

## 음식물류폐기물 혼합 석회처리비료 사용량에 따른 배추(*Brassica rapa* L.) 수량 및 토양 화학성 평가

정영재<sup>1,§</sup> · 이상금<sup>2,§</sup> · 김성현<sup>3</sup> · 전상호<sup>3</sup> · 이윤혜<sup>4</sup> · 권순익<sup>4</sup> · 심재홍<sup>3,†</sup>

### Evaluation of the Effect of Different Application Ratios of Lime-treated Fertilizer Mixed with Food Waste on Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L.) Yield and Soil Chemical Properties

Young-Jae Jeong<sup>1,§</sup>, Sang-Geum Lee<sup>2,§</sup>, Seong-Heon Kim<sup>3</sup>, Sang-Ho Jeon<sup>3</sup>, Youn-Hae Lee<sup>4</sup>, Soon-Ik Kwon<sup>4</sup>, and Jae-Hong Shim<sup>3,†</sup>

**ABSTRACT** Lime-treated fertilizer (LTF) is manufactured using the lime stabilization method with food waste. LTF is effective in neutralizing acidic soil, improving nutrient and organic matter content in soil, and increasing crop productivity. However, excessive use of LTF in agricultural land can have undesirable effects, such as reduced crop growth and nutrient accumulation in soil. This study was evaluated the effect of different application ratios of LTF on the crop yield index (%), nutrient (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) uptake index (%), and soil chemical properties. The following treatments were applied: untreated (UT), NPK (NPK), NPK+calcium hydroxide (CH), and NPK+1-, 2-, 4-, and 8-times of LTF (LTF1, 2, 4, and 8). The yield index for LTF1 was the highest among different LTF treatments. Moreover the yield index for spring and winter cabbage in LTF1 treatment was 10% and 21% higher, respectively, than that in NPK treatment. The yield and nutrient indices were decreased with the increase in LTF application ratio. The soil pH and EC tended to increase with the increase in LTF ratio, and were the highest at 8.2 and 2.1, respectively, after cultivation for LTF8 ( $P<0.05$ ). With the increase in soil pH, the soil inorganic nitrogen (NH<sub>4</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N) and available phosphate (Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) levels were decreased ( $P<0.05$ ). Our results suggest that LTF1 (643 kg 10a<sup>-1</sup>) is an appropriate ratio for improving soil chemical properties and increasing crop yield.

**Keywords** : lime-treated fertilizer, nutrient uptake index, soil chemical properties, yield index of chinese cabbage

**우리나라** 토양은 약 70% 이상이 화강암, 화강편마암과 같은 산성암에서 유래된 토양으로 평균 pH가 5.7에서 5.8로 농경지 적정범위인 6.5보다 낮은 산성토양이다(Lee *et al.*, 2017). 산성토양은 작물 생육 시 필수 원소인 칼슘(Ca),

마그네슘(Mg), 칼륨(K) 등의 양분 유효도 감소, 토양 미생물 활성 감소 및 뿌리 성장 억제 등으로 인하여 작물 생육이 저해될 수 있다(Fageria & Baligar, 2008; Tolossa, 2019). 또한, 철(Fe), 구리(Cu), 아연(Zn) 등의 산화물의 용해도가

<sup>§</sup>These authors contributed equally to this work.

<sup>1)</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료과 박사과정 (Docotral Courses, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Republic of Korea)

<sup>2)</sup>충청북도 농업기술원 지방농촌지도사 (Instructor, Division of Extention Planning, Chungcheongbuk-do Agricultural Research & Extension Service, Cheongju 28130, Republic of Korea)

<sup>3)</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료과 농업연구사 (Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Republic of Korea)

<sup>4)</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료과 농업연구관 (Senior Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Republic of Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Jae-Hong Shim; (Phone) +82-63-238-2427; (E-mail) [jaysoil@korea.kr](mailto:jaysoil@korea.kr)

<Received 23 April, 2023; Revised 10 May, 2023; Accepted 10 May, 2023>

© 본 학회지의 저작권은 한국작물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.

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.

증가하여 강우 시 용탈이 일어나 토양 산성화 및 수계 오염 등 농업비점오염원의 원인이 될 수 있다(Driscoll *et al.*, 2003; Cho *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2017). 따라서, 작물 생육뿐만 아니라 양분 용탈로 인한 토양 및 수질 오염을 방지하기 위해서 토양 산도를 적정 수준으로 유지하는 것이 중요하다.

석회비료는 다량의 염기성 양이온(Ca, Mg 등)을 포함하고 있어 산성토양에 사용하였을 때 수소(H), 철(Fe), 알루미늄(Al) 등의 이온을 대체하는 강한 산 중화 능력이 있다(Anetor & Ezekiel 2006; Tolossa, 2019). 이와 같이 농경지에 석회비료를 사용하였을 때 산성토양 pH 개량 효과가 있으며, 미량원소(Mo, B 등) 활성도 증가, 토양 용적 밀도 감소 등 토양 개량제로서의 장점이 있다(Nekesa *et al.*, 2005; Tolossa, 2019). 하지만 석회질비료는 작물 생육에 필수적인 질소(N), 인(P) 등의 양분이 부족하다는 단점이 있어 양분(N, P, K), 유기물 등을 다량 함유하고 있는 음식물류폐기물을 이용하는 방법이 대안으로 제시되고 있다.

