

Research Article



CrossMark

Open Access

배추재배지에서 랜더링 가축사체 탄화체의 시용효과

정태욱¹, 이재훈², 노준석², 이동열³, 이정민⁴, 박종환^{4*}, 서동철^{2*}

¹부산광역시 보건환경연구원, ²경상국립대학교 응용생명과학부(BK21 Four) & 농업생명과학연구원,
³경남항노화연구원 연구개발팀, ⁴동아대학교 생명자원산업학과

Application Effect of Rendering Livestock Carcass-Based Carbonized Material in Chinese Cabbage Cultivation

Tae-Uk Jeong¹, Jae-Hoon Lee², Jun-Suk Rho², Dong Yeol Lee³, Jeong-Min Lee⁴, Jong-Hwan Park^{4*} and Dong-Cheol Seo^{2*} (¹Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, Busan 46616, Korea, ²Division of Applied Life Science (BK21 Four) & Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea, ³Research & Development Team, Gyeongnam Anti-aging Research Institute, Sancheong 52215, Korea, ⁴Department of Life Resources Industry, Dong-A University, Busan 49315, Korea)

Received: 27 July 2023/ Revised: 2 August 2023/ Accepted: 8 August 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

Tae-Uk Jeong
<https://orcid.org/0000-0002-0249-242X>

Jae-Hoon Lee
<https://orcid.org/0000-0002-5517-8987>

Jun-Suk Rho
<https://orcid.org/0000-0003-2100-5903>

Dong Yeol Lee
<https://orcid.org/0000-0003-1192-1932>

Jeong-Min Lee
<https://orcid.org/0009-0007-9140-5044>

Jong-Hwan Park
<https://orcid.org/0000-0001-7296-0439>

Dong-Cheol Seo
<https://orcid.org/0000-0001-8515-0670>

Abstract

Rendering, is attracting attention as a technology that can stably and quickly process livestock carcasses. However, large amounts of livestock carcass solid residues are discharged in this process and limited methods are available for recycling them. In this study, rendered animal carcass solid residues were pyrolyzed to produce carbonized materials (350°C; RACR-C) and their chemical properties were investigated. Further, RACR-C were

applied to cabbage cultivation for investigating their crop growth characteristics and soil improvement effects. RACR-C contained large amounts of fertilizer components such as nitrogen and phosphorus, and showed no toxic effects on the seedling growth of crops. The content of water-soluble nutrients released from RACR-C under the reaction time increased rapidly within 30 min, but was insignificant compared to the total content. Thus, most fertilizer components in RACR-C were not readily soluble in water. The optimal application amount for applying RACR-C to cabbage cultivation based on the changes in cabbage growth, inorganic content, and soil chemistry was 200 kg/10a. Overall, pyrolysis of solid residues after rendering livestock carcass to produce carbonized material as a soil improver is an effective

*Corresponding author: Dong-Cheol Seo
Phone: +82-55-772-1963; Fax: +82-55-772-1969;
E-mail: dcseo@gnu.ac.kr

*Co-corresponding author: Jong-Hwan Park
Phone: +82-55-200-7512; Fax: +82-55-200-7505;
E-mail: zoqlsqkr@dau.ac.kr

method to recycle the waste discharged from the rendering process.

Key words: Animal carcass, Carbonized material, Chinese cabbage, Rendering, Pyrolysis

서론

축산업의 고도성장으로 인한 집약화 및 대규모화에 따라 사육두수는 매년 꾸준히 증가하고 있으나, 최근 들어 가축전염병(구제역, 조류인플루엔자 등) 및 폐사가축(폭염, 질병, 자연사 등) 발생으로 인해 국내 축산업이 심각한 경제적 피해를 입게 되면서 폐사가축에 대한 처리문제와 이들 폐사가축들이 환경에 미치는 영향에 대해서는 국내에는 물론 세계적으로 첨예의 관심이 되었다[1]. 특히, 우리나라는 최근 10년간(2008-2017) 가축질병 발생 건수는 총 13,731건, 6천 4백여만 마리의 가축이 동물질병에 감염되어 살처분 및 처리되었다. 우리나라에서는 가축전염병예방법에 의해 살처분한 가축사체에 대해 신속히 소각 및 매몰을 하게 되어 있고, 그 밖의 가축전염병에 전염된 가축의 사체에 대해서도 적절히 처리를 해야 하지만 국내 축산환경 여건상 소각이나 그 밖의 처리는 현실적으로 어려운 실정이므로 대부분 매몰방법에 따라 처리되었다. 하지만 가축 사체를 매립한 지 3년이 지났음에도 불구하고 대부분이 분해되지 않고, 미분해 사체에서 악취, 침출수 및 유해한 병원성 미생물 발생 등 많은 문제점이 보고되었다[2-4]. 그래서 가축사체를 안정적이고 신속하게 처리하기 위한 창의적이고 혁신적인 방법이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

