



랜더링된 가축사체 잔류물 사용이 온실가스 및 고추 생육에 미치는 영향

박재혁¹, 김동욱², 강세원^{1,3}, 조주식^{1,3*}

¹순천대학교 일반대학원 농화학과 & 순천대학교 IT-Bio융합시스템전공, ²(주)알에이치에코랩,

³순천대학교 생명산업과학대학 농생명과학과

Effects of Application of Rendered Carcass Residue on Greenhouse Gases and Pepper Growth

Jae-Hyuk Park¹, Dong-Wook Kim², Se-Won Kang^{1,3} and Ju-Sik Cho^{1,3*} (¹Department of Agricultural Chemistry, Graduate School, Sunchon National University & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea, ²RH Ecolab Co. Ltd., Jeonju 54865, Korea, ³Department of Agricultural Life Science, College of Life Science and Natural Resources, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea)

Received: 04 December 2023/ Revised: 20 December 2023/ Accepted: 22 December 2023

Copyright © 2023 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.

ORCID

Jae-Hyuk Park
<https://orcid.org/0000-0001-6073-0185>

Dong-Wook Kim
<https://orcid.org/0009-0008-6078-558X>

Se-Won Kang
<https://orcid.org/0000-0003-2038-5465>

Ju-Sik Cho
<https://orcid.org/0000-0001-9610-5373>

Abstract

The rendering residue generated by rendering disposal, an eco-friendly livestock carcass disposal method, is a useful agricultural resource. Methods for recycling this are being actively researched, and this study investigated the impact of applying rendered residue directly to soil on crop productivity and the agricultural environment. The chemical properties of the rendering residue were examined. The pH, OM, T-N, T-P, CaO, K₂O, and MgO content values were 5.47%, 59.8%, 9.22%, 2.96%, 2.16%, 0.51% and 0.10%, respectively. Treatment conditions were divided into control, inorganic fertilizer, and rendering residue, and rendering residue corresponding to 50, 100, and 200% nitrogen content was applied based on the amount of in-

organic fertilizer nitrogen input. Greenhouse gases and ammonia were collected during the cultivation period. Rendering residue increased both the yield and growth of peppers and was effective in improving nutrients such as pH and OM of the soil after harvest. However, compared to inorganic fertilizer treatment, it increased emissions of nitrous oxide and methane as well as ammonia. It is judged that the direct agricultural use of rendering residue is difficult, and a utilization method is needed.

Key words: Ammonia, Greenhouse gas, Organic resource, Pepper, Rendered residue

* Corresponding author: Ju-Sik Cho
Phone: +82-61-750-5182; Fax: +82-61-750-8011;
E-mail: chojs@schnu.ac.kr

서 론

기후변화로 인해 가축전염병의 발생량이 증가하고 있으며, 폭염의 빈도가 늘어나 폐사하는 가축의 수가 증가하고 있다 [1]. 가축전염병의 경우에 긴급행동지침(SOP)에 따라 가축전염병이 발생한 축사 이외에 동일한 축종을 기르는 주변 축사의 가축 또한 살처분시켜야 하기 때문에 폐사되는 가축의 양이 막대하게 발생되고 있다[2]. 국내에서 살처분은 매몰지를 조성하여 대량처리가 가능한 매몰법을 사용하고 있으나, 매몰지 침출수로 인한 병원균 유출, 토양 및 지하수 오염, 악취 등 문제가 발생하고 있다[3-5]. 가축사체 처리방법 중 OIE (Office International des Epizooties)에서는 랜더링 처리방법이 매몰법, 소각 등의 가축사체 처리방법과 비교하여 가장 효율적이고 안전한 처리방법이라고 보고하였다[6]. 랜더링 처리방법은 가축사체를 고온, 고압에서 열처리하는 방법으로 병원성 미생물의 사멸과 환경에 직접적인 오염물질 유출이 없다는 장점이 있다. 랜더링 처리방법으로 가축사체를 처리하면 유지 및 수분이 제거되고 건조 고형 잔류물이 발생한다. 랜더링 잔류물은 단백질 함량이 높으며, 다양한 무기성분이 포함되어 있기 때문에 비누, 페인트원료, 화장품등의 재활용 자원으로써 활용 가치가 높다고 보고되었다[7]. ‘가축전염병예방법’에 따르면 전염병으로 폐사한 가축의 경우, 일부 전염병으로 폐사한 가축은 발효시설, 랜더링 처리장치 등의 처리를 통해서 사료 및 비료의 원료로 재활용이 가능하다고 제시되었으며[8], 랜더링 고형 잔류물 또한 사료로 재활용되고 있으나, 축사환경에 따른 랜더링 장치에 흙, 분뇨, 벗짚 등의 오염물질의 유입정도와 오랜 방치로 인한 부폐정도에 따라 사료로 활용되기에 어려운 문제가 있다. 사료로써 활용이 어려운 랜더링 잔류물을 농업적으로 활용하기 위하여 유기농자재 및 바이오차를 개발하는 다양한 연구들이 진행되고 있다[9-11]. 그러나, 랜더링 잔류물을 바로 토양에 처리하였을 경우에 작물 생산성 및 환경적인 문제점이 없다면 별다른 처리 및 공정이 생략되며, 랜더링 잔류물을 바로 비료로 활용이 가능하여 경제적인 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 랜더링 처리방법을 통해 발생된 랜더링 고형 잔류물의 시비가 작물 생육, 생산성에 미치는 효과와 토양화학성 및 온실가스 배출에 미치는 영향을

