정 결과 RT(retention time)값이 acetic acid: 4.136, propionic acid: 6.230, butyric acid: 7.341, iso-butyric acid: 8.340, 2-methyl butyric acid: 10.612, valeric acid: 13.239, iso-valeric acid: 14.573, 3-methyl valeric acid: 16.458에서 총 8개의 화합물들을 분리 정량하였다. 이와 관

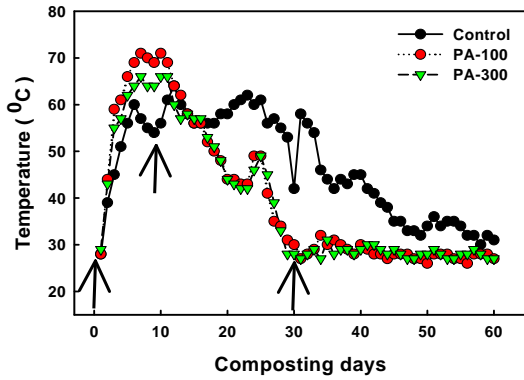


Fig. 1. Changes of temperature during the composting.

↑ : Pile turning and PA applying

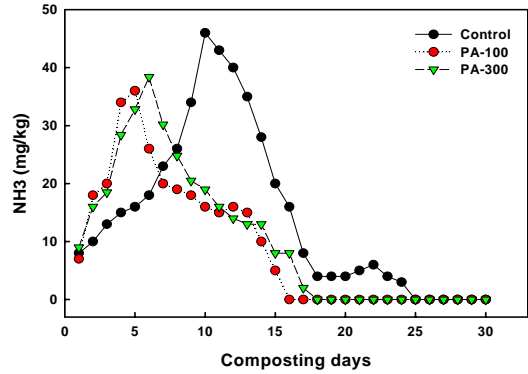


Fig. 2. Changes of NH3 content during the composting.

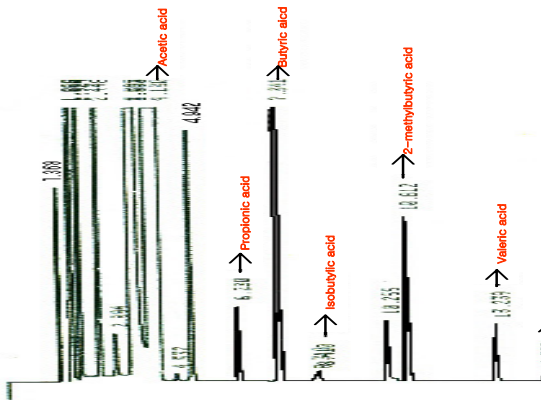


Fig. 3. Separations of volatile organic acids in compost by GC.

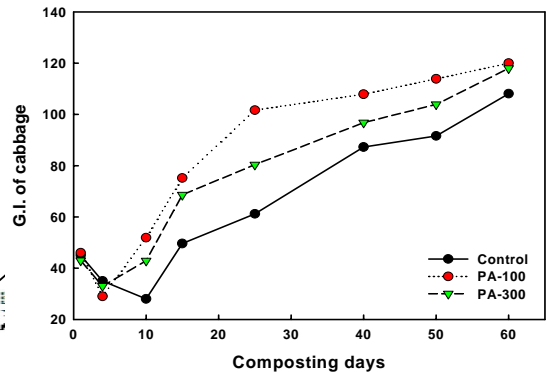


Fig. 4. Changes of G.I. values of cabbage during the composting.

련된 크로마토그램은 Fig. 3과 같고, 위 화합물에 대한 검출량은 Table 4에 나타내었다. 그리고 Fig. 4에 식물독성실험에 대한 결과이며 유기산 함량의 변화와 높은 상관성을 보였다.

휘발성 유기산 화합물의 생성은 퇴비화 초기에 활발하게 발생하였고, acetic acid, butyric acid, propionic acid 등이 가장 두드러지게 생성되었다. Hwang *et al.* (2002)의 복합세라믹담체를 이용

한 악취저감 연구에서 고속발효 돈분 퇴비화 과정 중 발생하는 acetic acid의 양이 약 3300 mg/kg 수준이었다. Shin *et al.* (1997)도 돈분 퇴비화 과정 중 약 4000 mg/kg 정도가 생성된다고 보고하였다. 또한 Chang *et al.* (1996)은 음식물찌꺼기의 퇴비화 과정 중 acetic acid의 초기 발생량이 약 200 mg/kg으로 다소 낮은 수준의 결과를 보였으나 퇴비화가 진행됨에 따라 5일째

