

FOOD & CHEMISTRY

Comparing the composting characteristics of food waste supplemented with various bulking agents

Jae-Han Lee¹, Kyung-Rai Yeom¹, Jun-Woo Yang¹, You-Jin Choi¹, Hyun-Chul Hwang¹, Young-Ji Jeon¹, Chang-Hoon Lee², Bong-Su Choi³, Taek-Keun Oh^{1,*}, Seong-Jin Park^{4,*}

¹Department of Bio-environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Department of Fruit Tree, National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

³National Institute of Biological Resources, Incheon 22689, Korea

⁴Division of soil and fertilizer, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

*Corresponding authors: ok5382@cnu.ac.kr, archha98@korea.kr

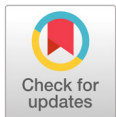
Abstract

To compare the composting characteristics of food waste supplemented with various bulking agents, aerated composting was performed by mixing sawdust, ginkgo leaves, insect feces, and mushroom waste at ratios of 6 : 4 (w/w). The initial temperatures (day after treatment [DAT] 3) of the sawdust, ginkgo leaves, insect feces and the mushroom waste mixtures were 39, 58, 65, and 51°C, respectively. The DAT 3 temperature was the highest in the food waste-insect feces mixture (65°C) and the lowest in the sawdust one (39°C). However, the insect feces treatment was terminated at DAT 21 because of a high water content (70.92%). The water content (DAT 56) of the composted food waste supplemented with sawdust, mushroom waste, and ginkgo leaves stood at 51.28, 39.81, and 44.92%, respectively. Therefore, the fully mature composts satisfied the water content requirement of less than 55% as recommended in the fertilizer standards of the RDA of Korea. The results of the CoMMe-101, Solvita and seed germination index methods indicate that the mushroom waste and ginkgo leaves treatments matured relatively quicker than that of the sawdust one. Based on the above observations, it is concluded that the mushroom waste and ginkgo leaves are more effective bulking agents compared to sawdust and as such, are recommended as suitable replacements for sawdust in food waste composting.

Keywords: aerobic composting, bulking agent, food waste, maturity

Introduction

국내 음식물류 폐기물의 2016년 기준 발생량은 14,389 ton day⁻¹이었으며, 국내 생활계폐기물의 약 26.8%를 차지한다(ME, 2017b). 음식물류 폐기물은 수분함량이 80% 이상으로 높아 혐기 상태에서 부패되어 악취가 발생하며, 발열량은 낮아 소각이 어렵다. 매립의 경우 부지확보가 어려울 뿐만 아니라 토양 및 지하수 오염과 같은 2차 오염을 발생시킨다(Lee et al., 2015). 이에



OPEN ACCESS

Citation: Lee JH, Yeom KR, Yang JW, Choi YJ, Hwang HC, Jeon YJ, Lee CH, Choi BS, Oh TK, Park SJ. 2019. Comparing the composting characteristics of food waste supplemented with various bulking agents. Korean Journal of Agricultural Science 46:897-905. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20190072>

Received: September 04, 2019

Revised: October 23, 2019

Accepted: October 28, 2019

Copyright: © 2019 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

따른, 2005년 ‘음식물류 폐기물 직매립 금지제도’의 시행으로 음식물류 폐기물의 새로운 처리방안이 필요하게 되었다. 2015년 기준 국내에서 발생된 음식물류 폐기물의 약 90.4%가 재활용되며, 이 중 사료화 41.6%, 퇴비화 32.0%, 기타(바이오가스화 등) 16.8%로 자원화 되고 있다(ME, 2017a). 자원화 방법 중 호기성 퇴비화가 경제적 측면에서 가장 우수한 것으로 알려져 있다(Lee and Lim, 2003).

호기성 퇴비화는 산소가 공급되는 조건에서 호기성 미생물이 유기물을 분해시켜 토양개량제인 퇴비를 생산하는 기술이며, 퇴비와 같은 유기물 사용은 토양 내 유기탄소 함량을 증가 시키는 좋은 방법이다(SLC, 2005; Oh et al., 2017). Kim et al. (2009)은 음식물류 폐기물 퇴비를 처리하여 재배한 상추, 배추, 고추, 감자의 수확량이 화학비료 처리구와 비슷한 생산성을 보였으며, Oh et al. (2016)은 양송이 부산물을 이용한 퇴비로부터 분리한 세균이 식물생장을 촉진한다고 보고하였다. 그러나, 호기성 퇴비화는 국내 음식물류 폐기물의 특징인 높은 수분함량과 염분함량으로 양질의 퇴비를 얻기 힘들다는 단점이 있다(Kim, 2012). 따라서, 퇴비의 품질을 높이기 위해 음식물류 폐기물의 수분함량과 염분함량을 효과적으로 조절하고 양질의 퇴비를 제조할 수 있는 부자재에 대한 연구가 필요하다.

