

음식물류 폐기물 건조분말과 유기질비료 혼합물의 이화학적 특성 및 주요 엽채류 생육에 미치는 영향

김영선^a, 김도형^b, 이금주^{c†}

Physicochemical Properties of a Mixture of Dried Food Waste Powder with Organic Fertilizer and Effects on the Growth of Major Leafy Vegetable

Young-Sun Kim^a, Dohyung Kim^b, Geung-Joo Lee^{c†}

(Received: Aug. 9, 2019 / Revised: Oct. 18, 2019 / Accepted: Oct. 31, 2019)

ABSTRACT: This study was conducted to investigate the application effects of dried food waste powder (FWP) and mixtures of FWP and organic fertilizer (MFOs) on the growth of lettuce and Chinese cabbage. The physicochemical properties of FWP and MFOs were analyzed. As FWPs containing 3.11% NaCl was applied at 250 kg, 500 kg and 1,000 kg per 10a, growth factors of lettuce and Chinese cabbage, such as a number of leaf, leaf length, leaf width, and dry weight were decreased than those of control applying organic fertilizer. The higher the FWP ratio in the MFOs, the lower the concentrations of N and P₂O₅ in the MFOs, while the higher the concentration of NaCl. As compared to dry weight of control after treating MFOs, lettuce were not significant in MFOs treatments containing 10~30% FWP, and Chinese cabbage in MFOs treatment containing 10% FWP.

Keywords: Chinese cabbage growth, Food waste powder (FWP), Lettuce growth, Mixtures of FWP and OF (MFOs), Organic fertilizer (OF)

초 록: 본 연구는 음식물류 폐기물 건조분말(FWP)이 처리된 작물의 생육 효과와 FWP와 유기질비료(OF) 혼합물(MFOs)의 이화학적 특성 및 작물생육효과를 평가하기 위해 수행되었다. 3.11%의 NaCl을 함유하는 FWP를 250, 500 및 1,000 kg/10a 씩 상추와 배추에 처리하였을 때, 작물의 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중 등과 같은 작물의 생육지수는 대조구보다 감소하였다. MFOs의 이화학적 특성 분석에서 FWP의 배합비율이 증가할수록 MFOs의 질소 및 인산 함량은 감소하였고, 염분함량은 증가하였다. 상추와 배추에 MFOs와 OF를 각각 처리한 후 작물의 건물중으로 생육을 평가할 때, 상추에서는 FWP 10~30% 범위에서, 배추는 FWP 10% 범위에서 유기질비료처리구(대조구)와 유사한 생육을 나타내었다.

주제어: 배추생육, 음식물류 폐기물 건조분말(FWP), 상추생육, FWP와 OF 혼합물(MFOs), 유기질비료(OF)

^a 충남대학교 원예학과 박사 후 연구원(Post-doc., Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea)

^b 신젠타코리아(주) 연구원(Researcher, Syngenta Korea Co. Ltd., Jincheon 27855, Korea)

^c 충남대학교 원예학과 교수(Professor, Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea)

† Corresponding author(e-mail: gjlee@cun.ac.kr)

1. 서론

산업화와 경제발전에 힘입어 우리나라 국민의 생활수준이 향상되면서 도시인구가 증가하고, 도시집중화 현상이 나타나면서 도시생활폐기물이 증가하였다¹⁾. 도시에서 발생하는 생활폐기물 중에서 음식물 쓰레기는 다량의 유기물과 수분을 함유하고 있으며, 가축분이나 하수슬러지와 더불어 국내에서 발생하는 대표적인 유기성폐자원이다²⁾. 도심에서 발생하는 음식물 쓰레기는 매립, 소각, 해양투기, 공공처리 및 재활용 등으로 처리되어 왔으나 환경오염 문제가 대두되면서 매립, 소각 및 해양투기가 불가능해졌다^{1,3)}.

2013년 서울지역을 기준으로 음식물 쓰레기의 재활용 비율은 약 99.5%로 추정되며, 이 중에서 사료화와 퇴비화가 2/3 이상을 차지한다⁴⁾. 음식물 쓰레기에 쌀겨나 팽화미 등을 부재료로 사용하고, 토착유효미생물을 이용하여 사료화하는 경우 소화효소분해능이 우수하고, 항생효과가 있으며, 사료 영양학적으로도 적절하였고, 안정적이거나⁵⁾ 위생적인 면에서 검토가 필요하다. 음식물 쓰레기를 퇴비화하여 재활용하는 경우 부산물, 퇴비 및 가축분액비에서 염분이 증가하여⁶⁾ 이를 작물에 처리하는 경우 작물의 생육이 불량해질 뿐 아니라⁷⁾ 토양환경을 악화시킨다⁸⁾. 따라서 음식물 쓰레기를 퇴비로 이용하기 위해서는 제염의 과정을 필요로 한다⁹⁾.

