

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.1.071>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Effect Verification of Liquid Fertilizer Derived from Pig Cadavers on Crop Growth and Soil Properties

Jin-Ju Yun[†], Se-Won Kang[†], Ju-Sik Cho, Dong-Cheol Seo¹, and Sung-Dong Moon^{2*}

Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

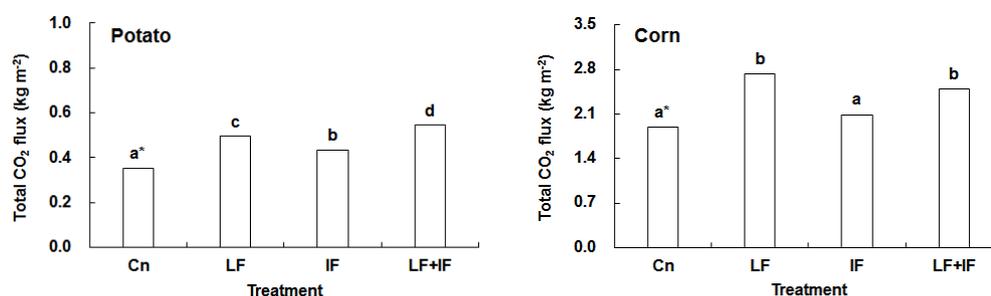
¹Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea²Department of Industrial & Management Engineering, Kangwon National University, Samcheok 25913, Korea*Corresponding author: sudom@kangwon.ac.kr[†]Both authors contributed equally to this work and are considered as co-first authors

ABSTRACT

Received: February 23, 2018**Revised:** February 28, 2018**Accepted:** March 6, 2018

This study was conducted to investigate the application effect of liquid fertilizer using pig cadavers on potato and corn cultivations in upland field. Field experiments were designed with control (Cn), liquid fertilizer (LF), inorganic fertilizer (IF), and LF + IF treatments. Crop yields in potato and corn cultivations were higher in the order of LF + IF \geq IF \geq LF > Cn treatments. The potato and corn yields in LF + IF treatment were 237% and 29% greater than those in Cn treatment, respectively. Following crops harvest, soil status was improved, showing greater soil chemical properties in the LF treated areas compared to those in the Cn treatment. In addition, total CO₂ fluxes in LF + IF treatment during potato and corn cultivations were significantly increased compared with Cn and IF treatments. Therefore, these results suggest that LF application was effective on crop cultivation and improvement of soil fertility.

Keywords: Liquid fertilizer, Pig cadavers, Crop yields, Soil chemical properties, CO₂ fluxes



Total CO₂ fluxes during potato and corn cultivations.



Introduction

최근 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 기후변화와 물류 및 인적교류를 통해 가축전염병이 발생하고 있고, 구제역 및 AI의 지속적인 발생으로 가축의 대량 살처분은 물론, 막대한 사회적·경제적 피해가 발생되고 있다 (Seo et al., 2011; Shin et al., 2017).

우리나라 농림수산물부령의 ‘가축전염병예방법’에는 제 1종 가축전염병 발생 시 전염병의 확산 방지를 위하여 해당 가축을 살처분하고 신속히 처리할 것을 고시하고 있다 (MIFAFF, 2010). 이와 같이 각 나라에서는 자국의 법령에 따라 가축전염병 발생 시 안전성 확보 및 전염병의 확산 방지를 위해서 살처분에 의한 처리를 명시하고 있다. 각 국가별 확보하고 있는 기술, 사회적 여건, 환경적 부하 등을 고려하여 살처분된 가축 사체를 자국의 환경에 적합한 방법으로 처리를 하고 있지만, 대부분 소각 및 매립이 일반적으로 행해지고 있다 (USEPA, 2000; USDA/NRCS, 2002).