부자재는 퇴비 주원료의 pH, 수분함량, C/N비 등 퇴비화에 영향을 주는 조건을 최적으로 조절하기 위해 첨가해주는 유기물로 대표적으로 톱밥과 코코피트가 있다(Kim et al., 2011). 두 부자재는 국내 음식물류 폐기물의 높은 수분함량을 퇴비화 최적 조건인 50 - 60%까지 낮춰주고, 낮은 C/N비율을 퇴비화 최적 비율인 20 - 30 사이로 조절해준다. 하지만, 톱밥과 코코피트의 공급은 대부분 수입에 의존하여 음식물류 폐기물 퇴비의 원가를 높이는 인자로 작용하고 있어 저비용, 고효율의 신규 부자재에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구는 다양한 신규 부자재를 선정하여 퇴비화 진행 과정 중의 온도변화, 이화학적 특성 및 부속도 등을 비교하여 최적의 부자재를 제시하고자 한다.

Materials and Methods

퇴비원료

음식물 자원화 시설에서 탈수과정을 거친 음식물류 폐기물 탈수케이크(food waste, FW)를 채취하여 퇴비 제조에 이용하였다. 부자재는 톱밥을 대조구로, 신규부자재로 버섯폐배지, 곤충분변토, 은행낙엽을 퇴비화 평가를 위해 실험에 사용하였다(Fig. 1). 음식물류 폐기물과 부자재의 특성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Characteristics of food waste composting materials.

Classification	pH (1 : 10)	EC (dS m ⁻¹)	Water content (%)	T-N (%)	T-C (%)	C/N Ratio
Food waste	7.69 ± 0.11	52.70 ± 1.47	75.38 ± 0.40	3.63 ± 1.41	63.68 ± 0.45	17.54
Saw dust	5.18 ± 0.03	3.96 ± 0.48	41.29 ± 1.06	1.95 ± 2.05	63.69 ± 10.05	32.73
Mushroom waste	4.39 ± 0.03	17.52 ± 0.82	15.41 ± 0.19	1.61 ± 0.70	64.16 ± 5.22	39.88
Insect feces	6.20 ± 0.02	8.18 ± 1.52	64.24 ± 2.78	2.15 ± 2.31	62.61 ± 2.79	29.06
Ginkgo leaves	3.95 ± 0.02	11.85 ± 2.52	8.81 ± 0.93	0.95 ± 0.10	66.45 ± 2.94	69.84

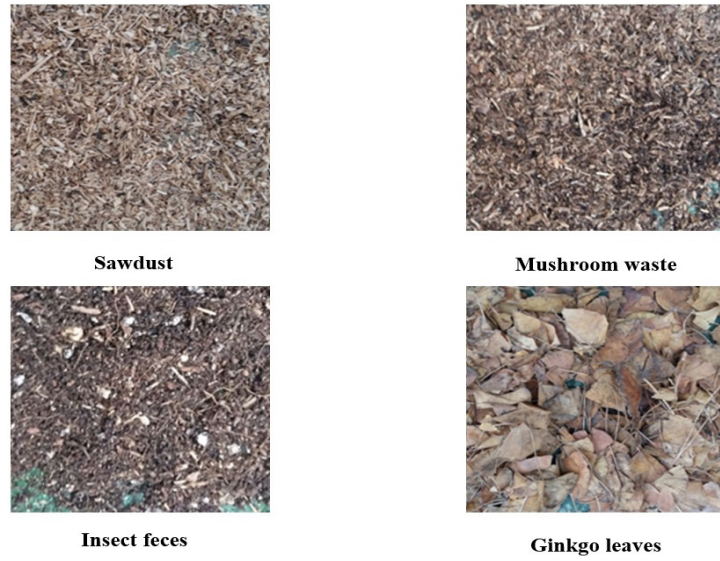


Fig. 1. Photograph of bulking agents used.

