

Research Article

Open Access

폐가축사체의 농업적 재활용을 위한 가축사체 액상부산물물의 액비화 조건 구명

서영진,^{1†} 서동철,^{1†} 강세원,¹ 이상규,¹ 박주왕,¹ 최익원,¹ 성환후,² 강석진,^{2**} 조주식^{1*}

¹순천대학교 생물환경학과, ²농촌진흥청 국립축산과학원

Liquid-Composting Conditions of By-product Obtained from Degradation of Animal Carcass for Agriculture Recycling

Young-Jin Seo,^{1†} Dong-Cheol Seo,^{1†} Se-Won Kang,¹ Sang-Gyu Lee,¹ Ju-Wang Park,¹ Ik-Won Choi,¹ Hwan-Hoo Sung,² Seog-Jin Kang^{2**} and Ju-Sik Cho^{1*} (¹Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea, ²National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Suwon, 441-706, Korea)

Received: 1 October 2013 / Revised: 20 October 2013 / Accepted: 16 December 2013

© 2013 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: Globally, concern about emerging infectious diseases of livestock is growing. For the disposal of the animal carcass, it is necessary to recycle the carcass into an agriculturally usable product. The objective of this study was to investigate the composting conditions of liquid by-product obtained from degradation of animal carcass.

METHODS AND RESULTS: Optimum conditions of liquid fertilizer were investigated using different microorganisms, pHs, and volumes of microorganisms (*Lactobacillus rhamnosus* + *Pichia deserticola*). Based on the results from the optimum conditions, compost maturity and quality of liquid fertilizer were evaluated for 112 days. The compost maturity of liquid fertilizer were higher in the order of LP(*Lactobacillus*

rhamnosus + *Pichia deserticola*) > BC(*Bacillus cereus*) > BS(*Bacillus subtilis*). The optimum condition under different volumes of LP was injection of 0.5 mL/100 mL. The compost maturity under different pHs were higher in the order of pH 7 > 5 ≥ 9 ÷ 11. The liquid by-product at 56 days after composting was completely decomposed. The concentrations of T-N, T-P and K₂O in liquid fertilizer at 56 days were 0.94, 0.17 and 3.78%, respectively, and the sum of those concentrations was 4.89%.

CONCLUSION(S): Liquid fertilizer of by-product using pig carcass was decomposed with optimum conditions(LP, pH 7, injection of 0.5 mL/100 mL) in 56 days after composting, and was suitable for official standard of commercial fertilizer.

Key words: Animal carcass, By-product, Compost maturity, Liquid fertilizer

† 공동 제1저자

*교신저자(Corresponding author),

Phone: +82-61-750-3297; Fax: +82-61-752-8011;

E-mail: chojs@suncheon.ac.kr

**공동교신저자(Co-corresponding author),

Phone: +82-31-290-1575; Fax: +82-31-290-1566;

E-mail: hikang@rda.go.kr

서론

최근 2010년도 구제역 발생으로 5,600여개 농장에서 총 사육두수의 33.3%의 돼지, 3.4%의 한우, 8.4%의 젖소 등

345만두의 가축을 살처분하여 약 3조원의 경제적 손실액이 발생하였다(Animal Plant & Fisheries Quarantine & Inspection Agency, 2011; Kang, 2011; Kim *et al.*, 2011). 이 같은 가축 전염병 발병은 우리나라뿐만 아니라 전세계적으로 해마다 산발적으로 일어나고 있으며, 전염된 가축 처리를 위해서 많은 처리방법이 연구되고 있다. 우리나라에서는 가축전염병예방법에 의해 살처분한 가축사체에 대해 신속히 소각 및 매몰 처리하게 되어 있고, 그 밖의 전염된 가축도 국내 축산환경 여건상 거의 매몰방법에 의해 처리되고 있는 실정이다(Kim *et al.*, 2010).