음식물류폐기물 퇴비화 방법의 하나인 석회안정화공법은 생석회와 음식물류폐기물을 반응시켜 퇴비를 생산하는 방법이다. 이와 같은 퇴비화 과정에서 발생하는 고열은 1) pH 상승으로 인한 강알칼리성 퇴비 생산, 2) 악취 요인(질소, 황 등)의 분해 및 흡착, 3) 탈수 작용으로 인한 침출수 발생 억제 등의 효과를 가져온다(Shin *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2022). 이는 기존 음식물류폐기물 퇴비화 시 발생하는 침출수, 악취 등의 문제를 해결할 뿐만 아니라 다량의 양분과 유기물 등을 함유하고 있어 양분 공급능이 낮은 석회비료의 단점을 보완할 수 있다(Shin *et al.*, 2006). 따라서, 석회처리비료를 농경지에서 사용할 수 있도록 현재 농촌진흥청의 비료공정규격(RDA, 2022a)에 비료규격으로 제시하는 등의 활용방안이 제도적으로 마련되고 있다. 석회처리비료를 정량 이상 사용하였을 때 토양 양분 집적 및 농업환경 오염 등이 우려되고 있지만, 현재까지 석회처리비료 사용량에 따른 작물 생산성 및 토양환경 변화에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 음식물류폐기물을 혼합한 석회처리비료 사용량에 따른 배추 생산성 및 토양 화학성을 평가하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 노지 재배 시험

석회처리비료 연용 처리에 따른 작물 생육 및 토양 화학성 평가를 진행하기 위하여 밭 포장에서 봄-겨울 배추(춘광, *Brassica rapa* L.)의 연속재배 시험을 실시하였다. 본 연구

에서 활용한 포장은 전라북도 김제시에 위치한 밭 포장에서 진행하였으며, 시험 전 토양의 화학적 특성은 Table 1과 같다. 처리구는 무처리구(UT; Untreated), NPK 처리구(NPK), NPK+소석회 처리구(CH; Calcium hydroxide), NPK+석회처리비료 처리구(LTF; Lime-treated fertilizer)로 구성하였으며, 석회처리비료 처리구는 사용량에 따른 작물 재배 영향평가를 위하여 1, 2, 4 및 8배로 사용 수준을 달리하였다(Table 2). 본 연구의 비료 사용량은 작기 별 시험 전 토양 화학성 분석 후 농촌진흥청 작물별 비료사용처방(RDA, 2022b)에 준하여 설정하였다. 무기질 비료(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)는 31-14-3 kg 10a<sup>-1</sup>, 소석회는 석회소요량 1배 기준으로 10a 당 225 kg을 사용하였으며, 석회처리비료의 경우 석회소요량 1배 기준 643 kg 10a<sup>-1</sup>을 사용하였다(Table 2). 처리구는 임의배치하여 각 처리구 당 3 반복으로 설정하였으며, 본 연구에 사용한 소석회 및 석회처리비료의 화학적 성분은 Table 3과 같다.

### 배추 생육 조사 및 토양 화학성 분석

본 포장에 정식한 배추의 재식 거리는 너비 1 m, 간격 0.5 m 로 봄 배추(SC, Spring Cabbage)는 5월에 정식하여 7월에 수확하였으며, 겨울 배추(WC, Winter Cabbage)는 9월에 정식하여 11월에 수확하였다. 배추 생육 및 수량 조사는 작물 수확 시기에 실시하였으며, 엽장, 엽폭, 구고, 구폭, 엽색도(SPAD-502 Plus, Konica minolta Japan) 항목에 대하여 조사하였다. 이때, 석회처리비료 사용량이 작물 생산량에 주는 영향을 확인하기 위하여 석회처리비료 처리구 중 배추 생산량이 가장 높았던 LTF1을 대조구(100%)로 설정하여 배추 생산량 지수를 산정하였다(Eq. (1)).

Yield Index (%) =

$$\frac{\text{Yield of each treatment (kg 10a}^{-1}\text{)}}{\text{Yield of LTF1 treatment (kg 10a}^{-1}\text{)}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

수확 후 배추는 질소(N), 인(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 칼륨(K<sub>2</sub>O) 항목에 대하여 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석하였으며, NPK 처리구 대비 석회처리비료 사용량에 따른 식물체의 양분 흡수량을 비교하고자 하였다. 따라서, NPK 처리구를 대조구(100%)로 설정하여 처리구별 식물체 양분 흡수 지수를 산정하였다(Dobermann, 2007) (Eq. (2)).

Nutrient uptake Index (%) =

$$\frac{\text{Nutrient content (\%)} \times \text{Dry weight (kg 10a}^{-1}\text{)}}{\text{Amount of nutrient uptake in NPK treatment}} \quad (2)$$

**Table 1.** Chemical properties of the soil used.

pH	EC	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Ex. Cations			
						K	Ca	Mg	Na
1:5 H <sub>2</sub> O	ds m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	---mg kg <sup>-1</sup> ---		-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			
4.7	1.1	22.5	339.5	54.1	2.1	1.0	4.9	2.2	0.1

**Table 2.** Amount of inorganic fertilizer, calcium hydroxide, and lime-treated fertilizer applied for each treatment.

Treatments <sup>a</sup>	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O (kg 10a <sup>-1</sup> )	Calcium hydroxide (kg 10a <sup>-1</sup> )	Lime treated fertilizer (kg 10a <sup>-1</sup> )
UT	-	-	-
NPK			
CH		225	
LTF1			643
LTF2	31-14-3		1,286
LTF4		-	2,572
LTF8			5,144

<sup>a</sup>UT: untreated, NPK: inorganic fertilizer, CH: inorganic fertilizer with calcium hydroxide, LTF1: inorganic fertilizer with lime treated fertilizer, LTF2: inorganic fertilizer with two times of lime treated fertilizer, LTF4: inorganic fertilizer with four times of lime treated fertilizer, LTF8: inorganic fertilizer with eight times of lime treated fertilizer.