퇴비화 장치

본 실험에서 사용된 퇴비화 장치의 모식도는 Fig. 2과 같다. 장치의 주요 구성요소는 퇴비 부숙상자, 온도 센서, 에어펌프이며, 퇴비 부숙상자는 퇴비화 과정 시 발생하는 열의 손실을 막기 위해 스티로폼 소재로 제작하였다. 퇴비 부숙상자 내부 크기는 270 mm (W) × 270 mm (D) × 250 mm (H)로, 유효용적은 약 11.6 L이다. 퇴비 부숙상자 외부에 에어펌프(MA-200, wave point, USA)를 설치하여 퇴비화 기간 중 약 1.7 L min⁻¹의 공기를 퇴비 부숙상자 내에 공급하였다. 퇴비 부숙상자 내·외부에 온도계(Tuban, Digital thermometer, China)를 설치하였다.

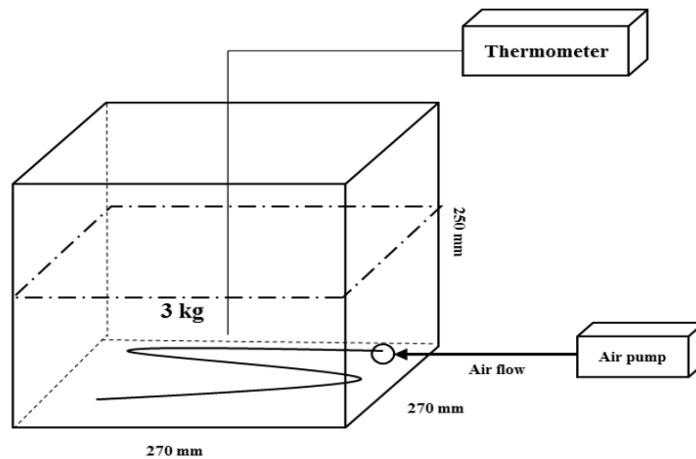


Fig. 2. Food waste composting apparatus.

퇴비화

퇴비화 최적 수분함량인 50 - 60%를 고려하여, 음식물류 폐기물과 부자재를 6 : 4 (w/w)의 비율로 총 무게 3 kg이 되도록 혼합하였다. 퇴비화 초기 단계에서 온도상승을 위해 생석회(BKP-95, Back Kwang mineral, Korea) 90 g을 첨가하였다. 호기성 미생물 우점을 위해 가축분 퇴비(Kyeryong husbandry, Korea), 유용미생물(EM Farm, Korea)을 각각 90, 30 g 첨가하였으며, 영양배지로 설탕(Beksul, Korea) 35 g을 증류수 35 mL에 녹여 첨가하였다. 퇴비화는 총 56일간 실시하였다.

퇴비 분석

퇴비화 시작 후 매일 16시에서 17시 사이에 퇴비 부속상자 내·외부 온도를 측정하여 온도변화를 관찰하였다. 7일 간격으로 뒤집기 실시 후 퇴비 시료를 채취하여 `비료의 품질검사방법 및 시료채취 기준'(RDA, 2017)에 따라 분석하였다. 수분함량은 뒤집기 후 채취된 시료를 105°C에서 24시간 이상 건조하여 측정하였다. pH와 EC는 분쇄한 건조 시료 3 g을 증류수 30 mL로 희석 후 30분간 진탕하여 1시간 정지 후 pH meter와 EC meter (ORION versastar pro, Thermo, USA)로 측정하였다. T-C와 T-N은 Elemental analyzer (Flash EA 1112series, Thermo, USA)를 이용하였다.

퇴비부속도

퇴비의 부속도를 판정을 위해, CoMMe-101법, Solvita법 그리고 종자발아법의 총 3가지 방법을 이용하였다.

CoMMe-101법

이물질이 제거된 퇴비를 전용용기에 채우고 Kit를 뚜껑에 고정시켜 밀봉 후 상온에서 30분간 반응시켰다. 부속도 판정기(CoMMe-101, E&A Teck, Korea)로 측정하여 부속 80% 이상을 부속 완료로 판정하였다.

Solvita법

이물질이 제거된 퇴비를 전용 용기에 채우고, NH₃와 CO₂ 패들을 용기 내 퇴비에 고정시킨 후 밀봉 후 상온에서 4시간 반응 시켰다. 패들을 Solvita DCreader (Solvita dcreader, Solvita & Woods End Laboratories, USA)로 측정하고 표준 차트와 비교하여, 부속도 4이상을 부속 완료로 판정하였다.