확인하기 위하여 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

공시 재료

본 실험에서 사용한 토양은 전라남도 순천시 서면에 위치한 순천대학교 부속농장부지에서 채취하였으며, 공시토양의 화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 공시토양의 pH는 5.47로 산성토양이었으며, EC는 0.17 dS/m로 조사되었다. OM, T-N 및 Av. P₂O₅은 각각 24.3 g/kg, 1.26 g/kg 및 55.0 mg/kg으로 조사되었다. 공시토양의 교환성양이온용량은 8.96 cmol_c/kg이었으며, 교환성 Ca, K 및 Mg 이온함량은 2.34, 0.56 및 0.80 cmol_c/kg으로 조사되었다.

실험에 사용된 랜더링 잔류물은 축종에 상관없이 랜더링되어 생산된 것으로 랜더링 전문업체에서 공급받았다. 랜더링 잔류물의 경우, 사체를 고온고압 처리한 후 유지 및 수분을 분리하는 과정을 통해 생성되기 때문에 수분함량이 2.30% 낮았으며, pH, OM, T-N 및 T-P는 각각 5.64%, 59.8%, 9.22% 및 2.96%로 조사되었다(Table 2).

재배 시험 및 처리 조건

랜더링된 가축사체 잔류물 사용이 작물에 미치는 효과를 확인하기 위하여 대상 작물로 고추를 선정하였으며, 처리조건은 대조구(CN), 무기질 비료 처리구(IF), 랜더링 잔류물 처리구(R)로 나누었다. 무기질 비료의 경우 농촌진흥청 작물별 비료사용처방에 준하여 대상작물인 고추의 시비량을 시비하였고, 랜더링 잔류물은 무기질 비료의 절반 투입량을 기준으로 50% (11.25 kg-N/10a), 100% (22.5 kg-N/10a) 및 200% (45.0 kg-N/10a)의 질소함량에 해당하는 랜더링 잔류물을 투입하였다. 재배시험은 순천대학교 유리온실에서 진행하였으며, Wagner pot (1/5000a)에 2 mm 채를 이용하여 균질화시킨 토양을 투입하여 진행하였고 완전임의배치법에 의해 3반복으로 수행되었다. 재배기간은 2022년 5월 18일에 이식하여 7월 20일 까지 9주간 재배하였고 재배기간 동안 2회 수확(6월 15일, 7월 20일)하였다. 재배기간 동안 2-3일에 한 번씩 모든 처리구에 동일한 양의 물을 공급하였다.

Table 1. Chemical properties of the experimental raw soil

pH (1:5)	EC (dS/m)	OM		T-N - - (g/kg) - -	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. cation (cmol _c /kg)			
		K	Ca			Mg	CEC		
5.47±0.01	0.17±0.01	24.3±1.29	1.26±0.04	55.0±1.19	0.56±0.03	2.34±0.11	0.80±0.04	8.96±0.23	

Table 2. Chemical properties of rendering residues

W.C (%)	pH (1:10)	OM	T-N	T-P	K ₂ O (%)	CaO	MgO
2.30±0.05	5.64±0.02	59.8±0.24	9.22±0.18	2.96±0.15	0.51±0.01	2.16±0.03	0.10±0.01

[†]ND; Not Detected

분석 방법

본 실험은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법에 준하여 토양 및 랜더링 잔류물의 화학적 특성을 분석하였다. 토양의 pH와 EC는 토양과 물을 1:5 비율로 침출시킨 후 pH meter 및 EC meter (S230, Mettler Toledo, Zurich, Switzerland)를 사용하여 분석했으며, 유기물은 Tyurin법을 이용하여 측정하였다. T-N 및 Av. P₂O₅는 각각 Kjeldahl법 및 Lancaster 법(Ubi-490, Microdigital, Korea)을 이용하여 측정하였다. 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc 용액으로 침출 후 여과하여 ICP (ICPE-9000, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다.

랜더링 잔류물은 퇴비의 이화학적 특성 분석법을 통해 분석하였다. pH는 랜더링 잔류물과 물을 1:10 비율로 침출시켜 pH meter (S230, Mettler Toledo, Zurich, Switzerland)를 이용하여 분석하였다. 수분함량은 가열감량법을 이용하여 측정하였으며, 유기물은 회화법을 이용하여 분석하였다. 무기성분은 황산-과염소산(H₂SO₄-HClO₄) 분해를 통해 전처리하였으며, T-N 및 T-P는 각각 Kjeldahl법, Vanadate법(Ubi-490, Microdigital, Korea)으로 분석하였고 K₂O, CaO 및 MgO는 ICP (ICPE-9000, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 분석하였다.