**Table 3.** Chemical characteristics of calcium hydroxide and lime-treated fertilizer used in this experiment.

	pH	EC	C	N	OM	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
	1:5 H <sub>2</sub> O	dS m <sup>-1</sup>	-----%-----							
CH	12.5	104.1	8.2	0.2	14.7	0.0	0.1	46.0	4.2	0.6
LTF	9.9	54.3	21.2	1.0	38.1	0.6	0.7	20.7	13.3	0.7

석회처리비료 사용에 따른 토양 화학성 특성 변화를 알아보기 위하여 비료 처리 전과 작기 별 배추 수확 후 토양 시료를 채취하였다. 채취한 토양 시료는 풍건하여 2 mm 체로 전처리하였으며, 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 따라 분석하였다. 토양 pH와 전기전도도 (EC, Electrical Conductivity)는 시료와 증류수를 1:5 비율로 진탕 후 pH meter (Orion 5 star, Thermo Scientific, USA)와 EC meter (Orion star A222, Thermo Scientific, USA)을 이용하여 측정하였으며, 유효인산(Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 Lancaster 법으로 분석하였다. 총질소(TN, Total Nitrogen)와 총탄소(TC, Total Carbon)는 원소분석기(Vario Max CN, Elementar Analysensysteme GmbH, German)로 분석하였으며, 토양 유기물(OM, Organic Matter) 함량은 총탄소함량(%)에 유기물 환산계수(1.724)를 곱하여 산정하였다. 토양 무기태질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 함량은 토양 시료를 2M KCl로 전처리 후 이온자동분석기(DE/QUAATRO, BRAN+LUEBBE GmbH, German)로 분석하였다. 교환성 양이온(CEC, Cation Exchange

Capacity)은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 유도결합 플라즈마 발광광도계(AU/CINTRA6, Gbc scientific Equipment Pty Ltd, Malaysia)를 이용하여 K, Ca, Mg, Na 함량을 분석하였다.

**통계분석**

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**

**석회처리비료 사용량에 따른 배추 생산 지수**

석회처리비료 사용량에 따른 배추 생육 조사 결과는 Table 4와 같다. 봄과 겨울 배추 생육 조사 결과 엽색도를 제외한 엽장, 엽폭, 구고, 구폭은 석회처리비료 사용량에 따른 차이가 없었다(*P*>0.05). 엽색도의 경우 봄과 겨울 배추

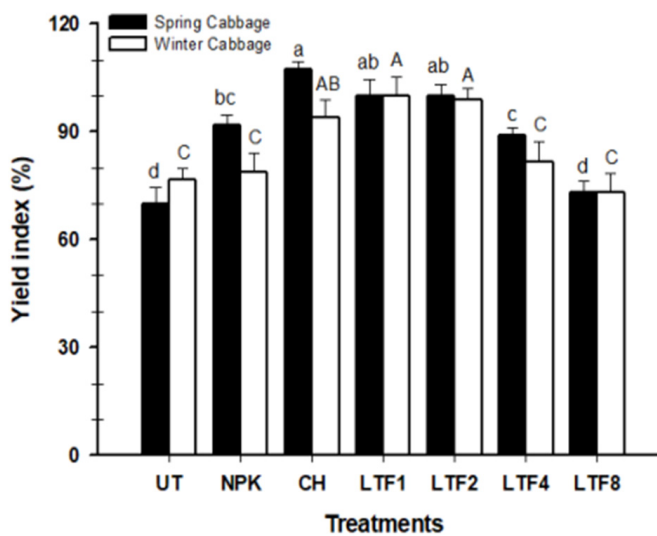
**Table 4.** Changes in growth characteristics of Chinese cabbage according to the application ratio of lime-treated fertilizer.

Treatments <sup>a</sup>	Leaf length (cm)		Leaf width (cm)		Height (cm)		Width (cm)		SPAD value	
	SC <sup>b</sup>	WC <sup>c</sup>	SC	WC	SC	WC	SC	WC	SC	WC
CT	39.9 (1.1)a	39.9 (0.5)abc	25.1 (1.2)a	31.2 (0.6)a	28.8 (0.6)a	41.0 (1.3)a	20.0 (0.5)a	20.3 (0.7)a	34.4 (2.3)d	47.2 (1.4)a
NPK	40.3 (0.8)a	42.2 (1.3)a	24.4 (0.9)a	33.0 (1.8)a	29.8 (1.6)a	40.0 (1.8)a	20.0 (0.8)a	20.6 (0.9)a	37.0 (0.8)cd	51.7 (1.5)a
CH	42.9 (0.7)a	41.0 (0.7)ab	24.2 (0.7)a	34.4 (0.9)a	29.3 (1.1)a	39.9 (2.6)a	20.6 (0.6)a	20.9 (0.6)a	41.7 (1.7)bc	47.8 (1.4)a
LFT1	39.9 (1.3)a	39.1 (1.2)bc	24.8 (0.6)a	32.8 (0.7)a	27.4 (1.0)a	38.8 (0.7)a	20.0 (0.7)a	19.4 (0.6)a	41.5 (1.8)bc	50.1 (2.2)a
LFT2	42.1 (0.7)a	39.4 (1.0)abc	21.9 (1.1)a	31.0 (1.2)a	28.3 (1.6)a	42.0 (1.0)a	19.7 (0.8)a	20.0 (0.5)a	48.4 (1.2)a	52.6 (2.6)a
LFT4	41.1 (0.4)a	36.9 (0.6)c	23.3 (0.8)a	30.6 (0.9)a	28.7 (1.0)a	43.0 (1.1)a	19.1 (0.7)a	21.0 (0.8)a	43.5 (1.6)b	49.7 (0.9)a
LFT8	39.9 (1.2)a	38.9 (0.5)bc	22.3 (0.8)a	30.6 (0.7)a	28.9 (1.0)a	51.6 (0.8)a	20.4 (0.8)a	20.3 (0.6)a	43.8 (1.4)b	51.6 (2.0)a

Values are the means (n = 9) with the standard deviation. Same letters indicate that the values are not significantly differed among the samples (Duncan's test,  $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup>UT: untreated, NPK: inorganic fertilizer, CH: inorganic fertilizer with calcium hydroxide, LTF1: inorganic fertilizer with lime treated fertilizer, LTF2: inorganic fertilizer with two times of lime treated fertilizer, LTF4: inorganic fertilizer with four times of lime treated fertilizer, LTF8: inorganic fertilizer with eight times of lime treated fertilizer..

