

수분조절제로서 팽화왕겨를 이용한 계분 발효 특성 및 시비 효과

김영선^{a,b}, 조성현^c, 이훈수^d, 이금주^{e†}

Composting and Fertilizing Characteristics of Poultry Manure Mixture with Compressed Expansion Rice Hull as Bulking Agent

Young-Sun Kim^{a,b}, Sung-Hyun Cho^c, Hoon-Soo Lee^d, Geung-Joo Lee^{e†}

(Received: Apr. 17, 2020 / Revised: Jun. 23, 2020 / Accepted: Jun. 25, 2020)

ABSTRACT: This study was conducted to evaluate effects of compressed expansion rice hull (CERH) as bulking agent on physicochemical properties of composting poultry manure (PM) and of its fertilization on lettuce and pak choi growth. Treatments were designed as follows; sawdust treatment (90% PM + 10% sawdust; SP), peatmoss treatment (90% PM + 10% peatmoss; PP), and CERH treatments [PCR1 (90% PM + 10% CERH 1.3 mm) and PCR2 (90% PM + 10% CERH 3.0 mm)]. Physicochemical properties such as temperature, water content, pH, and total carbon of composted poultry piles for 31 days were unaffected by various bulking agents. However, total nitrogen content in compost pile was higher in PP and PCR1 than that of SP or PCR2. After composting for 31 days, content ranges of N, P₂O₅, and K₂O in the composting PM piles were 19.1~19.7%, 47.6~51.6%, 2.76~3.65%, and 2.53~2.90%, respectively. As compared to SP treatment, dry weight of lettuce treated with PP and PCR1 increased by more than 10%, but only in PP for pak choi. These results indicated that CERH 1.3 could be used as bulking agents for composting PM on behalf of peatmoss or sawdust.

Keywords: Composting poultry manure, Compressed expansion rice hull (CERH), Plant growth, Peatmoss, Poultry manure (PM)

초 록: 본 연구는 수분조절제로서 팽화왕겨(compressed expansion rice hull; CERH) 처리에 따른 계분의 발효 특성 및 발효된 가공계분의 시비에 따른 상추와 청경채의 생육에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행되었다. 실험에 사용된 처리구는 톱밥 처리구(계분 90%+톱밥10%; SP), 피트모스 처리구(계분 90%+피트모스10%; PP), 팽화왕겨 1 처리구(계분 90%+CERH1 (φ 1.3 mm) 10%; PCR1) 및 팽화왕겨 2 처리구(계분 90%+CERH2 (φ 3.0 mm); PCR2)로 설정하였다. 31일간 진행된 계분 발효 과정에서 발효 더미의 온도, 수분 함량, pH 및 총탄소 함량은 수분조절제의 종류에 따른 차이를 나타내지 않았다. 시험 종료 시 PP 처리구와 PCR1 처리구의 질소 함량은 SP 처리구나 PCR2 처리구보다 높았다. 발효 후 건조된 가공계분의 질소, 인산, 칼리 함량은 각각 2.76~3.65%, 1.69~2.05%, 2.53~2.90%로

^a 대구대학교 원예학과 조교수(Assistant Professor, Division of Life and Environmental Science, College of Natural and Life Sciences, Daegu University)

^b 대구대학교 자연과학연구소 연구원(Researcher, Institute of Natural Sciences, Daegu University)

^c 효성오앤비(주) 연구소장(Chief Technology Officer, Hyosung O&B Co. Ltd.)

^d 충북대학교 바이오시스템학과 조교수(Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, Chungbuk National University)

^e 충남대학교 원예학과/스마트농업학과 교수(Professor, Department of Horticulture and Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University)

† Corresponding author (e-mail: gilee@cnu.ac.kr)

나타났다. 수분조절제별 가공계분의 작물 재배 시험에서 SP 처리구와 비교할 때, 상추는 PP와 PCR1 처리구에서 10% 이상 건물중이 증가하였으나, 청경채는 PP 처리구에서만 증가되었다. 상기 결과들을 종합할 때, 1.3 mm 크기의 팽화왕겨는 계분 발효 시 수분조절제로서 피트모스나 톱밥을 대신하여 사용할 수 있었다.