종자발아법

퇴비 1 g에 증류수 50 mL를 가하여 80°C water bath에서 2시간 열수 침출 후 No. 2 (Whatman, UK), 110 mm 여과지로 침출액을 여과하였다. 여과액을 여과지가 깔린 petri dish에 5 mL, control에는 증류수 5 mL를 가하였다. 사용된 종자는 서호무 종자(Seoho, Nongwoo, Korea)로 petri dish당 30립으로 하였다. 생육상 온도를 25 - 28°C로 조절하여 총 5일간 배양하였다. 발아율과 뿌리 길이를 측정하여 종자발아지수(germination index, GI)를 산정하였으며 발아지수 70이상을 부속 완료로 판정하였다(식 (1) - (3)).

$$\text{Germination rate (GR)} = (\text{발아율} / \text{control 발아율}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Relative (RE)} = (\text{뿌리길이} / \text{control 뿌리길이}) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Germination index (GI)} = \text{GR} \times \text{RE} / 100 \quad (3)$$

Results and Discussion

퇴비화 과정 중 온도변화

퇴비화는 중온단계, 고온단계, 후숙단계를 거치며, 퇴비화 초기에 중온균이 우점하여 분해되기 쉬운 비교적 저분자의 물질들을 분해해 온도를 상승시킨다(Jung et al., 2002).

본 연구의 퇴비화 과정 중 온도변화는 Fig. 3과 같다. 퇴비화 초기에 모든 처리구에서 퇴비화 기간 중 최고 온도를 나타냈으며, 곤충분변토 처리구가 65°C로 가장 높았다. 모든 처리구에서 day after treatment (DAT) 3 이후 온도가 하강하였으며, 1차 뒤집기(DAT 7)와 2차 뒤집기(DAT 14) 이후 소폭으로 온도가 상승하였다. 모든 처리구에서 3차 뒤집기 이후부터는 외부온도와 유사하게 나타났다. 톱밥 처리구는 1차 뒤집기 이후에 온도가 상승하였으며, 2차 뒤집기 이후까지 온도상승이 비교적 활발하게 나타나 타 처리구에 비해 퇴비화가 느리게 진행된 것으로 판단된다.

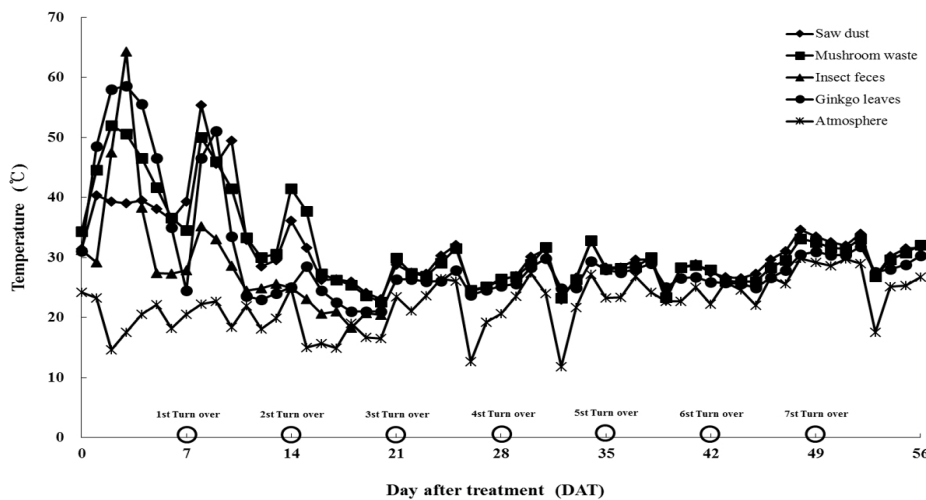


Fig. 3. Variations in temperature during food waste composting (FW : BA = 6 : 4). FW, food waste; BA, bulking agent.

