Influence of Foliar Fertilization with Monopotassium Phosphate on Growth and Yield of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.)

Jin-Young Moon, Byeong-Kyu Min, Jung-Ho Shin, Yong-Cho Choi, Hyeon-Ji Cho, Young Han Lee, Sung Ran Min^{1*}, and Jae-Young Heo*

Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 52733, Korea

¹Plant Systems Engineering Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Daejeon 34141, Korea

*Corresponding author: bopo@korea.kr (J.Y. Heo), srmin@kribb.re.kr (S.R. Min)

ABSTRACT

Received: April 15, 2019

Revised: August 13, 2019

Accepted: August 23, 2019

Foliar fertilization is a effective application method used in these uplands as it provides good nutrition and increases crop yields. To determine the effect of foliar fertilization with monopotassium phosphate (MKP) on growth and yield of sweet potato, we analyzed plant growth, microbial communities by fatty acid methyl ester and chemical properties in soils from MKP 0 (control), 1, 2, 3, 4, and 5% treatments. Soil pH significantly increased by increasing concentration of foliar fertilization with MKP. Compared with control, the soils of MKP 3% and 4% treatments had a significantly higher community of actinomycetes while the applications of KMP 4% and 5% was significantly decreased soil fungi communities. In addition, the MKP 4% had a significantly lower ratio of cy17:0 to 16:1w7c compared with other treatments, indicating that microbial stress decreased. The highest increase in productivity of sweet potato is reached with foliar fertilization of MKP 3% treatment and optimum concentration of MKP based on regression yield curve was 2.6%. These results indicate that foliar fertilization with MKP was more effect on the productivity of sweet potato.

Keywords: Foliar fertilization, Microbial community, Monopotassium phosphate, Sweet potato

Regression yield curve of sweet potato according to monopotassium phosphate doses.

Introduction

고구마 (*Ipomoea batatas* L.)는 메꽃과에 속하는 쌍떡잎 식용작물로 식이섬유가 많이 함유되어 있으며 질소나 인산 보다 칼리질 양분이 수량, 에너지 생성, 단백질 합성, 양분 운반 등에 미치는 영향이 크다고 알려져 있다 (Osaki et al., 1995; Jung et al., 1998; Amtmann et al., 2005; Park et al., 2006). 특히 고구마는 곡류, 두류, 유지류 뿐만 아니라 경제 작물 보다 더 많은 칼리 성분을 흡수하며 짧은 생육기간에 단위면적당 생산량이 많다 (Tang et al., 2015). 일반적으로 고구마 1,000 kg을 생산하는데 대략 10 kg의 칼리질 양분이 필요하며 (George et al., 2002) 칼리질이 부족할 경우 고구마는 길고 가느다란 상품가치가 떨어지게 된다 (Scott, 1950). 인산 성분은 토양에 풍부하게 있어도 작물 생육을 제한하는 주된 양분이다 (Gyaneshwar et al., 1999). 인산은 조효소, 인단백질, 인지질의 구성 성분이며 생육과 복제에 필요한 에너지를 운반하고 저장한다 (Ozanne, 1980). 특히 광합성, 탄소 대사과정과 막 형성에 물리적 과정에 중요하며 (Costa et al., 2004; Wu et al., 2005) 토양 표면에 강하게 결합되거나 양이온과 결합하여 불용화되기 때문에 토양용액에서 인산의 농도는 매우 낮은 수준이다 (Talboys et al., 2014). 질소가 과잉된 토양에 인산을 공급할 경우 인산암모늄을 대체하여 인산칼륨을 관비로 공급할 수 있다 (Hopkins et al., 2010). 또한, 인산칼륨을 용액으로 토마토 (Chapagain and Wiesman, 2004), 올리브 (Arquero et al., 2002)에 엽면시비 하거나 시설재배지에서 가지 (Zipelevish et al., 2000), 고추, 멜론 (Nerson et al., 1997) 등에 관비로 사용하고 있다.

