Korean J. Soil Sci. Fert. Vol.52, No.3, pp.263-270, 2019

Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

Article

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2019.52.3.263
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Growth and Yield Response of Sweet Potato to Different Application Rates of Chemical Fertilizer under Polyethylene Mulch

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

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

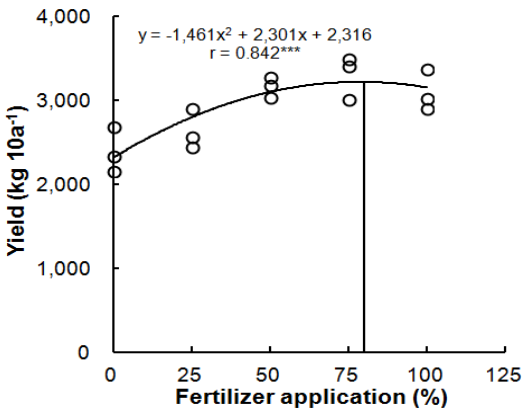
***Corresponding author:** bopo@korea.kr (J.Y. Heo), srmin@kribb.re.kr (S.R. Min)

Received: July 8, 2019
Revised: August 13, 2019
Accepted: August 23, 2019

A B S T R A C T

Growth and yield components of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) were investigated under 0, 25, 50, 75, and 100% application rates of soil test based fertilizer recommendation with 5.5 kg $10a^{-1}$ N, 10.1 kg $10a^{-1}$ P_2O_5, and 19.8 kg $10a^{-1}$ K_2O under polyethylene mulch. Soil chemical properties showed no significantly increased by increasing application rates of fertilizer recommendation. The 75% and 100% treatments increased total fatty acid methyl ester (FAME), bacterial FAME, Gram-negative and −positive bacterial FAME, and fungal FAME. The soil of 75% treatment had a significantly lower community of Gram-positive bacteria compared with 0%, 25%, and 50% treatments. The marketable root number was significantly higher in fertilizer 25% and 75% treatments, whereas marketable root weight was significantly higher in fertilizer 50% treatment. The highest increase in productivity of sweet potato is reached with 75% fertilization (3,305 kg $10a^{-1}$) of fertilizer recommendation and optimum fertilizer rates based on regression yield curve was 80% fertilization of fertilizer recommendation. These results indicate that new soil test based fertilizer recommendation was more effect on the productivity of sweet potato as well as soil nutrient conservation under polyethylene mulch system.

Keywords: Application rate, Polyethylene mulch, Recommendation fertilizer, Sweet potato



Regression yield curve of sweet potato different according to application rates of fertilizer recommendation.

© The Korean Society of Soil Science and Fertilizer. 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.