퇴비화 과정 중 특성변화

수분함량

수분함량은 미생물의 생육조건과 밀접한 관련이 있기 때문에 최적 조건(50 - 60%)을 맞춰주어야 한다(Jeon and Dang, 1996). 또한 비료공정규격의 퇴비는 수분함량 55% 이하를 만족하여야 하므로 제조 퇴비의 중요한 인자이다. 부자재 혼합직후(DAT 0) 수분함량은 곤충분변토 처리구가 71.73%로 가장 높았으며, 톱밥 처리구 59.20%, 버섯폐배지 처리구 52.70%, 은행낙엽 처리구 46.08%의 순으로 나타났다(Fig. 4). 음식물류 폐기물에 비해 수분함량이 낮은 부자재를 혼합하여 대부분의 처리구에서 수분함량이 낮아졌지만, 곤충분변토 처리구는 부자재의 높은 수분함량(64.2%)으로 최적 수분함량을 벗어난 것으로 판단된다. 톱밥과 버섯폐배지 처리구는 최적 수분함량으로 나타났으며, 은행 낙엽처리구는 은행 낙엽의 낮은 수분함량으로 인해 최적 수분함량에 비해 약 4% 가량 낮았다. 따라서, 음

식물류 폐기물과 부자재의 수분함량에 따라 적절한 혼합 비율을 산정할 필요성이 있다고 판단된다. 톱밥과 버섯폐배지 처리구는 퇴비화가 진행됨에 따라 수분의 증발로 인하여 수분함량이 낮아지는 경향을 보여 수분이 과도하게 증발할 경우 인위적으로 수분을 공급해 주어야 할 것으로 판단된다. 곤충분변토 처리구는 DAT 21에 수분함량 과다(70.9%)로 인한 부패로 이후 실험을 종료하였다. DAT 56 퇴비화 종료 후 처리구별 수분함량은 톱밥 처리구 51.28%, 버섯폐배지 처리구 39.81%, 은행낙엽 처리구 44.92%로 비료공정규격의 퇴비 수분함량 55% 이하를 만족하였다.

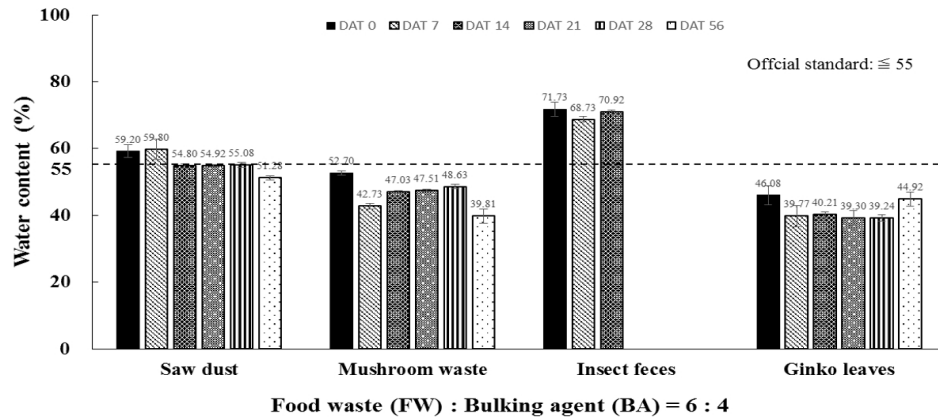


Fig. 4. Variations in water content during food waste composting (FW : BA = 6 : 4). DAT, day after treatment.

pH

퇴비화 미생물의 생육 최적 pH는 선행 연구마다 다르므로(Huh and Han, 1999, 5.5 - 9.5; Nam and Choi, 1993, 5.5 - 8.5; Tchobanoglous et al., 1993, 6.5 - 8.0), 본 연구에서는 선행 연구에서 제시한 최적 조건들을 모두 만족할 수 있는 5.5 - 9.5의 범위를 최적 pH로 설정하였다. 식물성 폐기물 및 부자재의 pH는 3.95 - 7.69로 비교적 낮게 나타났으나, 발열과 pH조절을 위해 첨가한 생석회의 영향으로 톱밥 처리구 pH 10.8, 버섯폐배지 처리구 pH 10.6, 곤충분변토 처리구 pH 11.7, 은행낙엽 처리구 pH 10.7로 조건에 비해 높게 나타났다. Kang et al. (2003)에 의하면 퇴비화 과정 중 pH는 유기물 분해로 인해 생성되는 유기산에 의해 초기 2 - 3주간 감소하는 경향을 보이며, 이후 질소성분이 분해되면서 생성된 암모니아가스에 의해 다시 증가한다. 본 연구에서도 DAT 7에 pH가 급격히 감소한 후 퇴비화가 진행되면서 pH가 상승하였고, DAT 56 퇴비화 완료 후 톱밥 처리구 pH 8.4, 버섯폐배지 처리구 pH 8.5, 은행낙엽 처리구 pH 8.6 이었다(Fig. 5).