따라서 본 연구는 다양한 작물에 사용하고 있는 인산칼륨을 활용하여 고구마 생육과 수량에 효과적인 최적의 엽면시비 농도를 구명하고자 수행하였다.

Materials and Methods

재배 및 토양 조건 고구마에 대한 인산칼륨 엽면시비 효과를 검토하기 위해 이현미사질양토 (Ihyeon series, Coarse silty, mixed, mesic family of Dystric Fluventic Eutrochrepts) 포장에서 시험을 수행하였다. 고구마 시험품종은 ‘풍원미’를 이용하였고 정식할 종순은 정식 3일전 세력이 균일한 줄기의 상단을 30 cm 길이로 잘라서 순화시켜 2018년 5월 15일에 정식하였다. 시험구는 12 m²의 면적에 휴간 75 cm 너비로 4개를 조성하고 PE필름으로 피복하였다. 정식 간격은 20 cm 길이로 처리당 80주, 3반복으로 수행하였고 정식 후 120일경인 9월 13일에 수확하였다. 엽면시비 처리는 정식 후 80일인 8월 3일에 인산칼륨 (KH₂PO₄)을 1%, 2%, 3%, 4%, 5%로 물에 희석하여 300 L 10a⁻¹의 양으로 시험구당 3.6 L를 전동분무기로 살포하였다. 고구마 생육에 대한 조사는 수확 직전 시험구 4휴 중 안쪽 2휴에서 주만장, 경엽중 등 지상부 생육과 상저무게, 주당 상저수 등 수량 특성을 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2012)에 따라 수행하였다. 시험전 토양 화학성은 pH 6.5, EC 0.40 dS m⁻¹, 유기물 21 g kg⁻¹, 유효인산 353 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 0.29 cmol_c kg⁻¹, 치환성 칼슘 8.6 cmol_c kg⁻¹, 치환성 마그네슘 2.7 cmol_c kg⁻¹의 전형적인 밭토양의 특징을 나타냈다. 양분관리는 비료사용처방서에 따라 10a 기준에 요소 12 kg, 용성인비 71 kg 및 황산칼리 44 kg을 전량 기비로 시비하였다.

토양 화학성분 분석방법 인산칼륨 엽면시비 효과를 검토하기 위해 토양은 시험전과 시험후로 구분하여 1 - 15 cm 깊이에서 1 kg 정도를 3반복으로 채취하였다. 토양시료는 음지에서 7일간 풍건하고 고무망치로 입자를 조제한 후 2 mm 체를 통과된 것을 분석에 사용하였다. 토양 화학성분은 국립농업과학원 토양화학분석법 (NAS, 2010)에 준하

여 분석하였다. 토양 pH와 EC는 전극법을 적용하여 토양 10 g에 50 mL 증류수를 가하여 1시간 정치한 후 pH meter (Orion 520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)와 EC meter (Orion 3STAR EC meter, Orion Research Inc., Boston, USA)로 분석하였다. 유기물은 Tyurin법으로 적정하였고, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 분석하였다. 치환성 양이온은 1M NH_4OAc 로 추출하여 ICP (AAAnalyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였다.

토양 미생물 군집 분석 인산칼륨 엽면시비에 따른 수확기 토양 미생물 함량과 군집은 Schutter and Dick (2000)의 방법으로 미생물 세포벽 지방산인 fatty acid methyl ester (FAME)를 분석하였다 (Kim et al., 2014; Moon et al., 2016; Igalavithana et al., 2017). 추출된 지방산 조성을 통한 미생물의 함량과 군집 분석은 GC Agilent 6890N (Agilent Technologies, USA)과 HP-ULTRA 2 capillary column ($25\text{ m} \times 0.2\text{ mm} \times 0.33\text{ }\mu\text{m}$ film thickness, Agilent Technologies, USA)을 사용하였다. 그리고 Internal standard 19:0을 이용하여 상대적인 지방산 함량과 비율을 계산하였다 (Hamel et al., 2006; Kim et al., 2014; Moon et al., 2018). 미생물 군집은 토양 미생물의 함량을 총 FAME 함량으로 나누어 구하였다 (Bossio and Scow, 1998; Lee and Kim, 2011; Lee and Yun, 2011).