음식물 쓰레기를 염분농도를 낮추는 가장 일반적인 방법은 다른 퇴비 원료로 혼합하여 염분을 희석하는 방법으로 음식물 쓰레기가 퇴비화의 주원료가 아닌 보조원료로 이용하는 방법이다¹⁰⁾. 국내에서 발생하는 음식물 쓰레기는 주로 탄수화물을 많이 포함하고 있어 식물생육에 필요한 질소원보다는 탄소원이 높기 때문이다¹⁰⁾. 탄소원함량이 높은 음식물 쓰레기는 질소원이 높은 유기성자원의 발효에 이용할 수 있으며, 수소발효나¹¹⁾ 퇴비의 수분조절제¹²⁾ 및 가축분뇨슬러리의 자원화⁶⁾ 시 보조원료(탄소원)로 이용할 수 있다.

음식물 쓰레기를 퇴비화과정에서 제염화 과정을 통해 생산된 퇴비는 작물의 생육을 촉진하였고^{12,13)}, 토양의 물리화학적 특성을 개선하는 토양개량제로서의

효과가 나타나기도 한다¹⁴⁾. 음식물 쓰레기를 퇴비의 보조원료로 이용하기 위해서는 균일한 특성을 나타내어야 한다. 특히, 음식물 쓰레기 중에서 식품공장에서 발생하는 음식물 쓰레기는 산업폐기물로 분류되어 가축분퇴비화시설에서는 처리가 어렵고, 환경정화시설에서 처리되게 된다. 환경정화시설에서 발효과정을 통해 처리된 음식물 쓰레기는 건조과정을 통해 분말(이하 음식물류 폐기물 건조 분말)로 생산된다. 이러한 음식물류 폐기물 건조 분말은 다량의 유기물 및 영양원을 함유하고 있어 2019년 3월 비료공정규격에서 유기질비료(혼합유기질, 유기복합)의 원료로 사용할 수 있도록 하고 있다.

따라서 본 연구는 음식물류 폐기물 건조 분말이 유기질비료로서의 가능성 및 원료로 사용한 유기질비료의 이화학적 특성과 작물별 생육 특성을 평가하기 위해 1) 음식물류 폐기물 건조 분말의 작물 생육 효과, 2) 음식물류 폐기물 건조 분말과 유기질비료 혼합 시 이화학적 특성, 그리고 3) 이 혼합물의 처리 시 작물 생육 특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구는 2017년 8월부터 2018년 2월까지 대전광역시에 위치한 H사의 시험용 유리온실에서 7개월 동안 수행하였다. 공시작물은 상추(*Lactuca sativa* L.)와 배추(*Brassica campestris* subsp.)를 이용하였고, 농자재 판매상에서 상추종자(백일청치마, 팜한농, 서울, 한국)와 배추종자(삼락얼갈이, 팜한농, 서울, 한국)를 구매하여 사용하였다. 작물 재배 시험에 사용한 음식물류 폐기물 건조분말(dried food waste powder; FWP)을 A사에서, 대조비료로서 유기질비료(혼합유박, organic fertilizer; OF)는 B사에서 공여 받아 이용하였으며, 이화학적 특성은 Table 1과 같다. FWP의 염분함량은 3.11%로 비료공정규격에 적합하지는 않았으나 염분함량이 작물생육에 미치는 영향이 큰 점을 고려하여 시험에 이용하였고, 유기질비료로서 혼합유박을 이용한 것은 비료공정규격에서 염분함

량이 0.5%이하로 염분에 따른 작물의 생육에 미치는 영향이 염분함량이 2%이하로 규정하고 있는 혼합유기질비료나 유기복합비료보다 낮을 것으로 판단되어 시험에 이용하였다. FWP의 염분함량에 따른 작물별 생육을 평가하기 위해 소비량이 많은 엽채류 작물 중 십자화과 작물인 배추와 국화과 작물인 상추를 선택하였다. 시험에 사용된 토양은 사양토였고, pH는 6.5, 전기전도도는 0.74 dS/m 수준으로서 상추와 배추를 재배하기 적합한 토양이었다(Table 2).