주제어: 계분 발효, 팽화왕겨(CERH), 식물 생육, 피트모스, 계분(PM)

1. 서론

국내의 양계농가에서 발생하는 계분은 연간 약 16,000 톤으로 추정되며, 육류소비의 증가에 따라 점차 증가하는 추세이다¹⁾. 가축분은 수분과 유기물을 포함하고 있어 분해 과정에서 오물감과 악취를 발생시키지만 질소, 인산 및 칼리와 같은 식물의 영양성분을 다량으로 함유하고 있는 유기성 자원으로 적절한 발효 과정을 거친다면 유기질비료나 부숙유기질비료(퇴비)의 원료로 사용할 수 있다²⁾. 2012년 런던협약이 발효되면서 우리나라는 유기성 자원의 해양투기를 금지하고 있어, 공공 처리나 재활용 처리가 필요한 상황이다. 계분과 같은 유기성 자원을 재활용하는 방법 중 가장 안전한 방법은 퇴비화와 같은 발효 공정을 통해 안정화시켜 재활용하는 방법이다³⁾.

계분을 효율적으로 발효하기 위해서는 발효에 적합한 수분조절제를 선택하는 것이 중요하다⁴⁾. 톱밥은 퇴비화나 계분 발효에서 일반적으로 이용되는 수분조절제이지만 계분의 발효 공정을 개선하고, 계분을 유기질비료로 제형화하기 위해서는 피트모스를 수분조절제로 이용하는 것이 효율적이다^{4,5)}. 피트모스는 톱밥에 비해 입자가 균일하고, 보수력이나 보비력이 좋아 가축분의 발효에 효과적이다⁴⁾ 원료 가격이 높아 실제 발효 공정에 이용하기에 제한적이므로 균일한 크기를 갖는 수분조절제를 선정하는 것이 필요하다.

팽화왕겨는 왕겨에 열을 가해 가공한 것으로 탄질율이 높고⁶⁾, 토양개량제의 특성을 나타낸다^{7,8)}. 팽화왕겨는 토양의 입단을 형성하여 공극을 개선함으로써 토양의 통기성이나 투수성을 향상시킨다⁷⁾. 이러한 토양개량제의 특성은 가축분의 퇴비화에서 수분조절제로서의 기능을 하게 되고, 수분조절제를 통한 가축분의 입단화는 가축분 발효 더미의 공극을

개선하여 퇴비화나 발효 효율을 향상시킨다⁴⁾. 왕겨는 퇴비화 과정에서 수분조절제로 활용하고자 많은 연구들이 진행되었으나 입자가 크고, 분해가 어려우며, 가축분의 공극 개선 효과가 낮아 사용하는데 어려움이 있다⁶⁾. 그러나 팽화왕겨는 왕겨에 비해 입자가 작고, 균일하며, 공극 개선 효과가 우수하고, 왕겨에 비해 미생물에 의한 분해가 쉽다⁶⁾.

따라서 본 연구는 계분을 발효하여 유기질비료의 원료인 가공계분을 생산하는 과정에서 수분조절제로서 팽화왕겨의 활용가능성을 평가하기 위해 톱밥이나 피트모스와 발효 특성⁴⁾을 비교하고, 수분조절제 종류별 가공계분의 시비 후 엽채류의 생육에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 수분조절제 종류별 계분의 발효 시험

2.1.1. 공시재료

본 연구는 2017년 5월부터 7월까지 경기도 안성시에 위치한 H사에서 3개월 동안 수행하였다. 발효 원료로서 계분(poultry manure; PM)과 수분조절제[톱밥(sawdust; S), 피트모스(peatmoss; P), 팽화왕겨(compressed expansion rice hull; CERH)]는 H사에서 공여받아 사용하였고, 팽화왕겨는 입자 크기에 따라 1.3 mm의 팽화왕겨 1 (CERH 1)과 3.0 mm의 팽화왕겨 2 (CERH 2) 두 종류를 사용하였으며, 각 원료의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

2.1.2. 계분 발효 처리구 설정

수분조절제의 종류별 계분 발효 시험을 위해 계분+톱밥 처리구(SP; PM+S), 계분+피트모스 처리구(PP; PM+P), 계분+팽화왕겨 1 처리구(PCR1; PM+CERH 1)

Table 1. The Properties of Raw Materials used for Composting

Materials	W.C. ¹⁾	T-C ²⁾	T-N ³⁾	C/N ratio
		(%)		
Poultry manure	51.6	36.8	3.80	9.7
Sawdust	32.5	55.6	0.23	241.7
Peatmoss	53.3	56.6	0.90	62.8
Compressed expansion rice hull 1	6.5	49.4	0.39	126.7
Compressed expansion rice hull 2	8.1	48.7	0.38	128.2

¹⁾ W.C.: Water content.

²⁾ T-C: Total carbon in dry matter.

³⁾ T-N: Total nitrogen in dry matter. These results were data base on dry weight of raw materials. Also, sizes of compressed expansion rice hull 1 and 2 showed 1.3 mm and 3.0 mm, respectively.

