

Short-term Effects of Food Waste Compost on Soil Properties and Chinese Cabbage Growth in Upland Soil

Seong Heon Kim¹, Jaehong Shim¹, Seong Jin Park¹, Hyun Young Hwang^{2*}, and Chang Hoon Lee^{3*}

¹Researcher, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Post-doctoral Fellow, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

³Professor, Department of Fruit Science, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

*Corresponding author: Hyun Young Hwang, hyunyoung1203@gmail.com

*Co-corresponding author: Chang Hoon Lee, chlee915@korea.kr

ABSTRACT

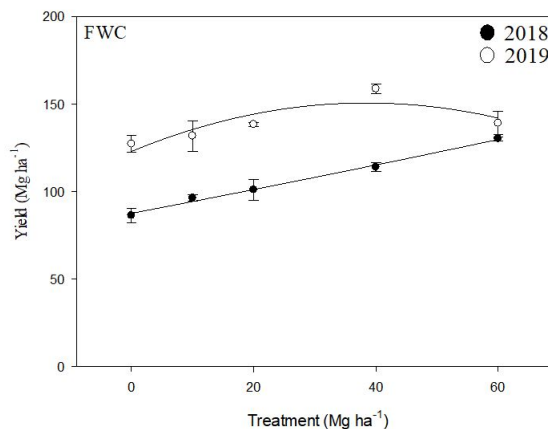
Received: November 4, 2020

Revised: December 4, 2020

Accepted: December 7, 2020

More than 5 million tons of food waste (FW) has been annually produced in Korea. Approximately 40% of FW is recycled through composting process. The aim of this study was to investigate the potential of using food waste compost (FWC) as a nutrient source and a soil amendment for Chinese cabbage cultivation. This study was carried out 1) to test effect of FWC application rates (0, 20, 40, and 60 Mg ha⁻¹) on crop yield and soil property for two years and 2) to present a regression equation for predicting the yield from soil EC value under FWC application condition. The result showed that 40 Mg ha⁻¹ or more decreased yield; however, pH, EC, total nitrogen, organic matter, available P₂O₅ and exchangeable sodium percentage (ESP) were increased with application rates of FWC. As a result of confirming the correlation between soil characteristics and yield, EC showed the highest correlation with other factors. Therefore, the regression equation between yield and EC was determined as the equation ($y = \log(x) \times 5.2 + 122.3$), and the soil EC value could be used as an indicator to predict the yield of Chinese cabbage under FWC application.

Keywords: EC, Optimum application rate, Yield



Yield of Chinese cabbage according to application level of food waste compost during 2 years.



Introduction

우리나라의 국가 소득이 증대됨에 따라 음식물쓰레기 발생량 또한 증가하고 있는 추세이며, 연간 발생량은 500만 톤 이상으로 알려져 있다 (Ministry of Environmental, 2017). 음식물쓰레기의 처리방법에는 매립, 소각, 해양 투기, 자원화 등이 있으나 음식물쓰레기는 원료의 특성상 수분함량이 80%이상으로 높아 소각처리가 어려우며 매립은 부지확보뿐만 아니라 토양 및 지하수 오염과 같은 2차오염문제를 야기한다 (Phae et al., 2002). 또한 해양투기는 2013년 부터 전면 금지되어 불가능한 상황이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 가장 적합한 방법으로 대두되고 있는 것이 자원화 방법으로, 자원화 방법에는 호기성 퇴비화, 혐기성 퇴비화, 건식 사료화, 습식 사료화 등으로 구분되며, 그 중 음식물쓰레기 처리에 경제적 및 기술적으로 가장 우수한 것은 호기성 퇴비화 방법으로 알려져 있다 (Kwon et al., 2009; Ayilara et al., 2020). 이러한 퇴비를 농경지에 사용할 경우 토양의 전용적밀도, 보수력 등과 같은 토양의 물리성이 개선된다고 알려져 있다 (Lee et al., 2009).