2.2. 시험방법

2.2.1. FWP 처리 후 작물 생육

원예용 상토를 포설한 트레이에 상추와 배추를 파종하여 약 4주간 유묘를 관리하였다. 작물 정식 15일 전(9월 26일)에 FWP와 OF를 전층시비하고 15일이 경과한 후 10월 11일 생육 상태가 비슷한 유묘를 선별하여 각 처리구에 정식하였다. 처리구는 FWP의 시비량에 따라 무처리구(no fertilizer; NF), 대조구(control; C, OF 500 kg/10a), FWP 반량 처리구(250 kg/10a; 1/2PF), FWP 기준량 처리구(500 kg/10a; PF) 및 FWP 배량 처리구(1,000 kg/10a; 2PF)로 구분하였고, 작물 재배는 4 inch 육묘용 포트를 사용하였으며, 완전임의배치법(3반복)으로 배치하였고, 관수는 매일 1-2회 실시하면서 온실(대기온도15~35°C, 상대습도 50~70%)에서 수행하였으며, 시험기간 중 병충해는 발생하지 않았다. 작물의 생육 조사는 시험 종료일인 11월 8일에 실시하였고, 조사항목은 엽록소,

엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중 등 이었다. 엽록소는 엽록소측정기(SPAD-502, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였고, 던컨다중검정을 통해 처리구간 평균값을 비교하였다.

2.2.2. FWP와 OF 혼합물의 이화학적 특성

혼합물을 조제하기 위해 분쇄기를 이용하여 FWP와 OF를 분쇄한 후 저울에서 FWP가 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% 및 90%가 되도록 중량을 측정하였고, 분쇄기를 이용하여 균일한 시료가 되도록 혼합하였다. FWP와 OF의 혼합물의 이화학적 특성을 평가하기 위해 수분함량(water content; W.C.), 유기물함량(organic matter; O.M.), 전질소(total nitrogen; N), 인산(total phosphate; P₂O₅), 칼리(total potassium; K₂O) 및 염분(NaCl) 등을 조사하였다. 수분함량은 105°C 건조법, 유기물함량은 회화법, 질소함량은 켈달증류법, 인산함량은 바나도몰리브덴산법으로, 그리고 칼리함량과 염분함량은 염광광도계(flame photo meter, PFP7, JENWAY, UK)를 이용하여 원자흡광법으로 농촌진흥청의 “비료의 품질검사 및 시료채취기준”에 준하여 분석하였다¹⁵⁾.

2.2.3. FWP와 OF 혼합물 처리 후 작물 생육

원예용 상토를 포설한 트레이에 상추와 배추를 파종하여 약 4주간 유묘를 관리하였다. 작물 정식 15일 전(2017년 11월 9일)에 FWP와 OF 혼합물(mixture of FWP and OF; MFOs)을 전층시비(500 kg/10a)하고 15

Table 1. The Properties of Dried Food Waste Powder (FWP) and Organic Fertilizer (OF)

Materials ¹⁾	W.C.	O.M.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NaCl
	(%)					
FWP	5.5	81.9	4.05	1.63	1.34	3.11
OF	10.8	75.3	4.52	2.54	1.21	0.10

Table 2. Soil Chemical Properties Used in this Experiment

pH	EC	T-N	O.M.	Avail. -P ₂ O ₅	Exchangeable cations				CEC
					K	Ca	Mg	Na	
(:5)	(dS/m)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(cmol ⁺ /kg)				
6.5	0.74	3.9	78.4	597	1.1	11.8	4.7	0.8	17.3

일이 경과한 후 11월 24일에 생육 상태가 비슷한 유묘를 선별하여 각 처리구에 정식하였다. 처리구는 FWP의 종류에 따라 무처리구(no fertilizer; NF), 대조구(control; C) 및 FWP와 OF 혼합물 처리구(FWP 10~90%) 로 구분하였고, 작물 재배는 4 inch 육묘용 포트를 사용하였으며, 완전임의배치법(3반복)으로 배치하였고, 관수는 매일 1~2회 실시하면서 온실(대기온도 10~30°C, 상대습도 50~60%)에서 수행하였으며, 시험기간 중 병충해는 발생하지 않았다. 작물의 생육 조사는 시험 종료일인 2018년 1월 19일에 실시하였고, 조사항목은 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중 등이었다. 엽록소는 엽록소측정기(SPAD-502, Minolta, Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였고, 던컨 다중검정을 통해 처리구간 평균값을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 식물류 폐기물 건조 분말(FWP) 처리 후 작물 생육