하지만 일부 부실 매몰지는 침출수 누수와 악취 발생 등에 의해 주변의 토양, 지하수 및 하천오염 등 2차 환경 피해를 일으키고 있으며(Kim *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2012), 또한 매몰 방법의 경우에는 매몰지내 토양 및 살처분 사체 부산물의 사후관리에 대한 사례가 전무해 많은 문제점을 야기하고 있는 실정이다. 매몰 처리이외에 살처분 및 폐가축사체를 처리하기 위한 방법으로는 산 분해, 정제, 퇴비화, 젖산발효, 혐기발효 및 유용미생물처리 등 다양한 처리방법(Hill, 1977)이 있으나 이들 처리방법은 국내 축산환경에 적합하지 못할 뿐만 아니라 체계적인 연구가 되지 않아 실용화에 많은 어려움을 안고 있다. 그 중 랜더링 처리에 기반한 고온·고압 스팀 처리방법은 폐사가축을 고온·고압(250°C, 4기압)의 스팀을 이용하여 처리하는 방법으로 처리 후 남은 부산물의 재활용 면에서 매우 유용한 방법이며, 현재 축산과학원에서 기술이전을 하여 지난 2007년부터 약 200여 대의 고정식 소규모 장비가 국내 시도 지자체 등 소규모 농가에 보급되어 사용되고 있다(Seo *et al.*, 2012a). 또한 알칼리 가수분해 처리방법은 처리장치내에 알칼리를 주입한 후 150°C, 3기압 이상의 고온·고압 상태에서 폐사가축을 완전히 액상상태로 분해하는 장치로 이 처리방법도 재활용 면에서 매우 뛰어나 살처분 및 폐사가축 처리방법으로 연구되어 지고 있다(Seo *et al.*, 2012b). 최근 Seo 등(2011) 및 Seo 등(2012a,b)은 폐가축처리의 농업적 재활용 방안으로 랜더링 및 알칼리 가수분해의 처리조건 및 가치평가에 대하여 연구하였으며, 그 결과 비료학적으로 매우 가치 있는 것으로 나타났지만 부산물에 대한 비료학적 가치평가는 부속이 되지 않은 상태로 악취 및 높은 pH로 인하여 작물에 시용하기에는 큰 어려움이 있다.

따라서 본 연구는 폐가축사체를 랜더링 및 알칼리 가수분해 처리 후 생성된 액상부산물을 이용하여 액비를 제조하기 위해 부속시 최적 미생물, 미생물 주입량 및 pH를 구명하여 액비의 품질을 평가하였다.

재료 및 방법

실험대상

본 연구는 폐가축사체의 농업적 재활용을 위해 폐가축사체를 랜더링 처리 및 알칼리 가수분해 처리 후 부속시켰다. 랜더링 처리는 국립축산과학원 축산자원개발부내에 있는 폐사체 가축처리 활용관에서 실시하였으며, 실험에 쓰인 재료는 축산자원개발부 내의 둔사에서 자연사한 돼지를 이용하였다.

알칼리 가수분해는 랜더링 처리 후 나온 부산물을 이용하여 수산화칼륨(KOH)으로 가수분해하였으며, 가수분해를 통해 생성된 액상부산물로 부속과정을 거쳤다.

공시재료

가축사체 랜더링 부산물은 가수분해장치를 이용하여 130°C, 3기압에서 2시간 동안 처리하여 액상형태로 분해되었다. 본 연구에 사용된 가축사체 액상부산물을 액비화하기 위한 공시 액상부산물의 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 공시 액상부산물의 초기 pH는 13.45이었으나 CO₂ gas를 이용하여 pH 7.09로 중화시켰으며, 질소의 함량은 1.09%이었고, 인산(P₂O₅) 및 칼리(K₂O)는 각각 0.339 및 4.05%를 함유하고 있었고, 유기물 함량은 6.09%이었다.

Table 1. Chemical properties of liquid by-product obtained from alkaline(KOH) hydrolysis method after rendering process for treating pig carcass(wet weight)

pH	O.M	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Water content
	(%)			(mg/L)		(mg/L)	(%)
7.09	6.09	1.09	0.339	4.05	146	122	77.2
As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
(mg/L)							
1.86	ND [¶]	ND	0.54	0.08	ND	0.40	64.02

[¶]ND: Not detected

실험방법

가축사체 액상부산물을 이용한 액비부속화 실험의 전처리는 폐퇴지사체를 랜더링 처리 한 후 생성된 부산물을 액상형태로 분해하기 위해 수산화칼륨(KOH)으로 가수분해하여 액상형태의 부산물로 만들었다. 알칼리(KOH) 가수분해 처리는 시중에 유통되는 45% KOH 액상원액을 그대로 사용하였으며, 폐퇴지사체 무게의 20%되게 주입하여 처리하였다. 처리 조건은 130°C, 3기압의 고온·고압에서 2시간 동안 처리하였으며, 처리 후 CO₂ 가스를 주입하여 중성화시켰다.

분해과정에서 멸균 처리 된 가축사체 액상부산물은 3종류의 미생물을 주입하여 부속시켰으며, 이후 간이 부속도를 판정하였다. 부속 시키기 위한 미생물은 유산균과 효모를 혼합한 *Lactobacillus rhamnosus* + *Pichia deserticola*(LP), 부패균인 *Bacillus cereus*(BC), 고초균인 *Bacillus subtilis*(BC)로 KCCM(KOREAN CULTURE CENTER OF MICROORGANISMS)으로부터 분양 받아 사용하였으며, 모든 미생물 농도는 LB broth에서 spectrophotometer로 600nm에서 O.D 0.5~0.6정도로 배양 후 주입하였다. 부속기간 중 반응조의 온도는 다점보온시트를 이용하여 실온조건(25~30°C)을 유지하였고, 0.03~0.04 m³ O₂/m³/min을 주입하여 연속폭기조건을 설정하였으며, 부속 미생물로 선정된 LP를 각각의 조건에 주입하였다. 각 조건별 부속 조건을 선정하고자 LP 미생물을 100 mL의 가축사체 액상부산물에 각각 0, 0.1, 0.2, 0.5 및 1.0