온실가스 및 암모니아 포집

재배기간 동안 온실가스는 정적챔버법(Static chamber method)을 이용하였다. 정적챔버는 15 cm (Ø) × 40 cm (H)의 원통형 아크릴 챔버를 사용하여 Wagner pot에 토양의 5 cm 깊이로 설치하였다. 재배기간 동안 온실가스는 3 way stopper가 부착된 주사기를 이용하여 주 1회 채취하였고 1시간 동안 배출되는 온실가스 배출량을 조사하였다. 채취한 가스 시료는 가스크로마토그래피(8890 GC system, Agilent, USA)를 이용하여 N₂O, CO₂ 및 CH₄를 분석하였다[12]. 재배기간 중 배출되는 온실가스 배출량은 다음 식을 통해 계산하였다.

$$F = \rho \times (V/A) \times (\Delta c/\Delta t) \times (273/T)$$

F는 N₂O, CO₂ 및 CH₄ flux값이며, ρ는 해당 기체 밀도 (mg/cm³), V는 챔버의 부피(m³), A는 챔버 면적(m²), Δc/Δt는 챔버 내 단위시간당 온실가스 농도 변화량, T는 챔버 내 온도(°C)를 의미한다.

암모니아 가스는 동적챔버법(Dynamic chamber method)을 이용하였으며, 사용된 챔버는 온실가스를 포집했던 정적챔버와 동일한 column에 chamber head를 다르게 하였다. 동적챔버법의 경우 air pump를 이용하였으며, 가스유량계를 사용하여 챔버 내에 일정하게 2 L/min의 공기를 1시간 동안 주입하였고 챔버에서 배출되는 가스를 0.05N H₂SO₄ 용액에 포집하였다[13]. 0.05N H₂SO₄ 용액에 포집된 암모니아는 수질오염공정시험기준에 준하여 Indophenol법(Ubi-490, Microdigital, Korea)으로 정량분석하였다. 측정된 암모니아는 다음 식을 통해 계산하였다.

$$F = (Q/A) \times [C \times \{\rho \times (273/273+T)\}]$$

F는 NH₃ flux값이며, Q는 암모니아 포집 기간 동안의 공기 유량(L/min), A는 챔버 면적(m²), C는 NH₃ 농도 (mg/L), ρ는 NH₃의 밀도(kg/m³), T는 챔버 내 온도(°C)를 의미한다.

통계 분석

본 연구에서 랜더링된 가축사체 잔류물 처리에 따른 고추의 생육, 수화량 및 수확 후 토양의 화학적 특성의 통계분석은 SPSS (IBM SPSS Statistic 26, Endicott, New York, USA) 버전을 사용하여 5% (*p*=0.05)의 유의수준에서 Duncan's multiple range test (DMRT)를 수행하였다.

결과 및 고찰

고추 생육 및 수화량

랜더링 잔류물 처리에 따른 고추의 생육은 포트에서 재배를 진행하여 생중량 및 수량이 낮게 조사되었다. 고추 지상부 길이는 대조구인 CN에서 34.4 cm/plant로 가장 낮은 길이 생장을 보였으며, 랜더링 잔류물 처리구인 R50, R100 및 R200에서 각각 46.2, 56.8, 60.7 cm/plant로 랜더링 잔류물의 처리량이 증가할수록 지상부 길이가 증가하였다. 무기질 비료 처리구인 IF에서 60.2 cm/plant로 동일한 양의 질소를 투입한 R100과 유의한 차이를 보이지 않았다. 식물체 생체량은 뿌리, 줄기 및 잎에서 각각 7.43-18.2, 8.38-35.0 및 7.20-22.7 g/plant 범위로 조사되었다(Fig. 1). 랜더링 잔류물 처리구에서 CN에서보다 고추의 생체량이 높았으나, 무기질 비료 처리보다는 낮은 생체량을 보였다. 무기질 비료의 경우, 무기태 질소로 투입되지만 랜더링 잔류물의 경우에 단백질 형태로 질소가 투입되기 때문에 분해율에 의한 양분이용속도에 변화를 주었고, 이것이 생체량 차이를 초래한 것으로 판단된다[14]. 또한 랜더링 잔류물의 처리량이 증가할수록 식물체의 생체량이 증가하였는데, 이는 랜더링 잔류물의 처리량이 증가할수록 질소를 포함한 무기성분의 투입량이 증가하였으며, 고추 생체량 증가에 영향을 준 것으로 판단된다[15].

고추의 생육특성은 고추의 길이, 생중량 및 수량을 조사하였으며, Table 3에서 보는 바와 같다. 1차 수확에서는 대조구인 CN에 비해 IF처리구와 R200 처리구에서 길이 및 생중량이 유의하게 증가를 하였고 2차 수확에서는 CN에 비해 랜더링 잔류물 및 무기질 비료 처리구에서 고추 길이 및 수량이 전부 증가하였다. 전체 수확한 고추의 길이, 생중량 및 수량은 각각 6.48-8.53 cm/plant, 4.92-6.47 g/plant 및 2.67-8.67 ea/plant 범위였다. R200 처리구에서 길이, 생중량 및 수량 등 모든 면에서 가장 높은 생산성을 보였으며, 무기질 비료와 동일한 질소를 투입한 R100에서도 IF처리구와 수화량이 유의한 차이가 나타나지 않았다. 가축분뇨비와 같은 유기질 비료의 경우, 질소 무기화 과정을 통해 이용이 가능한 질소 형태 전환된 후 작물에 흡수되기 때문에 무기질 비료에 비해 양분 공급