식물류 폐기물 건조 분말(FWP) 시비 후 상추와 배추의 생육을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 상추에서 무처리구(NF)와 비교할 때, 대조구(C)는 NF보다 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중이 증가하였고, FWP처리구에서는 엽수, 엽장, 엽폭 및 생물중은 통계적 유의차를 나타내지 않았고 건물중은 NF보다 약 28.2~48.2% 감소하였다. 대조구와 비교할 때, FWP처리구들의 엽록소, 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중은 대조구보다 감소하였다. 배추에서 NF와 비교할 때, 대조구는 NF보다 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중이 증가하였고, FWP처리구에서는 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중에서 대조구보다 감소하였다. 대조구와 FWP처리구들의 비교에서도 FWP처리구들의 배추 생육이 대조구보다 낮게 나타났다. 이

Table 3. The Growth of Lettuce and Chinese Cabbage After Treating FWP

Treatments ¹⁾	Chlorophyll (mg/100cm ²)	No. of leaves (ea/plant)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Lettuce						
NF	2.07d ²⁾	15.0b	14.8b	8.1bc	26.1b	3.05b
C	2.83a	19.8a	18.0a	12.8a	59.8a	3.62a
1/2PF	2.18cd	16.0b	14.4b	7.5c	22.4b	2.09c
PF	2.30bc	15.7b	14.5b	8.5bc	25.7b	2.19c
2PF	2.36b	15.7b	15.4b	9.0b	24.8b	1.67c
Correlation ³⁾ (n=11)	-0.458	-0.664*	-0.404	-0.460	-0.633*	-0.792**
Chinese cabbage						
NF	3.21a	14.8b	13.2b	6.9bc	22.0b	2.84b
C	3.24a	17.7a	17.9a	9.4a	47.6a	4.84a
1/2PF	2.95ab	14.7b	10.5cd	5.5cd	15.7b	2.17bc
PF	2.76b	14.3b	9.4d	5.3d	12.8b	1.48c
2PF	2.90b	15.5ab	12.4bc	7.0b	19.3b	1.74c
Correlation (n=11)	-0.458	-0.392	-0.444	-0.330	-0.544*	-0.708**

¹⁾Treatments were as follows. NF: no fertilizer; C: control, organic fertilizer, 500 kg/10a; 1/2PF: dried food waste powder (FWP) 250 kg/10a; PF: FWP 500 kg/10a; 2PF: FWP 1,000 kg/10a.

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

³⁾Correlation between amount applying FWP and each investigated growth factor of two vegetables. * and ** represent a significance at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

들 결과를 바탕으로 볼 때, FWP의 처리는 상추와 배추의 생육을 억제하여 유기질비료로 사용이 어려운 것으로 판단되었다. 시험 종료 후 토양분석결과, 처리구별 통계적으로 유의적인 차이는 나타나지 않았다(자료는 제시하지 않음). 이는 육묘용 포트를 시험에 이용하여 시험과정에서 지속적인 관수로 염분의 용탈이 이뤄졌기 때문으로 판단된다.

FWP의 처리량과 작물별 생육의 상관관계를 조사한 결과, 상추에서는 엽수, 생물중 및 건물중이, 배추에서는 생물중과 건물중이 부의 상관성을 나타내어 FWP의 처리에 의해 배추와 상추의 생육이 감소하는 것을 확인하였다. FWP의 처리에 의해 작물의 생육이 감소한 것은 FWP에 함유된 염분(NaCl)의 영향으로 판단되며, Yang et al. (1998)은 상추에 염분의 처리농도가 높을수록 양분흡수가 감소하여 상추의 생육 및 생산량이 감소한다고 보고한 연구결과와 유사하게 나타났¹⁶⁾. 또한, 음식물 쓰레기에는 다량의 염분이 존재하여 이를 작물에 처리하였을 때, 작물의 발아, 발근 및 지상부와 지하부의 생육을 불량하게 한다고 보고한 바 있다⁷⁾. 따라서 FWP를 작물의 생육에 이용하기 위해서는 염분함량을 감소시켜야 하며, 이를 위해서는 발효단계에서 제염을 하거

나⁹⁾ 비료로 이용하는 경우 다른 유기물원들과 적절히 혼합하여 염분함량을 감소시켜주는 것이 필요하며, 최대 2%(건물중 기준)를 초과하지 않아야 한다¹⁶⁾.