통계분석 고구마의 수량과 생육상황, 토양 화학성과 미생물 함량과 군집은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하여 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

Results and Discussion

토양 화학성 변화 인산칼륨 엽면시비에 따른 수확기 토양 화학성은 Table 1과 같다. 토양 pH는 무처리 6.6에 비해 인산칼륨 엽면시비 농도가 증가할수록 7.0까지 유의적으로 증가하였다 ($P < 0.05$). 이러한 결과는 Liu et al. (2012)이 토양 카드뮴을 경감시키기 위하여 인산칼륨을 시용한 결과 토양 pH가 증가하였다고 보고한 결과와 일치하였다. 이러한 결과는 인산칼륨이 물에 용해되면 pH가 4에서 5 정도이지만 인산의 특이적 흡착에 의한 음하전도의 증대에 의한 것이라고 판단되었다 (Bolan et al., 2003; Brown et al., 2005; Ok et al., 2010; Alidoust et al., 2015). 그러나 pH

Table 1. Soil chemical properties as affected by foliar fertilizations with monopotassium phosphate for sweet potato cultivation.

Foliar fertilization	pH	EC	OM	Avail. P_2O_5	Exch. cation		
					K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	----- $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----		
Control	6.6c [†]	0.19a	17a	281a	0.23a	8.0a	2.6a
KH_2PO_4 1%	6.8b	0.20a	16a	275a	0.26a	8.5a	2.7a
KH_2PO_4 2%	6.9ab	0.19a	16a	262a	0.22a	8.5a	2.7a
KH_2PO_4 3%	6.9ab	0.20a	17a	286a	0.25a	8.6a	2.7a
KH_2PO_4 4%	7.0a	0.21a	17a	291a	0.25a	8.5a	2.7a
KH_2PO_4 5%	7.0a	0.20a	17a	283a	0.26a	8.5a	2.7a

[†] Means followed by different letters within the same row are significantly different at significance level $\alpha=0.05$ according to Duncan's multiple range test.

가 7.0 이상으로 높은 토양에서는 토양산도에 미치는 효과가 미미하거나 (Manimel Wadu et al., 2016) 오히려 pH가 감소하는 경우도 보고되었다 (Lee and Hong, 2016). 모든 처리구의 토양 EC는 $0.19 - 0.21 \text{ dS m}^{-1}$, 유기물 함량은 $16 - 17 \text{ g kg}^{-1}$, 유효인산 함량은 $262 - 291 \text{ mg kg}^{-1}$, 치환성 칼륨 함량은 $0.22 - 0.26 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 치환성 칼슘 함량은 $8.0 - 8.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 치환성 마그네슘 함량은 $2.6 - 2.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로서 유의적인 차이가 없었다.

고구마 생육 및 수량 수확기 고구마 생육과 수량은 Table 2와 같다. 고구마의 주만장은 인산칼륨 5% 엽면시비가 396 cm로 가장 길었으나 인산칼륨 4% 처리까지는 무처리에 비해 짧은 경향이였다. 주당 마디수도 주만장과 비슷한 경향을 나타냈다. 고구마 지상부의 무게는 무처리구가 $6,115 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 가장 무거운 반면 인산칼륨 엽면시비 농도가 증가할수록 유의적으로 낮아졌다 ($P < 0.05$). 상품가치가 있는 주당 상저수는 4.0 - 4.4개로 모든 처리구에서 유의적인 차이가 없었다. 상저중은 인산칼륨 3% 처리구가 186 g, 2% 처리구가 179 g로 무처리 158 g, 인산칼륨 4% 164 g, 인산칼륨 5% 158 g 보다 유의적으로 무거웠다 ($P < 0.05$). 고구마의 수량은 인산칼륨 3% 처리구가 $4,063 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 무처리 $3,149 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 보다 29% 증대되었으며 인산칼륨 2% 처리구는 $3,891 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로서 무처리구에 비해 유의적으로 많았다. 그리고 인산칼륨 1%, 4% 및 5% 처리구의 고구마 수량은 무처리의 수량과 차이가 없었다. 인산칼륨 엽면시비에 따른 고구마 수량 회귀곡선은 Fig. 1과 같이 $Y = -122X^2 + 633X + 3,104$ ($r = 0.795^{***}$)의 수식을 나타냈으며 최적의 농도는 인산칼륨 2.6%로 나타났다. Cecilio Filho et al. (2016)은 고구마에 대한 칼리질비료의 반응