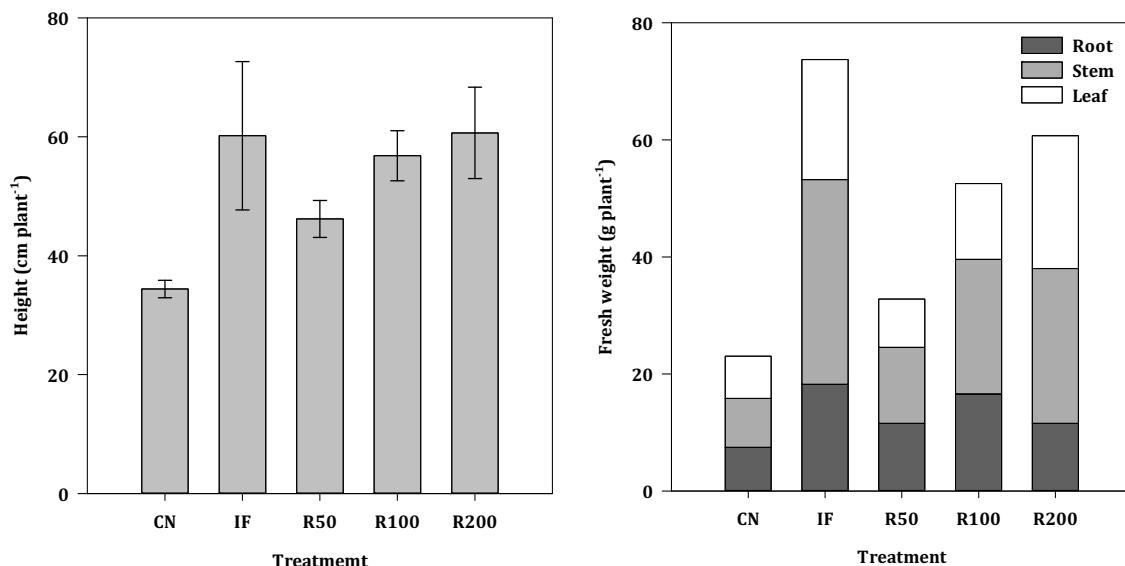


Fig. 1. Plant height and Fresh weight of pepper after harvest.

Table 3. Red pepper productivity after harvest

Treatment	1st harvest			2nd harvest			Total harvest		
	Length (cm/plant)	Weight (g/plant)	Yield (ea/plant)	Length (cm/plant)	Weight (g/plant)	Yield (ea/plant)	Length (cm/plant)	Weight (g/plant)	Yield (ea/plant)
CN	6.90 b†	4.35 b	1.00 a	6.41 b	5.92 a	1.67 b	6.48 b	5.03 b	2.67 b
IF	8.05 ab	6.43 ab	2.67 a	6.54 ab	4.95 a	3.67 ab	7.15 ab	5.94 ab	6.33 ab
R50	5.90 b	4.56 b	2.33 a	7.71 ab	5.59 a	4.00 ab	6.89 b	4.92 b	6.33 ab
R100	7.32 b	5.64 b	2.67 a	9.17 a	7.41 a	3.67 ab	8.06 a	6.08 ab	6.33 ab
R200	10.78 a	10.39 a	1.33 a	8.13 ab	5.81 a	7.33 a	8.53 a	6.47 a	8.67 a

† Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

효과가 낮다고 보고되었으나[16], 랜더링 잔류물 처리구는 식물체 길이, 생중량, 수확량면에서 무기질 비료와 큰 차이가 없었으며, 비료로써 활용이 가능할 것으로 판단된다.

토양 화학성

고추 수확 후 토양의 화학성을 조사한 결과, 랜더링 잔류물 처리구는 무기질 비료 처리구보다 전반적으로 양분함량이 개선되는 경향을 보였다(Table 4). 수확 후 토양의 pH 결과, IF

는 5.54로 가장 낮아졌으며, 랜더링 처리구는 처리량에 상관없이 5.63-5.69로 조사되었다. 수확 후 토양의 유기물, 총질소 및 유효인산 함량은 무기질 비료 처리구보다 랜더링 잔류물 처리구에서 높았으며, 이는 동일한 질소량 시비하였음에도 불구하고 랜더링 잔류물이 다양한 P, K를 포함한 다양한 무기성분을 포함하고 있어 토양에 더 많은 유기물과 유효인산이 공급되었다고 판단된다. 또한 랜더링 잔류물은 59.8%의 탄소를 함유하고 있어 상대적으로 IF처리구에 비해 탄질율이 높으며, Kim