3.2. FWP와 OF 혼합물의 이화학적 특성

FWP의 유기질비료로서 사용가능성을 평가하기 위해 대조비료로 사용하는 유기질비료(혼합유박비료)와 혼합하였을 때, 이화학적 특성을 조사하였다 (Table 4). 처리구별 수분함량, 유기물함량, 질소함량, 인산함량, 칼리함량 및 염분함량은 각각 6.7~9.0%, 80.6~83.4%, 3.98~4.46%, 1.73~2.62, 1.23~1.34%, 0.63~2.16%의 범위로 조사되었다. FWP의 배합비율이 증가할수록 수분함량, 질소함량 및 인산함량은 감소하였고, 염분함량은 증가하였다. 유기질비료와 비교할 때, FWP는 수분함량, 질소함량 및 인산함량이 낮았고, 염분함량이 높았기 때문에 FWP의 배합비율이 증가할수록 FWP의 특성이 더 많이 나타나는 것으로 판단되었다(Table 1, Table 4). 유기질비료는 유기질비료의 원료와 배합비율에 따라 이화학적 특성이 다르게 나타나기 때문이다¹⁷⁾.

MFOs의 이화학적 특성을 바탕으로 유기질비료로서 적합성을 평가하여 FWP를 MFOs의 원료로 사용

Table 4. The Physicochemical Properties of Mixture of FWP and OF

Treatments ¹⁾	W.C.	O.M.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NaCl ²⁾
	(%)					
10%	9.0	80.6	4.46	2.62	1.25	0.63
20%	8.8	81.1	4.39	2.45	1.23	0.75
30%	8.4	82.0	4.31	2.27	1.29	0.96
40%	7.8	82.2	4.10	2.19	1.31	1.31
50%	6.8	83.4	4.09	2.11	1.33	1.32
60%	7.2	81.8	4.03	2.06	1.25	1.54
70%	7.0	81.9	3.99	1.97	1.34	1.80
80%	7.1	82.0	4.00	1.84	1.28	1.93
90%	6.7	82.3	3.98	1.73	1.27	2.16
Correlation ²⁾ (n=17)	-0.912**	0.521	-0.932**	-0.988**	0.327	0.994**
Guideline ³⁾	-	60 over	Sum of N, P ₂ O ₅ and K ₂ O: 7 over			2 below

¹⁾In treatments, 10~90% mean blending ratios of FWP.

²⁾Correlation between ratio blending with PWF and each physicochemical property of organic fertilizer. * and ** represent a significance at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

³⁾Guideline qualified organic fertilizer (OF) from RDA represent that of mixed organic fertilizer.

한다고 가정하였을 때, 혼합유기질비료에는 약 80% 정도까지 사용이 가능한 것으로 조사되었다. FWP는 작물 생육에 필요한 양분들을 대표적인 식물성 유박인 아주까리유박과 유사하게 함유하고 있고¹⁸⁾ 유기질비료나 원료로 이용할 만한 가치가 있다고 사료되나 염분함량이 매우 높아 시비 시 토양의 염류집적과 작물생육불량이 나타날 수 있으므로¹⁹⁾ 현재 비료공정규격에서는 2% 이하의 염분을 함유한 FWP를 30% 이하로 혼합유기질비료와 유기복합비료에서 사용하도록 허용하고 있다. 비록 FWP의 사용이 유기질비료 제조 시 허용되었다고 하나 FWP를 MFOs의 원료로 사용하기 위해서는 이화학적 기준 뿐 아니라 FWP와 유기질비료의 혼합 후 작물재배시험을 통한 작물 생육 및 안전성에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다. 특히, 유기농업자재로 사용되는 유기질비료에서는 FWP를 사용하는 것이 허용되지 않고 있으므로 이를 구분하기 위한 연구도 이뤄져야 할 것으로 판단된다. 그 과정에서 본 연구에서 제시된 FWP의 혼합비율별 염분함량의 변화에 대한 다양한 요인들을 보완한다면 유기농업자재로 사용되는 유기질비료 내 FWP의 혼합비율을 예측하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

3.3. FWP와 OF 혼합물 처리 후 작물 생육

FWP와 OF가 혼합된 MFOs에서 작물별 사용가능성을 평가하기 위해 MFOs를 상추와 배추에 시비하였을 때, 작물별 생육 특성을 조사하였다(Table 5).