Introduction

고구마는 쌀, 카사바, 밀, 옥수수 다음으로 탄수화물이 많은 식품이다 (Hayati et al., 2017). 그리고 단백질과 지방함량이 낮은 반면 식이섬유, 비타민, 무기질 등이 풍부하다 (Jaya, 2013; Hadgu et al., 2015). 고구마 수량증대를 위한 방법으로 품종개량, 토양 비옥도와 작물 관리 방법 개선, 비료 사용량과 잡초 방제, 경운방법에 따른 유기물 시용효과 등에 대한 연구가 진행되었다 (Lugo-Torres and Díaz, 2007; Agbede, 2010; Chen et al., 2017; Sebayang et al., 2018; Pan et al., 2019). 고구마 재배에서 질소비료를 시용하면 엽면적과 괴근 무게가 증가되어 최종적으로 수량이 증대되는 효과가 있다 (Bourke, 1985). 그러나 질소가 적정량을 초과할 경우에는 지상부는 증가하지만 지하부 발육을 억제하여 수량이 감소된다 (Kwack, 1969). 칼리 비료를 시용하면 고구마 괴근 수와 괴근 무게 증가를 가져오며 (Bourke, 1985) 부족할 경우 길고 가느다란 괴경으로 상품가치가 낮아지게 된다 (Scott, 1950). 인산 비료는 고구마 생육과 복제에 필요한 에너지를 운반하고 저장하며 (Ozanne, 1980), 광합성과 탄소 대사과정에 중요하다 (Costa et al., 2004; Wu et al., 2005). 고구마에 대한 양분관리 방법으로 Oh and Chang (1969)은 고구마 적정시비량을 10a당 질소 9.1 kg, 인산 5.2 kg, 칼리 18.4 kg을 시용할 경우 수량이 8% 증대된다고 보고하였다. Nam et al. (1996)은 고구마 조기재배에서 다비할수록 지상부 생육량은 많았으며, 지하부 생육량은 10a 면적에 질소 2.7 kg, 인산 6.5 kg, 칼리 19.8 kg까지는 다비할수록 많았다고 하였다. 또한, 이후의 연구결과에서 고구마 재배를 위한 적정시비량은 10a 면적당 질소 6.0 kg, 인산 7.0 kg, 칼리 19.0 kg으로 제시하였다 (Nam et al., 2001). Mukhongo et al. (2017)은 10a 기준으로 질소는 9.0 kg, 인산은 1.5 - 3.0 kg, 칼리는 10.0 kg을 시용하면 수량이 450 kg에서 3,000 kg으로 증대된다고 하였다. 현재는 농촌진흥청 농업과학기술원에서 고구마에 대한 10a 기준 표준시비량으로 기경지는 질소 5.5 kg, 인산 6.3 kg, 칼리 15.6 kg을 사용하고 개간지는 질소 9.0 kg, 인산 9.0 kg, 칼리 24.0 kg을 제안하고 있다 (NIAS, 2017). 그리고 토양 검정시비량으로 질소, 인산, 칼리 함량을 구하여 토양 비옥도에 따라 양분관리를 할 수 있도록 관리하고 있다. 그럼에도 불구하고 강우에 의한 양분 용탈이 적고 양분이용률이 높은 멀칭재배에서는 고구마의 적정시비량을 조정할 필요성이 있다.

따라서 본 연구는 고구마 멀칭재배에서 토양검정 추천시비량의 시비수준이 생육과 수량에 미치는 영향을 검토하여 농가에 활용코자 수행하였다.

Materials and Methods

재배 및 토양 조건 고구마에 대한 시비수준을 검토하기 위해 이현미사질양토 (Ihyeon series, Coarse silty, mixed, mesic family of Dystric Fluventic Eutrochrepts) 포장에서 시험을 수행하였다. 처리내용은 토양 분석을 통한 검정시비량인 질소 5.5, 인산 10.1, 칼리 19.8 kg $10a^{-1}$을 기준으로 시비량을 0, 25, 50, 75 및 100% 수준으로 시험하였다. 고구마 시험품종은 '진율미'를 이용하였고 정식할 종순은 정식 3일전 세력이 균일한 줄기의 상단을 30 cm 길이로 잘라서 순화시켜 2018년 5월 15일에 정식하였다. 시험구는 하나당 3 m × 4 m 로 구획을 나누어 각 처리에 맞추어 시비한 후 75 cm 너비로 4개의 이랑을 조성하고 PE필름으로 피복하였다. 정식 간격은 20 cm 길이로 처리당 80주, 3반복으로 수행하였고 정식 120일 후인 9월 13일에 수확하였다. 고구마 생육은 시험구 4개 이랑 중 안쪽 2개 이랑에서 조사하였는데 수확직전에 주만장, 경엽중 등 지상부 생육과 수확 후 상품무게, 주당 상품수 등 수량 특성을 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2012)에 따라 수행하였다. 시험전 토양 화학성은 pH 6.6, EC 0.19 dS m^{-1}, 유기물 21 g kg^{-1}, 유효인산 505 mg kg^{-1}, 치환성 칼륨 0.48 $cmol_c$ kg^{-1}, 치환성 칼슘 8.6 $cmol_c$ kg^{-1}, 치환성 마그네슘 2.6 $cmol_c$ kg^{-1}

의 전형적인 밭토양 특징을 나타냈다. 양분관리를 위해서 질소는 요소, 인산은 용성인비, 칼리는 황산칼리 비료를 전량 기비로 시비하였다.