Table 2. Effect of foliar fertilizations with monopotassium phosphate on the growth and yield of sweet potato.

Foliar fertilization	Vine length	Node number	Plant weight	Marketable root number	Marketable root weight	Yield
	cm	no. plant ⁻¹	kg 10a^{-1}	no. plant ⁻¹	g	kg 10a^{-1}
Control	373b [†]	50.6a	6,115a	4.0a	158c	3,149c
KH ₂ PO ₄ 1%	370b	47.5a	5,507a	4.4a	175ab	3,508bc
KH ₂ PO ₄ 2%	370b	47.9a	4,588b	4.3a	179a	3,891ab
KH ₂ PO ₄ 3%	359b	47.6a	4,527b	4.1a	186a	4,063a
KH ₂ PO ₄ 4%	316c	44.6b	4,196bc	4.3a	164bc	3,531bc
KH ₂ PO ₄ 5%	396a	50.0a	3,646c	4.1a	158c	3,255c

[†] Means followed by different letters within the same row are significantly different at significance level $\alpha = 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

Fig. 1. Regression yield curve of sweet potato according to monopotassium phosphate doses.

을 검토한 결과 최고 수량은 $3,800 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 으로 칼리질비료가 $8.7 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이었으나 회귀식을 이용하면 경제적으로 최적의 사용량은 $7.1 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이라고 하였으며 Carvalho et al. (2018)은 양명아주의 생육에 효과적인 인산칼륨의 적정농도는 $329 - 397 \text{ mg L}^{-1}$ 라고 하였다. 본 연구에서는 밑비료로 칼리질비료를 22 kg 사용하였고 인산칼륨을 3% 수준으로 공급하여 $4,063 \text{ kg } 10^{-1}$ 의 고구마를 수확하였는데 이러한 결과는 George et al. (2002)이 고구마 $1,000 \text{ kg}$ 을 생산하는데 10 kg 의 칼리질 양분이 필요하다고 보고한 내용과 일치하였다. 단감에서도 인산칼륨을 엽면시비할 경우 세균에서 유의적인 증가를 볼 수 있으며 이러한 영향으로 볼 때 고구마에서도 수량확보에 유리할 것으로 판단된다 (Choi et al., 2013).

토양 미생물 함량 및 군집 인산칼륨 엽면시비를 통한 수확기 토양 미생물 함량은 Table 3과 같다. 인산칼륨 엽면시비 농도가 증가할수록 곰팡이 함량은 무처리 44.0 nmol g^{-1} 보다 낮아지는 경향이었다. 특히 인산칼륨 5% 엽면시비 처리구는 곰팡이 함량이 30.8 nmol g^{-1} 으로 무처리에 비해 유의적으로 낮은 함량을 보였다 ($P < 0.05$). 이러한 결과는 Moon et al. (2018)이 보고한 바와 같이 고구마 재배지역의 토양환경이 변화되면 곰팡이 함량이 가장 먼저 영향을 받는 것으로 판단되었다. 토양의 미생물체량을 나타내는 총 FAME, 총세균, 그람음성세균, 그람양성세균, 방선균 및 내생균군군 함량은 큐어링 처리구와 무처리구 사이에 유의적인 차이가 없었다. 이러한 결과는 Mori et al. (2016)이 건조토양에 $\text{KH}_2\text{PO}_4 0.1 \text{ mg g}^{-1}$ 을 사용한 결과 미생물체량이 무처리에 비해 감소하는 경향이라고 보고한 바와 유사하였다.