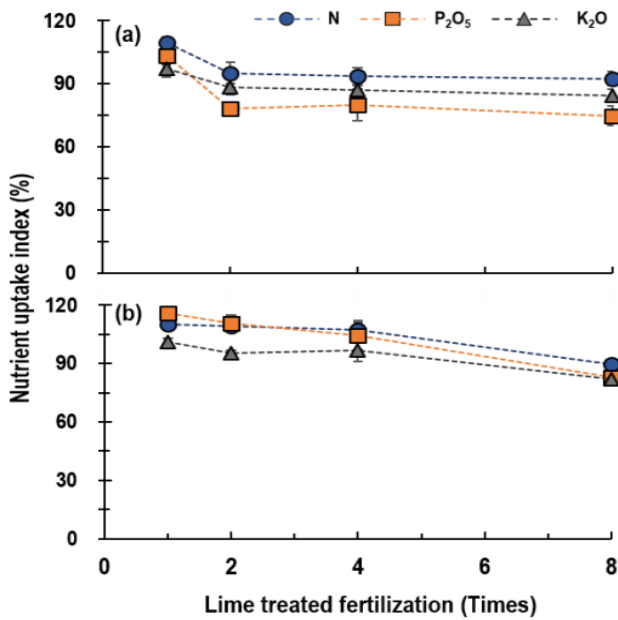
<sup>b</sup>SC: Spring Cabbage; <sup>c</sup>WC: Winter Cabbage



**Fig. 1.** Effect of different fertilizations on Chinese cabbage yield index (%) during the spring (22.05-22.07) and winter (22.09-22.11) cabbage cultivation: UT, untreated; NPK, inorganic fertilizer; LTF1, 2, 4, and 8, inorganic fertilizer with 1-, 2-, 4-, and 8-times of lime-treated fertilizer. The same letters in the figure indicate no significant difference (Duncan's test,  $P < 0.05$ ). Values are the means (n = 9) with standard deviations of the means indicated by vertical bars across symbols.

모두 LTF2 처리구에서 각각 48.4, 52.6으로 가장 높았으며 ( $P < 0.05$ ), 석회처리비료 사용량이 증가함에 따라 엽색도가 감소하는 경향을 보였다(Table 4).

봄 배추 생산량 지수는 CH 처리구에서 107.3%로 가장 높았으며( $P < 0.001$ ), LTF8 처리구가 73.2%로 무처리구(76.5%)보다 낮았다. LTF2 처리구는 100.1%로 LTF1 처리구와 배추 생산량에 차이가 없었으며( $P > 0.05$ ), 석회처리비료 사용량이 증가함에 따라 생산량이 감소하는 경향을 보였다(Fig. 1). 겨울 배추의 생산량 지수는 LTF1 처리구(100.0%)가 가장 높았으며, LTF8 처리구(73.0%)가 가장 낮았다( $P < 0.05$ ). LTF2 처리구(98.9%)와 CH 처리구(94.0%)는 LTF1 처리구와 통계적으로 차이가 없었으며( $P > 0.05$ ), 봄 배추와 유사하게 석회처리비료 사용량이 증가함에 따라 생산량 지수가 감소하는 경향이 있었다(Fig. 1). 또한, 작기에 관계없이 LTF1, LTF2 및 CH 처리구는 NPK 처리구에 비하여 생산량 지수가 높았다(Fig. 1). 석회질비료는 선행연구 결과 작물 수량 증가 효과가 있는 것으로 밝혀졌으며(Buri *et al.*, 2005; Fageria & Baligar, 2008), 이와 유사하게 정량의 석회처리비료 사용은 배추 생산량 증가에 긍정적인 영향을 주는 것으로 판단된다. 본 연구 결과와 같이 정량의 석회처리비료 및 석회질비료 사용 시 작물 수량이 증가한 것은 크게 3가지 이유



**Fig. 2.** Relationship between the application ratio of lime-treated fertilizer and nutrient uptake index in Chinese cabbage: (a) spring cabbage cultivation (22.05-22.07), (b) winter cabbage cultivation (22.09-22.11). Values are the means (n = 9) with standard deviations of the means indicated by vertical bars across symbols.

로 설명할 수 있다.

- 1) 석회처리비료에 포함되어있는 석회의 토양 pH 상승효과로 인한 양분과 미량원소의 용해도 증가(Brady & Weil, 1996; Effa *et al.*, 2012)
- 2) 산성토양에서 독성을 띠어 작물 생육을 저해하는 원소 (Al, Fe 등)의 불용화(Bohn *et al.*, 2001; Tolossa, 2019)
- 3) 석회처리비료의 원료인 음식물류폐기물에 포함되어있는 양분과 유기물 등의 공급(Lee *et al.*, 2016; Jeong *et al.*, 2022).

반면, 봄 배추와 겨울 배추 모두 석회처리비료 사용량이 증가함에 따라 생산량 지수가 감소하였다. 특히 LTF8 처리구는 LTF1에 비하여 생산량 지수가 약 30%, 무처리구보다 약 3% 낮았다. 석회처리비료의 정량 이상 사용 시 수량감소의 원인으로는 토양 내 pH 및 EC의 적정 범위(pH: 6.0-6.5, EC: ≤ 2 dS m<sup>-1</sup>) 이상 증가로 인한 작물의 뿌리 발달 저해, 삼투압 현상으로 인한 수분 및 미량원소 흡수가 저해가 원인으로 작용한 것으로 판단된다(Shannon 1997; Lee *et al.*, 2016).

### 석회처리비료 사용량에 따른 식물체 양분 흡수 지수

봄 배추의 양분 흡수 지수는 LTF1에서 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O이 각각 109.4, 103.6, 97.2%로 N과 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 대조구로 설정한 NPK 처리구(100%)보다 식물체의 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 흡수율이 높은 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2a). LTF2, 4, 8 처리구의 양분 흡수 지수는 N이 각각 95.2, 93.6, 92.5%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 각각 78.1, 79.8, 74.8%, K<sub>2</sub>O는 88.5, 87.0, 84.4%로 석회처리비료 사용량이 증가함에 따라 양분 흡수 지수는 감소하였다 (P<0.05) (Fig. 2a). 겨울 배추의 양분 흡수 지수는 봄 배추와 동일하게 LTF1에서 가장 높았으며, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 흡수 지수가 각각 110.2, 115.8, 101.4%로 NPK 처리구보다 식물체의 양분 흡수율이 높았다(Fig. 2b). 겨울 배추 또한 석회처리비료 사용량이 증가함에 따라 양분 흡수 지수가 감소하였으며(P<0.05), LTF8의 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 흡수 지수는 89.8, 83.0, 82.0%로 NPK 처리구에 비하여 양분 흡수율이 약 10% 이상 낮았다(Fig. 2b).