에는 약 400 mg/kg의 수준까지 증가하였다고 보고하였다. 이와 유사한 결과로 acetic acid (Fig. 5)의 경우 퇴비화 약 7일을 전후하여 크게 감소하는 경향을 보였다. 처리구 간에는 목초액 처리구인 PA-100 처리구가 초기에 가장 높은 약 4100 mg/kg 수준으로 나타났으며, PA-300 처리구에서 약 3800 mg/kg 정도였고, 관행구에서 약 3500 mg/kg를 보였다. 그러나 퇴비화가 진행된 약 40일 후로는 acetic acid가 거의 검출되지 않았다. 이와 같이 목초액 처리구가 관행구보다 초산의 함량이 높게 검출된 이유는 목초액의 화합물 조성상 초산의 함량이 전체 유기화합물의 약 60~80% 이상을 차지하고 있기 때문이라고 판단된다. 또한 butyric acid (Fig. 6)의 경우 acetic acid와는 달리 관행구에서 가장 높은 수준으로 검출되었으며, 초기 약 1,500 mg/kg의 수준으로 나타났다. 반면, 목초액 처리구인 PA-100과 PA-300 처리구는 각각 약 900 mg/kg과 1,100 mg/kg 정도를 보였다. Butyric acid는 목초액 처리구에서 약 15일 이후로는 경미하거나 검출이

되지 않았고, 관행구에서 약 25일 이후에는 검출되지 않았다. Propionic acid (Fig. 7)는 퇴비화 초기부터 최종단계에 이를 때까지 검출되었으며, 이는 배추 썩은 냄새 또는 강한 자극성 냄새를 갖고 있는 것이 특징이다. 이는 Shin *et al.* (1997)과 Hwang *et al.* (2002)이 보고한 돈분의 퇴비화 과정 중 발생한 propionic acid의 함량과도 같은 경향을 보였다. Propionic acid의 함량은 초기 관행구에서 약 5,700 mg/kg이었으며, PA-100과 PA-300 처리구는 약 4,900 mg/kg과 5,100 mg/kg으로 나타났다. 그리고 퇴비화가 진행된 약 40일 전후에는 목초액처리구에서는 미량 또는 불검출이었으나, 관행구는 최종 부숙퇴비 시료에서도 propionic acid의 발생이 소량 검출되었다. Table 4에 제시한 4개의 유기산도 전술한 성분들과 유사한 경향으로 초기의 발생량이 높았으며, 퇴비화가 진행됨에 따라서 그 함량이 현저하게 감소하였다. 또한 이러한 악취의 저감현상이 목초액을 처리한 PA-100과 PA-300 처리구에서 효과가 인정되었다.

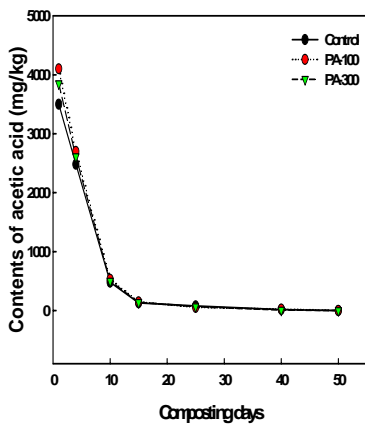


Fig. 5. Changes of acetic acid during composting.

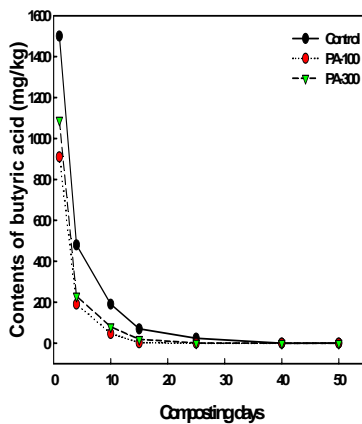


Fig. 6. Changes of butyric acid during composting.

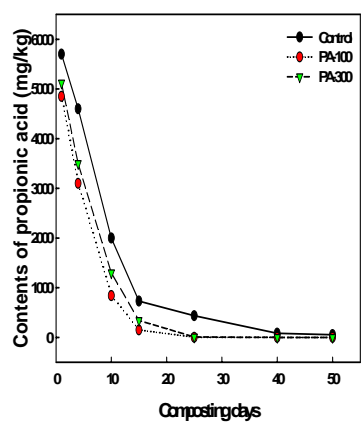


Fig. 7. Changes of propionic acid during composting.

Table 4. Changes of volatile organic acids during the composting

Items	Samples	Composting Days						
		1	4	10	15	25	40	50
		mg kg ⁻¹						
Isobutyric acid	Control	520	310	15	trace	trace	ND*	ND
	PA-100	340	164	trace	ND	ND	ND	ND
	PA-300	470	220	trace	trace	ND	ND	ND
Isovaleric acid	Control	520	310	62	trace	ND	ND	ND
	PA-100	420	190	14	ND	ND	ND	ND
	PA-300	470	230	32	ND	ND	ND	ND
2-Methyl butyric acid	Control	300	45	8	trace	ND	ND	ND
	PA-100	230	20	ND	ND	ND	ND	ND
	PA-300	280	37	trace	ND	ND	ND	ND
3-Methyl butyric acid	Control	100	2	ND	ND	ND	ND	ND
	PA-100	84	trace	ND	ND	ND	ND	ND
	PA-300	80	trace	ND	ND	ND	ND	ND