2018 세계동물보건기구(OIE) 보고서에서 가축사체를 처리하는 공정들의 효율성과 안정성을 평가하였다. 그 중 랜더링 방식은 다른 방식에 비해 안전성과 처리 속도 측면에서 우수한 평가를 받아 폐사된 가축을 처리하는 가장 좋은 방식으로 확인되었다[5]. 랜더링 방식은 가축사체를 고온 고압 조건에서 가열 멸균하는 과정에서 수분과 유지가 추출되고 최종적으로 랜더링된 가축사체 고형물이 배출된다[6,7]. 특히 폐사가축의 랜더링 처리로부터 배출된 고형잔류물은 폐사가축 무게 대비 15% 정도로 국내에서 연간 배출되는 랜더링 고형잔류물은 97,220톤에 달한다[8]. 하지만, 가축사체의 랜더링 과정에서 배출되는 고형잔류물은 폐기물 또는 불안정물질로 인식되어 자원화되는 비율이 극히 제한적이다. 특히, 랜더링 가축사체 고형잔류물에는 여전히 많은 양의 단백질과 뼈가 포함되어 있기 때문에 이들을 열분해하여 탄화체로 제조할 시 다량의 무기성분을 포함한 토양개량제로 적용이 가능할 것이라 가설을 세웠다.

최근, 다양한 농업부산물들을 열분해하여 제조된 탄화체(biochar)가 토양개량, 온실가스 감축, 수질정화, 탄소격리에 효과적이라 보고되었다[9,10]. 하지만 국내 여건상 농업부산물의 배출은 일정시기에 한정적으로 배출되어지기 때문에 균질화된 탄화체를 안정적으로 생산하기는 역부족으로 이를 대체할 수 있는 새로운 소재개발이 필요하다. 이러한 이유에서 랜더링 가축사체 잔여물을 활용하여 탄화체를 생산한다면 기존

농업부산물 기반 탄화체의 생산적인 문제를 해결할 수 있으며 축산업 관련 폐기물 자원화와 작물생산성 증진효과를 동시에 만족할 수 있을 것으로 판단하였다.

이에 본 연구에서는 랜더링 가축사체를 토양개량제로 자원화하기 위한 기초연구로서 랜더링 가축사체 잔류물을 열분해하여 탄화체를 제조하고, 그들의 화학적 특성을 평가하였으며, 실제 배추재배지에 탄화체를 적용하여 작물생육 및 토양개량 효과를 검증하였다.

재료 및 방법

랜더링 가축사체 탄화체의 제조 및 특성

본 연구에서 랜더링 가축사체를 이용하여 RACR-C를 제조하기 위하여 국내랜더링 전문업체로부터 랜더링된 닭 가축사체를 수거하였으며, 이를 60°C 드라이오븐에서 건조하여 잔류하는 수분을 우선적으로 제거하였다. 건조된 샘플은 밀폐형 내부 챔버에 주입하고, 열분해장치(Nabertherm, Germany)에 질소가스를 주입하여 내부를 무산소조건으로 유지한 다음 열분해 온도를 350°C로 설정하여 2시간 동안 열분해하여 RACR-C를 제조하였다. 제조된 RACR-C의 수율은 중량감량법에 의해 결정되었으며, pH 및 EC는 pH meter(Orion research, USA)와 EC meter를 이용하여 각각 측정하였다. 또한 RACR-C 내에 C, N, 및 O의 함량은 원소분석기(FlashEA 1112, Thermo Finnigan, Italy)에 의해서 측정하였다. RACR-C의 양이온교환용량(CEC)은 일정량의 RACR-C 시료에 1N-Ammonium acetate 용액을 이용하여 양이온을 침출한 뒤 여과지에 여과하여 pH meter를 이용하여 측정하였으며, 각 양이온(K, Ca, Mg)에 대한 함량은 ICP-OES(Optima 5300 DV, PerkinElmer, USA)를 이용하여 측정하였다. RACR-C에 포함되어 있는 기타 무기성분과 독성물질에 대한 함량 또한 ICP-OES를 이용하여 측정하였다.