Table 2. Soil Chemical Properties used in this Experiment

pH	EC	T-N	OM	Av -P ₂ O ₅	Exchangeable cation				CEC
					K	Ca	Mg	Na	
(1:5)	(ds/m)	(g/kg)		(mg/kg)	(cmol+/kg)				
6.7	0.81	3.8	51.2	467	1.0	11.0	5.1	1.0	15.3

및 계분+팽화왕겨 2 처리구(PCR2; PM+CERH 2)로 구분하였고, 수분조절제인 톱밥, 피트모스, 팽화왕겨 1 및 팽화왕겨 2는 비중과 탄질율을 고려하여 중량비로 10%씩 넣고 배합하였다⁴⁾. 배합 후에는 수분을 조사하여 퇴비화에 적합하도록 수돗물을 이용해 초기 수분을 50±2% 수준으로 조절하였고³⁾, 각각의 처리구당 1,000 kg씩 적재하였다. 시험기간 동안 공기는 주입하지 않았고, 주당 1~2회 씩 뒤집기를 실시하였다. 계분 발효 종료 후에는 수분 함량이 가공계분의 기준에 적합하도록 송풍기를 이용하여 건조하였다.

2.1.3. 조사내용

계분 발효 과정 중 물리화학적 특성 조사를 위해 온도 및 수분 함량 변화와 pH, 유기물(organic matter; O.M.), 전질소(total nitrogen; T-N), 탄질비(C/N ratio), 부숙도(ComMe-100법; CoMMe-100, (주)이앤에이텍) 등을 조사하였다. 계분 발효 기간 중 시료의 채취는 계분 발효 시작 후 0일차, 7일차, 10일차, 16일차, 23일차 및 31일차에 채취하여 총 6회 실시하였다. 퇴비의 온도 변화는 디지털 온도계(A1.T9304C, Daihan, Korea)를 이용하여 측정하였고, 수분 함량은 건조법, pH는 1:5법, O.M.은 회화법, T-N은 켈달증류법으로,

인산은 바나도몰리브데이트법, 칼리와 염분은 원자흡광광도법으로 농촌진흥청의 ‘비료의 품질검사방법 및 시료채취기준’에 준하여 분석하였다⁹⁾.

2.2. 발효가 완료된 가공계분의 작물 재배 시험

2.2.1. 공시재료

발효가 완료되어 건조된 가공계분을 이용한 작물 재배 시험은 2017년 12월부터 2018년 3월까지 4개월간 대전광역시 소재의 H사의 연구용 온실에서 수행하였다. 공시작물은 상추(*Lactuca sativa*)와 청경채(*Brassica rapa*)를 이용하였고, 농자재 판매상에서 종자[상추(백일청치마, 팜한농, 서울, 한국), 청경채(농우청경채, 농우씨앗, 수원, 한국)]를 구매하여 사용하였다. 작물 재배 시험에 사용한 가공계분(31일 발효 후 건조된 계분)은 계분의 발효를 마치고 10일 동안 건조를 완료한 시기에 채취한 시료를 이용하였다. 시험에 사용된 토양은 사양토였고, pH는 6.7, 전기전도도는 0.81 dS/m 수준으로서 상추 및 청경채를 재배하기 적합한 토양이었다(Table 2).

2.2.2. 처리구 설정

원예용 상토를 포설한 트레이에 상추를 파종하여

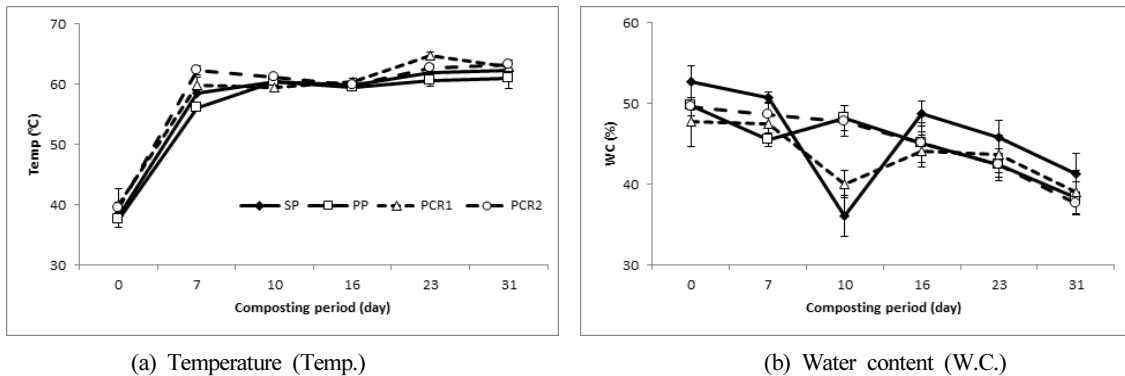


Fig. 1. Changes in the temperature (a: and water contents, b: during composting for 31 days. Treatments were as follows. Treatments were as follows. SP: 10% sawdust + 90% poultry manure (PM); PP: 10% peatmoss + 90% PM; PCR1: 10% CERH 1 (1.3 mm) + 90% PM; PCR2: 10% CERH 2 (3.0 mm) + 90% PM. Error bars indicate standard deviation.