mL을 주입하였으며, 최적 pH는 각각 5, 7, 9 및 11로 조절하여 부숙도를 평가하였다. 이때 부숙 미생물 종류별 조건에서는 모든 조건이 pH 7로 중성인 상태에서 수행하였으며, 미생물 주입량은 0.5 mL/100 mL씩 주입하였다. 미생물(LP) 주입량 선정에서는 모든 조건이 pH 7이었으며, pH 조건에서는 모든 처리에 0.5 mL/100 mL 주입하여 부숙도를 평가하였다. 부숙 미생물 선정, 미생물 주입량 및 pH는 28일 동안 부숙시켰으며, 7일 간격으로 총 4차례 조사하였다.

최적 조건하에서 가축사체 액상부산물 액비의 부숙기간과 부숙기간에 따른 액비 품질을 평가하기 위해 20 L의 반응조에 가축사체 액상부산물 10 L를 반응조에 채우고, pH 7 조건에서 LP 미생물 50 mL/10 L를 주입하였으며, 산소를 연속폭기(0.03~0.04 m³ O₂/m³/min)하여 112일 동안 실온에서 부숙시켰다. 간이 부숙도 평가(RDA, 2010)는 부숙기간 동안 14일에 한 번씩 총 8차례 하였으며, 28일, 56일 및 112일에 시료를 채취하여 비료의 주성분인 전질소, 인산, 칼리, 석회, 고토, 나트륨 및 유기물 함량을 각각 분석하였고, 비료의 유해성분인 Zn, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni 및 Pb의 함량을 각각 분석하였다(RDA, 2006).

분석방법

가축사체 액상부산물의 액비화시 부숙도 평가는 농촌진흥청 가축분뇨 퇴·액비 이용기술 매뉴얼(RDA, 2010)에 표기된 가축분뇨액비 부숙지표와 부숙도 간이 판정기준에 근거하여 냄새, 색깔, 점성, 부숙 중 최고 온도 및 공기주입 여부를 평가하였다(Table 2). 일반적으로 액비 제조시 사용되는 자재들은 크게 유기물과 무기물로 나누어지며, 유기물에는 동물부산물(혈분, 골분, 어분, 생선 등), 식물부산물(짚, 썰개, 콩짚 등)이며, 무기물에는 재, 맥반석 및 폐화석 등이 속한다(An et al., 2011). 하지만 본 연구에서 사용되는 폐가축사체(돼지사체)는 액비 자재들 중 어느 재료에도 속하지 않아 일반적인 재료의 특성과 액비 제조 방법이 상이하다. 현재 액비 부숙지표는 대부분 가축분뇨의 부숙도를 평가하기 위해 만들어 졌지만, 본 실험에서 부숙시킨 가축사체 액상부산물 액비를 평가하기에는 예비 부숙 판정을 할 수 있는 지표가 없기에 가축분뇨액비 부숙지표를 사용하였다(RDA, 2010).

가수분해한 가축사체 액상부산물 및 가축사체 액상부산물 액비의 화학적 특성을 조사하기 위한 분석은 농촌진흥청의 비료의 이화학적 검사 방법(RDA, 2006)에 준하여 현물로 분석하였다. 가수분해한 가축사체 액상부산물 및 가축사체 액상부산물 액비는 황산으로 습식분해한 후 Kjeldahl 증류법(질소 자동분석기, Gerhardt Vapodest 50 carousel, Germany)으로 분석하였으며, P₂O₅는 Vanadate법(UV2550PC, Pekinmer)으로 분석하였다. 유기물(O.M)은 회화법으로 분석하였고, K₂O, CaO, MgO, Na₂O 및 유해 중금속함량(As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni 및 Zn)은 시료를 산으로 분해한 후 ICP(ICPE-9000, Shimadzu)로 분석하였다. pH는 pH meter(S230 Conductivity meter, Mettler Toledo)를 사용하였다.

Table 2. Indicators and simplified judgement for compost maturity of liquid pig fertilizer(RDA, 2010)

Item	Indicator of compost maturity	Points
Odor	Strong	2
	Week	5
	Non-odor	10
Color	Olive green	2
	Yellow green	3
	Dark brown	5
	Blackish brown	7
	Brown	10
Viscosity	Sticky	2
	Non-sticky	10
Maximum temperature during composting	< 50°C	2
	50~60°C	10
	60~70°C	15
	> 70°C	20
Injection of air	- Air	2
	+ Air	10
Total	Immature	≤ 10
	Maturing	11~45
	Mature	≥ 46