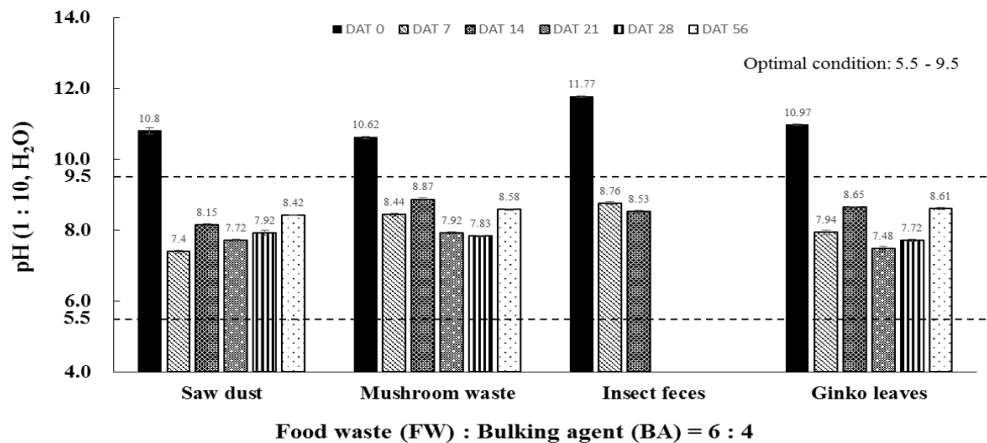


Fig. 5. Changes in pH during food waste composting (FW : BA = 6 : 4). DAT, day after treatment

Electric conductivity (EC)

DAT 0 처리구별 EC는 톱밥 처리구 37.19 dS m^{-1} , 버섯폐배지 처리구 40.69 dS m^{-1} , 곤충분변토 처리구 40.69 dS m^{-1} , 은행낙엽 처리구 43.67 dS m^{-1} 였다. 이는 음식물류 폐기물의 높은 EC (64.73 dS m^{-1})와 생석회의 첨가로 인해 퇴비의 EC가 영향을 받은 것으로 판단된다. 퇴비화가 진행됨에 따라 DAT 21까지 EC가 감소하는 경향을 보였으며, DAT 21-28 이후 모든 처리구에서 다시 증가하는 경향을 보였다. DAT 56 퇴비화 완료 후 EC는 톱밥 처리구 37.70 dS m^{-1} , 버섯 폐배지 처리구 51.50 dS m^{-1} , 은행 낙엽 처리구 57.20 dS m^{-1} 였다(Fig. 6).

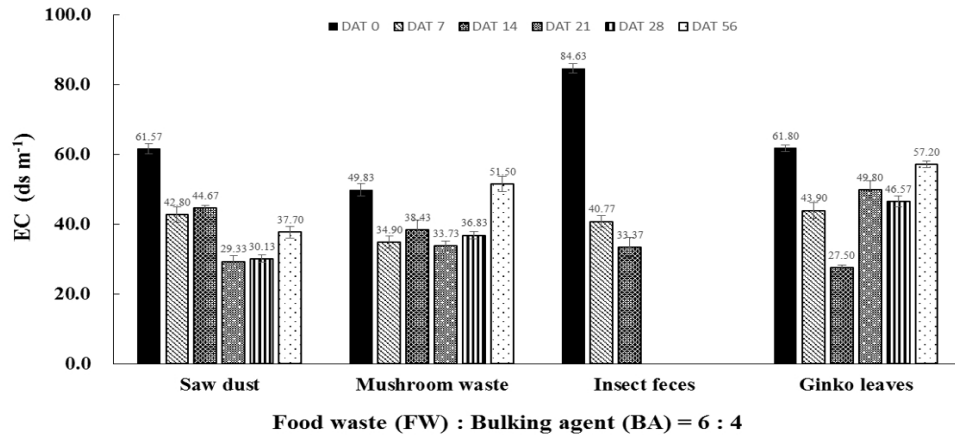


Fig. 6. Variations in EC during food waste composting (FW : BA = 6 : 4). FW, food waste; BA, bulking agent; DAT, day after treatment.