약 4주간 유묘를 관리하였다. 작물 정식 15일 전에 가공계분을 600 kg/10a 수준으로 전층시비하고 15일이 경과한 후 생육 상태가 비슷한 유묘를 선별하여 각 처리구에 정식하였다. 처리구는 무처리구(non fertilizer; NF), 계분+톱밥 처리구(SP; PM+S), 계분+피트모스 처리구(PP; PM+P), 계분+팽화왕겨 1 처리구(PCR1; PM+CERH 1) 및 계분+팽화왕겨 2 처리구(PCR2; PM+CERH 2)로 구분하였고, 작물 재배는 지름 10 cm 육묘용 포트를 사용하였으며, 완전임의배치법(3반복)으로 배치하였고, 관수는 매일 1~2회 실시하면서 온실(대기온도 10~30°C, 상대습도 50~60%)에서 수행하였으며, 시험 기간 중 병충해는 발생하지 않았다.

2.2.3. 조사내용

작물의 생육 조사는 시험 종료 후 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중을 조사하였다. 엽록소는 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였고, 던컨다중검정을 통해 처리구간 평균값을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수분조절제 종류별 계분의 발효 시험

계분 발효 과정에서 유기물의 분해 과정 및 발효 정도를 판단하기 위해 온도와 수분 함량을 조사하였다(Fig. 1). 계분 발효 더미의 온도를 측정된 결과,

원료 배합 시에는 약 38~40°C 정도를 나타내었으나 발효가 진행되면서 계분 발효 더미의 온도는 56.0~63.2°C를 나타내었고, 시험 종료 시기까지 온도는 유지되었다(Fig. 1a). 계분 발효 더미의 온도의 변화를 통해 발효는 종료되지 않았으나 Kim et al. (2017)은 가공계분의 발효 종료 시기는 발효 시작 후 약 30~35일경이라고 제시하여 본 연구에서는 시험 시작 후 31일이 경과한 후 시험을 종료하였다⁴⁾. 계분 발효 더미의 수분 함량의 변화는 Fig. 1(b)와 같다. 원료 배합 후 계분 발효 더미의 수분 함량은 47.8~52.7% 수준이었고, 계분의 발효가 진행되면서 서서히 감소하는 경향을 보였다⁴⁾. 시험 종료 시에는 처리구별 온도와 수분 함량을 비교한 결과 약간의 차이는 있으나 통계적 유의차를 확인할 수 없었다.

계분 발효 과정 중 계분 발효 더미의 pH, 탄소 함량, 질소 함량 및 탄질비(C/N ratio)의 변화를 조사하였다(Fig. 2). 수분조절제별 계분 발효 과정에서 pH의 변화는 퇴비화 시작 7일 경과 후부터 pH 8.0 이상을 나타내었고, 시험 시작 후 16일이 경과할 때까지 pH가 상승하였으며, 이후 시험 종료 시기까지 유지되었다(Fig. 2a). 가축분의 퇴비화 과정이나 계분의 발효 과정에서는 미생물의 활동으로 암모니아작용으로 단백질이 암모니아로 분해되어 pH가 상승한 것으로 보인다¹¹⁾. Kim et al.(2017)은 계분 발효 더미의 온도가 상승하면 발효가 진행되면서 암모니아 가스가 발생하여 pH에 영향을 미친다고 보고하여 본 연구 결과와 유사하였다⁴⁾.