결과 및 고찰

가축사체 랜더링 부산물 액비화 최적조건 구명

부숙 미생물 종류별 액비 효율

부숙 미생물 종류별 액비 효율은 가축사체 액상부산물에 각각의 다른 미생물을 주입하여 28일 동안 부숙시켰으며, 관능적인 방법으로 부숙도를 판정하였다(Fig. 1). 부숙 미생물 종류별 가축사체 액비부산물의 부숙은 부숙 시작 시점부터 28일 동안 LP(*Lactobacillus rhamnosus* + *Pichia deserticola*)를 주입한 조건에서 가장 빨리 진행되었으며, 관능적 부숙도 판정 점수도 가장 높은 50점을 나타내었다. BC(*Bacillus cereus*)를 주입한 조건은 부숙 후 28일에 45점을 얻어 완숙(46점 이상)에 가까웠으며, BS(*Bacillus subtilis*)를 주입한 조건은 42점을 얻어 중숙(10~45점)에 해당하는 것으로 나타났다. 간이 부숙도 판정 점수 중 온도의 경우에는 부숙 후 14일에 LP가 부숙 중 최고온도가 50°C를 넘었으며, 부숙 후 28일에는 모든 조건에서 부숙 중 최고온도가 50°C를 넘었다. 하지만 모든 조건에서 온도가 더 이상 높아지지 않아 60°C를 넘지 못하였다.

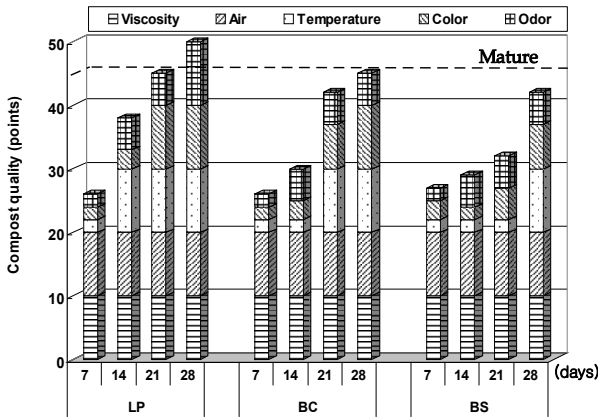


Fig. 1. Simple compost maturities of liquid by-product obtained from degradation of pig carcass under different types of microorganisms for 28 days. LP: *Lactobacillus rhamnosus* + *Pichia deserticola*; BC: *Bacillus cereus*; BS: *Bacillus subtilis*.

부숙 미생물(LP) 주입량별 액비 효율

LP(*Lactobacillus rhamnosus* + *Pichia deserticola*) 미생물을 28일 동안 주입량에 따라 부숙시켜 관능적인 방법으로 부숙도를 판정한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. LP 미생물 주입량에 따른 가축사체 액상부산물 액비의 부숙은 28일 동안 0.5 및 1.0 mL/100 mL을 주입한 조건에서 가장 빨리 진행되었으며, 관능적 부숙도 판정 점수도 가장 높은 50점으로 완숙상태를 나타내었다. 0, 0.1 및 0.2 mL/100 mL을 주입한 조건은 28일 후에 최종 부숙도 판정 점수가 각각 29, 40 및 45점으로 중숙을 나타내었으며, 완숙상태 보다 색깔이 진하지 않고, 냄새가 좀 더 강하여 낮은 점수를 받았다. 항목별로 부숙도 판정 점수를 보면 온도의 경우 부숙 후 14일에 LP 미생물을 넣지 않은 조건을 제외하고 모든 조건에서 부숙 중 최고온도가 50°C를 넘었으나, 부숙 후 28일이 지나도 모든 조건에서 온도가 더 이상 높아지지 않아 60°C를 넘지 못하였다. Lee 등(1998)에 의하면 퇴비화 과정 중 온도는 미생물의 활동에 의하여 상승되는 것으로 알려져 있으며, 퇴비화 지표로서 이용될 정도로 중요하다고 보고된 바 있다. 또한 본 연구와 비슷한 경향으로 미생물을 첨가하지 않은 퇴비화조내의 온도는 최고온도 35°C까지만 증가되었다가 그 후에 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. 점성의 경우에는 가축분뇨와 달리 랜더링 처리된 가축부산물을 KOH로 가수분해 시켰기 때문에 원 시료자체가 끈끈하지 않은 상태로 부숙을 시작하여 모두 조건에서 동일한 점수(10점)를 얻었다. 또한 산소주입의 경우에도 점성의 경우와 비슷한 경향으로 모든 조건이 산소의 연속폭기 상태에서 부숙을 진행하였기 때문에 10점을 얻었다. 색깔의 경우에는 부숙 후 21일에 0.5 mL/100 mL을 주입한 조건에서 맑은 갈색이 되어 다른 조건 보다 높은 점수(10점)를 얻었다. 냄새의 경우에는 산소의 연속폭기로 인해 부숙 후 14일부터 조금씩 약해졌고, 부숙 후 28일에는 0.5 및 1.0 mL/100 mL을 주입한 조건에서 액상부산물 냄새가 없어져 10점을 얻었다. 최종 부숙도 점수는