퇴비화 과정 중 부숙도 변화

부숙이 충분히 진행되지 않은 퇴비를 토양에 시용하면 토양에서 고분자 유기물이 분해되면서 일어나는 발열반응에 의해 종자에 악영향을 미치게 된다(Morel et al., 1985). 퇴비화 기간 중 부숙도 변화는 Table 2와 같다. 버섯 폐배지와 은행낙엽 처리구가 톱밥 처리구에 비해 부숙이 빠르게 진행되었다. DAT 7 은행낙엽 처리구가 Comme-101이 4 (부숙완료, 80%), Solvita가 6 (부숙후기)로 가장 빠르게 부숙이 완료 되었다. 톱밥 처리구가 가장 늦게 부숙이 진행되었으며, DAT 21에 Comme-101이 4 (부숙완료, 80%), Solvita가 7 (부숙완료), 종자발아지수 107로 비료공정규격을 만족하였다. 은행 낙엽 처리구가 가장 빠르게 부숙이 되는 것은 다른 부자재에 비해 상대적으로 부피가 크고, 통기성이 좋아 호기성발효가 빠르게 진행된 것으로 판단된다.

Table 2. Characteristics of food waste composting materials.

Bulking agent	Compost maturity														
	CoMMe-101 ^x					Solvita ^y					Germination index (%) ^z				
	DAT 7	DAT 14	DAT 21	DAT 28	DAT 56	DAT 7	DAT 14	DAT 21	DAT 28	DAT 56	DAT 7	DAT 14	DAT 21	DAT 28	DAT 56
Saw dust	3	3	4	4	4	5	5	7	7	7	NA	82	107	123	142
Mushroom waste	3	3	4	4	4	6	6	6	7	7	NA	99	125	138	141
Insect feces	3	3	NA	NA	NA	6	6	NA	NA	NA	NA	90	NA	NA	NA
Ginkgo leaves	4	4	4	4	4	6	6	6	7	7	NA	92	113	125	164

DAT, day after treatment; NA, not applicable.

^x CoMMe-101: Official standard > 4.

^y Solvita: Official standard > 4.

^z Germination index: Official standard > 70%.

Conclusions

부자재의 종류에 따른 음식물류 폐기물의 퇴비화 과정 중 온도, 수분함량, pH, EC, 부숙도 변화의 결과를 토대로 퇴비화에 가장 효율적인 부자재 탐색을 위해 연구를 수행하였다. 퇴비화 과정 중 온도변화는 톱밥 처리구를 제외한 모든 처리구에서 퇴비화 초기에 최고 온도를 나타냈으며, 톱밥 처리구는 1차 뒤집기 이후 최고 온도를 나타냈다. 모든 처리구에서 1차 뒤집기와 2차 뒤집기 이후 온도가 재상승하였으며 3차 뒤집기 이후부터는 외부 온도와 유사하게 나타났다. 생석회의 영향으로 퇴비화 초기의 pH는 10 이상으로 높게 나타났으나 퇴비화가 진행됨에 따라 DAT 7 이후 7.4 - 8.7 사이로 안정화 되기 시작되었으며, 퇴비화 종료 후 8.3 - 8.7로 나타났다. 수분함량은 퇴비화 초기 톱밥과 버섯폐배지 처리구에서 50 - 60% 사이로 최적 수분함량으로 나타났으며, 곤충분변토 처리구는 수분함량 과다(70% 이상)로 DAT 21 이후 실험을 종료하였다. 수분함량은 시간이 경과함에 감소하는 경향을 보였으며, 적정량 이하로 감소 할 경우 원활한 퇴비화를 위해 수분공급이 필요할 것으로 판단된다. 부숙도 측정결과, 공기와 접촉 면적이 넓은 은행 낙엽 처리구에서 DAT 7 부숙이 완료 되어 가장 빠르게 퇴비화가 진행되었으며, 모든 처리구에서 DAT 21 이후 부숙이 완료되었다. 본 실험에서 사용된 부자재 중 곤충분변토는 실험 중 높은 수분함량으로 인하여 부패되어 실험을 DAT 21에 종료하였지만, 버섯폐배지와 은행낙엽이 대조구인 톱밥에 비해 퇴비화 초기에 빠르게 온도가 상승하여 부숙이 빠르게 진행되는 경향을 보였다. 이에 따른 부숙도 평가 결과, 버섯폐배지와 은행낙엽이 톱밥에 비해 부숙이 빠르게 완료되었으며, 은행낙엽은 DAT 7 (Solvita)에 부숙이 완료 되었다. 따라서, 음식물류 폐기물 퇴비 제조 시 수입에 의존하지 않고 국내에서 공급이 가능한 저비용, 고효율의 신규 부자재 선정 시 버섯폐배지와 은행낙엽은 톱밥을 대체 할 수 있는 부자재로서 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgements

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ010925022019)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Authors Information