상추에서 무처리구(NF)와 비교할 때, 대조구와 FWP처리구의 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중, 건물중은 NF보다 증가하였다. 대조구와 FWP처리구를 비교할 때, 상추의 엽장과 엽폭은 10~50%의 FWP 배합 처리구에서, 생물중과 건물중은 10~30%의 FWP를 배합 처리구에서 대조구와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 배추에서 무처리구(NF)와 비교할 때, 대조구와 FWP처리구의 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중, 건물중은 NF보다 증가하였다. 대조구와 FWP처리구를 비교할 때, 배추의 엽장, 엽폭 및 생물중은 10~60%의 FWP 배합 처리구에서, 건물중은 10% FWP를 배합 처리구에서 대조구와 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 대조구의 건물중으로

작물의 생육을 비교할 때 상추는 10~30% FWP의 배합이 가능하고, 배추는 10%의 FWP 배합이 가능하여 작물별 차이를 나타내었으며, 이는 상추와 배추의 염분에 대한 생육반응이 다르게 나타난 것은 상추와 배추의 권장시비량에 기인하고, 작물별 내염성 정도에 따라 다른 것으로 추정된다. 현재 염분이 2% 이하의 FWP를 사용하는 경우 최대 30%까지 유기질비료의 원료로 사용이 가능하지만 작물별 생육이 다른 점을 고려할 때, 작물별 FWP가 혼합된 유기질비료의 생육반응은 다르게 나타날 것으로 판단된다. 시험 종료 후 토양분석결과는 이전 시험과 마찬가지로 처리구별 통계적인 유의차는 나타나지 않았으며(자료는 제시하지 않음), 포트(4 inch 육묘용 포트) 내에 지속적으로 관수가 이뤄지면서 용탈되어 유의차를 나타내지 않은 것으로 판단된다.

FWP의 배합비율이 증가할수록 상추와 배추의 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중과 같은 작물의 생육지수들은 감소하였고, 이는 FWP에 함유된 염분에 의해 식물의 생리장해가 발생하는 것으로 보인다. 염분은 식물의 발근을 억제하여 뿌리생육을 불량하게 함으로써 작물의 지상부 생육을 억제하는 것으로 알려져 있다⁷⁾. 또한, 염분에 노출된 식물은 역삼투 현상이 발생하여 수분포텐셜이 낮아지면서 수분이 외부로 방출되고, 수분부족에 의해 장해가 발생하는데, 식물은 이에 대한 방어기작으로 아미노산 중 proline을 생성하거나 호르몬 중 ABA (abscisic acid)를 생성하여 식물체 내의 수분포텐셜을 조절하는 것으로 보고된 바 있다²⁰⁻²²⁾. 비록 식물체 내에서 이러한 생리활성 물질들이 분비되어 작물의 생육을 유지한다 하더라도 과량의 염분이 존재한다면 작물의 생육과 생산량은 감소하게 된다(Table 3). 본 연구에서 대조구와 비교할 때, FWP와 OF 혼합물(MFOs)에서 유기질비료로 활용 가능한 FWP의 적정비율은 약 10~30%로 추정되었다. 다만 작물재배의 경우 한 곳에서 지속적으로 이뤄지는 점을 고려한다면, FWP의 연용에 의해 토양 중 치환성 나트륨의 축적이 발생하고, 이는 다시 재배지의 염류집적으로 이어질 수 있으므로 FWP를 유기질비료의 원료로 이용하기 위해서는 연용에 대한 작물생육 및 환경에 미치는 영향에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