퇴비화 과정을 통해 제조된 음식물쓰레기 퇴비는 N, P₂O₅ 및 K₂O의 평균 함량이 각각 4, 2 및 1%수준으로 양분의 함량이 높아 작물 생육 및 생산량 증대에 효과적이라고 알려져 있으며 (Lee et al., 2016), 벼 및 고추 재배에 사용한 결과 일반 퇴비를 사용한 처리구와 동일한 작물의 생산성을 보였으며 (Lee et al., 2019), 토양의 전용적밀도는 향상된다고 보고하였다 (Kwon et al., 2009). 반면에 음식물쓰레기 퇴비의 가장 큰 문제점은 염분이고, 이러한 염분이 음식물쓰레기의 퇴비화 과정에서 부숙을 지연시킴으로 퇴비의 미부숙을 유발하며 (Juteau, 2006), 사용했을 경우 토양의 EC를 증가시켜 토양 염류집적의 원인이 된다는 선행연구도 있다 (Lee et al., 2019). 또한 염분으로 인해 토양의 삼투 포텐셜을 높여 작물의 수분흡수를 저해하며 작물의 생산성을 감소시키며, 토양입단을 교란하여 근권 생육 저해, 배수불량 및 환원장애를 발생시킬 수 있다는 연구결과도 있다 (Hayward and Wadleigh, 1949; Shannon, 1997). 선행연구의 결과가 다양한 이유는 다양한 조건에서 단기간 수행한 실험이 대부분이기 때문이라 판단되며 음식물쓰레기 퇴비를 사용하여 동일 작물을 연용하여 음식물쓰레기 퇴비의 작물 및 토양에 대한 평가 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 음식물쓰레기 퇴비를 연용하여 배추를 재배하였을 때 배추의 생육 및 토양 특성변화를 조사하고 이를 통해 음식물쓰레기 퇴비 사용이 작물과 토양에 미치는 영향에 대해 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

포장시험 본 시험에 사용된 퇴비는 업체에서 생산되고 있는 음식물쓰레기퇴비 (Table 1)을 사용하였으며, 포장시

Table 1. Chemical characteristics of food waste compost (FWC).

	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
	----- % -----						
FWC	40.2	4.9	2.4	1.5	5.4	1.9	1.6

FWC: food waste compost.

Table 2. Chemical characteristics of soil used.

pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Ex.			Inor. N	
				K	Ca	Mg	NO ₃ -N	NH ₄ -N
1:5 H ₂ O	ds m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----	
5.9	0.1	7.0	95	0.1	2.9	0.5	12.0	18.9

험은 국립농업과학원 원내포장에서 실시하였으며 공시토양의 화학적 특성은 Table 2와 같다.

본 시험의 처리구는 퇴비 사용 수준별로 0, 10, 20, 40 및 60 Mg ha⁻¹로 총 5수준으로 구성하였다. 퇴비는 배추 정식 4주전에 사용하였으며, 무기질 비료는 N-P₂O₅-K₂O = 320-78-198 kg ha⁻¹을 요소, 용성인비, 염화가리를 사용하여 기비로 110-78-110 kg ha⁻¹, 추비로 210-0-88 kg ha⁻¹를 2회 분시하였다. 처리구의 배치법은 완전임의배치법으로 3반복하여 진행하였으며, 동일한 처리방법으로 2년간 연용시험을 수행하였다.

생육특성조사 및 시료 분석 배추는 70일간 재배 후 수확하였으며, 생육특성 조사를 위해 엽폭 및 엽장, 생체중을 조사하였다. 토양 시료는 풍건 조건에서 건조하고 2 mm체에 걸러 시료를 조제하였다. 토양 분석은 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 실시하였으며, 토양 pH 및 EC는 풍건 조건에서 건조한 시료와 증류수를 1:5 (w/v) 비율로 30분 교반하여 pH meter (Orion star A121) 및 EC meter (Orion star A121)로 각각 측정하였다. 토양의 전탄소 (TC) 및 전질소 (TN) 분석은 전처리한 시료 10g을 원소분석기 (Vario Max, Elementar)를 통해 정량하였다. NH₄-N 및 NO₃-N 함량은 2M KCl을 이용해 전처리한 시료를 질소자동분석기 (Bran-Luebbe, AutoAnalyzer)로 정량하였다.

통계분석 모든 데이터는 SPSS statistics 26을 활용하여 ANOVA 분석을 실시하였고, 각 처리간에 평균비교는 유의수준 5%로 Duncan 분석하였다. 또한 음식물쓰레기 퇴비 사용에 따른 작물수량 반응을 예측하기 위해 유의수준 5%로 회귀분석을 하였다.