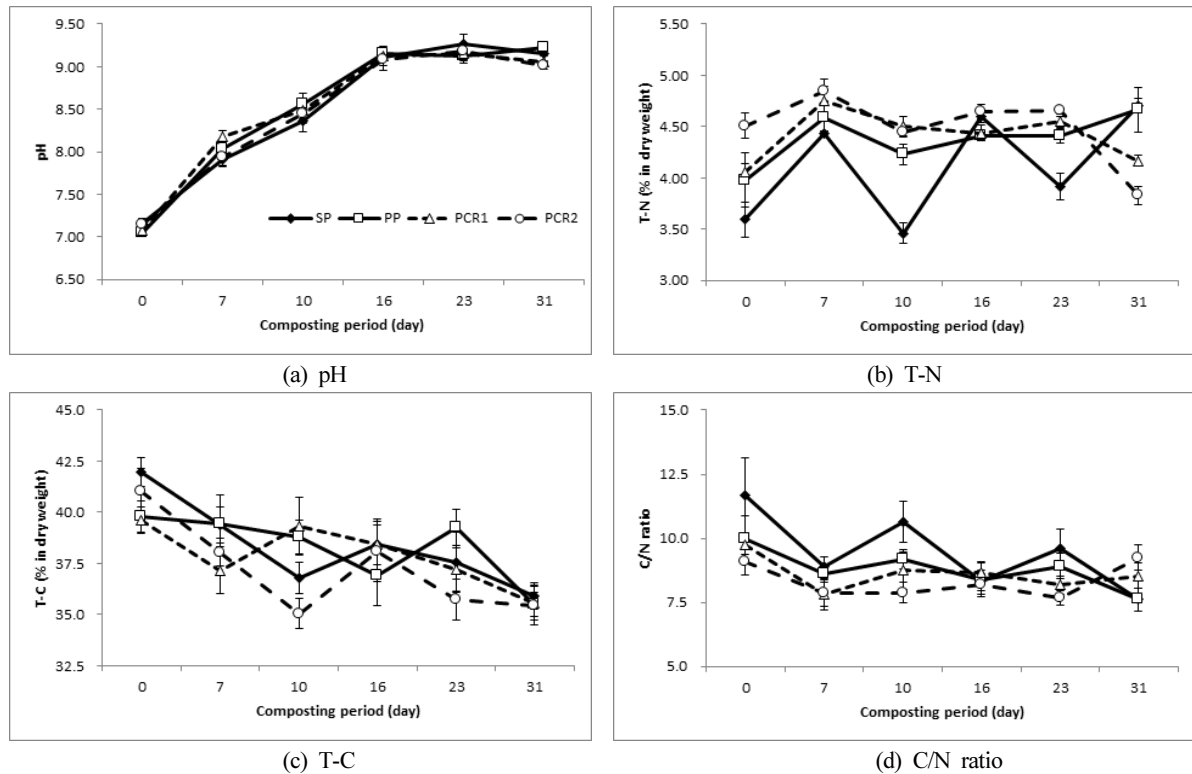


Fig. 2. Changes in the physico-chemical properties during composting for 31 days. Treatments were as follows. Treatments were as follows. SP: 10% sawdust + 90% poultry manure (PM); PP: 10% peatmoss + 90% PM; PCR1: 10% CERH 1 (1.3 mm) + 90% PM; PCR2: 10% CERH 2 (3.0 mm) + 90% PM. Error bars indicate standard deviation.

계분 발효 더미의 질소 함량 변화는 시험 초기에는 SP 처리구에서 낮고, PP 처리구, PCR1 처리구 및 PCR2 처리구가 비슷하였으나 31일이 경과한 후 SP 처리구와 PP 처리구는 약 4.7% (건물중 기준) 정도를 나타내었고, 팽화왕겨 처리구인 PCR1 처리구와 PCR2 처리구는 각각 4.2%와 3.8%로 SP 처리구나 PP 처리구보다 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 2b). Kim et al. (2017)은 수분조절제별 계분의 발효 과정에서 피트모스를 수분조절제로 사용한 경우 시간의 경과에 따라 질소 함량의 변화가 크게 나타나지 않으나 톱밥은 시간의 경과에 따라 질소 함량이 증가한다고 보고하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다⁴⁾. 또한, Sohn et al.(1996)은 우분뇨 발효 시 수분조절제로서 왕겨를 사용하는 경우 질소 함량은 시험 초기보다 약간 증가하거나 유지되는 것으로 나타나 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다¹²⁾. 계분 발효 더미의 탄소 함량 변화는 시험 초보다 감소하는 경향을 나타내었

다(Fig. 2c). 가축분 및 가축분뇨의 발효 과정에서 탄소는 시간의 경과에 따라 감소하는 경향을 나타내며¹³⁾, 퇴비화 시작 후 약 30일 동안은 퇴비 더미로부터 이산화탄소의 발생이 많아 탄소의 손실이 높고¹⁴⁾, 가축분의 초기 발효 과정에서 미생물이 증가하면서 탄소를 에너지원으로 이용하기 때문으로 추정된다⁶⁾.