Table 5. The Growth of Lettuce and Chinese Cabbage After Treating MFOs

Treatments ¹⁾	Chlorophyll	No. of leaves	Leaf length	Leaf width	Fresh weight	Dry weight
	(mg/100cm ²)	(ea/plant)	(cm)		(g/plant)	
Lettuce						
NF	2.75a ²⁾	13.5d	12.7g	7.0g	16.4h	1.38f
C	3.07a	20.5ab	18.6abc	12.5ab	66.8b	3.69a
10%	3.02a	21.5a	19.1a	12.7a	74.8a	3.75a
20%	2.90a	20.3ab	18.9ab	12.6ab	67.7b	3.44abc
30%	2.91a	19.3ab	19.3a	12.8a	66.3b	3.56ab
40%	2.93a	19.3ab	18.2bcd	12.2abc	56.3bc	3.23bc
50%	2.93a	20.2ab	17.9cd	12.0bc	56.4c	3.39abc
60%	3.02a	18.8b	17.3d	11.8c	51.2d	3.12cd
70%	2.99a	19.2b	15.7e	10.8d	41.9e	2.87de
80%	3.05a	18.5bc	15.1ef	10.2e	37.5f	2.75e
90%	2.78a	16.7c	14.7f	9.3f	31.3b	2.66e
Correlation ³⁾ (n=26)	-0.160	-0.672**	-0.884**	-0.873**	-0.947**	-0.876**
Chinese cabbage						
NF	2.73d	16.2f	9.9e	5.4d	12.7e	1.72g
C	3.59ab	26.2a	17.9a	9.7a	65.7a	5.41a
10%	3.63a	24.2bc	17.9a	9.7a	64.2a	5.11ab
20%	3.25abc	24.8ab	17.9a	9.6a	61.4ab	4.57cd
30%	3.29abc	23.8bcd	17.6a	9.5a	60.0ab	4.29d
40%	3.16c	23.5bcd	17.7a	9.5a	59.1ab	4.37d
50%	3.35abc	22.3cde	17.2ab	9.2ab	52.5bc	4.22d
60%	3.37abc	23.0bcde	17.1ab	9.1ab	56.8ab	4.87bc
70%	3.20bc	22.2de	16.2b	8.7b	46.0c	3.66e
80%	3.53abc	21.2e	14.8c	7.7c	36.5d	2.97f
90%	3.29abc	22.3cde	13.4d	7.5c	32.4d	2.88f
Correlation (n=26)	-0.235	-0.777**	-0.798**	-0.846**	-0.859**	-0.855**

¹⁾Treatments were as follows. NF: no fertilizer; C: control, organic fertilizer (OF), 500 kg/10a; 10~90%: MFOs 500 kg/10a. MFOs represent mixtures of OF and FWP, and 10~90% means blending ratio of FWP in the MGOs.

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

³⁾Correlation between blending ratio of FWP in the MFOs and each investigated growth factor of two vegetables. * and ** represent a significance at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

4. 결론

음식물류 폐기물 건조분말(FWP)이 유기질비료 (OF) 및 그 원료로서 적정성을 평가하기 위해 1) 음식물류 폐기물 건조분말의 작물 생육 효과, 2) 음식물류 폐기물 건조분말과 유기질비료 혼합 시 이화학적 특성, 그리고 3) 이 혼합물의 처리 시 작물 생

육 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. FWP는 약 3% 이상의 NaCl을 함유하고 있었고, 이를 상추와 배추에 처리 시 작물의 엽수, 엽장, 엽폭, 생물중 및 건물중에서 대조구보다 감소하였으며, 이는 염분에 의한 피해로 판단되었다.
2. FWP와 OF의 혼합물에 대한 이화학적 분석에서 음식물류 폐기물 건조분말의 배합비율이 증

가할수록 질소함량과 인산함량은 감소하였고, 염분함량은 증가하였다.

3. FWP와 OF의 혼합물을 상추와 배추에 유기질 비료로 처리한 후 건물중을 기준으로 작물의 생육을 평가할 때, 상추에서는 FWP 10~30% 범위에서, 배추는 FWP 10% 범위에서 유기질비료처리구(대조구)와 유사한 생육을 나타내었다.

이 결과들을 종합할 때, FWP는 작물에서 생육 장애를 나타내어 유기질비료로 사용이 어려우며, 유기질비료의 원료로 사용하고자 하는 경우에는 FWP의 함유량 별 이화학적 특성 및 작물의 생육 정도를 평가하여 제한적인 범위에서 사용이 가능하였다. FWP를 유기질비료의 원료로 사용하는데 가장 제한적인 요인은 염분(NaCl)함량으로 FWP의 제조과정에서 염분을 제거하는 제염의 공정이 필요한 것으로 판단되었다. 또한, FWP를 유기질비료의 원료로 이용하기에 앞서 FWP의 시비 및 연용에 따른 토양 중 염류의 변화 및 작물 생육에 관한 연구와 검토가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

This research was supported by the academic research fund of Chungnam National University.