랜더링 가축사체 탄화체로부터 수용성 비료성분의 용출 특성

제조된 RACR-C로부터 용출되는 수용성 양분의 함량을 결정하기 위하여 RACR-C를 0.05 g씩 50 mL의 폴리에틸렌튜브에 주입하고 증류수 20 mL을 주입한 후 일정시간 간격으로 교반하였으며, 교반된 시료는 여과지로 여과하였다. 여과된 여액을 일정량 분취하여 실험에 사용하였으며, T-N의 경우는 자외선흡광광도법, T-P의 경우는 아스코르빈산 환원법, K의 경우는 ICP-OES를 이용하여 측정하였다. T-P 및 K의 함량은 비료분석법에 의거 $Av.P_2O_5$ 및 K_2O 로 환산하였다.

랜더링 가축사체 탄화체에 의한 유작물의 비해시험

RACR-C의 유작물에 대한 비해시험은 토양 포트기준으로 RACR-C 처리량을 기준량(200 kg/10a) 및 2배량(400 kg/10a)으로 설정하여 처리하였고, 본 시험에 사용된 작물은 고추(독야청정), 배추(불암3호), 상추(토말린), 무(대청무) 및 콩(대원콩)을 이용하였으며, 이들의 처리는 2022년 5월 24일에 실시

Table 1. Chemical properties of the soil used

pH (1:5)	EC (dS/m)	OM ----- (g/kg) -----	T-N	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn
					----- (cmol _c /kg) -----					--- (mg/kg) ---
6.9	0.62	27.2	63.2	59.7	0.53	7.2	0.52	0.11	110	265

하였다. 시험구의 반복은 5개의 pot가 1반복으로 하여 3반복 수행하였으며, 총 15개 pot가 1처리구로 설정하였다. RACR-C의 유작물에 대한 비특성은 RACR-C 시용량별 및 주차별로 작물의 생육상황을 달관조사하여 평가하였다.

랜더링 가축사체 탄화체의 시용량에 따른 배추의 생육특성

RACR-C의 시용량에 따른 배추의 생육특성을 평가하기 위한 시험은 경상대학교 부속농장 시설하우스에서 수행하였으며, 시험포장의 토양의 화학적 특성은 Table 1에서 보는 것과 같다. 본 실험에서 처리구는 무처리, NPK 및 RACR-C구로 구분하였고, NPK의 시비량(N-P₂O₅-K₂O=17.8-3.0-7.3 kg/10a)은 농촌진흥청에서 보고된 작물별 표준시비량에 근거하여 산정되었으며, RACR-C의 시용량은 100, 200 및 400 kg/10a를 기준으로 포장에 처리하였다. 시험대상 작물인 배추의 품종은 CR장금이를 사용하였으며, 정식은 9월 5일에 실시하였고, 수확은 11월 15일에 실시하였으며, 모든 처리구는 완전임의배치법에 의해 3반복으로 수행하였다. 본 시험에서 RACR-C의 최적 시용량을 구명하기 위하여 수확된 배추의 생육특성을 평가하고, 식물체 내 무기성분 함량 및 토양의 이화학적 특성은 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 의해 결정되었다. 통계분석은 IBM SPSS 27을 사용하여 ANOVA 분석하였으며, DMRT(Duncan's Multiple Range Test)로 처리구의 평균에 대한 사후검정을 유의수준 5%로 실시하였다.

결과 및 고찰

랜더링 가축사체 탄화체의 특성

랜더링 가축사체 탄화체의 특성은 Table 2에 나타내었다. 랜더링 가축사체 탄화체의 수율은 40.5% 정도로 열분해 과정 동안 랜더링 가축사체 내에 존재하는 수분, 유지성분 및 단백질이 연소됨에 따라 수율이 급격히 감소한 것으로 판단된다. 일반적인 목질계 바이오매스 또한 열분해 과정 동안 원재료 내에 잔여된 수분의 손실 및 유기물질의 탄화에 의해 수율이 감소한다고 보고하였다[11,12]. 순수 랜더링 가축사체의 pH는 6.84이었던 것에 비해 350°C의 열분해 조건에서 제조된 RACR-C의 pH는 8.12로 증가하였는데, 이는 열분해 과정 동안 가축사체