국내에서 가축전염병 발생 시, 매몰하는 방식은 FRP통을 이용하거나 랜더링, 소각, 미생물처리 등 여러 처리 방안들이 있지만 효율적인 처리가 불가능하다. 현행법상으로는 살처분 가축을 매몰할 경우, 3년간 매몰지 사용이 불가하며, 환경부에서 지정한 매몰지 선정기준에 근거한 매몰지는 이미 포화된 상태이다 (Cho and Kim, 2012; MIFAFF, 2015). 또한 매몰 과정 중 발생하는 침출수누수, 악취발생 등은 주변의 토양, 지하수, 하천 등 2차 환경오염을 일으키고 있다 (Kim et al., 2011; Choi et al., 2012b).

현재 전 세계적으로 가축전염병으로 살처분 된 가축사체를 대상으로 자원화하기 위한 연구는 거의 진행된 적이 없다. 다만 일부 국내·외 연구기관에서는 유용자원인 가축사체를 랜더링 처리법으로 처리하여 그 부산물을 대상으로 퇴액비화를 시켜 농업적인 활용 가능성을 제시한 기초연구가 수행된 바 있다 (Choi et al., 2012a). 또한, 최근 도축 부산물인 동물의 뼈를 이용한 골분비료의 작물사용효과에 대한 기초 연구가 수행되었으나 육질부분은 자원화 된 연구가 없어 사체의 육질을 농업적 재활용을 위한 현장중심의 체계적인 자원화 연구가 필요한 실정이다 (Chung and Jeong, 2017).

따라서 본 연구는 가축전염병 발생 시 살처분가축을 효과적으로 처리하기 위해 돼지사체를 이용하여 액비를 제조하였으며, 제조된 액비는 토양에 사용하여 작물의 생육과 토양의 특성변화에 미치는 영향을 조사하였다.

Materials and Methods

공시 재료 본 시험은 전라남도 광양시 광양읍 세풍리에 위치한 밭에서 실시하였고, 재배 시험 전에 조사한 공시 토양의 물리·화학적 특성은 Table 1에 나타내었다. 토양의 용적밀도는 1.42 Mg m^{-3} , 공극률은 46.4%이었고, 토양 pH는 6.9로 중성에 가까웠다. 토양 EC는 0.22 dS m^{-1} , OM 함량은 10.9 g kg^{-1} 이었으며, 토양 CEC는 $9.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 조사되었다. 시험에 사용된 공시 작물은 감자 (*Solanum tuberosum* L.), 옥수수 (*Zea mays* L.)를 사용하였다.

Table 1. Physicochemical properties of experimental soil used in the study.

Bulk density	Porosity	pH	EC	OM	T-N	Exch. cations ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)			
Mg m^{-3}	%	1:5	dS m^{-1}	----- g kg^{-1} -----		K	Ca	Mg	CEC
1.42	46.4	6.9	0.22	10.9	0.94	0.10	7.0	1.95	9.5

본 시험에서 돼지사체 분해와 액비제조를 위한 장치는 (주)STI에서 제작한 알칼리 가수분해 장치와 액비제조장치를 사용하였다. 돼지사체의 분해는 알칼리 가수분해 장치를 이용하여 돼지사체 320 kg, 고체 KOH 25 kg, 물은 챔버 용적의 80%, 온도는 90°C로 유지한 조건에서 5시간 동안 분해하였다. 돼지사체 분해액은 액비 제조장치를 사용하여 액비화 시켰으며, 액비화조건은 돼지사체 분해액 40 L, 증류수 20 L를 주입하였고, 폭기량은 0.4 L min^{-1} , 교반속도는 5 rpm, 온도는 32°C 조건이었다. 발효를 돕기 위한 미생물은 *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces cerevisiae* 및 *Bacillus subtilis* 3종을 혼합하여 투입하였으며, 15일간 발효시켜 실험에 사용하였다.