Table 4. Chemical properties of soil after cultivations

Treatment	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM - - - (g/kg)	T-N - - -	NH ₄ ⁺ - - - - (mg/kg)	NO ₃ ⁻ - - - - (mg/kg)	Av. P ₂ O ₅ - - - -	Ex. cations (cmol _c /kg)			
								K	Ca	Mg	CEC
CN	5.76 a†	0.14 b	24.8 ab	1.31 c	8.28 a	3.03 b	53.9 c	0.33 a	2.35 b	0.77 b	8.33 b
IF	5.54 c	0.15 ab	22.5 c	1.41 bc	3.00 b	2.56 b	65.5 b	0.24 bc	2.42 b	0.83 a	8.42 b
R50	5.63 b	0.14 b	23.3 bc	1.43 bc	9.39 a	10.13 a	60.3 b	0.26 b	2.50 b	0.77 b	8.72 ab
R100	5.69 ab	0.17 a	23.2 bc	1.55 ab	7.25 a	8.14 a	65.5 b	0.21 c	2.85 a	0.76 bc	9.49 a
R200	5.65 b	0.16 ab	25.3 a	1.63 a	2.53 b	9.07 a	77.1 a	0.20 c	2.62 ab	0.74 c	8.93 ab

† Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

등[17]은 탄질율이 높은 경우에 무기화율이 감소한다는 연구 결과와 마찬가지로 랜더링 잔류물 처리량이 높을수록 탄질율이 증가하고 무기화작용이 감소함으로써 함량이 높았던 것으로 판단된다. 토양 내 암모니아태 질소의 경우, 랜더링 잔류물 처리량이 증가할수록 감소하였다. 연구결과에서 랜더링 잔류물 처리량이 증가할수록 탄소원 및 질소원 증가로 암모니아 배출량이 크게 증가하였으며[18], 작물의 생장차이가 발생하였고 이에 따른 질소 흡수량 차이가 발생하였기 때문이라고 판단된다[19]. 일반적인 퇴비시용은 유기물 공급, 토양의 양이온 교환용량 등의 향상으로 토양 완충능력과 양분, 수분보유능력을 개선시킨다는 보고와 같이 랜더링 잔류물 또한 동일한 효과를 보일 것으로 판단된다[20].

온실가스(N_2O , CO_2 , CH_4) 및 암모니아(NH_3) 배출량

고추 재배기간 동안 랜더링 잔류물 처리에 따른 시기별 온실가스 배출량은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 시기별 CO_2 및 N_2O 는 시비 후 2일간 많은 배출량을 보였으며, 시비 후 7일 이후부터는 배출량이 거의 없었다. CO_2 는 무기질 비료처리보다 랜더링 처리시 배출량이 더 많았으며, 랜더링 처리량이 증가할수록 CO_2 배출량이 증가하였고 1일차 R200에서 3,555 mg/m^2h 으로 배출량이 가장 많은 것으로 조사되었다. 무기질 비료와 동일한 양의 질소를 투입한 R100 처리구와 IF처리구의 N_2O 배출량은 유의한 차이를 보이지 않았으나, R50에서 N_2O 배출량은 가장 높은 것으로 조사되었다. 일반적으로 아산화질소는 토양 환원조건에서 탈질과정을 통해 일어나는 것으로 알려져 있으며, 질소 시비량 및 무기태 질소와 높은 상관