토양 화학성분 분석방법 토양 화학성분 분석을 위한 시료는 표토를 1 cm정도 걷어내고 1 - 15 cm 깊이에서 1 kg 정도를 3반복으로 채취하였다. 채취한 토양시료는 토양화학분석법 (NIAS, 2010)을 적용하여 시료조제와 분석을 하였다. 토양 pH와 EC는 토양 10 g에 50 mL 증류수를 가하여 1:5 비율로 희석하여 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 칼륨, 칼슘, 및 마그네슘 등의 양이온은 1 M NH_4OAc로 추출하여 ICP (AAnalyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)로 분석하였고 질산태 질소는 킬달법으로 정량하였다.

토양 미생물 군집 분석 수확기 토양의 미생물 함량과 군집은 습토를 사용하여 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; Moon et al., 2018). 미생물 분석은 GC Agilent 6890N (Agilent Technologies, USA)과 HP-ULTRA 2 capillary column (25 m × 0.2 mm × 0.33 μm film thickness, Agilent Technologies, USA)을 사용하였으며 Internal standard 19:0을 이용하여 상대적인 지방산 함량과 비율을 계산하였다 (Hamel et al., 2006; Kim et al., 2014).

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

Results and Discussion

토양 화학성 변화 고구마 멀칭재배에서 토양검정 추천시비량의 시비수준에 따른 수확기 토양 화학성은 Table 1과 같다. 토양 pH는 무처리 6.8에 비해 시비수준이 증가할수록 7.0까지 높아졌으나 유의성은 없었다. 추천시비량의 75% 수준과 100% 수준으로 처리한 경우 토양 전기전도도 (EC)는 0.29 dS m^{-1}, 유효인산은 347, 355 mg kg^{-1}, 치환성 칼륨은 0.39와 0.37 $cmol_c$ kg^{-1}, 치환성 칼슘은 9.3, 9.5 $cmol_c$ kg^{-1} 그리고 치환성 마그네슘 함량은 2.6, 2.5 $cmol_c$ kg^{-1}으로 무처리에 비해 높았으나 유의적인 차이는 없었다. 이러한 결과는 질소 5.5, 인산 10.1, 칼리 19.8 kg $10a^{-1}$을 기준으로 처리하였기 때문에 수확기에 토양 화학성에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되었다. Šimanský et al. (2017)은 질산암모늄을 4, 12, 16 kg $10a^{-1}$를 사용하더라도 무처리와 비교할 때 수확기 토양의 유기물 함량과 pH는 큰 차이가 없다고 하였다. 그리고 표준시비량과 토양검정 추천시비량에 따른 pH, EC, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온 등의 토양화학성 변화는 유의적인 차이가 없었다고 보고한 결과와 유사하였다 (Kwak et al., 2003). 또한, Ahn et al. (2018)이 엉겅퀴 재배에서 질소 6.1, 인산 7.0, 염화가리 7.2 kg $10a^{-1}$를 요소, 용성인비, 염화칼리로 시용하였을 때 비료 시비량에 따른 수확기 토양의 pH, 유기물, 치환성 칼슘 함량은 차이가 없었다고 보고한 결과와 일치하였다.

Table 1. Soil chemical properties as affected by different application rates of fertilizer recommendation for sweet potato cultivation.

Amount of NPK test	pH	EC	OM	Avail. P_2O_5	Exch. cation			NO_3-N
					K	Ca	Mg	
%	(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	---------- $cmol_c$ kg^{-1}	----------		mg kg^{-1}
0	6.8a†	0.25a	14a	328a	0.31a	8.8a	2.4a	6.7a
25	6.9a	0.23a	15a	308a	0.24a	8.8a	2.3a	6.1a
50	6.9a	0.23a	15a	323a	0.25a	8.5a	2.4a	12.2a
75	7.0a	0.29a	18a	347a	0.39a	9.3a	2.6a	9.8a
100	7.0a	0.29a	19a	355a	0.37a	9.5a	2.5a	8.7a