본 연구에서 분석한 식물체 양분 항목인 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O는 작물의 영양 생장, 뿌리 발달, 광합성 등에 필요한 필수 영양소로 작물 생장과 직결되는 중요한 원소이다(Plaxton, 2004; Uribeblarrea *et al.*, 2009; Sustr *et al.*, 2019; Mu & Chen, 2021). 작물에 이러한 양분 결핍 시 영양 생장 감소로 뿌리 및 잎과 줄기의 생장 저해, 괴사 등과 같은 현상이 나타난다. 특히, 칼륨(K)는 기공 개폐에 관여하는 원소로 작물의 수분 조절에 중요한 역할을 하며, 결핍 시 수분 부족으로 인한 가뭄, 염류 등에 취약한 상태가 된다(Pavlovic *et al.*, 2019; Sustr *et al.*, 2019). 석회처리비료 정량 이상 사용 시 작물의 양분 흡수율 감소 및 결핍으로 배추의 영양 생장이 감소하여 Fig. 1과 같이 배추 생산량 지수에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 이러한 작물 체내의 양분 결핍은 석회처리비료 사용량 증가에 따른 토양 화학성 변화로 인한 양분의 용해도 감소 및 작물의 뿌리 발달 저해 등이 영향을 준 것으로 판단된다(Shannon 1997; Hwang *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2022).

### 석회처리비료 사용에 따른 토양 화학성 변화

작물 수확 후 석회처리비료 사용량에 따른 토양 화학성 변화는 Table 5와 같다. 토양 pH와 EC는 처리 전에 비하여 배추 수확 후 증가하는 경향이였다. 또한, NPK, CH, LTF1 처리구의 토양 pH와 EC는 모두 배추 생육에 적정한 범위였으나, LTF2, 4, 8 처리구에서는 적정 범위(pH: 6.0-6.5, EC: ≤ 2 dS m<sup>-1</sup>)를 초과하였다(Table 5). 본 연구 결과, 석회처리비료 사용량이 증가할수록 토양 pH 및 EC가 상승하였으며, LTF8 처리구의 pH (1차:8.1, 2차: 8.2)와 EC (1차:

**Table 5.** Effects of different fertilizations and continued cultivation on soil chemical properties.

Treatments <sup>a</sup>	pH	EC	OM	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex. Cations				
							K	Ca	Mg	Na	
	1:5	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	-----	mg kg <sup>-1</sup>	-----	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	-----	-----	
UT	Before <sup>b</sup>	5.1 (0.1)cd	0.7 (0.0)cd	18.6 (0.5)c	ND <sup>e</sup>	32.2 (1.1)b	224.9 (15.0)cd	0.9 (0.0)bc	4.2 (0.3)cd	1.8 (0.1)bc	0.1 (0.0)bc
	SC <sup>c</sup>	5.9 (0.1)e	1.0 (0.1)c	24.5 (1.7)b	12.4 (1.5)c	41.6 (3.5)b	275.1 (48.1)b	1.0 (0.1)b	6.3 (0.1)cd	2.3 (0.1)e	0.1 (0.0)d
	WC <sup>d</sup>	6.0 (0.1)c	0.7 (0.0)c	21.1 (1.3)a	7.4 (0.2)b	3.1 (0.9)c	379.5 (86.7)ab	0.7 (0.1)ab	6.6 (0.1)ef	3.6 (0.2)d	0.2 (0.0)d
NPK	Before	5.8 (0.0)a	1.3 (0.1)b	24.6 (1.1)a	0.3 (0.2)d	58.4 (9.1)a	442.4 (58.0)ab	1.6 (0.1)a	5.4 (0.0)a	2.2 (0.1)a	0.1 (0.0)b
	SC	6.0 (0.3)de	2.0 (0.0)b	28.7 (2.1)a	163.6 (5.1)a	138.0 (3.8)a	709.4 (31.5)a	1.4 (0.1)a	5.6 (0.1)d	2.5 (0.1)e	0.1 (0.0)d
	WC	5.0 (0.2)d	1.1 (0.2)bc	23.0 (0.9)a	29.8 (10.8)a	61.9 (1.6)ab	448.4 (71.8)a	0.7 (0.0)ab	6.3 (0.3)f	3.1 (0.3)d	0.1 (0.1)d
CH	Before	5.3 (0.0)b	1.7 (0.1)a	25.0 (0.8)a	2.2 (0.7)c	74.1 (11.5)a	546.3 (20.6)a	1.5 (0.1)a	5.0 (0.1)ab	2.2 (0.0)a	0.1 (0.0)a
	SC	6.3 (0.1)cde	1.1 (0.0)c	28.1 (1.4)a	132.2 (19.0)b	80.8 (13.9)b	611.8 (31.6)a	1.2 (0.1)a	7.2 (0.2)c	2.7 (0.2)de	0.1 (0.0)d
	WC	5.7 (0.0)c	1.5 (0.1)ab	23.9 (1.2)a	7.4 (0.9)b	75.6 (12.0)a	524.8 (51.7)a	0.8 (0.0)a	8.0 (0.3)de	3.5 (0.1)d	0.2 (0.0)cd
LFT1	Before	5.2 (0.1)bc	0.9 (0.3)bc	24.1 (0.2)a	7.4 (0.3)a	23.0 (0.6)bc	380.3 (133.6)abc	1.0 (0.2)bc	4.7 (0.4)bc	2.0 (0.2)ab	0.1 (0.0)b
	SC	6.5 (0.2)cd	2.1 (0.3)b	32.5 (0.8)a	160.9 (3.8)a	161.2 (18.0)a	641.2 (49.0)a	1.2 (0.2)ab	10.3 (0.4)b	5.2 (0.4)c	0.3 (0.0)b
	WC	6.9 (0.3)b	1.7 (0.3)ab	23.1 (2.0)a	8.1 (0.5)b	54.8 (18.1)ab	359.7 (120.6)ab	0.5 (0.1)bc	9.3 (0.1)cd	5.4 (0.2)c	0.2 (0.0)bcd
LFT2	Before	5.0 (0.0)cd	0.8 (0.1)cd	22.8 (0.2)ab	4.0 (0.2)b	20.6 (0.6)bc	320.5 (55.8)bc	1.1 (0.0)b	4.2 (0.0)cd	1.9 (0.0)bc	0.1 (0.0)bc
	SC	7.3 (0.1)bc	2.2 (0.0)b	28.4 (1.3)b	118.3 (2.1)b	115.6 (1.2)a	401.4 (9.2)b	1.2 (0.1)b	9.6 (0.4)c	5.1 (0.2)cd	0.2 (0.0)c
	WC	7.4 (0.1)b	1.7 (0.2)ab	24.2 (1.2)a	8.7 (0.1)b	58.3 (13.9)ab	471.5 (37.3)a	0.6 (0.0)abc	10.4 (0.7)c	7.1 (0.6)b	0.3 (0.0)b
LFT4	Before	5.0 (0.0)cd	0.4 (0.0)d	17.5 (0.2)c	0.9 (0.1)cd	10.0 (1.1)c	120.3 (1.3)d	0.8 (0.0)c	3.9 (0.0)d	1.7 (0.0)c	0.1 (0.0)c
	SC	7.8 (0.1)ab	2.5 (0.1)ab	26.9 (1.9)b	101.9 (0.7)b	96.4 (4.2)a	174.4 (4.6)c	0.7 (0.0)b	13.0 (0.8)b	7.2 (0.4)b	0.3 (0.0)b
	WC	7.8 (0.1)a	1.7 (0.3)ab	20.5 (1.1)a	7.1 (0.4)b	59.3 (30.6)ab	204.3 (19.7)b	0.4 (0.1)c	12.1 (1.0)b	7.7 (0.6)b	0.2 (0.0)bc
LFT8	Before	4.9 (0.0)d	0.6 (0.0)cd	19.7 (0.4)bc	ND	27.7 (1.2)bc	123.5 (20.0)d	0.9 (0.0)bc	4.0 (0.1)cd	1.7 (0.1)bc	0.1 (0.0)c
	SC	8.2 (0.1)a	3.2 (0.1)a	34.1 (1.2)a	32.0 (2.3)c	109.0 (12.6)a	169.2 (18.4)c	1.1 (0.1)b	19.1 (0.6)a	10.4 (0.4)a	0.5 (0.0)a
	WC	8.1 (0.0)a	2.1 (0.2)a	25.6 (1.6)a	7.0 (0.0)b	18.7 (2.8)bc	201.0 (33.0)b	0.4 (0.0)c	17.3 (0.5)a	11.1 (0.3)a	0.4 (0.0)a
Recommended	6.0~6.5	≤2	25~35			350~450	0.65~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0		

Values are the means (n = 9) with the standard deviation. Same letters indicate that the values are not significantly differed among the samples (Duncan's test,  $p < 0.05$ ).

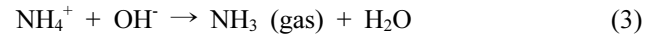
<sup>a</sup>UT: untreated, NPK: inorganic fertilizer, CH: inorganic fertilizer with calcium hydroxide, LTF1: inorganic fertilizer with lime treated fertilizer, LTF2: inorganic fertilizer with two times of lime treated fertilizer, LTF4: inorganic fertilizer with four times of lime treated fertilizer, LTF8: inorganic fertilizer with eight times of lime treated fertilizer.

<sup>b</sup>Before: Before cultivation; <sup>c</sup>SC: Spring Cabbage; <sup>d</sup>WC: Winter Cabbage; <sup>e</sup>ND: Not Detected

3.2 dS m<sup>-1</sup>, 2차: 8.1 dS m<sup>-1</sup>)가 모든 처리구 중 가장 높았다 ( $P<0.05$ ). 본 연구의 공시 토양은 pH 4.7로 배추 생육에 적절한 pH인 6.0-6.5 이하인 산성토양이었으나, 석회처리비료를 정량 처리하였을 때 토양 pH 적정범위까지 상승하는 토양 산도 개량 효과가 나타났다(Effa *et al.*, 2012). 이는 석회질비료인 CH 처리구와 유사한 산성토양 개량 효과가 나타나는 것을 연구 결과 확인하였다. 하지만, Table 5와 같이 석회처리비료를 두배 이상 처리하였을 때 토양의 pH가 7.0 이상으로 상승한 것으로 보아 정량 이상 사용하였을 때 오히려 토양의 pH와 EC가 적정범위 이상 상승하여 토양 양분 및 미량원소 용해도가 감소한 것으로 판단된다(Kim *et al.*, 2020).