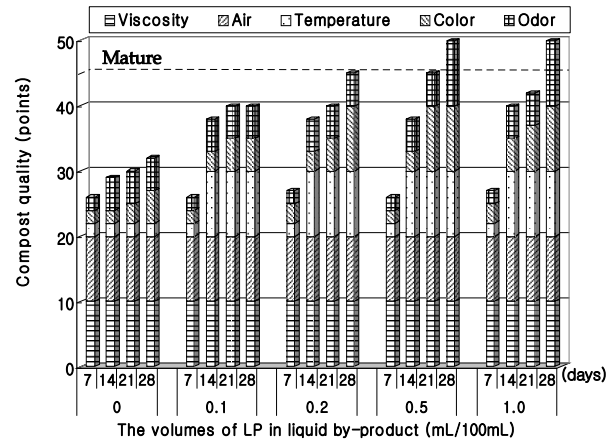


Fig. 2. Simple compost maturities of liquid by-product obtained from degradation of pig carcass under different volumes of microorganism(LP) for 28 days. LP(*Lactobacillus rhamnosus* + *Pichia deserticola*).

0.5 및 1.0 mL/100 mL을 주입한 조건에서 50점으로 동일 하였지만 경제성을 고려하여 미생물이 더 적게 주입된 0.5 mL/100 mL을 최적 주입량으로 선정하였다.

pH별 액비 효율

액비화 과정 중 가축사체 액상부산물을 pH 5, 7, 9 및 11로 조절하여 28일 동안 관능적인 방법을 통하여 부숙도를 판정한 결과는 다음 Fig. 3에서 보는 바와 같다. pH 7 조건은 다른 pH 조건보다 부숙이 빨리 일어났으며, 간이 부숙도의 총 점수가 50점으로 완숙 상태가 되었다. pH 5 조건은 pH 7 조건과 부숙 상태가 비슷한 경향이었지만 부숙 후 28일에 색깔 변화가 크지 않아 총 45점으로 중숙 평가를 받았다. pH 9 및 11 조건은 부숙 후 28일 동안 비슷한 경향으로 부숙되었고, 또한 최종 점수도 각각 42점으로 중숙 평가를 받았다. pH에 따른 액상부산물은 7일간 부숙시켰을 때 모든 조건에서 어떠한 큰 변화가 없었으며, 부숙 14일 경과 후에 pH 5 및 7 조건에서 온도가 50°C 이상으로 올라가 온도 점수 10점을 받게 되었다. pH 9와 11에서는 pH 7에 비해서 온도가 올라가는 속도가 조금 늦어 부숙 28일 경과 후 50°C 이상 올라갔다. 냄새의 경우에는 pH 9 및 11 조건(5점)이 다른 pH 조건(10점)에 비해서 점수가 낮았다.

최적 조건하에서 장기간 액비 품질 평가

부숙기간별 부숙도 평가

최적 LP 미생물 주입량(0.5 mL/100 mL) 및 pH(7) 조건에서 112일(16주) 동안 부숙시켜 가축사체 액상부산물 액비의 부숙도를 평가한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 가축사체 액상부산물 액비는 부숙 후 28일에 간이 부숙도 점수가 50점으로 완숙 기준인 46점을 넘어 완숙 상태가 되었으며, 부숙 후 56일에는 온도가 60°C 이상 상승하여 점수(55점)가 더 높아졌고, 이후 112일까지 온도가 조금씩 낮아져 실온

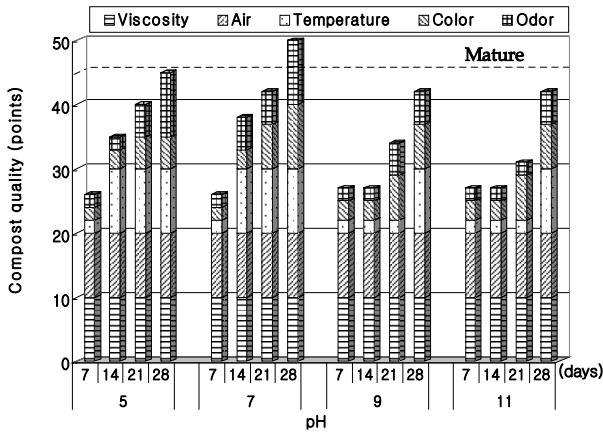


Fig. 3. Simple compost maturities of liquid by-product obtained from degradation of pig carcass under different pHs with LP for 28 days. LP(Lactobacillus rhamnosus + Pichia deserticola).