Results and Discussion

배추의 생육특성 음식물쓰레기 퇴비의 사용수준에 따른 배추의 생산량 및 생육특성은 Fig. 1 및 Table 3과 같다. 재배 첫 해에는 음식물쓰레기 퇴비의 사용량이 증가함에 따라 생산량도 증가하는 경향이었으나 2차년에는 40 Mg ha⁻¹ 이상부터 생산량이 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 퇴비를 과량 사용할 경우 퇴비에 포함된 질산태 질소와 같은 염류가 토양에 집적되고 이를 통해 작물의 뿌리 생육 장애 (Hwang et al., 2002; Kim et al., 2020), 토양입단

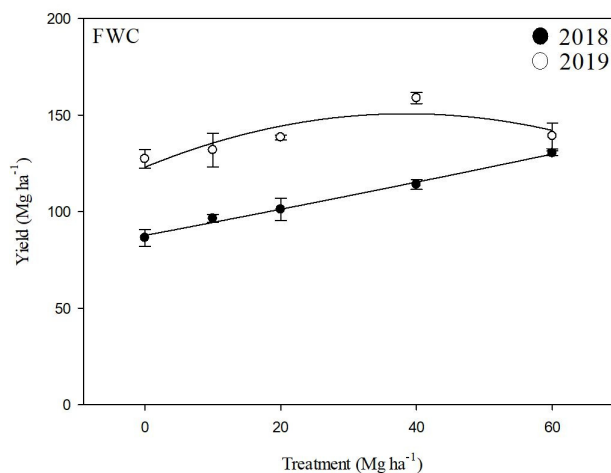


Fig. 1. Yield of Chinese cabbage according to application level of food waste compost during 2 years.

Table 3. Growth characteristics of Chinese cabbage according to application level of food waste compost during 2 years.

Treatment		Fresh weight	Width	Height	SPAD
		kg plant ⁻¹	----- cm -----		
1st year	0	2.1bc	18.4b	32.0a	42.1a
	10	2.8b	19.7a	34.8a	43.5a
	20	2.4b	19.1ab	34.7a	41.5a
	40	2.7b	19.8a	35.4a	42.1a
	60	4.1a	21.1a	34.2a	41.7a
2nd year	0	2.5ab	16.6ab	31.7a	43.5a
	10	3.1a	18.2a	33.1a	45.0a
	20	2.7ab	18.2a	30.2a	40.9a
	40	3.1a	18.4a	31.2a	40.1a
	60	2.9a	18.1a	31.2a	41.7a
Probability (p-value)					
Year (A)		0.273	<0.001	<0.001	0.967
Treatment (B)		<0.001	<0.001	0.003	0.002
A × B		<0.001	0.004	0.005	0.147

NPK: Inorganic fertilizer, FWC: food waste compost. Different letters within the same column indicate significant differences, as determined by tukey's test with $p < 0.05$ within the same year.

교란, 배수불량 및 환원장애 (Hayward and Wadleigh, 1949; Shannon, 1997)를 초래하여 작물의 생육을 저해시킨다고 알려져 있다. 그러나 재배 첫 해에는 시험포장의 비옥도가 낮았으며 이로 인해 양분의 유효도가 낮아 사용량이 증가할수록 생산량 또한 증가하였다고 판단된다.

수확 후 배추의 생육특성은 Table 3에서 보는 바와 같이 1차년에는 생체중이 사용량이 증가할수록 높아졌으며, 60 Mg ha⁻¹ 처리구에서 4.1 kg plant⁻¹로 가장 높았다. 반면 2차년에는 40 Mg ha⁻¹ 처리구 (3.1 kg plant⁻¹) 이후 60 Mg ha⁻¹ 처리구에서 생체중이 2.9 kg plant⁻¹로 줄어드는 경향이였다. 엽장과 엽폭에서도 유사한 경향이였으며, SPAD는 처리구간에 유의적인 차이는 없었다. Park et al. (2001)의 선행연구에서 보인 결과와 같이 토양에 퇴비를 과다하게 사용하였을 경우 염류나 양분이 과다하게 공급 및 축적이 되어 작물의 생장 초기에 생육 상황에 영향을 주지만 생육 후반기에 갈수록 그 차이가 서서히 감소하기 때문에 최종 생육에는 그 차이가 줄어든다고 보고하고 있으나 (Park et al., 2001; Kim et al., 2018), Lee et al. (2016)에 따르면 토양의 ESP가 1.9%일 때 벼와 고추의 최종 수확기 생산량이 줄어들었다고 보고 하였다. 본 연구 또한 2차년도에 ESP 수치가 1.9%이상인 40 Mg ha⁻¹ 처리구부터 감소하는 것을 확인하였다. 이로써 퇴비를 과다사용으로 인해 토양의 염분함량이 높아지게 되면 작물 생육이 초기뿐만 아니라 수확기에도 작물의 생육 저하에 영향을 줄 수 있는 것으로 확인하였다.