Jae-Han Lee, Department of Bio-environmental Chemistry, Chungnam National University, Ph. D. student

Kyung-Rai Yeom, Department of Bio-environmental Chemistry, Chungnam National University, Bachelor

Jun-Woo Yang, Department of Bio-environmental Chemistry, Chungnam National University, Undergraduate student

You-Jin Choi, Department of Bio-environmental Chemistry, Chungnam National University, Undergraduate student

Hyun-chul Hwang, Department of Bio-environmental Chemistry, Chungnam National University, Master student

Young-Ji Jeon, Department of Bio-environmental Chemistry, Chungnam National University, Master student

Chang-Hoon Lee, Department of Fruit Tree, National College of Agriculture and Fisheries, Professor

Bong-Su Choi, National Institute of Biological Resources, Researcher

Seong-Jin Park, Division of soil and fertilizer, National Institute of Agricultural Science, RDA, Researcher

Taek-Keun OH, <https://orcid.org/0000-0003-0215-0427>

References

- Huh M, Han JY. 1999. A basic experimental study on composting of garbage wastes by coconut peat. *Journal of Korea Organic Resources Recycling Association* 7:105-111. [in Korean]
- Jeon BG, Dang H. 1996. A fundamental study on composting of garbage. *Journal of Korea Organic Resources Recycling Association* 4:19-25. [in Korean]
- Jung JO, Kwon HK, Lee JH. 2002. An influence of mixing material characteristics on the composting of food waste. *Journal of Korea Environmental Health Sciences* 28:22-27 [in Korean]
- Kang CM, Kim BM, Jeung IH. 2003. The study of efficient treatment conditions on the composting of foodwaste. *Journal of Korea Organic Resources Recycling Association* 11:117-124. [in Korean]
- Kim BT. 2012. Effect on the air permeability of composting bulking agent. *Korea Organic Resource Recycling Association* 20:71-82. [in Korean]
- Kim SI, So KH, Hong SG, Kim GY, Kim KS, Park WK, Kim KR, Lee DB, Jung KY. 2009. The continuous application effect of the food waste composts on the cultivated upland soils and plants. *Korea Organic Resource Recycling Association* 17:71-81. [in Korean]
- Kim YJ, Jang JE, Kim JH. 2011. Study on the Isolation and characterization of cellulose degrading microorganism from cocopeat. p. 186-187. *Korea Society of Waste Management Workshop*. [in Korean]
- Lee CH, Park SJ, Kim MS, Yun SG, Ko BG, Lee DB, Kim SC, Oh TK. 2015. Characteristics of compost produced in food waste processing facility. *Korean Journal of Agricultural Science* 42:177-181. [in Korean]
- Lee JI, Lim DS. 2003. Economic analysis according to food waste recycling method. *Journal of Korea Organic Resources Recycling Association* 11:46-53. [in Korean]
- Lee SS, Chang KW. 1998. Changes of soil chemical properties and uptake of salts by the plants according to the application of the food waste compost. *Journal of Korea Organic Resources Recycling Association* 6:59-57. [in Korean]
- ME (Ministry of Environment). 2017a. Reduction of food waste and recycling, its performance and future. ME, Sejong, Korea. [in Korean]
- ME (Ministry of Environment). 2017b. 2016 National waste generation and disposal status. ME, Sejong, Korea. [in Korean]
- Morel JL, Colin F, Germon JC, Godin P, Juste C. 1985. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In *Composting of Agriculture and Other Waste*. pp. 56-72. Elsevier Applied Science Publishers, USA.
- Nam KW, Choi JY. 1993. Organic waste recycling technologies. *Journal of Korea Organic Resources Recycling Association* 1:33-47. [in Korean]
- Oh SH, Lee CJ, Yoon MH. 2016. Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria from button mushroom compost. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:100-108. [in Korean]
- Oh TK, Lee JH, Kim SH, Lee HC. 2017. Effect of biochar application on growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*). *Korean Journal of Agricultural Science* 44:359-365. [in Korean]
- RDA (Rural Development Administration). 2017. Quality inspection method of fertilizer and sampling standard. RDA, Wanju, Korea. [in Korean]
- SLC (Sudokwon Landfill Site Management Corporation). 2005. Food waste recycling facility operations manual. p. 19. SLC, Incheon, Korea. [in Korean]
- Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil SA, Alaniz VM. 1993. *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues*. p. 687. McGraw-Hill, New York, USA.