잔여물 내에 존재하는 무기성분의 응축과 관련된 것으로 판단된다[13]. 일반적으로 유기성 바이오매스의 열분해 과정 동안 다량의 금속산화물과 수산화물이 생성되며, 이들은 탄화체의 pH에 지배적인 영향을 미친다고 보고하였다. 일반적으로 목질계 바이오매스를 열분해하여 제조된 탄화체의 탄소함량은 원재료에 비해 증가한다고 보고하였는데, 본 실험에 사용된 RACR-C의 경우 열분해 과정 동안 탄소함량이 감소하는 경향을 보였다. 이는 식물 biomass와 동물 biomass의 탄소의 구성에 의한 차이인 것으로 판단된다. 식물 biomass의 경우 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌으로 탄소가 구성되어 있기 때문에 열분해에 의해 탄소의 함량이 증가되어지나, 동물 biomass의 경우에는 열분해에 안정도가 떨어지는 단백질 및 지질과 같은 탄소가 구성되어 있기 때문에 열분해 과정 동안 쉽게 탄화된 것으로 판단된다[14,15]. 특히 랜더링된 가축사체 잔여물의 질소함량은 11.1%이었던 반면에 RACR-C는 7.2%로 약간 감소하였다. 이러한 결과는 랜더링 과정에서 수분과 유지를 추출하고 난 뒤 대부분의 구성은 단백질로 되어 있으며, 이들이 350°C의 열분해 온도에서 탄화됨에 따라 질소 또한 휘산되기 때문에 열분해 온도가 증가함에 따라 RACR-C 내에 질소함량은 감소한 것으로 사료된다. 원재료 및 RACR-C의 T-P 함량은 각각 2.91 및 6.29%으로 RACR-C가 원재료에 비해 높은 것을 알 수 있는데, 이는 랜더링 잔류물에는 다량의 사체 뼈가 그대로 존재하고 있으며, 이들이 열분해에 의해 더욱더 응축됨에 따라 RACR-C 단위 g당 T-P의 함량은 증가한 것으로 판단된다. 그 외에 RACR-C 내에 양이온과 무기성분 함량 또한 원재료에 비해 증가하였다. 이와 같이 랜더링된 가축사체 잔여물 내에 존재하는 무기성분은 열분해 과정 동안 응축되어 RACR-C 내에 그대로 존재하고 있다는 것을 나타낸다. RACR-C 내에 Cd, Pb, As 및 Hg와 같은 유해 중금속은 검출되지 않았으며, Cu 및 Zn은 일부 검출되기는 하였으나 그 함량은 비료공정규격에서 제시하는 농도에 비해 낮았다.

이러한 결과를 종합적으로 검토해 볼 때, 랜더링된 가축사체 탄화체는 일반적인 목질계 탄화체에 비해 다량의 질소 및 인을 함유하고 있기 때문에 토양개량을 위한 양분학적 가치는 더 높을 것으로 판단된다.

Table 2. Chemical characteristics of RACR and RACR-C

	Yield (%)	pH (1:5)	C	H	N	T-P	K	Ca	Mg	CEC	Fe	Mn	Cu	Zn
			----- (%) -----				----- (cmol _c /kg) -----				----- (mg/kg) -----			
RACR		6.84	38.6	5.2	11.1	2.91	7.36	1.68	0.61	15.66	846	41.6	25.3	31.6
RACR-C	40.5	8.12	35.5	3.1	7.2	6.29	15.64	2.26	1.12	25.35	1251	55.1	46.1	59.1

랜더링 가축사체 탄화체로부터 수용성 비료성분의 용출 특성

본 실험은 제조된 RACR-C로부터 수용성으로 용출되는 비료성분 함량을 반응시간별로 평가하였으며, 그 결과는 Fig. 1에서 보는 것과 같다. RACR-C 내에 포함되어 있는 수용성 비료성분은 반응 30분 이내에 용출되어졌으며, 각 성분별 용출되어지는 함량은 Av.P₂O₅ > K₂O > N 순으로 높았다. 특히 RACR-C 내에 다량의 질소 및 인이 함유되어 있음에도 불구하고, 수용성으로 용출되는 함량은 극히 제한적이었는데, 이는 대부분의 RACR-C 내에 질소 및 인이 비교적 물과의 반응에서 안정적이라는 것을 나타낸다. 특히 뼈에 존재하는 인산의 형태는 대부분 hydroxylapatite 형태로, 이는 물에 쉽게 녹지 않는 불용성이라 보고되었[16]. 이러한 측면에서 RACR-C는 토양개량제로 적용시 속효성 비료보다는 완효성 비료적인 역할이 매우 우수할 것으로 판단되며, 이에 향후 다양한 유기산 및 토양환경 변이 조건에 대한 양분 용출특성 시험이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