음식물쓰레기 퇴비 사용 후 토양 특성 변화 음식물쓰레기 퇴비를 2년간 연용 후 토양의 특성 변화는 Table 4와 같다. 음식물쓰레기 퇴비 사용 연도에 따른 토양특성변화는 없었으나, 음식물쓰레기 퇴비의 사용량 증가에 따라서 토양의 pH, EC, TN, 유효인산, OM 및 ESP가 유의적으로 증가하는 것을 확인하였다. Yu et al. (2001)에 따르면 음식물쓰레기 퇴비의 pH가 타 퇴비에 비해 높고, 토양에 유기물이 공급됨에 따라 음식물쓰레기 퇴비를 토양에 사용시 pH

Table 4. Variation of soil chemical properties during 2 years on different application level of food waste compost after harvesting.

Treatment		pH	EC	TN	Av.P ₂ O ₅	OM	ESP
		1:5	dS m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	%
1st year	0	6.68	1.4	0.09	232	15.7	0.5
	10	6.61	1.6	0.09	219	16.6	0.6
	20	6.70	2.7	0.08	217	16.2	0.8
	40	6.76	2.8	0.13	260	23.4	1.3
	60	6.77	3.9	0.13	263	22.0	1.4
2nd year	0	5.89	2.2	0.14	240	16.5	0.6
	10	5.62	2.3	0.14	338	18.0	1.3
	20	6.17	3.4	0.12	338	20.4	1.6
	40	6.17	4.6	0.13	386	23.7	2.2
	60	6.13	5.4	0.19	410	25.2	3.0
Probability (p-value)							
Year (A)		0.002	0.002	0.006	0.002	0.277	0.003
Treatment (B)		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
A × B		0.029	0.001	0.017	<0.001	0.045	<0.001

NPK: Inorganic fertilizer, FWC: food waste compost. EC: electronic conductivity, OM: organic matter, ESP: exchangeable sodium percentage, TN: total nitrogen, Different letters within the same column indicate significant differences, as determined by tukey's test with $p < 0.05$ within the same year.