에 이르렀다. 색깔 및 냄새의 경우에는 부숙 후 14일에 조사된 액비만 각각 5점으로 산소를 주입하지만 완전히 부숙이 되지 않아 큰 변화가 없었으며, 28일에 조사된 액비는 색깔 및 냄새의 점수가 각각 10점으로 맑고 짙은 갈색을 나타내었고, 가축사체 액상부산물 냄새가 없어졌다. 최적 LP 미생물 주입량 및 pH 조건에서 부숙도는 시간이 경과함에 따라 점수가 높아지는 경향이었으나, 이미 부숙 후 28일에 온도를 제외한 나머지 항목이 최고점이 되었으며, 이후 온도만 약간 상승하고 별다른 차이가 없었다. 최종적으로 농촌진흥청 축산과학원에서 개발되어 순천시 농업기술센터로 보급된 가축분뇨 부숙도 측정기기(LMQ 2000, 코리아스펙트랄프록트즈)를 이용하여 부숙도를 판정해본 결과, 112일 동안 부숙시킨 가축사체 액상부산물 액비는 냄새(황화수소 및 암모니아), 색도의 평가점수가 높아 완숙판정을 받았다.

액비 품질 평가

가축사체 액상부산물 액비의 주성분 및 기타성분(염화나트륨, 수분함량)을 분석한 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 가축사체 액상부산물 액비의 부숙기간 중 28일, 56일 및 112일에 조사하여 비교한 결과 T-N, P₂O₅, K₂O 등 주성분 함량은 대부분이 부숙 후 28 및 56일에 더 높은 함량을 나타내었다. 가축사체 액상부산물 액비의 부숙기간별 T-N 함량은 28일, 56일 및 112일에 각각 0.98, 0.94 및 0.81%로 부숙기간이 길어짐에 따라 약간 감소하는 경향이었지만, 시중의 일반적인 가축분뇨의 T-N 함량보다 3~4배가량 많았다. 가축사체 액상부산물 액비의 부숙기간별 P₂O₅ 함량도 T-N과 비슷한 경향으로 부숙기간이 길어짐에 따라 감소하는 경향이였다. 일반적으로 액비 제조시 부숙기간에 따른 질소나 인산의 함량은 미생물에 동화되거나 암모니아가스 등으로 휘산되어 유실된다고 보고되고 있으나(Park et al., 2006) 본 연구에서 인산의 경우에는 산소를 주입함에 따라 약간의 침전반응에 의한 감소량이 더욱 많은 것으로 판단된다. 가축사체 액상부

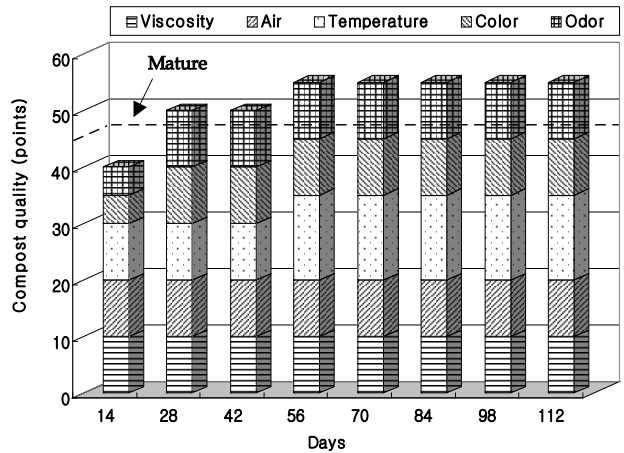


Fig. 4. Simple compost maturities of liquid by-product obtained from degradation of pig carcass on optimum conditions for 112 days.

산물 액비의 부숙기간별 K₂O 함량은 28일, 56일 및 112일에 각각 3.82, 3.78 및 3.53%로 모두 높은 함량을 나타내었으며 (Table 3), 이는 가축사체 랜더링 부산물을 KOH(수산화나트륨)으로 가수분해하여 액상부산물 내에 칼리의 함량이 높아진 것으로 판단된다. 또한 Lee 등(2011)의 결과에 따르면 유기 액비(제분+쌀겨, 콩깻묵+쌀겨 및 고추) 제조시 K₂O 함량은 발효 초기 완만히 증가하다가 12주차까지 서서히 증가하였으며, 이는 부숙 기간에 따른 유기재료의 칼리 용출에 의한 증가 때문이라고 보고하였다. 하지만 본 연구는 공시재료가 이미 액상형태로 분해 되어있어 발효과정을 통해서 용출되어 나오는 칼리는 없었으며, Lee 등(2011)의 결과와 달리 부숙기간이 증가함에 따라 오히려 약간 감소하는 경향이였다. 현재 가축분뇨에 대한 많은 연구가 이루어지고 있지만, 국내에서 폐가축사체로 농업적 재활용하는 사례는 거의 보고된 적이 없고(Seo et al., 2012), 폐가축사체를 이용한 액비는 비료 공정 규격에도 공시되어 있지 않아 폐가축사체를 재활용하는데 있어서 많은 어려움이 있다. 하지만 가축사체 액상부산물 액비를 비료학적 가치로 평가하기 위해서 비료 공정 규격 중 가축분뇨발효액과 비교하였다. 가축분뇨발효액의 규격은 질소, 인산 및 칼리전량의 합계량이 0.3% 이상으로 공시되어 있으나 가축사체 액상부산물 액비의 경우 질소, 인산 및 칼리전량의 합계량이 28일, 56일 및 112일에 각각 4.98, 4.89 및 4.46%로 가축분뇨발효액의 규격보다 약 15배 이상 많은 함량을 나타내었다(RDA, 2012). 비료 3요소 중 칼리의 함량(3.5% 이상)이 가장 많이 차지하고 있지만, 질소의 함량도 0.8% 이상으로 질소성분 하나만으로 기준치를 매우 초과하는 것을 볼 수 있었다. 이에 따라서 가축사체 액상부산물 액비는 식물이 필요로 하는 양분 공급에 중요한 역할을 할 것이며, 더불어 뿌리보호, 발근촉진 등 작물생육에 다양한 측면에서 이로운 효과를 나타낼 것으로 판단된다(Elad and shtienberg, 1994; An et al., 2012).