랜더링 가축사체 탄화체에 의한 유작물의 비해서험

목질계 바이오매스로부터 제조된 탄화체를 이용한 유작물 성장에 대한 연구는 많은 연구자에 의해 수행되었다[17,18]. 과도한 탄화체의 적용은 pH의 증가와 토양 또는 상토에 대한 식물 이용 가능한 영양분의 과도한 공급으로 인해 어린 묘목에 독성학적 영향을 미치는 것으로 보고되었다. 그러나 랜더링 가축사체 기반 탄화체를 토양에 적용하여 유작물의 생육을 평가한 연구는 보고된 바가 없어 유용한 정보를 얻는 데 한계가

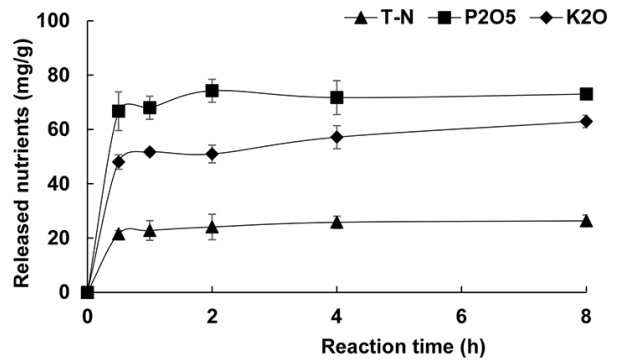


Fig. 1. Concentration of nutrients released from RACR-C.

있다. 이에 본 연구에서는 RACR-C를 기준량 및 배량으로 처리하여 유작물에 대한 비해서험을 수행하였으며, 그 결과는 Table 3에서 보는 것과 같다. RACR-C 처리에 따른 시기별 유작물의 비해서험을 수행한 결과 5가지 작물 모두 어떠한 비해서험 없이 시기가 증가함에 따라 생육이 왕성해지는 것을 확인할 수 있었다. 특히 RACR-C의 처리량이 증가함에 따라 작물의 생육은 향상되었으며, 특히 무의 경우 RACR-C 사용량이 증가함에 따라 상부와 하부의 생육이 모두 왕성하였다. 이는 RACR-C의 처리에 의해 양분공급이 원활함과 동시에 뿌리근권의 신장을 위한 토양물리성이 개선되었다는 것을 나타낸다. 결론적으로 RACR-C는 어린작물에 대해 어떠한 비해서험을 입히지 않으며, RACR-C의 이화학적 및 구조적인 특성으로 토양 물리화학적 개선됨에 따라 어린작물이 더욱 잘 성장한 것으로 판단된다.

Table 3. Potential toxic effects of RACR-C on seedling growth for crops

	Treatment	Height (cm)	Leaf No. (No./plant)	Weight (g/plant)
Pepper	Control	28.3b	23.3a	12.0b
	200kg/10a	36.7a	24.7a	15.4a
	400kg/10a	35.2a	24.0a	12.8b
Chinese cabbage	Control	30.1b	10.3b	78.9b
	200kg/10a	35.6a	12.7a	115.2a
	400kg/10a	38.2a	13.3a	123.4a
Lettuce	Control	27.2a	12.3a	47.7b
	200kg/10a	29.5a	11.7a	71.8a
	400kg/10a	28.1a	13.0a	72.4a
Soybean	Control	33.3b	23.3a	12.0b
	200kg/10a	36.7a	24.7a	15.4a
	400kg/10a	35.2ab	24.0a	12.8b
Radish (Plant)	Control	29.3b	13.0a	74.5c
	200kg/10a	39.2a	13.0a	84.5b
	400kg/10a	41.9a	12.7a	103.8a
Radish (Root)	Control	16.5b	-	15.7b
	200kg/10a	24.6a	-	17.7b
	400kg/10a	25.6a	-	24.8a