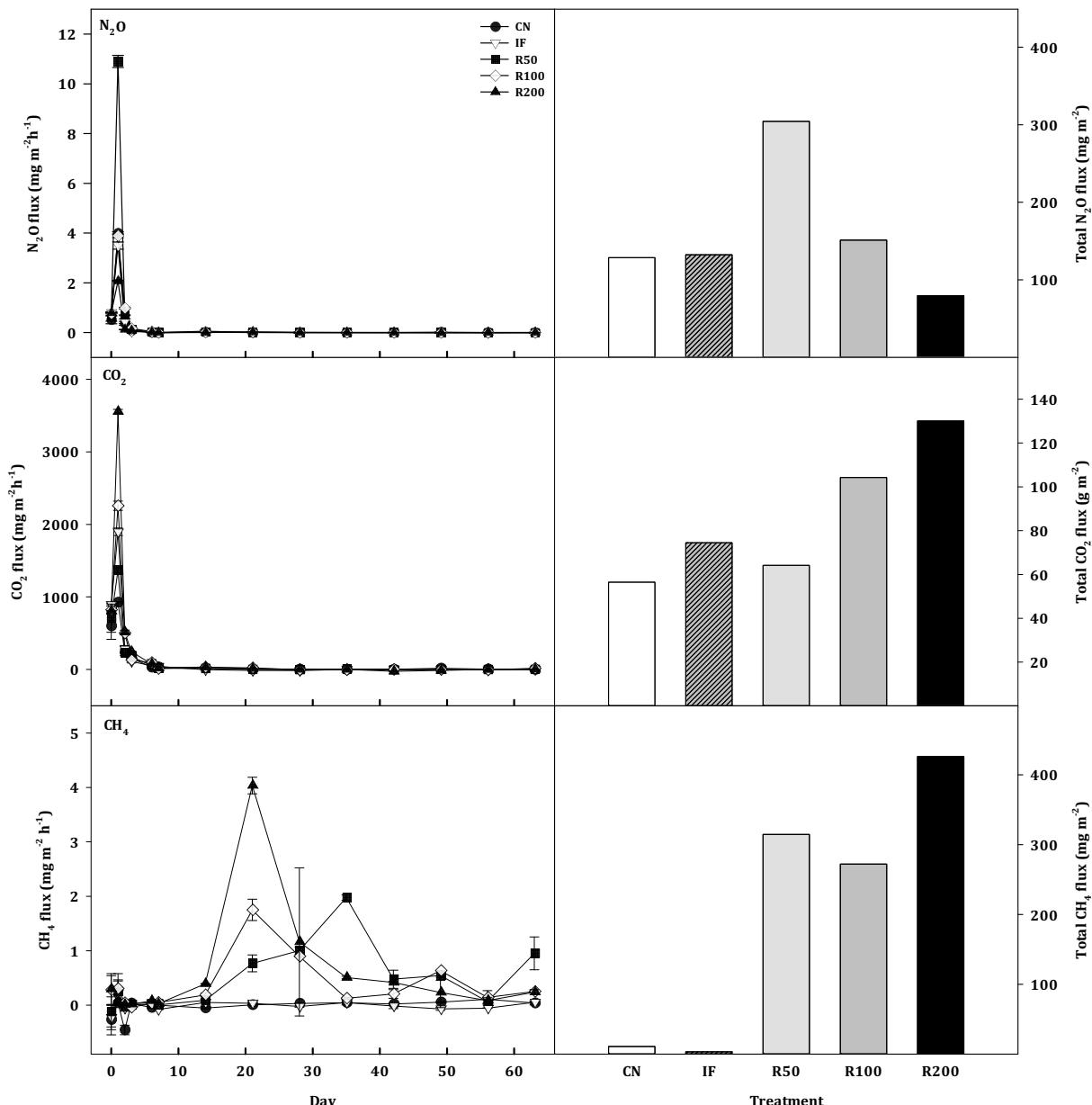


Fig. 2. Greenhouse gas emissions and total fluxes under rendering residues application during cultivation.

관계가 있는 것으로 알려져 있다[21,22]. R50의 경우 질소 투입량이 상대적으로 낮으나 수확 후 토양에 무기태 질소 함량이 높고 N_2O 생성에 좋은 토양환경조건이 형성되는 등으로 N_2O 배출량이 가장 많았던 것으로 판단된다. 처리조건에 상관없이 재배기간 동안 온실가스인 CH_4 flux은 0.01-4.04 mg/m²h 범위로 조사되었으며, CO_2 와 N_2O 가 거의 배출되지 않는 7일 이후부터 배출량이 증가하였다. 랜더링 잔류물 처리량이 증가할수록 CH_4 의 배출량은 증가하였으며, 무기질 비료처리구보다 랜더링 잔류물 처리구에서 CH_4 배출량이 증가하였다. Kim 등[23]은 토양에 유기물 시용으로 부식이 증가하면 입단화로 인해 용적밀도가 감소되고 보수력이 증가되어 소성한계가 증가한다고 보고하였다. 랜더링 잔류물을 통한 유기물 시용이 보수력 증가와 소성한계 증가 및 용적밀도 감소를 통해 통기성이 저하되었으며, 토양 환원이 조장되었을 것으로 보여진다. 또한 랜더링 잔류물의 높은 탄소함량으로 인한 토양 내 탄소원 공급을 통해 배출량이 증가한 것으로 판단된다[24].

N_2O , CO_2 및 CH_4 에 각각의 GWP (Global Warming Potential) 지수($N_2O=310$, $CO_2=1$, $CH_4=21$)를 곱하여 지구온난화지수를 구하였다. GWP는 대조구와 무기질 비료처리구

는 각각 966.1, 1156.2 kg CO₂ eq./ha였으며, 랜더링 잔류물 처리구는 처리량에 상관없이 1569.0-1652.2 kg CO₂ eq./ha 범위로 GWP가 높게 조사되었다(Fig. 3).

암모니아 배출량은 0.28-311.8 mg/m²h 범위로 조사되었으며(Fig. 4), 랜더링 잔류물 처리량이 증가할수록 암모니아 배출량이 증가하였다. 암모니아의 경우 토양 pH, 토성, 토양유기물, 토양온도 및 수분함량 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며[25], 랜더링 잔류물은 유기물 및 토양 수분함량에 영향을 준 것으로 판단된다. 특히, Kim 등[26]의 농경지 토양에서 암모니아 배출에 미치는 요인에 관한 연구에서 보고한 바와 같이 랜더링 잔류물의 처리량이 많을수록 토양에 유기물이 많으며, 미생물 활동 증가로 인해 암모니아 휘산을 촉진했을 것으로 판단된다. 랜더링 잔류물 처리량 증가에 따라 암모니아 배출량은 증가하였으며, 이는 CH_4 결과와 유사하게 유기물인 랜더링 잔류물 처리에 따라 입단화, 용적밀도의 감소 등으로 환원상태 토양을 만들어 암모니아 배출량이 증가하였을 것이라고 판단된다[24].