계분 발효 더미의 탄질비는 처리구별로 다소 차이는 있으나 SP 처리구에서는 시험 초기보다 감소하는 경향을 나타내었고, PP 처리구, PCR1 처리구 및 PCR2 처리구에서는 유지되거나 서서히 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 2d). 이는 가축분의 발효 시작 후 30일 동안 탄소의 방출농도는 782~1,154 ppm 이나 암모니아는 3.4~134 ppm으로 상대적 손실량이 낮기 때문으로 추정된다¹⁴⁾. 가축분의 발효 과정에서 탄질비는 서서히 감소하는 경향을 보이니¹²⁾ 수분조절제의 종류에 따라 탄질비는 비슷한 경향을 나타낸다는 Yun et al. (2012)의 결과와 유사한 결과를 나

Table 3. The Properties of Organic Fertilizers Composting Poultry

Treatments ¹⁾	W.C.	O.M.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Sum of N, P ₂ O ₅ and K ₂ O
	(%)					
SP	19.1a ²⁾	50.3ab	2.76c	1.93a	2.74ab	7.43b
PP	19.7a	47.6b	3.65a	1.89a	2.74ab	8.28a
PCR1	19.2a	51.6a	3.44a	1.69b	2.90a	8.03a
PCR2	19.6a	50.2ab	3.05b	2.05a	2.53b	7.63ab
Guideline ³⁾	20 over	30 over	-	-	-	6.0 over

¹⁾ Treatments were as follows. Treatments were as follows. SP: 10% sawdust + 90% poultry manure (PM); PP: 10% peatmoss + 90% PM; PCR1: 10% CERH 1 (1.3 mm) + 90% PM; PCR2: 10% CERH 2 (3.0 mm) + 90% PM.

²⁾ Means with same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

³⁾ Guideline of compost in Korea. W.C. and O.M. represent water content and organic matter, respectively.

타내었다¹²⁾. 또한 계분의 발효 과정에서도 탄질비는 발효 과정에서 톱밥을 수분조절제로 처리하는 경우가 피트모스를 처리하는 경우보다 약간 높게 나타난다고 보고된 바 있어 본 연구 결과와 유사하였다⁴⁾.

계분 발효 31일 경과 후 각 처리구별 부숙도는 부숙완료로 조사되어 발효를 종료하였다. 계분 발효 종료 후 비료공정규격에 적합하도록 송풍기를 이용하여 10일 동안 건조된 가공계분의 처리구별 이화학적 특성은 Table 3과 같다. 수분, 유기물, 질소, 인산 및 칼리 함량은 각각 19.1~19.7%, 47.6~51.6%, 2.76~3.65%, 1.69~2.05%, 2.53~2.90%의 범위를 나타내었고, 각 처리구별 질소, 인산 및 칼리의 합계량은 각각 7.43~8.28%를 나타내어 비료공정규격의 가공계분 기준에 적합하였다. SP 처리구와 비교할 때, 작물의 생육과 생산량에 영향을 주는 가공계분의 질소 함량은 PP 처리구와 PCR1 처리구에서 각각 32%와 25% 씩 증가하였고, 양분합계량도 11.4%와 8.1% 정도 증가하였다. Kim et al.(2017)의 수분조절제 종류별 가공계분 시험에서도 피트모스를 수분조절제로 사용할 때 톱밥을 수분조절제로 사용할 때보다 성분 함량이 높게 조사되어 본 연구 결과와 유사한 결과를 나타내었다⁴⁾. PCR1 처리구의 가공계분은 PP 처리구와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 피트모스를 대신하여 1.3 mm 크기의 팽화왕겨를 계분 발효 시 수분조절제로서 사용할 수 있었다. 하지만 3.0 mm 크기의 팽화왕겨는 PP 처리구보다 질소 함량이 감소하여 계분 발효 과정에서 PP 처리구나 PCR1 처리구보다 질소 손실이 상대적으로 많이 발생했던 것으로 판단되었다. 이는 팽화왕겨는

입자가 작을 수록 표면적이 넓어 계분 발효 시 발생하는 암모니아를 흡착하는 능력이 우수했기 때문에 상대적으로 질소 함량이 높았던 것으로 추정된다¹⁵⁾.

3.2. 발효가 완료된 가공계분의 작물 재배 시험

발효가 완료된 가공계분을 처리하여 상추와 청경채의 재배 시험을 수행하였다(Table 4). 상추와 청경채의 시험 종료 후 토양 분석 결과, 가공계분 처리구(SP, PP, PCR1 및 PCR2 처리구)는 무처리구(NF)와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않아 유기질비료의 처리에 의한 토양의 이화학적 변화는 나타나지 않았다(자료는 제시하지 않음). 상추의 재배 시험에서 무처리구와 비교할 때, 모든 처리구에서 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중이 증가하였고, SP 처리구와 비교할 때 엽수, 엽장, 엽폭 및 생물중은 통계적 유의차를 나타내지 않았으며, 건물중은 PP 처리구와 PCR1 처리구에서 약 11% 정도 증가하였다. 청경채 시험에서는 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중이 증가하였고, SP 처리구와 비교할 경우 PP 처리구에서 청경채의 건물중이 증가하였다. 조사 항목 중 건물중을 기준으로 상추와 청경채의 생산량을 평가한 결과, PP 처리구에서 SP 처리구보다 8~10% 정도 작물의 생산량이 증가하였다. 이는 PP나 PCR1 처리구가 식물의 생육과 생장에 관여하는 비료성분인 질소 함량이 상대적으로 높았기 때문인 것으로 판단된다¹⁶⁾. Kim et al. (2017)의 가공계분 시험에서도 수분조절제 중에서 피트모스 처리구의 가공계분이 톱밥 처리구의 가공계분보다 질소, 인산, 칼리 함량의 합이 더 높았고, 그 결과 피트모스가공계분 처