봄, 겨울 배추 수확 후 모든 처리구의 토양 유기물, 무기태질소(NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N), 유효인산(Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 함량 및 교환성 양이온 함량은 처리 전에 비하여 증가하는 경향이였다. 이는 작물 생육으로 인한 양분의 무기화, 투입된 무기질 비료 및 퇴비 사용 등이 토양 양분 함량 증가에 영향을 준 것으로 판단된다(Simek *et al.*, 1999). 또한, 작물 수확 후 CH 처리구에 비하여 LTF1 처리구의 토양 유기물, 무기태 질소 등의 양분 함량이 증가할 것으로 예상하였으나, 본 연구 결과 수확 후 CH와 LTF1 처리구의 양분 함량은 유사하였다 (Table 5). 이는 CH 및 LTF1 처리 시 무기질비료를 함께 사용하여 토양 양분 함량이 유사한 것으로 판단된다(Park *et al.*, 2009). 석회처리비료 사용량에 따른 화학성 변화는 토양 유기물 함량의 경우 통계적 유의성이 없었으며( $P>0.05$ ), 무기태질소(NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N)와 유효인산(Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 함량은 석회처리비료 사용량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다(Table 5). 반면, 토양 교환성 양이온은 석회처리비료 사용량이 증가함에 따라 교환성 Ca, Mg, Na의 함량이 증가하였으며( $P<0.05$ ), 교환성 K는 석회처리비료 사용량에 따른 함량 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 토양 화학성 분석 결과 석회처리비료 사용량이 증가함에 따라 토양 pH가 7.0 이상으로 상승하였으며(Table 5), 토양의 알칼리화가 진행된 것으로 판단된다(Merry, 2009) (Table 5). 이러한 알칼리성 토양 조건에서 무기태 질소의 일부는 Eq.3과 같이 NH<sub>3</sub>의 형태로 휘산이 일어난다. 이때, 질소 손실이 발생하며 본 연구 결과와 같이 토양 무기태 질소 함량이 감소한 것으로 판단된다(Ernst & Massey, 1960; Zhenghu & Honglang, 2000; Dora, 2019). 이와 관련한 선행연구 결과로 Zhenghu & Honglang (2000)는 토양에서 NH<sub>3</sub>의 휘산이 pH, CaCO<sub>3</sub> 및 Total salt와 강한 상관관계가 있다고 보고하였으며, Li *et al.* (2017)은 토양 pH가 증가함에 따라 NH<sub>3</sub> 휘산이 급격하게 증가하였으며, pH가 8.6일 때 가장 많은 양의 NH<sub>3</sub>가

휘산되었다고 보고하였다.



토양 유효인산 함량의 경우 pH가 7.0 이상의 토양에서 Ca과 결합으로 인하여 작물이 사용할 수 없는 형태로 인산이 불용화되어 토양 용액 내의 유효인산 함량이 감소한 것으로 판단된다(Kumar & Shastri, 2017; Zhu *et al.*, 2018; Rawat *et al.*, 2021). 본 연구 결과 또한 LTF4 처리구부터 유효인산 함량이 배추 생육에 적절한 함량(350-450 mg kg<sup>-1</sup>) 이하로 감소하였다(Table 5). 또한, 석회처리비료 사용량 증가에 따른 교환성 양이온 함량의 증가는 석회처리비료에 포함되어있는 CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O 등의 함량 또한 증가하여 토양에 영향을 준 것으로 판단된다(Shin *et al.*, 2006; Yoo *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2022).

## 적 요

본 연구는 석회처리비료 사용량에 따른 배추의 생산량 및 양분 흡수 지수, 토 화학성을 종합적으로 평가하고자 하였다. 본 연구에서 사용한 토양의 pH는 약 4.7로 작물 생육에 적절하지 못한 산성토양이었다. 본 연구 결과, LTF1 처리구 토양 pH가 6.5~6.9로 배추 생육에 적절한 범위까지 상승하였으며, 토양 양분 공급 등의 효과를 가져왔다. 이와 같은 토양 개량 효과로 인하여 NPK 처리구에 비하여 LTF1 처리구의 양분 흡수 지수는 약 10%, 배추 생산 지수는 10~20% 이상 높았다. 반면, 석회처리비료를 정량 이상 사용하였을 때 토양의 pH, EC가 적정 범위 이상 상승하였으며, 무기태 질소, 유효인산 등의 토양 양분 함량이 감소하였다. 또한, 배추 생육 조사 결과 LTF8 처리구가 NPK 처리구에 비하여 양분 흡수 지수는 약 10% 감소하였으며, 배추 생산 지수는 5~20% 감소하였다. 이는 석회처리비료 과량 사용에 따른 양분 공급 저해 등이 원인이 되어 생산 지수가 감소한 것으로 판단된다. 본 연구 결과, 작물 수량 증가와 산성토양 개량 효과에는 석회처리비료를 석회소요량 기준 정량 사용하는 것이 적합하다고 판단된다. 따라서, 본 연구 결과를 바탕으로 향후 석회처리비료의 무기질비료 감축 효과, 장기간 연용에 따른 작물 생육, 토양 화학성 등에 관한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업인 농촌현안 해결 리