Table 3. Soil microbial biomass as affected by foliar fertilizations with monopotassium phosphate for sweet potato cultivation.

Foliar fertilization	TF [†]	B	G(-)	G(+)	A	F	AMF
	----- nmol g ⁻¹ -----						
Control	189a [‡]	42.3a	19.7a	20.2a	2.8a	44.0a	12.9a
KH ₂ PO ₄ 1%	190a	43.2a	20.3a	20.4a	3.5a	43.9a	10.9a
KH ₂ PO ₄ 2%	205a	43.7a	20.0a	21.3a	5.2a	43.0a	14.0a
KH ₂ PO ₄ 3%	184a	41.2a	18.9a	20.0a	5.9a	38.7ab	10.8a
KH ₂ PO ₄ 4%	186a	44.1a	21.0a	20.8a	5.7a	34.7ab	9.4a
KH ₂ PO ₄ 5%	177a	43.0a	20.3a	20.5a	4.4a	30.8b	12.1a

[†]TF, total FAMES; B, total bacteria; G(-), gram-negative bacteria; G(+), gram-positive bacteria; A, actinomycetes; F, fungi; AMF, arbuscular mycorrhizal fungi.

[‡]Means followed by different letters within the same row are significantly different at significance level $\alpha=0.05$ according to Duncan's multiple range test.

토양 환경에 대한 미생물의 활성 지표로 사용되는 cy17:0과 16:1 ω 7c 비율은 Fig. 2와 같다. 인산칼륨 4% 엽면시비 처리구의 cy17:0과 16:1 ω 7c 비율은 0.14의 값으로 무처리구 0.21 보다 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$). 일반적으로 cy17:0과 16:1 ω 7c 비율이 낮을수록 미생물의 활성은 증가되는 것으로 알려져 있다 (Mechri et al., 2010). 토양에 cyclopropyl 지방산이 집적되는 원인은 영양원 불균형, 산성 토양, 토양 수분 부족 등의 다양한 요인에 따라 나타난다 (Guckert et al., 1986; Grogan and Cronan, 1997). 이러한 결과로 볼 때 인산칼륨 엽면시비는 토양 미생물의 활성을 높이고 미생물 생태계에 유리한 작용을 하는 것으로 판단되었다.

Fig. 2. Ratio of fatty acid cy17:0 to 16:1w7c of upland soils as affected by foliar fertilizations with monopotassium phosphate. Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT. Bars represent one standard deviation of the mean.

수확기 인산칼륨 엽면시비에 따른 토양 미생물 군집을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 곰팡이 군집은 인산칼륨 5% 처리구가 17.5%, 4% 처리구는 18.9%로 무처리 23.2%, 인산칼륨 1% 처리구 23.4% 보다 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$). 반면에 방선균 군집은 인산칼륨 3% 처리구는 3.2%, 인산칼륨 4% 처리구는 3.1%로 무처리 1.5% 보다 유의적으로 많았다 ($P < 0.05$). 그리고 인산칼륨 엽면시비에 따른 토양의 총세균, 그람음성세균, 그람양성세균, 내생균군균의 군집은 무처리와 유의적인 차이가 없었다. Arslan (2015)은 인산칼륨 엽면시비 농도가 2% 이상 증가할수록 *Fusarium* 등의 곰팡이의 포자형성과 발아관 신장을 억제하는 효과가 크다고 하였으며 특히 KH₂PO₄가 K₂HPO₄ 보다 효과적인 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 곰팡이 군집은 인산칼륨 엽면시비 함량이 증가할수록 곰팡이의 군집이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

Table 4. Soil microbial communities as affected by foliar fertilizations with monopotassium phosphate for sweet potato cultivation.