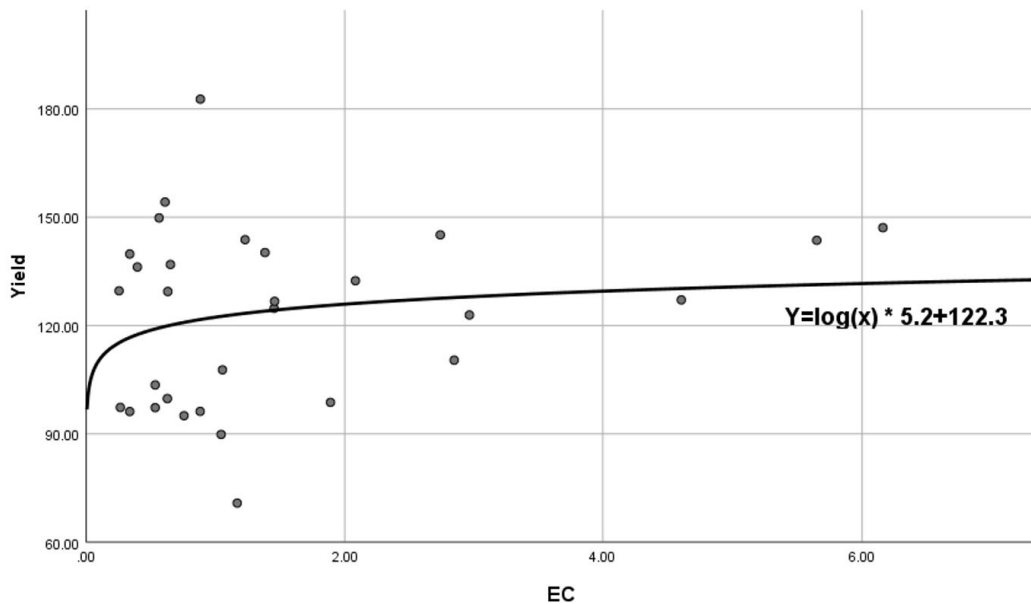
가 증가한다고 보고하고 있다. EC는 퇴비의 염류 함량으로 인해 토양 EC가 증가하며 (Yoo et al., 2018; Kim et al., 2019; Lee et al., 2019) 사용량이 증가할수록 비례하여 증가한다고 알려져 있다 (Hwang et al., 2002). 토양의 유기물 함량은 무기질비료에 비해 퇴비사용이 유기물 공급효과가 뚜렷하다고 알려져 있으며 음식물쓰레기 퇴비 또한 마찬가지로 공급효과가 높은 것으로 확인되었다 (Kwon et al., 2009). 본 시험에서 유효인산 함량 증가는 연용에 의한 축적으로 판단되며, 장기간 퇴비를 과다하게 사용할 경우 인의 축적으로 인한 작물 생육저하 및 환경오염에 대한 유발 가능성이 있을 것으로 사료된다 (Yoo et al., 2018). 또한 Yoo et al. (2018)에 따르면 음식물쓰레기 퇴비의 사용이 토양의 K, Mg, Na가 증가한다는 보고가 있으며 본 시험의 ESP수치의 증가 또한 음식물쓰레기퇴비에 포함되어있는 Na로 인해 토양의 Na이 증가했기 때문인 것으로 판단된다.

음식물쓰레기 퇴비와 배추 생산량과 토양 특성과의 상관관계 음식물쓰레기퇴비 사용시 배추의 생산량과 토양특성과의 상관관계에 대해 확인하였다 (Table 5). pH 및 OM을 제외한 토양 특성 (pH, EC, TN, P₂O₅, ESP)은 생산량과 정의 상관관계를 보였으며, EC가 다른 항목과의 정의 상관관계가 가장 높았다. 이를 통해 음식물쓰레기 퇴비 사용 후 토양 EC의 결과값을 통해 배추의 생산량을 예측할 수 있을 것이라고 판단하였다. 이에 토양 EC와 생산량 사이의 회귀식을 산정하였다 (Fig. 2). 아래 보는 바와 같이 $y = \log(x) \times 5.2 + 122.3$ 이라는 회귀식이 도출되었으며 이를 통해 음식물쓰레기 퇴비 사용 후 토양의 EC값으로 배추의 생산량을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 이는 2년간의 실험으로 도출한 결과로 추후 장기간 및 다양한 조건에 따른 실험을 통해 보다 정밀하고 정확한 회귀식 산출이 필요할 것으로 판단된다.

Table 5. Correlation coefficients between yield and Soil property, significant at 0.05 significance level.

	Yield	pH	EC	TN	P ₂ O ₅	OM	ESP
Yield	1						
pH	-0.567	1					
EC	0.749***	-0.128	1				
TN	0.648***	-0.527	0.690***	1			
P ₂ O ₅	0.820***	-0.482	0.809***	0.711***	1		
OM	0.549	0.016	0.837***	0.668***	0.662***	1	
ESP	0.756***	-0.224	0.923***	0.692***	0.934***	0.770***	1

EC: electronic conductivity, OM: organic matter, ESP: exchangeable sodium percentage, TN: total nitrogen, ***: correlation is significant at the level 0.001.