랜더링 가축사체 탄화체의 시용량에 따른 배추의 생육특성, 무기성분 함량 및 토양화학성 변화

랜더링 가축사체 탄화체의 토양개량제로서 적정시용량을 산정하기 위하여 RACR-C의 시용량에 따른 배추의 생육특성을 조사하였으며, 그 결과는 Table 4에서 보는 것과 같다. RACR-C의 처리량이 증가함에 따라 배추의 생육은 더욱 왕성하였고, RACR-C를 100 kg/10a만 처리한 처리구에서 생육된 배추의 수량은 NPK를 처리한 처리구에서 생육된 배추와 비슷한 수준이었다. 무처리구 배추의 생체중량은 1,234 g으로 저조한 반면에 NPK 처리구에서 배추의 생체중량은 3,168 g으로 무처리구에 비해 2.5배 정도 높았다. RACR-C를 100 kg/10a을 처리하였을 때, 배추의 중량은 2,914 g로 NPK 처리구와 유사한 결과를 보였으며, RACR-C의 처리량이 증가함에 따라 배추의 중량은 증가하는 경향이 있었다. 하지만 RACR-C의 처리량이 10a당 200 및 400 kg일 때, 생체중량은 각각 3,647 및 3,681 g으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Etiegni 등 [19]의 연구에서는 토양에 바이오매스에서 유래된 탄화체를 0, 2, 4, 8, 16 및 32%로 수준별로 처리하였을 때 밀의 수량이 2%까지 증가하였으나, 그 이상의 처리량에서는 감소하였다고 평가하였는데, 일정량 이상의 처리는 작물의 수량에 부정적인 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. Mtisi와 Gwenzil[20]는 탄화체를 많이 사용한 토양에서 미생물의 활동성이 저하되고, 식물에 전달될 수 있는 양분이 고정화되어 식물의 성장이 저하되었다고 보고하였다. 또한, 최근 많은 연구자들은 바이오차의 농경지 적용을 위한 적정 시비량 연구결과를 보고하였는데, 바이오차의 양에 따라 작물 생산성이 높아지는 반면, 바이오차의 과도한 시용은 작물의 생장을 억제/방해한다고 보고하였다[21

-23].

또한, RACR-C 처리에 따른 배추 뿌리의 생육은 NPK 처리구보다 향상되었는데, 이는 RACR-C 처리됨에 따라 토양 물리성이 향상되어 뿌리의 생육을 조장한 것으로 판단된다. 이와 같이 RACR-C는 토양개량제로 활용이 충분히 활용 가능하다고 판단되며, 배추의 생육조사에 기반하여 RACR-C의 최적 시비량은 10a당 200 kg인 것으로 판단된다.

RACR-C 처리량에 따른 배추의 무기성분 함량은 Table 5에 나타내었다. T-N의 경우 무처리구 2.13%인 것에 비해 NPK 처리구내 배추의 T-N 함량은 1.95%으로 무처리에 비해 낮았다. 하지만 각 무처리구 및 NPK 처리구내 배추의 T-N 함량과 건물중량을 고려할 때, 전반적인 T-N의 흡수량은 NPK 처리구가 무처리에 비해 더 높았다. 특히, RACR-C의 처리에 따른 T-N의 함량은 무처리 및 NPK 처리구에 비해 높았다. RACR-C의 처리량이 증가함에 따라 T-P의 함량이 증가하는 경향이었고, 이는 무처리 및 NPK의 처리구에서 생육된 배추에 비해 높았다.

RACR-C 처리량에 따른 배추재배지의 토양화학성 변화는 Table 6에서 보는 것과 같다. 토양 pH는 RACR-C가 포함된 처리구에서 무처리에 비해 약간 증가하는 경향이었으나 큰 차이를 나타내지 않았고, EC의 경우는 RACR-C 포함된 처리구에 무처리에 비해 약간 높은 경향이 있었다. Park 등[24]의 보고에 따르면, 가축사체 바이오차 시용후 옥수수 재배지 토양내에 pH 및 EC의 함량은 증가한다고 보고하였으며, 이는 본 연구결과와 유사하였다. 유기물, 질소 및 유효인산의 함량 또한 무처리구에 비해 RACR-C가 처리됨에 따라 약간 증가하였다. 특히, 유기물 함량의 경우 NPK 처리구에서는 무처리구에 비

Table 4. Growth characteristics of Chinese cabbage according to application level of RACR-C