결 론

본 연구는 랜더링된 가축사체 잔류물을 유기비료로써 토양에 처리하였을 때, 작물에 미치는 효과와 토양 및 온실가스 등 환경에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 실험 결과로 랜더링 잔류물이 무기질비료보다 고추 식물체의 생장이 낮았으나, 고추 수확량을 증가시켰으며, 랜더링 잔류물 처리량이 증가할수록 고추의 전반적인 생육이 증가하였다. 토양의 화학적 특성의 경우, 랜더링 잔류물 처리시 무기질 비료보다 높은 pH, OM, T-N 등을 수확 후에도 보유하는 것으로 확인하였다. 배출되는 가스를 조사한 결과 랜더링 잔류물 처리는 무기질비료 처리구 대비 N_2O , CO_2 최대 배출량이 각각 230%, 174% 증가하였으며, CH_4 및 NH_3 또한 배출량이 크게 증가하는 것을 확인하였다. 본 연구결과 비료로써 랜더링 잔류물의 사용은 작물 생육에 효과가 있는 것으로 보여지나 온실가스 및 암모니아 배출 등 환경에 부정적인 영향을 주기 때문에 비료로 직접적

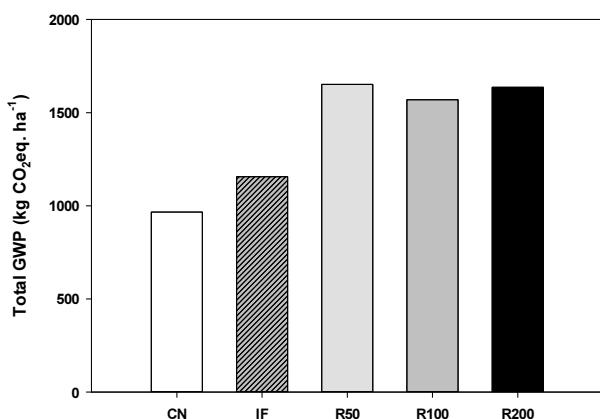


Fig. 3. GWP during cultivation period according to application of rendering residue.

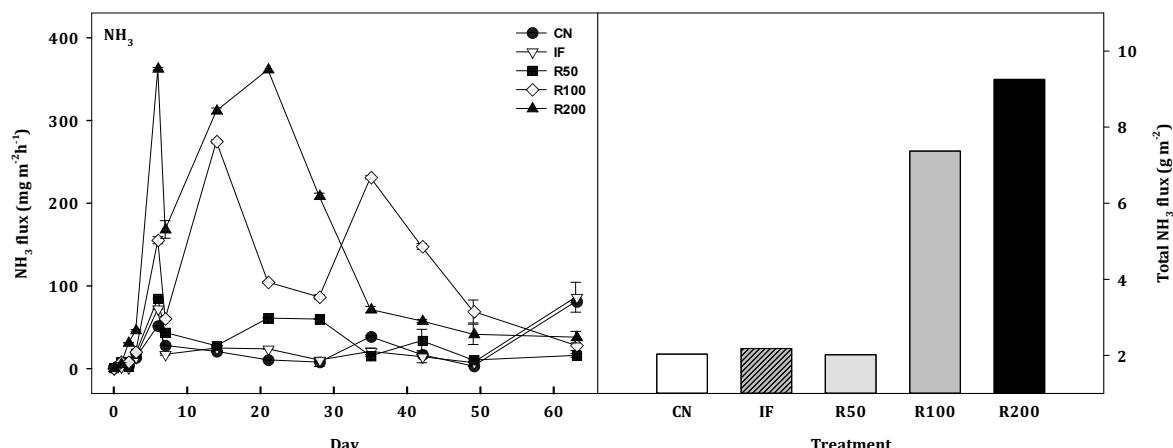


Fig. 4. Ammonia gas emissions and total fluxes under rendering residues application during cultivation.

인 사용이 어렵다고 보여진다. 따라서, 랜더링 잔류물을 농업적 자원으로 이용하기 위해서는 추가적인 가공 처리가 필수적이며, 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry (IPEF) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (821007-3). Moreover, this work was supported by the Regional Specialized Industry Development Plus Program (S327 3209) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea).