가축사체 액상부산물 액비의 유해성분 함량을 분석한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 가축사체 액상부산물 액

Table 3. Principal components in liquid fertilizer of by-product using pig carcass(wet weight)

Items	Days	Principal components							Other components	
		T-N+P ₂ O ₅ +K ₂ O (%)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO	MgO	Na ₂ O	NaCl (%)	Water content (%)
Liquid fertilizer	28	4.98	0.98	0.18	3.82	15.0	17.5	87.5	0.1	80.3
	56	4.89	0.94	0.17	3.78	15.6	18.2	90.6	0.1	81.7
	112	4.46	0.81	0.12	3.53	15.7	17.9	90.1	0.1	84.1
Official standard	Liquid manure	>0.3	-	-	-	-	-	-	<0.3	>95

Official standard of commercial fertilizer from Rural Development Administration(RDA, 2012).

Table 4. Hazardous components in liquid fertilizer of by-product using pig carcass(wet weight)

Items	Days	Hazardous components								E.coli
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	
Liquid fertilizert	28	ND	ND	ND	1.0	ND	ND	0.4	61.3	ND
	56	ND	ND	ND	0.7	ND	ND	0.4	53.9	ND
	112	ND	ND	ND	0.6	ND	ND	0.3	52.1	ND
Official standard	Liquid manure	<5	<0.5	<50	<30	<0.2	<5	<15	<130	ND

Official standard of commercial fertilizer from Rural Development Administration(RDA, 2012).

비의 유해성분(Zn, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni 및 Pb) 함량을 비료 공정 규격에서 가축분뇨발효액과 비교해 볼 때 각각의 함유할 수 있는 유해성분의 최대량보다 매우 낮은 함량을 나타내었다. 가축사체 액상부산물 액비의 부숙기간 중 28일, 56일 및 112일에 조사된 Cr의 함량은 각각 1.0, 0.7 및 0.6 mg/L으로 부숙기간에 따른 Cr의 함량 차이가 거의 없었으며, 가축분뇨발효액의 기준치인 30 mg/L 이하 보다 낮은 함량을 나타내었다. 또한 Zn의 경우에도 액비의 부숙기간 중 28일, 56일 및 112일에 각각 61.3, 53.9 및 52.1 mg/L로 가축분뇨발효액의 기준치인 130 mg/L 보다 낮은 함량을 나타내었으며, 부숙기간에 따른 Zn의 함량 차이는 없었다. 가축사체 액상부산물 액비의 부숙기간 중 조사된 As, Cd, Cu, Hg 및 Ni의 함량은 분석 결과 모두 검출되지 않아 기준치에 모두 적합하였고, 전처리(랜더링 및 알칼리 가수분해)로 인한 멸균으로 E.coli O157:H7 및 살모넬라는 검출되지 않았다.

요 약

가축사체 액상부산물을 이용하여 액비의 최적조건(미생물, pH, 미생물 주입량)을 조사하였고, 이들 최적 조건하에서 112일간 부숙하여 액비의 품질을 평가하였다. 가축사체 액상부산물 액비 부숙시 최적 LP 미생물의 주입량은 0.5 mL/100