Foliar fertilization	B [†]	G(-)	G(+)	A	F	AMF
	----- % -----					
Control	23.0a [‡]	10.7a	11.0a	1.5b	23.2a	6.8a
KH ₂ PO ₄ 1%	22.8a	10.6a	10.9a	1.9ab	23.4a	5.7a
KH ₂ PO ₄ 2%	21.5a	9.8a	10.5a	2.5ab	20.9ab	6.7a
KH ₂ PO ₄ 3%	22.8a	10.3a	11.2a	3.2a	21.0ab	5.7a
KH ₂ PO ₄ 4%	23.8a	11.3a	11.3a	3.1a	18.9bc	5.3a
KH ₂ PO ₄ 5%	24.4a	11.4a	11.7a	2.5ab	17.5c	6.8a

[†]B, total bacteria; G(-), gram-negative bacteria; G(+), gram-positive bacteria; A, actinomycetes; F, fungi; AMF, arbuscular mycorrhizal fungi.

[‡]Means followed by different letters within the same row are significantly different at significance level $\alpha=0.05$ according to Duncan's multiple range test.

Conclusions

고구마 생육과 수량에 효과적인 인산칼륨 엽면시비 적정농도를 검토하였다. 인산칼륨 엽면시비 농도가 증가할수록 토양 pH는 증가하였으나 토양 곰팡이 함량과 군집은 낮아지는 경향이였다. 토양의 방선균 군집은 인산칼륨 3%와

4% 엽면시비 처리구가 무처리구에 비해 많았다. 그리고 인산칼륨 4% 엽면시비 처리구의 cy17:0과 16:1 ω7c 비율은 무처리구에 비해 낮아 토양 미생물 환경에 유익한 것으로 나타났다. 고구마의 수량은 인산칼륨 3% 처리구가 무처리에 비해 29% 증대되었으며 수량 회귀곡선을 적용한 결과 최적의 인산칼륨 농도는 2.6%로 나타났다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ012494022019)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Alidoust, D., M. Kawahiqashi, S. Yoshizawa, H. Sumida, and M. Watanabe. 2015. Mechanism of cadmium biosorption from aqueous solution using calcined oyster shells. *J. Environ. Manage.* 150:103-110.
- Amtmann, A., J.P. Hammond, P. Armengaud, and P.J. White. 2005. Nutrient sensing and signalling in plants: potassium and phosphorus. *Adv. Bot. Res.* 43:209-257.
- Arquero, O., C. Navarro, D. Barranco, and C. De Toro. 2002. Use of monopotassium phosphate (MKP) as leaf fertilizer in the olive. *Acta Hortic.* 586:409-410.
- Arslan, U. 2015. Evaluation of antifungal activity of mono and dipotassium phosphates against phytopathogenic fungi. *Fresen. Environ. Bull.* 24:810-816.
- Bolan, N.S., D.C. Adriano, P.A. Mani, and A. Duraisamy. 2003. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. II. Effect of lime addition. *Plant Soil.* 251:187-198.
- Bossio, D.A. and K.M. Scow. 1998. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns. *Microb. Ecol.* 35:265-278.
- Brown, S., B. Christensen, E. Lombi, M. McLaughlin, S. McGrath, J. Colpaert, and J. Vangronsveld. 2005. An inter-laboratory study to test the ability of amendments to reduce the availability of Cd, Pb, and Zn in situ. *Environ. Pollut.* 138:34-45.
- Carvalho, A.A.d., S.K.V. Bertolucci, G.M.d. Silva, S.H.B.d. Cunha, H.L.H. Roza, S. Aazza, and J.E.B.P. Pinto. 2018. Mesos components (CaCl₂, MgSO₄, KH₂PO₄) induced changes in growth and ascaridole content of *Dysphania ambrosioides* L. in vitro. *Ind. Crops Prod.* 122:28-36.
- Cecilio Filho, A.B., S.M.C. Nascimento, A.S.N. Silva, and P.F. Vargas. 2016. Agronomic performance of sweet potato with different potassium fertilization rates. *Hortic. Bras.* 34:588-592.
- Chapagain, B.P. and Z. Wiesman. 2004. Effect of Nutri-Vant-PeaK foliar spray on plant development, yield, and fruit quality in greenhouse tomatoes. *Sci. Hortic.-Amsterdam* 102:177-188.
- Choi, S.T., D.S. Park, G.H. Ahn, S.C. Kim, and T.M. Choi. 2013. Foliar-application effects of urea and potassium phosphate on fruit characteristics and reserve accumulations of persimmon trees 75%-defoliated in early autumn. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46:53-57.
- Costa, C.C., A.B. Cecilio Filho, R.L. Cavarianni, and J.C. Barbosa. 2004. Net melon yield as affected by potassium concentration in nutrient solution and number of fruits per plant. *Hortic. Bras.* 22:23-27.
- George, M.S., G.Q. Lu, and W.J. Zhou. 2002. Genotypic variation for K uptake and utilization efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Field Crops Res.* 77:7-15.
- Grogan, D.W. and J.E. Cronan. 1997. Cyclopropane ring formation in membrane lipids of bacteria. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 61:429-441.