Table 4. The growth of Lettuce and Pak Choi after Applying Organic Fertilizer Composting Poultry

Treatments ¹⁾	Chlorophyll	No of leaves	Leaf length	Leaf wide	Fresh weight	Dry weight
	(mg/100cm ²)	(ea/plant)	(cm)	(cm)	(g/plant)	(g/plant)
Lettuce (<i>L. sativa</i>)						
NF	2.04ab ²⁾	14.7b	11.1b	6.6b	16.3b	2.05c
SP	1.99ab	16.8a	13.7a	9.0a	27.8a	2.85b
PP	2.20a	16.8a	13.1a	8.6a	28.4a	3.17a
PCR1	2.08a	16.3a	13.3a	8.4a	26.8a	3.17a
PCR2	1.81b	16.7a	13.5a	8.9a	27.6a	2.83b
Pak choi (<i>B. rapa</i>)						
NF	3.71ab	15.5a	8.1b	4.1b	9.8c	1.04d
SP	3.74ab	15.5a	10.2a	4.7ab	17.0ab	1.58b
PP	4.02a	16.2a	10.4a	5.2a	20.0a	1.71a
PCR1	3.58b	15.0a	9.8a	4.6ab	15.2b	1.36c
PCR2	3.92ab	14.2a	9.6a	4.4b	16.4b	1.54b

¹⁾ Treatments were as follows. Treatments were as follows. NF: no fertilizer; SP: 10% sawdust + 90% poultry manure (PM); PP: 10% peatmoss + 90% PM; PCR1: 10% CERH 1 (1.3 mm) + 90% PM; PCR2: 10% CERH 2 (3.0 mm) + 90% PM. These composting organic fertilizers were applied 600 kg/10a before 15 days planting lettuce and pak choi.

²⁾ Means with same letters within column are not significantly different by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

리구에서 작물의 생산량이 증가하여 본 연구의 결과와 유사한 결과를 나타내었다⁴⁾.

4. 결론

계분 발효 과정을 통해 가공계분 제조가능성을 평가하고자 계분과 톱밥, 피트모스 및 팽화왕겨 (compressed expansion rice hull; CERH)를 혼합하여 톱밥 처리구(계분 90%+톱밥10%; SP), 피트모스 처리구(계분 90%+피트모스10%; PP), 팽화왕겨 1 처리구(계분 90%+CERH 1 (ϕ 1.3 mm) 10%; PCR1) 및 팽화왕겨 2 처리구(계분 90%+CERH 2 (ϕ 3.0 mm); PCR2)를 두어 발효 특성을 조사하고, 발효 완료 후 건조한 가공계분의 작물에 대한 재배 시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 계분 발효 30일 경과 후 계분 발효 더미의 부숙도는 부숙완료로 판정되었고, 이때 더미의 온도는 56.0~63.2°C 이었고, pH는 8.9이상이었으며, 탄질율은 7.3~8.9를 나타내었다.
2. 계분 발효 종료 후 건조된 가공계분의 처리구별 이화학적 특성은 수분, 유기물, 질소, 인산 및 칼리 함량이 각각 19.1~19.7%, 47.6~51.6%, 2.76~

3.65%, 1.69~2.05%, 2.53~2.90%로 조사되어 비료공정규격의 가공계분 기준에 적합하였다.

3. 수분조절제별 가공계분의 처리에 따른 상추와 청경채의 재배 시험에서 건물중으로 작물생산량을 평가한 결과, PP 처리구에서 SP 처리구보다 8~10% 정도 작물의 생산량이 증가하였고, PCR1과 PCR2 처리구는 SP 처리구와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

이상의 결과를 종합할 때, 계분 발효에 사용하는 수분조절제로서 팽화왕겨는 입자가 작은 팽화왕겨 (ϕ 1.3 mm)를 사용하는 것이 효과적이며, 일부 작물의 생육도 개선하는 것을 확인하였다. 팽화왕겨가공계분은 톱밥가공계분보다 양분 함량은 높았으나 피트모스가공계분과 유사한 양분 함량을 나타내어 팽화왕겨는 톱밥이나 피트모스를 대신하여 계분 발효 시 수분조절제로서 활용이 가능하였고, 팽화왕겨가공계분은 유기질비료의 원료로 사용이 가능하였다⁵⁾. 팽화왕겨가공계분을 유기질비료의 원료로 활용하는 것은 국내 유기성 부산물을 자원화 뿐 아니라 외국산 유기질비료 원료 중 일부를 국산화할 수 있을 것으로 기대되었다¹⁷⁾.