* ND : less than 0.1mg kg⁻¹

따라서 퇴비화 과정 중 목초액의 처리는 작업 환경내 유기산의 생성을 억제하거나 저감하는 효과를 보였으며, 본 연구 과정을 통한 휘발성 유기산의 발생량을 조사와 더불어 시기별 퇴비시료의 발아실험 결과들과 비교하여 볼 때 식물에 대한 최종 부산물비료의 품질을 평가하는데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 적 요

본 연구는 친환경농자재로 선정된 유기성폐자원인 목초액을 농·축산분야의 적용과 활용성 평가를 위해 돈분퇴비화 과정 중 발생하는 악취에 대한 저감효과를 조사하여 그 이용가치를 검증하고자 실시하였다. 이상의 결과에 대한 요약은 다음과 같다.

암모니아 가스의 분석결과 목초액을 처리한

PA-100과 PA-300 처리구에서 초기 암모니아가스 발생량이 관행구보다 높게 나타났으며, 목초액 처리구에서는 약 18일 이후부터는 측정되지 않았다. 반면, 관행구에서는 보다 오랫동안 나타났으며 약 25일후로 검출되지 않았다. 또한 달관적인 조사를 통하여 PA-100과 PA-300 처리구에서는 발생하는 암모니아가스 냄새의 정도가 현저히 낮았다. 이러한 결과는 목초액내에 함유된 초산성분에 의한 암모니아의 중화반응과 탄화된 목재의 특유의 향으로부터 가려지는 가리움효과(eclipsed effect)에 의한 것으로 해석된다.

휘발성 유기산의 발생량을 GC를 통해 분석한 결과 PA-100 처리구에서 가장 낮은 함량을 보였으며 휘발성 유기산 중에서 acetic acid와 propionic acid 및 butyric acid 등이 가장 많이 발생하였다. 특히, propionic acid와 butyric acid는 PA-100 > PA-300 > 관행구 순으로 퇴비화 과정중 감소효율이 높게 나타났다. 그러나 acetic acid는 관행

구보다 다소 높은 경향을 보였는데 이는 목초액의 주성분인 아세트산(acetic acid) 때문인 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. Chang K. W., Lee I. B., Lim J. S., & Lim H. T., 1996. Evaluation of Phytotoxicity of Food Waste during composting. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 29(3):312-320.
2. Devleeschauwer, D., Verdonk, O. & Van Assche, P. 1981. Phytotoxicity of Refuse Compost. *Bicycle*, 22:44-46.
3. Eliot Epstein, 1997. *The science of composting*. Technomic.
4. Falcon, M. A., E. Corominas, M. L. Perez, & F. Perestelo, 1987. Aerobic Bacterial Populations and Environmental Factors Involved in the Composting of Agricultural and Forest Wastes of the Canary Islands. *Biological Wastes* 20: 89-99.
5. Hollman, G.G., G. Steenbruggen & M. Janssen-Jurkovicova, 1999. A Two Step Process for the Synthesis of Zeolites from Coal Fly Ash. *Fuel*, 78:1225-1230.
6. Hwang J. Y. 2003. Development of Ceramic Biocarrier for Livestock Waste Treatment. Chungnam National University Graduate School, Ph. D. Thesis.
7. Huh K. S., Jeong E. D., & Paek U. H., 1999. A Study on Odor Removal of Landfill Site Leachate by Pyroligneous Liquid. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 8(5): 607-610.
8. Ichikawa, T. & Y. Ota, 1982. Plant Growth-regulating Activity of Pyroligneous Acid I. Effect of Pyroligneous Acid on the Growth of Rice Seedling. *Japanese-Journal of Crop Science*, 51:14-17(in Japanese with English summary and table).
9. KT & G, 1999. Carbonization Device Development of Rice Hull Heating by Exhaust Gas from Fused Magnesium Phosphate Furnace and Utilization of Neutralized Charcoal for Seedling Bed Media. pp. 75-96.
10. Kwon S. H., Kwon S. W., and Lee D. H. 2000. Estimation of the Treatment Efficiency and Ammonia Evolution during the High-rate Composting Process for Swine Manure. *Journal of Korean Solid Wastes Engineering Society*, 17(8):935-943.
11. Oh S. J. 1999. Species of Odors and Principle of Production at a Hog Farm. *Hog Magazine*, 11:114-117.
12. Park J. H., Jun G. I., and Jeong C. H. 2003. Ammonia Removal Characteristics by Pyroligneous Liquid at Livestock Farmhouse. *Journal of Korean Environmental Sciences Society*, 12(12): 1309-1313.
13. Shin W. S. 1997. Study on Evaluation of Compost Maturity by Means of Chemical Analysis during Pig Manure Composting. Chungnam National University Graduate School, M. SC. Thesis.
14. The Composting Council, 1994. *Composting Facility Operating Guide*. The Composting council, Alexandria, Virginia, pp. 160-165.