Treatments	Plant					Root		
	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Height (cm)	Width (cm)	Leaf number (No.)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Height (cm)
Control	1234c	82b	36.2b	18.8b	74b	10.7b	1.2b	12.5b
NPK	3168b	85b	38.4a	23.7a	81a	12.7b	1.5b	13.7b
RACR-C100	2914b	112a	35.7b	21.3ab	77ab	19.3a	2.1ab	14.4b
RACR-C200	3647a	105a	38.4a	23.7a	79a	21.7a	2.3a	19.5a
RACR-C400	3681a	107a	42.3a	20.5ab	83a	24.5a	2.5a	20.8a

Table 5. Content of inorganic components in Chinese cabbage according to application amount of RACR-C

Treatments	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
	------(%)-----						------(mg/kg)-----			
Control	2.13b	0.36c	6.16a	1.55a	0.22a	0.26a	410a	23.1a	2.3a	19.5a
NPK	1.95c	0.45b	5.91b	1.48a	0.22a	0.29a	477a	24.3a	2.1a	21.3a
RACR-C100	2.13b	0.46b	6.21a	1.33b	0.21a	0.29a	497a	23.3a	2.2a	21.5a
RACR-C200	2.75a	0.57a	6.15a	1.37b	0.19a	0.23a	489a	24.7a	2.1a	21.7a
RACR-C400	2.24b	0.53a	6.23a	1.34b	0.20a	0.26a	445a	21.6a	1.8a	19.6a

Table 6. Changes in soil chemical properties according to the application amount of RACR-C

Treatments	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM ----(g/kg)----	T-N	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	K -----	Ca (cmol _c /kg)-----	Mg -----	Na -----	Fe --(mg/kg)--	Mn --(mg/kg)--
Control	7.1b	0.60b	29.6b	69.7b	50.6c	0.55b	7.1ab	0.52a	0.14a	135a	264a
NPK	7.9a	0.68a	28.9b	89.5a	70.2a	0.52b	6.9b	0.50a	0.13a	133a	256a
RACR-C100	7.9a	0.62ab	31.0b	65.4b	61.7b	0.66a	7.1ab	0.51a	0.14a	125b	296a
RACR-C200	7.7a	0.66a	36.5a	67.8b	62.9b	0.60a	7.3a	0.50a	0.14a	121b	269a
RACR-C400	8.1a	0.69a	35.1a	81.9a	62.5b	0.65a	7.2ab	0.51a	0.11a	134a	255a

해 약간 감소하였으나, RACR-C 처리구에서는 증가하는 경향이었고, RACR-C의 사용량이 증가함에 따라 증가하는 경향이 있었다. 하지만 RACR-C 처리에 따른 토양내 K, Ca, Mg 및 Na와 같은 양이온 교환에 대한 유의적인 결과는 관찰되지 않았다. 이상의 결과를 미루어 볼 때, 랜더링 가축사체를 열분해하여 탄화체를 제조하는 것은 랜더링 공정에서 배출되는 폐기물을 자원화 할 수 있는 효과적인 방법으로 판단되며, 제조된 탄화체는 다량의 무기성분을 함유하고 있기 때문에 토양개량제로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was supported, in part, by the Green Fusion Technology Program funded by Ministry of Environment, and by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program (821007-03), funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA).