실험방법 돼지사체 액비 사용이 작물의 생육 및 토양에 미치는 영향을 조사하기 위한 처리조건은 무처리구 (Cn, control), 돼지사체 액비 처리구 (liquid fertilizer, LF), 관행처리구 (inorganic fertilizer, IF) 및 돼지사체 액비와 무기질비료를 혼합한 처리구 (LF + IF)의 4처리구를 두었다. 무기질비료의 시비량은 농촌진흥청 작물별 시비처방기준에 따라 질소 (N), 인산 (P), 칼리 (K)를 10a당 감자는 10-10-12 kg, 옥수수는 14.5-3-6 kg을 시비하였고, 개발된 액비의 사용은 3주에 1회 500배액 2 L m^{-2} 를 시험포장 곳곳에 살포하였다. 감자는 2017년 3월 17일-6월 16일까지 91일 동안 재배하였고, 옥수수는 3월 17일-7월 14일까지 119일 동안 재배하였다.

액비사용에 따른 작물의 생산량 증대효과는 각 작물별로 구분하여 plant당 수확량을 기준으로 평가하였고, 액비사용에 따른 토양의 화학적 특성은 작물의 생육에 직접적으로 영향을 주는 표층 (5-15 cm)을 채취하여 조사하였으며, 토양호흡량 발생에 미치는 영향을 조사하기 위해 시기별 CO_2 발생량을 조사하였다.

분석방법 본 시험에 사용된 토양, 식물체 및 액비 분석은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였고, 토양 물리성은 core법으로 측정하였다. 토양 pH 및 EC는 pH meter와 EC meter (S230 Mettler Toledo)를 사용하였고, OM 분석법은 비색법 (UV2550PC, Pekinlmer), 토양의 T-N 분석은 Kjeldahl법을 사용하였다. 치환성 양이온 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 등) 함량은 1N- NH_4OAc 용액으로 침출한 후 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)를 사용하여 분석하였다.

개발된 액비의 pH는 pH meter를 사용하였고, T-N 및 T-P는 습식분해 ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HClO}_4$) 후 Kjeldahl법 및 vanadate (UV2550PC, Pekinlmer)법을 사용하였으며, 양이온, 미량원소 및 유해원소의 함량은 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)를 사용하여 분석하였다.

온실가스 발생량조사는 closed chamber법을 이용하였으며, 온실가스 채취는 7일 간격으로 매주 오전 11-12시 사이에 수행되었고, 채취간격은 0, 20, 40분 이었다. CO_2 분석은 가스크로마토그래피 (GC-2014, Shimadzu)를 이용하였고, CO_2 의 발생량은 Eqs. 1과 2를 이용하여 산정하였다.

$$F = p \times (V/A) \times (\Delta c/\Delta t) \times (273/T) \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, F는 온실가스 배출량, p는 CO_2 밀도 (mg cm^{-3}), V는 챔버부피 (m^3), A는 챔버면적 (m^2), $\Delta c/\Delta t$ 는 가스농도 증가율 ($\text{g m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$), T는 챔버 내 절대온도 ($^{\circ}\text{C}$).

$$\text{Total fluxed CO}_2 = \sum_i^n (R_i \times D_i) \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, R_i 는 i 번째 시료채취 시기에 CO_2 배출량 (kg m^{-2}), D_i 는 i 번째 시료채취 간격.

통계 분석방법 통계 분석은 SPSS (V22.0, USA) 통계 프로그램을 사용하여 5% 수준에서 유의성 검정을 위해 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

Results and Discussion

개발된 액비 특성 개발한 액비의 화학적 특성은 Table 2와 같다. 액비의 T-N 함량은 2.26%, K 함량은 6.12%로 조사되었고, 이외에도 다량성분이 미량 포함되어 있었다. 유해성분인 As, Cd 및 Hg의 함량은 검출되지 않았고, Pb의 함량은 0.11 mg kg^{-1} 으로 미량 검출되었다. 특히, 본 연구에서 개발된 돼지사체 액비의 T-N 및 K 함량은 사료작물이나 농작물의 수량 증진에 사용되었던 가축분뇨 액비와 비교하였을 때 상당히 높은 양을 함유하고 있었다 (Ryoo, 2009; Kwon et al., 2010; Ahn et al., 2012). 이와 같은 결과는 돼지사체의 육질은 대부분 단백질로 이루어져 있어 질소 함량이 높게 나왔고, 강알리인 KOH를 사용하여 가수분해 하였기 때문인 것으로 판단된다 (Seo et al., 2011).