사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었으며(과제번호 319114-03), 지원에 감사드립니다.

References

1. Korean Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, "Yield of livestock manure in South Korea" (2016).
2. Hwang, K. S., Lee, I. B., Park, J. M. and Yoo, B. S., "Fractional recovery as extractable form of nutrient in composted livestock manure application on soil distributed in Jeju", *Kor. J. Environ. Agric.* 26(1), pp. 49~54. (2007).
3. Kang, H. W., Park, H. M., Ko, J. Y., Lee, J. S., Kim, M. T., Kang, U. G., Lee, D. C. and Moon, H. P., "Investigation on optimal aeration rate for minimizing odor emission during composting poultry manure with sawdust", *Korean J. Environ. Agric.* 20(4), pp. 225~231. (2001).
4. Kim, Y. S., Lee, T. S., Cho, S. H., Jeong, J. Y., An, J. Y., Lee, J. J., Han, K. P. and Hong, J. H., "Plant growth responses and characteristics of composting of poultry manure with peatmoss and cocopeat as bulking agent", *J of KORRA*, 25(1), pp. 79~86. (2017).
5. Kim, Y. S., Lee, T. S., Cho, S. H., Jeong, J. Y., An, J. Y., Lee, J. J., Han, K. P. and Hong, J. H., "Growth effect of mixed organic fertilizer blending poultry manure compost in leaf vegetable", *J. KORRA*. 25(3), pp. 45~54. (2017).
6. Yun, S. Y., "Study on composting of the popped rice hulls", *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 29(2), pp. 124~129. (1996).
7. Baek, S. H., Kim, J. Y., Lee, S. U. and Kim, S. J., "Influence of continuous application application of gypsum, popped rice hull, and zeolite on soil aggregation of reclaimed sandy loam soils", *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 43(5), pp. 764~769. (2010).
8. Cho, K. R., Kang, C. S., Won, T. J. and Park, K. Y., "Effects of compressed expansion rice hull application and drip irrigation on the alleviation of salt accumulation in the plastic film house soil", *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 39(6), pp. 372~379. (2006).
9. National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST), "The methods of analysis and sampling for fertilizer", RDA. (1998).
10. Miller, F. C., "Thermodynamic and matric water potential analysis in field and laboratory scale composting ecosystem, PhD dissertation, Rutgers University, University Microfilms, Ann Arbor, MI. (1985).
11. Lee, D. J., Kim, J. K., Jeong, K. H., Cho, W. M. and Ravindran, B., "Characteristic changes of swine manure by air suction composting system", *J. KORRA*. 24(3), pp. 63~74. (2016).
12. Shon, B. K., Hong, J. H. and Park, K. J., "Comparative studies on static windrow and aerated static pile composting of the mixture of cattle manure and rice hulls", *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 29(4), pp. 403~410. (1996).
13. Yun, H. B., Lee, Y. J., Kim, M. S., Lee, S. M., Lee, Y. and Lee, Y. B., "Composting of pig manure affected by mixed ratio of sawdust and rice hull", *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 45(6), pp. 1032~1036. (2012).
14. Shon, B. K., Hong, J. H., Park, K. J., Kim, K. Y. and Rim, Y. S., "Emission of CO₂ and NH₃ from mixed composting cattle manure with rice hull by static windrow and aerated static pile methods, and growth of tomato on it under greenhouse condition" *Kor. J. Environ. Agric.* 16(2), pp. 119~123. (1997).
15. Kim, J. D. and Jung, J. H., "Surface chemistry in biocompatible nanocolloidal particles", *J. Soc. Comet. Scientists Kor.* 30(3), pp. 295~305. (2004).
16. Kussow, W. R., Soldat, D. J., Kreuser, W. C. and Houlihan, S. M., "Evidence, regulation and consequences

- of nitrogen-driven nutrient demand by turfgrass. Inter. Scholar. Res. Net. Agronomy, 10, pp. 1~9. (2012).
17. An, N. H., Lee, S. M., Cho, J. R. and Lee, C. R., "Estimation of agricultural by-products and investigation on nutrient contents for alternative of imported oil-cake", J. KORRA. 27(4), pp. 71~81. (2019).