References

1. Yoon, S. P., "Effect of shifts in food waste policy on the municipal solid waste composition", *J. of KORRA*, 16(1), pp. 39~45. (2008).
2. Shin, H. S., Kim H. W. and Kang, S. T., "Degradation characteristics in anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste", *MARS, J. Org. Res. Recycling Assici.*, 10(1), pp. 96~101. (2002).
3. Kim, Y. S., Lee, T. S., An, J. Y., Song, H.Y., Chung, Y. B. and Cho, S. H., "Characteristics of composting of castor oil cake mixed with waste from Kimchi factory and its influence on lettuce growth", *J. of KORRA*, 25(2), pp. 49~57. (2017).
4. Oh, J. and Lee, H., "Experimental evaluation and resident's assessment of zero food system in multi-family housing estates", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 37(12), pp. 674~681. (2015).
5. Lee, S. W., Ham, S. N., Shin, T. S., Kim, H. K., Yeon, I. J. and Kim, K. Y., "Resource of food waste using indigenous bacteria isolated from solids", *J. of KSEE*, 31(1), 35~41. (2009).
6. So, K. H., Seong, K. S. and Hong, S. G., "Physicochemical changes of food waste slurry co-fermented with pig manure slurry", *Kor. J. Soil Sci. Fert.*, 40(4), pp. 242~248. (2014).
7. Phae, C. G., Chu, Y. S. and Park, J. S., "Investigation of affect on composting process and plant growth of salt concentration in food waste", *J. of KOWREC*, 10(4), pp. 103~111. (2002).
8. Kim, J. J., Kang, S. S., Kim, K. I. and Hong, S. D., "Relationship among chemical properties of soils with deferent texture taken from plastic film house of Chungbuk area", *Kor. J. Soil Sci. Fert.*, 39(3), pp. 144~150. (2006).
9. Han, D. H. and Park, S. J., "A study on compost of food waste by salt minimization", *J. Kor. Academia-Industrial Cooper. Soc.*, 5(2), pp. 118~122. (2004).
10. Huh, H. and Han, J. Y., "A basic experimental study on composting of garbage wastes by coconut peat", *J. of KOWREC*, 7(2), pp. 105~111. (1999).
11. Seong, C. Y., Yoon, C. H. and Seo, G. T., "Effect of food waste mixing on hydrogen gas production in anaerobic digestion of brown water from urine diversion toilet", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 36(12), pp. 865~872. (2014).
12. Kim, S. B., Choi, H. G., Kim, Q. Y., Lee, S. K., Song, Y. I. and Kim, H. J., "A study on the possibility of reuse foodwaste ferment as a bulking agent in livestock waste composting", *J. of KORRA*, 12(1), pp. 58~66. (2004).
13. Choi, Y. C., Park, K. H., Lee, Y., Moon, S. K. and Choi, H., "Effect of analysis of compost dreived

- by black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) using plant growth analysis method”, *J. Seric Entomol. Sci.*, pp. 107~113. (2013).
14. Kim, Y. S., Lee, S. B., Ham, S. K., Lim, H. J. and Choi, Y. C., “Soil physicochemical properties by applied with mixed ratio soldier fly (*Hermetia illucens*) cast”, *Kor. Turfgrass Sci.*, 25(1), pp. 116~111. (2011).
 15. NIAST, “The methods of analysis and sampling for fertilizer”, RDA. (1998).
 16. Yang, J. S., Lee, I. B., Kim, K. D., Cho, K. R. and Lee, S. E., “Effect of sodium chloride containing-composts on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and chemical properties of salt accumulated plastic film house soils”, *Kor. J. Soil Sci. Fert.*, 31(3), pp. 277~284. (1998).
 17. 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 vegetables”, *J. of KORRA*, 25(3), pp. 45~54. (2017).
 18. Kim, Y. S., Lee, T. S., An, J. Y., Song, H. Y., Jung, Y. B. and Cho, S. H., “Characteristics of composting of castor oil cake mixed with waste from Kimchi factory and its influence on lettuce growth”, *J. of KORRA*, 25(2), pp. 49~57. (2017).
 19. Shin, S. I., Lee, S. G. and Kang, B. H., “Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. II. Responses of emergence and early growth of several crop species to saline stress”, *Kor. J. Environ. Agric.*, 17(2), 122~126. (1998).
 20. Binzel, M. L., Hasegawa, P. M., Handa, A. K., Bressan, R. A., “Adaptation of tobacco cells to NaCl”, *Plant Physiol.*, 79, pp. 118~125. (1985).
 21. Min, K. S., Hwang, T. E., “Phytohormones responses to NaCl treatment in rice seedling”. *Kor. J. Crop Sci.*, 42(1), pp. 42~48. (1997).
 22. Nam, Y. K., Baik, J. A., Chiang, M. H., “Effects of different NaCl concentrations on the growth of *Suaeda asparagoides*, *Suaeda maritima*, and *Salicornia herbacea*”, *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 40(5), pp. 349~353. (2007).