- Guckert, J.B., M.A. Hood, and D.C. White. 1986. Phospholipid ester-linked fatty acid profile changes during nutrient deprivation of *Vibrio cholerae*: increases in cis/trans ratio and proportions of cyclopropyl fatty acid. *Appl. Environ. Microbiol.* 52:794-801.
- Gyaneshwar, P., L.J. Parekh, G. Archana, P.S. Podle, M.D. Collins, R.A. Hutson, and K.G. Naresh. 1999. Involvement of a phosphate starvation inducible glucose dehydrogenase in soil phosphate solubilization by *Enterobacter asburiae*. *FEMS Microbiol. Lett.* 171:223-229.
- Hamel, C., K. Hanson, F. Selles, A.F. Cruz, R. Lemke, B. McConkey, and R. Zentner. 2006. Seasonal and long-term resource-related variations in soil microbial communities in wheat-based rotations of the Canadian prairie. *Soil Biol. Biochem.* 38:2104-2116.
- Hopkins, B.G., J.W. Ellsworth, A.K. Shiffler, A.G. Cook, and T.R. Bowen. 2010. Monopotassium phosphate as an in-season fertigation option for potato. *J. Plant Nutr.* 33:1422-1434.
- Igalavithana, A.D., S.E. Lee, Y.H. Lee, D.C.W. Tsang, J. Rinklebe, E.E. Kwon, and Y.S. Ok. 2017. Heavy metal immobilization and microbial community abundance by vegetable waste and pine cone biochar of agricultural soils. *Chemosphere* 174:593-603.
- Jung, S.T., J.W. Rhim, and S.G. Kang. 1998. Quality properties and carotenoid pigments of yellow sweet potato puree. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 27:596-602.
- Kim, M.K., Y.S. Ok, J.Y. Heo, S.L. Choi, S.D. Lee, H.Y. Shin, J.H. Kim, H.R. Kim, and Y.H. Lee. 2014. Analysis of soil microbial communities formed by different upland fields in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47:100-106.
- Lee, H.H. and C.O. Hong. 2016. Phosphate associated cadmium immobilization mechanism depending on the original concentration of Cd in soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49:429-433.
- Lee, Y.H. and H. Kim. 2011. Response of soil microbial communities to different farming systems for upland soybean cultivation. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54:423-433.
- Lee, Y.H. and H.D. Yun. 2011. Changes in microbial community of agricultural soils subjected to organic farming system in Korean paddy fields with no-till management. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 54:434-441.
- Liu, Z., X. Ji, H. Peng, F. Tian, J. Wu, and L. Shi. 2012. Effects of phosphorous fertilizers on phytoavailability of cadmium in its contaminated soil and related mechanisms. *Chin. J. Appl. Ecol.* 23:1585-1590.
- Manimel Wadu, M.C.W., T.B. Goh, and O.O. Akinremi. 2016. Response of manitoba soils to banding phosphorus with sulfate or carbonate salts. *Can. J. Soil. Sci.* 96:447-460.
- Mechri, B., H. Chehab, F. Attia, F.B. Mariem, M. Braham, and M. Hammami. 2010. Olive mill wastewater effects on the microbial communities as studied in the field of olive trees by analysis of fatty acid signatures. *Eur. J. Soil Biol.* 46:312-318.
- Moon, J.Y., B.K. Min, J.H. Shin, Y.C. Choi, H.J. Cho, Y.H. Lee, J. Lee, and J.Y. Heo. 2018. Effect of curing treatments on the Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum*) of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51:247-254.
- Moon, J.Y., J.K. Song, J.H. Shin, Y.C. Cho, J.W. Bae, J.Y. Heo, H.W. Kang, and Y.H. Lee. 2016. Effect of biodegradable mulch film on soil microbial community. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49:125-131.
- Mori, T., C. Wachrinrat, D. Staporn, P. Meunpong, W. Suebsai, K. Matsubara, K. Boonsri, W. Lumban, M. Kuawong, T. Phukdee, J. Srifai, and K. Boonmanb. 2016. Contrastive effects of inorganic phosphorus addition on soil microbial respiration and microbial biomass in tropical monoculture tree plantation soils in Thailand. *ANRES* 50:327-330.
- NAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2010. Methods of soil chemical analysis. Suwon, Korea.
- Nerson, H., M. Edelstein, R. Berdugo, and Y. Ankorian. 1997. Monopotassium phosphate as a phosphorus and potassium source for greenhouse-winter-grown cucumber and muskmelon. *J. Plant Nutr.* 20:335-344.