빙랩 프로젝트 중 “음식물류폐기물을 포함한 가축분 퇴비의 품질 균일화 기술 개발 (PJ015293)”과제와 기관과유 사업인 기후변화 대응 및 스마트 기술현장실증연구(PJ017273) 지원을 받아 연구되었음.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Anetor, O. and A. Ezekiel. 2006. Response of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] to lime and phosphorus fertilizer treatments on an acidic alfisol of Nigeria. Pak J Nutr. 5 : 286-293.
- Bohn, L., L. McNeal, and A. O'Connor. 2001. Acid Soil. p. 260. Soil chemistry (3rd ed). John Wiley and Sons, Inc, New York, USA.
- Brady, N.C., and R. R. Weil. 1996. Chaper 3: Soil classification. p. 83-129. The nature and properties of soils. (11th ed). Person education. London, UK.
- Buri, M. M., T. Wakatsuki, and R. N. Issaka. 2005. Extent and management of low pH soils in Ghana. Soil Science and Plant Nutrition. 51 : 755-759.
- Cho, Y., C. T. Driscoll, E. C. Johnson, and T. G. Siccama. 2010. Chemical changes in soil and soil solution after calcium silicate addition to a northern hardwood forest. Biogeochemistry. 100 : 3-20.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency: measurement and management. p.1-28. In: Krauss, A., Isherwood, K., Heffer, P. (Eds.), Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for Their Adoption and Voluntary Initiatives Versus Regulations. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Dora, N. 2019. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. Appl. Environ. Soil Sci. 5794869.
- Driscoll, C. T., K. M. Driscoll, M. J. Mitchel, and D. J. Raynal. 2003. Effects of acidic deposition on forest and aquatic ecosystems in New York State. Environ. Pollut. 123(3) : 327-336.
- Effa, E. B., D. F. Uwah, G. A. Iwo, E. E. Obok, and G. O. Ukoha. 2012. Yield performace of popcorn (*Zea mays* L. *verta*) under lime and nitrogen fertilization on an acid soil. J. Agric Sci. 4(10) : 12-19.
- Ernst, J. W. and H. F. Massey. 1960. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24 : 87-90.
- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 2008. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. Adv. Agron. 99 : 345-399
- 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.
- Jeong, Y. J., S. H. Lee, H. S. Na, S. H. Kim, S. I. Kwon, and J. H. Shim. 2022. Evaluation of lettuce (*Lactuca Sativa* L.) growth and soil chemical properties using food waste compost with manure, black carbon and Plant-Growth-Promoting Bacteria (PGPB). J. Agric. Life Sci. 56(6) : 111-119.
- Kim, S. H., J. H. Shim, S. J. Park, H. Y. Hwang, and C. H. Lee. 2020. Short-term effects of food waste compost on soil properties and Chinese cabbage growth in upland soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 54(1) : 96-102.
- Kumar, R. and B. Shastri. 2017. Role of phosphate-solubilising microorganisms in sustainable agricultural development. p. 271-303. In: Singh J, and Seneviratne G (eds) Agro-Environmental Sustainability. Springer Cham. New York, USA.
- Lee, B. H., B. S. Park, S. N. Kim, and S. Y. Kim. 2017. Study of Lime treated fertilizer using food waste. KSWST Jour. Wat. Treat. 25(3) : 19-27.
- 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, S. G., J. H. Shim, S.I. Kwon, Y. H., Lee, and S. H. Kim. 2022. Effects of lime treated fertilizer on lettuce growth and soil chemical properties. Journal of Agriculture & Life Science. 56(6) : 187-191.
- Li, Y., L. Huang, H. Zhang, M. Wang, and Z. Liang. 2017. Assessment of ammonia volatilization losses and nitrogen utilization during the rice growing season in alkaline salt affected soils. Sustainability. 9(1) : 132-139.
- Merry, R. H. 2009. Acidity and alkalinity of soils. p. 115-119. Sabljic. A (Eds.). Environmental and ecological chemistry-Volum 2. EOLLS publications. Abu Dhabi, U.A.E.
- Mu, X. and Y. Chen. 2021. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. Plant Physiol. Biochem. 158 : 76-82.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Method of soil and plant analysis. RDA, Korea.
- Nekesa, O., R. Okalebo, O. Othieno, N. Thuita, M. Kipsat, A. Bationo, N. Sanginga, J. Kimettu, and B. Vanlauwe. 2005. The potential of Minijingu phosphatase rock from Tanzania as a liming material: effect on maize and bean intercrop on acid soils of western Kenya. African Crop Science Conference Proceedings. 7 : 1121-1128.
- Park, J. M., I. B. Lee, Y. I. Kang, and K. S. Hwang. 2009. Effects of Mineral and Organic Fertilizations on Yield of Hot Pepper and Changes in Chemical Properties of Upland Soil. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27(1) : 24-29.
- Pavlovic, I., S. Mlinaric, D. Tarkowska, J. Oklestkova, O. Novak, H. Lepedus, V. V. Bok, S. R. Brkanac, M. Strnad, and B. S. Sondi. 2019. Early Brassica crops responses to salinity stress: a comparative analysis between chinese cabbage, white cabbage, and kale. Front. Plant Sci. 10 : 450.
- Plaxton, W. C. 2004. Plant response to stress: Biochemical adaptations to phosphate deficiency. p. 976-980. In. Goodman, R.



- M. (Eds.), Encyclopedia of plant and crop science. Taylor and Francis. Oxfordshire. UK.
- Rawat, P., S. Das, D. Shankhdhar, and S. C. Shankhdhar. 2021. Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 21 : 49-68.
- RDA (Rural Development Administration). 2022a. Establishment of official standard of fertilizers. Notification No. 2022-9 of RDA.
- RDA (Rural Development Administration). 2022b. Fertilizer recommendation for crops. Notification No. 11-1390802-001 610-01 of RDA.
- Shannon, M. C. 1997. Adaption of plants to salinity. *Adv. Agron.* 60 : 75-120.
- Shin, S. M., K. W. Chang, J. J. Lee, K. P. Han, J. H. Hing, and H. K. Jeon. 2006. Changes of soil physico-chemical properties and plant growth according to the application of the food waste fertilizer. *J. KORRA.* 269-273.
- Simek, M., D. W. Hopkins, J. Kalcik, T. Picek, H. Santruckova, J. Stana, and K. Travnik. 1999. Biological and chemical properties of arable soils affected by long-term organic and inorganic fertilizer applications. *Biol Fertil Soils* 29 : 300-308.
- Sustr, M., A. Soukup, and E. Tylova. 2019. Potassium in root growth and development. *Plants.* 8 : 435.
- Tolossa, A. 2019. A review on the potential effect of lime on soil properties and crop productivity improvements. *Environ. Earth Sci.* 9(2) : 17-23.
- Uribelarrea, M., S. J. Crafts-Brandner, and F. E. Below. 2009. Physiological N response of field-grown maize hybrids (*Zea mays* L.) with divergent yield potential and grain protein concentration. *Plant Soil.* 316 : 151.
- Yoo, J. H., Y. D. Lee, K. A. Hussein, and J. H. Joo. 2018. The effect of food waste compost on chinese cabbage (*Brassica rapavar. glabra*) and Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growth. *Korean. J. Soil Sci. Fert.* 51(4) : 596-607.
- Zhenghu, D. and X. Honglang. 2000. Effects of soil properties on ammonia volatilization. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 46(4) : 845-852.
- Zhu, J., M. Li, and M. Whelan. 2018. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: a review. *Sci. Total Environ.* 612 : 522-537.