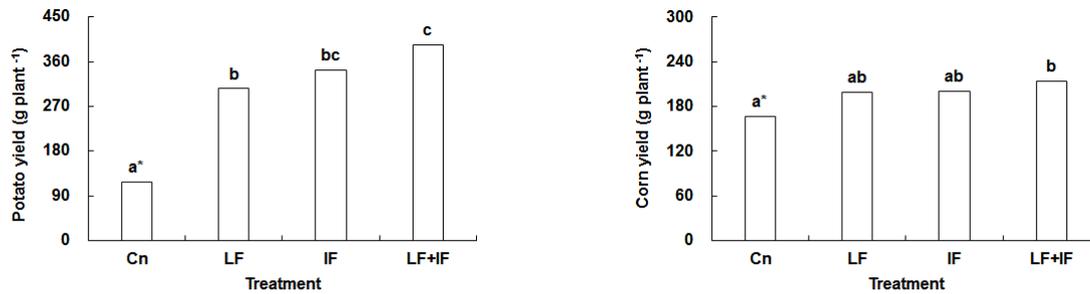
Table 2. Chemical properties of liquid fertilizer used in the study.

pH	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	As	Cd	Hg	Pb
			----- % -----				----- mg kg^{-1} -----									
10.2	2.26	0.11	6.12	0.004	0.003	0.11	ND*	1.04	9.39	ND	0.23	20.1	ND	ND	ND	0.11

*ND, not detected.

작물의 생육 특성 본 시험에서 액비 사용에 따른 작물의 수확량을 조사한 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 감자의 수확량은 처리구에 상관없이 LF 처리구에서 306 g plant^{-1} , IF 처리구에서 343 g plant^{-1} , LF + IF 처리구에서 395 g plant^{-1} 으로 Cn 처리구 (117 g plant^{-1})에 비해 많았다. LF, IF 및 LF + IF 처리구에서 생산된 감자의 수확량은 Cn 처리구에서 생산된 감자에 비해 약 161, 193 및 237%로 매우 높은 증가율을 보였다. 액체비료 중 하나인 돈분액비의 사용은 양분의 흡수가 용이하여 작물의 생산성을 증가시킨다고 보고된 바 있다 (Jokela, 1992; Daliparthi et al., 1994; Lee et al., 2006). 이와 같은 이유로, 돼지사체 액비를 사용한 처리구에서 감자의 생육이 control 처리구에 비해 증가되었고, 관행처리구와 큰 차이가 나지 않았던 것으로 판단된다.

옥수수의 수확량을 조사한 결과는 Fig. 1과 같이 Cn 처리구에서 166 g plant^{-1} , LF 처리구에서 199 g plant^{-1} , IF 처리구에서 200 g plant^{-1} 및 LF + IF 처리구에서 214 g plant^{-1} 으로 액비사용 처리구와 무기질비료 처리구에서 조사된 수확량은 큰 차이 없었다. 특히, 액비와 무기질비료의 혼합처리구에서 생산된 옥수수는 Cn, LF 및 IF 처리구에 비해 약 29, 8 및 7%의 증가효과를 보였다. 본 연구와 직접적인 비교는 힘들지만 서로 다른 형태의 양분을 복합 사용한 Han et al. (1991) 및 Jin et al. (1996)의 연구에 의하면 두 물질간의 상호작용으로 인해 토양의 화학적 특성이 개선되어 작물의 수량이 개선되었다고 보고된 바 있다.



*Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

Fig. 1. Yield of crop with different liquid fertilizer application (Cn, control; LF, liquid fertilizer; IF, inorganic fertilizer; LF + IF, liquid fertilizer + inorganic fertilizer).

본 연구에서는 액비와 무기질비료가 복합사용되어 미생물 측면, 토양 호흡량 측면, 그리고 토양 화학적인 측면이 개선되어 감자와 옥수수의 수확량이 LF + IF 처리구에서 가장 높았던 것으로 판단된다. 현재 가축사체를 액비로 재활용하여 작물을 재배한 연구결과가 없기 때문에 단정짓기 힘들지만, 본 연구에서 개발된 액비의 사용은 감자와 옥수수의 생산성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 하지만 옥수수의 경우 다소 척박한 토양에서도 잘 자라는 특성 (Varco et al., 1989; Utomo et al., 1990; Power et al., 1991)이 있기 때문에 감자에 대한 사용효과가 더 컸으며, 돼지사체 액비 사용은 작물별로 영향이 다를 것으로 사료된다.

토양의 화학적 특성 변화 작물 수확 후 토양의 화학적 특성 변화를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 감자 수확 후 토양 pH는 시험 전 토양에 비해 약간 감소되었고, 액비 사용에 따른 처리구간 유의성을 보였으며, EC는 IF 처리구보다 LF 처리구에서 높은 경향을 나타내었다. 유기물은 시험 전 토양과 비교하였을 때 모든 처리구에서 낮아지는 경향을 나타내었다. Lim et al. (2009)은 액비 및 화학비료 사용 시 작기의 경과에 따라서 토양 중 유기물 함량이 낮아진다고 보고한 바 있다. 토양 T-N 함량은 처리조건에 상관없이 0.43-0.48 g kg⁻¹ 범위로 조사되었다. Yang et al. (2008)은

Table 3. Changes in soil chemical properties after crops harvesting.

Crop	Treatment*	pH	EC	OM		Exch. Cations (cmol _c kg ⁻¹)			
				T-N	g kg ⁻¹	K	Ca	Mg	CEC
Potato	Cn	6.3 ^{a**}	0.38 ^a	6.2 ^a	0.43 ^a	0.16 ^b	9.4 ^b	2.29 ^c	12.3 ^{ab}
	LF	6.6 ^b	0.51 ^c	6.5 ^a	0.43 ^a	0.20 ^c	8.9 ^a	2.45 ^d	12.6 ^{bc}
	IF	6.5 ^b	0.41 ^b	6.3 ^a	0.45 ^a	0.16 ^b	8.8 ^a	2.26 ^b	12.1 ^a
	LF + IF	6.7 ^c	0.57 ^d	6.4 ^a	0.48 ^a	0.13 ^a	8.9 ^a	1.68 ^a	12.7 ^c
Corn	Cn	7.2 ^a	0.46 ^a	7.0 ^a	0.49 ^a	0.33 ^c	9.0 ^a	2.17 ^c	11.7 ^a
	LF	7.4 ^c	0.67 ^b	7.3 ^{ab}	0.61 ^b	0.13 ^a	9.8 ^a	1.76 ^b	11.7 ^a
	IF	7.2 ^a	0.66 ^b	7.6 ^b	0.67 ^c	0.41 ^d	10.0 ^a	1.65 ^a	11.7 ^a
	LF + IF	7.2 ^b	0.65 ^b	7.6 ^b	0.72 ^d	0.31 ^b	10.4 ^b	1.69 ^a	11.8 ^a

*Cn, control; LF, liquid fertilizer; IF, inorganic fertilizer; LF + IF, liquid fertilizer + inorganic fertilizer.