- Ok, Y.S., S.E. Oh, M. Ahmad, S. Hyun, K.R. Kim, D.H. Moon, S.S. Lee, K.J. Lim, W. Jeon, and J. E. Yang. 2010. Effects of natural and calcined oyster shells on Cd and Pb immobilization in contaminated soils. *Environ. Earth Sci.* 61:1301-1308.
- Osaki, M., H. Ueda, T. Shinano, H. Matsui, and T. Tadano. 1995. Accumulation of carbon and nitrogen compounds in sweet potato plants grown under deficiency of N, P, or K nutrients. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 41:557-566.
- Ozanne, P.G. 1980. Phosphate nutrition of plants: a general treatise. In: *The role of phosphorus in agriculture*. American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp. 559-589.
- Park, I.S., H.J. Lee, M.K. Lee, and I.S. Park. 2006. Characterization of mushroom tyrosinase inhibitor in sweet potato. *J. Life Sci.* 16:396-399.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Standard of analysis and survey for agricultural experiment. Suwon, Korea.
- SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC.
- Schutter, M.E. and R.P. Dick. 2000. Comparison of fatty acid methyl ester (FAME) methods for characterizing microbial communities. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1659-1668.
- Scott, L.E. 1950. Potassium uptake by the sweet potato plant. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 56:248-252.
- Talboys, P.J., J.R. Healey, P.J.A. Withers, and D.L. Jones. 2014. Phosphate depletion modulates auxin transport in *Triticum aestivum* leading to altered root branching. *J. Exp. Bot.* 65:5023-5032.
- Tang, Z.H., A.J. Zhang, M. Wei, X.G. Chen, Z.H. Liu, H.M. Li, and Y.F. Ding. 2015. Physiological response to potassium deficiency in three sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.) genotypes differing in potassium utilization efficiency. *Acta Physiol. Plant.* 37:184.
- Wu, S.C., Z.H. Cao, Z.G. Li, K.C. Cheung, and M.H. Wong. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixers, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* 125:155-166.
- Zipelevish, E., A. Grinberge, S. Amar, Y. Gilbo, and U. Kafafi. 2000. Eggplant dry matter composition fruit yield and quality as affected by phosphate and total salinity caused by potassium fertilizers in the irrigation solution. *J. Plant Nutr.* 23:431-442.