References

- Kang Y, Shen X, Yuan R, Xiang B, Fang Z, Murphy RW, Liao M, Shen Y, Ren T (2018) Pathogenicity and transmissibility of three avian influenza A (H5N6) viruses isolated from wild birds. *Journal of Infection*, 76, 286-294. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2017.12.012>.
- Ki BM, Kim YM, Jeon JM, Ryu HW, Cho KS (2018) Characterization of odor emissions and microbial community structure during degradation of pig carcasses using the soil burial-composting method. *Waste Management*, 77, 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.043>.
- Kim G, Pramanik S (2016) Biosecurity procedures for the environmental management of carcasses burial site in Korea. *Environmental Geochemistry and Health*, 38, 1229-1240. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9786-9>.
- Chowdhury S, Kim GH, Bolan N, Longhurst P (2019) A critical review on risk evaluation and hazardous management in carcass burial. *Process Safety and Environmental Protection*, 123, 272-288. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.01.019>.
- Organisation for Animal Health (OIE) (2018) Avian influenza (infection with avian influenza viruses): Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals. pp. chapter 2-4, Paris, France.
- Zhang Z, Ji J (2015) Waste pig carcasses as a renewable resource for production of biofuels. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3, 204-209. <https://doi.org/10.1021/sc500591m>.
- Yang C, Wang S, Ren M, Li Y, Song W (2019) Hydrothermal liquefaction of an animal carcass for biocrude oil. *Energy & Fuels*, 33, 11308-11309. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b03100>.
- Pandey PK, Biswas S, Kass P (2016) Microbial pathogen quality criteria of rendered product. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100, 5247-5255. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7561-1>.
- Hong SC, Yu SY, Kim KS, Lee GH, Song SN (2020) Effect of biochar on early growth and nutrient content of vegetable seedlings. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 39(1), 50-57. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2020.39.1.7>.
- Lee SI, Kang SS, Choi EJ, Gwon HS, Lee HS, Lee JM, Lim SS, Choi WJ (2021) Soil carbon storage in upland soils by biochar application in East Asia. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 40(3), 219-230. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2021.40.3.26>.
- Li H, Dong X, da Silva EB, de Oliveira LM, Chen Y, Ma LQ (2017) Mechanisms of metal adsorption by biochar: Biochar characteristics and modifications. *Chemosphere*, 178, 466-478. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.072>.

12. Ahmad M, Rajapaksha AU, Lim JE, Zhang M, Bolan N, Mohan D, Vithanage M, Lee SS, Ok YS (2014) Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, 99, 19-23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>.
13. Kim WK, Shim T, Kim YS, Hyun S, Ryu C, Park YK, Jung J (2013) Characterization of cadmium removal from aqueous solution by biochar produced from giant Miscanthus at different pyrolytic temperatures. *Bioresource Technology*, 138, 266-270. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.186>.
14. Wei S, Zhu M, Fan X, Song J, Peng P, Li K, Jia W, Song H (2019) Influence of pyrolysis temperature and feedstock on carbon fractions of biochar produced from pyrolysis of rice, pine wood, pig manure and sewage sludge. *Chemosphere*, 218, 624-631. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.177>.
15. Ma Z, Yang Y, Wu Y, Xu J, Peng H, Liu X, Zhang W, Wang S (2019) In-depth comparison of the physicochemical characteristics of biochar derived from biomass pseudo components: Hemicellulose, cellulose, and lignin. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 140, 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.03.015>.
16. Piccirillo C, Pereira SIA, Marques APGC, Pullar RC, Tobaldi DM, Pintado ME, Castro PML (2013) Bacteria immobilisation on hydroxyapatite surface for heavy metals removal. *Journal of Environmental Management*, 121, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.036>.
17. Buss W, Graham MC, Shepherd JG, Mašek O (2016) Risk and benefits of marginal biomass-derived biochars for plant growth. *Science of The Total Environment*, 569-570, 496-506. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.129>.
18. Das SK, Ghosh GK, Avasthe R (2020) Evaluation biomass-derived biochar on seed germination and early seedling growth of maize and black gram. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 5663-5676. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00887-8>.
19. Etiegni L, Campbell AG, Mahler RL (1991) Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. I. Potential as a soil additive and liming agent. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 22 (3), 243-256. <https://doi.org/10.1080/00103629109368412>.
20. Mtisi M, Gwenzi W (2019) Evaluation of the phytotoxicity of coal ash on lettuce (*Lactuca sativa* L.) germination, growth and metal uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170, 750-762. <https://doi.org/10.1016/j.jecoen.2018.12.047>.
21. Kang SW, Yun JJ, Park JH, Cho JS (2021) Exploring suitable biochar application rates with compost to improve upland field environment. *Agronomy*, 11, 1136. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061136>.
22. Schmidt HP, Kammann C, Hagemann N, Leifeld J, Bucheli TD, Monedero MAS, Cayuela ML (2021) Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, 13, 1708-1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>.
23. Xie Y, Dong C, Chen Z, Liu Y, Zhang Y, Gou P, Zhao X, Ma D, Kang G et al. (2021) Successive biochar amendment affected crop yield by regulating soil nitrogen functional microbes in wheat-maize rotation farmland. *Environmental Research*, 194, 110671. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110671>.
24. Park JH, Yun JJ, Cho HN, Lee SG, Kim SH, Cho JS, Kang SW (2021) Effect of soil amendments derived from agricultural biomass to improve corn growth and soil fertility in an upland field. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 54(5), 478-485. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.4.478>.