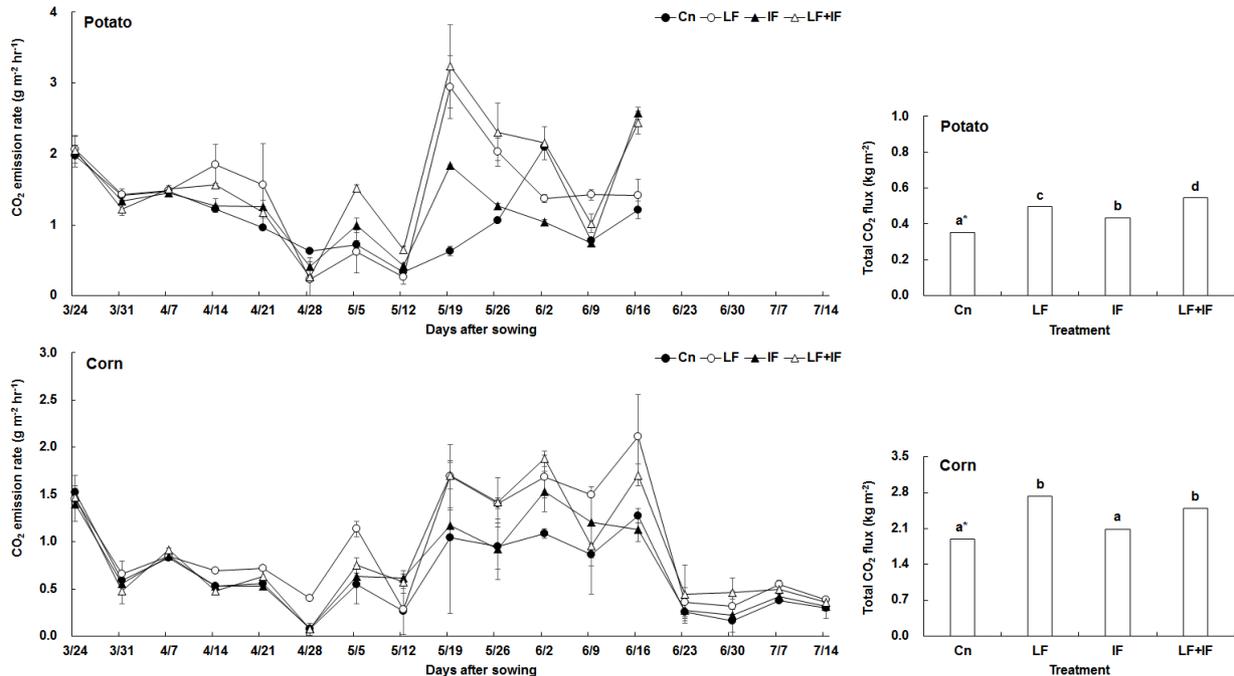
**Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

돈분액비 사용시 EC, 유기물, 치환성 양이온 함량이 증가한다고 보고한 결과와 유사하였다. 이는 돈분 액비에 함유된 다양한 영양성분으로 인한 결과로 보여지며, 본 연구에 사용된 돼지사체 액비 역시 다양한 성분을 함유하고 있어 감자 재배 후 토양의 화학성이 Cn 처리구에 비해 약간 개선되는 결과를 보였다.

옥수수 수확 후 토양의 화학적 특성은 감자재배 후 토양 특성과 유사한 경향으로 액비 사용처리구가 Cn 및 IF 처리구에 비해 약간 개선되는 효과를 보였다.

토양호흡량 변화 감자재배기간 동안 토양에서 CO₂ 발생량을 조사한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 조사기간 동안 CO₂ 발생량은 Cn 처리구에서 0.33-2.10 g m⁻² hr⁻² 범위, LF 처리구에서 0.23-2.95 g m⁻² hr⁻² 범위, IF 처리구에서 0.41-2.58 g m⁻² hr⁻² 범위, 그리고 LF + IF 처리구에서 0.27-3.24 g m⁻² hr⁻² 범위로 조사되었다. 감자재배기간 동안 조사된 총 CO₂ 발생량은 액비사용에 따른 유의성을 가지며, 액비 사용처리구가 다른 처리구에 비해 높은 경향이 있었다. 토양에서 미생물 활성은 CO₂ 발생의 주된 요인이다 (Kang et al., 2016). 본 시험에 사용된 돼지사체 액비는 충분히 발효된 물질로 미생물이 함유되어 있어 토양 내 미생물의 활성을 촉진시켜 총 CO₂ 발생량이 증가되었던 것으로 판단된다.