**Fig. 2.** Regression equation of yield and EC in Chinese cabbage cultivation by using FWC.

Conclusion

본 실험은 음식물쓰레기 퇴비의 연용 사용에 따른 배추의 생육 및 토양 특성의 변화를 확인하고 음식물쓰레기 퇴비의 안전사용방법을 제시하고자 하였다. 음식물쓰레기 사용 1차년에는 사용량이 증가할수록 배추의 생산량 또한 증가하였으나 연용시 40Mg ha⁻¹ 처리구에서 부터 생산량이 감소하는 경향이였다. 토양특성의 경우 음식물쓰레기 퇴비의 사용량이 증가할수록 pH, EC, TN, OM, 유효인산, ESP가 유의적으로 증가하는 경향이였으며, 특히 토양 EC의 경우 배추의 생산량과 상관관계가 가장 높았다. 이를 통해 배추의 생산량과 토양 EC간의 $y = \log(x) \times 5.2 + 122.3$ 이라는 회귀식이 도출되었으며, 본 식을 이용해 음식물쓰레기 퇴비 사용 후 토양의 EC로 작물의 생산량 예측이 가능할 것으로 생각되나 향후 장기간 연용시험을 통해 많은 데이터를 축적하여 회귀식의 정확도를 높여야 될 것이다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “PJ015293” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ayilara, M.S., O.S. Olanrewaju, O.O. Babalola, O. Odeyemi. 2020. Waste management through composting: Challenges and potentials. *Sustainability* 12:4456.
- Hayward, H. and C.H. Wadleigh. 1949. Plant growth on saline and alkali soils. *Adv. Agron.* 1:1-38.
- Hwang, K.S., Q.S. Ho, H.D. Kim, and J.H. Choi. 2002. Changes of electrical conductivity and nitrate nitrogen in soil applied with livestock manure. *Korean J. Environ. Agric.* 21(3):197-201.
- Juteau, P. 2006. Review of the use of aerobic thermophilic bioprocesses for the treatment of swine waste. *Livest Sci.* 120:187-196.
- Kim, M.S., S.J. Park, S.H. Kim, H.Y. Hwang, S.H. Ahn, D.W. Lee, and Y.H. Lee. 2019. Changes of soil chemical quality index of paddy soils by long-term application of soil amendments. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 52(4):334-344.
- Kim, S.C., B.G. Ko, S.J. Park, M.S. Kim, S.H. Kim, and C.H. Lee. 2018. Estimation of optimum organic fertilizer application under fertilizer recommendation system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 52(3):296-305.
- Kim, S.H., S.J. Park, J.H. Shim, H.B. Seo, J.E. Lim, Y.H. Lee, H.Y. Hwang, and M.S. Kim. 2020. Effects of different organic fertilizers and fertilization method on red pepper growth and soil chemical properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(2):110-117.
- Kwon, S.I., K.H. So, S.G. Hong, G.Y. Kim, J.T. Lee, K.S. Seong, K.W. Kim, D.H. Lee, and K.Y. Jung. 2009. The effect of continuous application of the food waste composts on the paddy field environment. *J. KORRA.* 17(3):55-70.
- Lee, C.H., B.G. Ko, M.S. Kim, S.J. Park, S.G. Yun, and T.K. Oh. 2016. Effect of food waste compost on crop productivity and soil chemical properties under rice and pepper cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(6):682-688.
- Lee, C.H., S.J. Park, H.Y. Hwang, M.S. Kim, H.I. Jung, D. Luyima, S.Y. Hong, T.K. Oh, and S.H. Kim. 2019. Effects of food waste compost on the shift of microbial community in water saturated and unsaturated soil condition. *Appl. Biol. Chem.* 2019:1-7.
- Lee, S.B., C.H. Lee, K.Y. Jung, K.D. Park, D.K. Lee, and P.J. Kim. 2009. Changes of soil organic carbon and its fraction in relation to soil physical properties in a long-term fertilized paddy. *Soil & Tillage Research.* 104:227-232.
- Ministry of Environment. 2017. 5th National Waste Statistics Survey. 11-1480000-001528-13.
- NIAS (national Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Method of soil and plant analysis. RDA. Suwon, Korea.
- Park, J.Y., K.C. Cho, H.K. Kim, Y.T. Chi, and S.J. Chung. 2001. Effects of food waste compost on seed germination and seedling growth of cucumber. *Agric Sci. and Technol.* 36:101-108.
- Phae, C.G., Y.S. Chu, and J.S. Park. 2002. Investigation of affect on composting process and plant growth of salt concentration in food waste. *J. KORRA.* 10(4):103-111.
- Shannon, M.C. 1997. Adaption of plants to salinity. *Adv. Agron.* 60:75-120.
- Yoo, J.H., Y.D. Lee, K.A. Hussein, and J.H. Joo. 2018. The effect of food waste compost on Chinese cabbage (*Brassica rapa* var. *glabra*) and tomato (*Solanum lycopersicu* L.) growth. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):596-607.