mL이었으며, pH는 7 조건에서 각각 50점으로 완숙판정을 받았다. 최적조건하에서 112일 동안 부숙시킨 액비의 부숙도는 부숙 후 28일에 50점을 받아 완숙판정을 받았으며, 부숙기간이 길어짐에 따라 부숙 56일에는 온도가 60°C를 넘어 최고 점인 55점을 받았고, 이후 온도가 조금씩 낮아져 부숙 후 112일에는 실온조건에 이르렀다. 완숙된 가축사체 액상부산물 액비의 품질을 평가해본 결과, 최적조건하에서 부숙시킨 액비의 경우에는 T-N, P₂O₅ 및 K₂O의 함량이 28일에 가장 높았으며, 시간이 경과함에 따라 약간 감소하는 경향이였다. 또한, 유해성분(As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb 및 Zn)의 함량은 28일, 56일 및 112일 부숙시킨 액비에서 모두 비료공정규격 기준치에 적합하였다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 가축사체 액상부산물을 농업적 재활용을 위한 액비화 조건은 pH 7조건에서 LP 미생물을 0.5 mL/100 mL 주입한 경우이다. 하지만 본 연구에서 비교된 가축분뇨 발효액은 공시재료(가축사체)가 상이하어 향후 가축사체를 이용한 액비의 부숙도 기준이 개선되어야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ008239)",

Rural Development Administration, Republic of Korea.

This work was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF), funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2012R1A2A2A01015706).

Following are results of a study on the "Leaders Industry-university Cooperation Project, supported by Ministry of Education.

References

- An, N.H., Kim, Y.K., Lee, Y., Jee, H.J., Park, J.H., Hong, S.J., Han, E.J., 2011. Changes in chemical properties and microbial population of farm-made organic liquid fertilizer during fermenting process, *Korean J. Organic Agri.* 19, 417-425.
- An, N.H., Jo, Y.S., Jo, J.R., Kim, Y.K., Lee, Y., Jee, H.J., Lee, S.M., Park, K.L., Lee, B.M., 2012. The survey of actual using conditions of farm-made liquid fertilizers for cultivating environment-friendly agricultural products, *Korean J. Organic Agri.* 20, 345-356.
- Animal Plant & Fisheries Quarantine & Inspection Agency, 2011. *Animal disease on central prediction conference, first quarter of the year.* 11-1380644-000068-08.
- Choi, S.K., Song, H.H., Park, K.S., 2012. Analysis of foot-and-mouth disease diffusion velocity using network tool. The Korean Society for GeoSpatial Information System, 20, 101-107.
- Elad, Y., Shtienberg, D., 1994. Effect of compost water extracts on grey mould(*Botrytis cinerea*), *Crop protection* 13, 109-114.
- Hill, D.T., 1977. A dynamic model for simulation of animal waste digestion, *J. Water Pollut. Control Fed.* 49, 2129-2130.
- Kang, M.A., 2011. Fate characteristic by non-biodegradation organics of FMD leachate, *Proceedings of KSEG 2011 Fall Conference / November* 10-11, 2011.
- Kim, K.H., Kim, K.R., Kim, H.S., Lee, G.T., Lee, K.H., 2010. Assessment soil and groundwater contamination at two animal carcass disposal sites, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43, 368-370.
- Kim, S.K., Kim, J.E., Park, D.M., 2011. The cultural analysis of 2010-2011 foot and mouth disease massacre in Korea, *J Environ Health Sci.* 37, 165-169.
- Lee, H.J., Cho, J.S., Heo, J.S., 1998. Study on optimum conditions for the composting of industrial wastewater sludge, *J. of the Korean Environmental Sciences Society* 7, 96-103.
- Lee, G.J., Jeon, J.O., Park, J.H., Nam, S.Y., Kim, T.J., 2011. The manufacturing characteristics of organic liquid fertilizer with poultry manure, soybean meal, and rice bran, *Korean J. Organic Agri.* 19, 577-587.
- Park, M.E., Kang, A.S., Kim, S.C., 2006. The effect of storage container types on odor emission and quality of piggery liquid slurry fertilizer in the farms, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39, 136-143.
- Seo, D.C., Kang, S.W., Choi, I.W., Sung, H.H., Hur, T.Y., Yoo, J.Y., Lee, Y.J., Heo, J.S., Kang, S.J., Cho, J.S., 2011. Evaluation of fertilizer value of animal waste for agricultural recycling, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 788-793.
- Seo, Y.J., Seo, D.C., Choi, I.W., Kang, S.W., Lee, S.G., Sung, H.H., Kim, T.S., Kim, H.G., Park, S.H., Kang, S.J., Cho, J.S., 2012. Selection of optimal degradation agents for hydrolysis of animal cadavers, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45, 241-247.
- Seo, Y.J., Seo, D.C., Choi, I.W., Kang, S.W., Lee, S.G., Sung, H.H., Kim, T.S., Kim, H.G., Park, S.H., Kang, S.J., Cho, J.S., 2012. Degradation Rate and Velocity under Different Acidic and Alkaline Degradation Agents for Liquid Fertilizer of Rendering By-product, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45, 810-816.
- Rural Development Administration, 2006. *Method of physiochemical examination by fertilizer*, pp. 144-234, Korea.
- Rural Development Administration, 2010. *Manual of composting using liquid pig manure*, 11-1390000-002801-01. Korea.
- Rural Development Administration, 2012. *Official standard of commercial fertilizer*, Korea.