옥수수재배지에서 조사된 CO₂ 발생량은 감자재배지에서 조사된 결과와 유사한 경향으로 조사되었으며, 액비 사용에 따른 유의성을 보였다. 시기별 CO₂ 발생량은 Cn, LF, IF 및 LF + IF 처리구에서 각각 0.08-1.53, 0.29-2.11, 0.09-1.53 및 0.08-1.18 g m⁻² hr⁻¹ 범위로 조사되었다. 총 CO₂ 발생량은 LF ≥ LF + IF > IF ≥ Cn 처리구 순으로 많았다.



*Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

Fig. 2. Changes in CO₂ emission rate in crop cultivations (Cn, control; LF, liquid fertilizer; IF, inorganic fertilizer; LF + IF, liquid fertilizer + inorganic fertilizer).

Conclusions

본 시험은 가축전염병으로 살처분 된 가축사체의 2차 오염을 방지하고, 농업적 재활용을 위하여 돼지사체를 액비로 제조하였고, 그 시용효과는 작물재배를 통해 평가하였다. 시험 처리구는 무처리구 (Cn), 돼지사체 액비처리구 (LF), 관행처리구 (IF), 돼지사체 액비와 무기질비료를 혼합한 처리구 (LF + IF)로 나누었으며, 감자와 옥수수를 재배하였다. 감자와 옥수수의 수확량은 전반적으로 $LF + IF \geq IF \geq LF > Cn$ 순으로 증가하는 경향이었고, LF + IF에서 생산된 감자와 옥수수는 Cn 처리구와 비교하였을 때 각각 237 및 29%의 증수효과를 보였다. 작물재배 후 토양화학성 변화는 작물에 상관없이 액비를 사용하였을 때 토양화학성이 개선되는 결과를 보였다. 감자재배지에서 조사된 총 CO₂ 발생량은 액비사용에 따른 유의성을 보였으며, 액비 사용처리구가 다른 처리구에 비해 높은 경향이었고, 옥수수 재배지에서 조사된 CO₂ 발생량은 감자재배지에서 조사된 결과와 유사한 경향으로 조사되었다. 이상의 결과로 미루어 볼 때, 본 연구에서 개발된 액비는 작물재배에 효과적이었으며, 향후 가축사체 자원화를 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study is supported by Kangwon National University (620160060).

References

- Ahn, C.H., W.S. Kim, J.S. Park, and I. Ahn. 2012. Effect of liquid pig manure application method on the chemical properties of paddy soil growth of paddy rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):1043-1048.
- Cho, H.S. and G.H. Kim. 2012. Needs of biosecurity and protocols for the environmental management of carcasses burial. *J. Korean Soc. Water Environ.* 28(2):305-312.
- Choi, I.W., D.C. Seo, S.W. Kang, Y.J. Seo, S.G. Lee, H.H. Sung, J.S. Heo, S.J. Kang, and J.S. Cho. 2012a. Effect of sawdust mixing ratio on composting of animal cadaver residue using rendering treatment method. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(3):404-409.
- Choi, S.K., H.H. Song, and K.S. Park. 2012b. Analysis of foot-and-mouth disease diffusion velocity using network tool. *Korean Soc. Geospatial Inf. Syst.* 20(2):101-107.
- Chung, J.B. and B.R. Jeong. 2017. Relative effectiveness of bond meal as a phosphorus fertilizer compared with fused phosphate. *Korean J. Environ. Agric.* 36(1):1-6.
- Daliparthi, J., S.J. Herbert, and P.L.M. Veneman. 1994. Dairy manure applications to alfalfa: crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. *Agron. J.* 86(6):927-933.
- Han, M.S. and J.S. Park. 1991. Effect of cattle compost and npk application on growth and dry matter accumulation of selected forage crops on newly reclaimed uplands. *Korean. J. Korean Soc. Grassland Sci.* 11(2):108-115.
- Jin, H.J., J.S. Yang, J.G. Kim, and E.S. Jeong. 1996. Effects of cattle manure application on the soil properties, yield performance and quality of silage corn cultivated on paddy land. *Korean. J. Korean Soc. Grassland Sci.* 16(1):81-86.
- Jokela, W.E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects of corn yield and soil nitrate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56(1):148-154.
- Jung, S.C., J.W. Jeong, J.H. Huh, and D.B. Lee. 2011. Estimation of carbon footprint for production of main crops