References

- Park JC, Han KJ, Chae YR (2019) Correlation analysis between livestock mortality caused by heat wave and news big data. *Journal of the Association of Korean Geographers*, 8(3), 529-543.
<https://doi.org/10.25202/JAKG.8.3.13>.
- Lee TG, Oh YS, Ko YS, Bae DY, Tark DS, Rim CK, Cho HS (2022) Application of chemical treatment for cattle and chicken carcasses for the control of livestock infectious diseases. *Korean Journal of Veterinary Service*, 45(2), 117-124.
<https://doi.org/10.7853/kjvs.2022.45.2.117>.
- Kang MA, Kim MS, Choi BW, Sohn HY (2012) Organic matter analysis and physicochemical properties of leachate from a foot-and-mouth disease landfill site. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 40(2), 128-134. <https://doi.org/10.4014/kjmb.1202.02008>.
- Nam KH, Lee HY, Kim GH, Jeong GC (2015) Estimation of groundwater contamination and pumping capacity for purification in animal carcass disposal site. *The Journal of Engineering Geology*, 25(1), 45-55.
<http://dx.doi.org/10.9720/kseg.2015.1.45>.
- Kim GH (2018) Treatment of residues of excavated carcasses burials. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 32(3), 269-277.
<https://doi.org/10.11001/jksww.2018.32.3.269>.
- CK FR, Farooq T, Sharun K, Talukder S, Kumar RR (2022) Rendered animal Fat: A boon to the cosmetic industry. *The Indian Veterinary Journal*, 99(9), 20-26.
- Kalbasi-Ashtari A, Schutz MM, Auvermann BW (2008) Carcass rendering system for farm mortalities: A review. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 7(3), 199-211. <https://doi.org/10.1139/S07-051>.
- Kim SR, Ji MK, Park KG, Lee MG (2020) Analysis of the livestock mortality management-related acts and policy suggestions. *The Journal of Social Convergence Studies*, 4(3), 107-116.
<https://doi.org/10.37181/JSCS.2020.4.3.107>.
- Park JH, Yun JJ, Kang SW, Kim SH, Cho JS, Wang JJ, Seo DC (2021) Removal of potentially toxic metal by biochar derived from rendered solid residue with high content of protein and bone tissue. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111690
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111690>.
- Park JH, Kang SW, Yun JJ, Cho HN, Lee SG, Kim SH, Choi SW, Cho JS (2022) Effects of liquid fertilizer of application from rendered livestock carcass residues on maize cultivation. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 41(4), 236-244.
<https://doi.org/10.5338/KJEA.2022.41.4.29>.
- Jung TY, Lee JH, Rho JS, Lee DY, Lee JM, Park JH, Seo DC (2023) Application effect of rendering livestock carcass-based carbonized material in Chinese cabbage cultivation. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 42(3), 177-183.
<https://doi.org/10.5338/KJEA.2023.42.3.21>.
- Heo DY, Hong CO (2019) Effect of weathering of bottom ash on mitigation of greenhouse gases emission from upland soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 38(4), 245-253.
<https://doi.org/10.5338/KJEA.2019.38.4.33>.
- Park SY, Choi HY, Kang YG, Park SJ, Luyima D, Lee JH, Oh TK (2020) Evaluation of ammonia (NH_3) emissions from soil amended with rice hull biochar. *Korean Journal of Agricultural Science*, 47(4), 1049-1056. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20200088>.
- Oh YY, Jeong KH, Lee SH, Lee KS, Seo KS, Seo BS, Kim KY (2022) Using reclaimed land for Potato cultivation in Saemangeum, South Korea: Determining the optimal nitrogen fertilization rate with the giant miscanthus used as a source of soil organic matter. *Journal of Environmental Science International*, 31 (11), 911-922.
<https://doi.org/10.5322/JESI.2022.31.11.911>.
- Oh SJ, Moon KH, Song EY, Wi SH, Koh SC (2018) Photosynthesis, productivity, and mineral content of winter radishes by soil type on Jeju Island. *Horticul-*

- tural Science and Technology, 37(2), 167-177.
<https://doi.org/10.12972/kjhst.20190017>.
16. Duong TT, Penfold C, Marschner P (2012) Amending soils of different texture with six compost types: Impact on soil nutrient availability, plant growth and nutrient uptake. Plant and Soil, 354, 197-209.
<https://doi.org/10.1007/s11104-011-1056-8>.
17. Kim HW, Choi HS, Kim BH, Kim HJ, Choi KJ, Chung DY, Lee Y, Park KL (2011) Comparison of characteristics of a paddy soil and growth and production of rice as affected by organic nutrient sources. Journal of Bio-Environment Control, 20(3), 241-245.
18. Lee YB, Lee HB, Yun HB, Lee Y (2008) Alum as a chemical amendment for reducing ammonia emission and stabilizing pig manure phosphorus during composting. Korean Journal of Environmental Agriculture, 27(4), 368-372.
19. Yun SW, Lim JM, Moon JP, Park MJ, Son JK, Lee HH, Seo HM, Choi DK (2021) Analysis of the fertilizing effects of hydroponic waste solution on lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) cultivation -Based on inorganic nitrogen content-. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 63(4), 13-21.
<https://doi.org/10.5389/KSAE.2021.63.4.013>.
20. Termorshuizen AJ, Moolenaar SW, Veeken AHM, Blok WJ (2004) The value of compost. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 3, 343-347. <https://doi.org/10.1007/s11157-004-2333-2>.
21. Butterbach-Bahl K, Baggs EM, Dannenmann M, Kiese R, Zechmeister-Boltenstern S (2013) Nitrous oxide emissions from soils: How well do we understand the processes and their controls?. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 368 (1621), 20130122.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0122>.
22. Kim GY, So KH, Jeong HC, Shim KM, Lee SB, Lee DB (2010) Evaluation of N₂O Emissions with change of soil temperature, soil water content and mineral N in red pepper and soybean field. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 43(6), 880-885.
23. Kim JG, Lee SB, Kim SJ (2001) The effect of long-term application of different organic material sources on soil physical property and microflora upland soil. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 34(5), 365-372.
24. Lee KB, Kim JG, Shin YK, Lee DB, Lee SB, Kim JD (2005) Effects of livestock compost and soil conditioner application on greenhouse gases emission in paddy soil. Korean Journal of Environmental Agriculture, 24(2), 117-122.
25. Duan Z, Xiao H (2000) Effects of soil properties on ammonia volatilization. Soil Science and Plant Nutrition, 46(4), 845-852.
<https://doi.org/10.1080/00380768.2000.10409150>.
26. Kim GY, Lee YJ, Cho EJ, Lee JI, Im EC, Hwang HC, Kim SY, Hong SC, Kim JH, Park SJ (2022) Investigation of factors influencing on ammonia emission from soils in agricultural land. Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 44(11), 444-452.
<https://doi.org/10.4491/KSEE.2022.44.11.444>.