- and contribution analysis of inorganic chemical fertilizers. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1279-1285.
- Kang, S.W., D.C. Seo, Y.H. Cheong, J.W. Park, J.H. Park, H.W. Kang, K.D. Park, Y.S. Ok, and J.S. Cho. 2016. Effect of barley straw biochar application on greenhouse gas emissions from upland soil for chinese cabbage cultivation in short-term laboratory experiments. *J. Mt. Sci.* 13(4):693-702.
- Kim, S.K., J.E. Kim, and D.M. Park. 2011. The cultural analysis of 2010-2011 foot and mouth disease massacre in Korea. *J. Environ. Health Sci.* 37(2):165-169.
- Kwon, Y.R., J. Kim, B.K. Ahn, and S.B. Lee. 2010. Effect of liquid pig manure and synthetic fertilizer on rice growth, yield, and quality. *Korean J. Environ. Agric.* 29(1):54-60.
- 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. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24(2):148-156.
- Lim, T.J., I.B. Lee, S.B. Kang, J.M. Park, and S.D. Hong. 2009. Effects of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of chinese cabbage. *Korean J. Environ. Agric.* 28(3):227-232.
- MIFAFF. 2010. Act on the prevention of contagious animal diseases.
- MIFAFF. 2015. FMD standard operating procedure. pp. 1-277.
- NIAST. 2000. Methods of soil and crop plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Power, J.F., J.W. Doran, and P.T. Koerner. 1991. Hairy vetch as a winter cover crop for dryland corn production. *J. Prod Agric.* 4(1):62-67.
- Ryoo, J.W. 2009. Effects of application seasons and rates of swine liquid manure on yield and quality in rice. *Korean J. Org. Agric.* 17(1):95-109.
- Seo, D.C., S.W. Kang, I.W. Choi, H.H. Sung, T.Y. Hur, J.Y. Yoo, Y.J. Lee, J.S. Heo, S.J. Kang, and J.S. Cho. 2011. Evaluation of fertilizer value of animal waste for agricultural recycling. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5):788-793.
- Shin, Y.J., G.Y. Heo, J.H. Kim, B.N. Kim, J.H. Min, and H.S. Cho. 2017. Effect of *Corynebacterium glutamicum* and *Bacillus licheniformis* on livestock material burial treatment. *Korean J. Vet Sery.* 40(1):53-59.
- USDA, NRCS and Texas State Soil and Water Conservation Board. 2002. Catastrophic animal mortality management (burial method) technical guidance. TX, USA.
- U.S. EPA, 2000. Profile of agricultural livestock production industry. Washington, D.C., USA.
- Utomo, M., W.W. Frye, and R.L. Blevins. 1990. Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. *Agron. J.* 82(5):979-983.
- Varco, J.J., W.W. Frye, M.S. Smith, and C.T. Mackown. 1989. Tillage effects on nitrogen recovery by corn from a nitrogen-15 labeled legume cover crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53(3):822-827.
- Yang, C.H., S.B. Lee, T.K. Kim, J.H. Ryu, C.H. Yoo, J.J. Lee, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2008. The effect of tillage methods after application of liquid pig manure on silage barley growth and soil environment in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(5):285-291.