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

토양 미생물 군집 토양검정 추천시비량의 시비수준에 따른 수확기 토양 미생물 함량 변화는 Table 2와 같다. 추천시비량의 75% 및 100% 처리구의 총 미생물 함량은 164.1 nmol g^{-1} 및 156.8 nmol g^{-1}으로 무처리, 시비수준 25% 및 50% 처리구에 비해 유의적으로 많았다 ($P < 0.05$). 또한, 총세균, 그람음성세균, 그람양성세균 및 곰팡이 함량도 무처리, 시비수준 25% 및 50% 처리구에 비해 유의적으로 많았다 ($P < 0.05$). 방선균 함량도 추천시비량의 75%와 100% 처리구가 추천시비량 50% 처리구에 비해 유의적으로 많았으며, 내생균근균 함량은 추천시비량 75% 처리구가 무처리에 비해 유의적으로 많았다 ($P < 0.05$). 그람양성세균과 그람음성세균 비율은 무처리가 1.24로서 다른 처리구에 비해 유의적으로 높은 반면 곰팡이와 세균의 비율은 추천시비량 100% 처리구가 0.57로서 무처리, 추천시비량 25% 및 50%에 비해 유의적으로 많았다 ($P < 0.05$). Min et al. (2016)은 건조토양에서 질소 시비량이 증가할수록 총세균, 그람음성세균 군집은 증가한 반면, 그람양성세균, 곰팡이 및 곰팡이와 세균 비율이 감소한다고 하였으나 본 연구에서는 시비수준이 증가할수록 그람양성세균, 곰팡이 함량 및 곰팡이와 세균의 비율이 증가하였다. 이러한 결과는 질소시비량이 증가할수록 곰팡이와 세균 비율이 증가하고 그람양성세균과 그람음성세균 비율이 감소하다고 보고한 Yevdokimov et al. (2012)의 결과와 일치하였다.

Table 2. Soil microbial biomass as affected by different application rates of fertilizer recommendation for sweet potato cultivation.

Amount of NPK test	TF†	B	G(-)	G(+)	A	F	AMF	G(+)/G(-)	F/B
%	---------- nmol g^{-1}	----------							
0	121.7b‡	33.9b	14.4b	17.9b	3.2ab	16.4b	4.3b	1.24a	0.48b
25	130.1b	37.9b	17.3b	18.6b	3.2ab	18.5b	7.0ab	1.09b	0.49b
50	129.3b	38.0b	17.2b	18.8b	2.7b	18.0b	6.6ab	1.09b	0.47b
75	164.1a	46.1a	20.9a	22.2a	4.1a	23.7a	8.3a	1.06b	0.51ab
100	156.8a	44.7a	20.3a	21.7a	4.2a	25.7a	6.9ab	1.07b	0.57a

†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 α = 0.05 according to Duncan's multiple range test.

토양검정 추천시비량의 시비수준에 따른 수확기 토양 미생물 군집의 변화는 Table 3과 같다. 그람음성세균 군집은 추천시비량 25% 처리구가 13.2%, 50% 처리구가 13.3%, 100% 처리구에서 12.9%로 무처리 11.8% 보다 유의적으로 많은 반면 그람양성세균 군집은 75% 처리구가 13.5%, 100% 처리구가 13.8%로서 무처리 14.7% 보다 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$). 이러한 결과는 멀칭재배에서 질소 시비수준이 증가할수록 그람양성세균 군집이 감소한다고 보고한 Shasha et al. (2019)의 결과와 일치하였다. 그러나 총세균, 방선균 및 내생균근균의 군집은 처리간에 유의적인 차이가 없었다.

Table 3. Soil microbial communities as affected by different application rates of fertilizer recommendation for sweet potato cultivation.

Amount of NPK test	B†	G(-)	G(+)	A	F	AMF
%	----------	----------	%	----------	----------	----------
0	27.9a‡	11.8b	14.7a	2.6a	13.5b	3.5a
25	29.1a	13.2a	14.4ab	2.4a	14.2b	5.5a
50	29.4a	13.3a	14.5ab	2.1a	13.9b	5.0a
75	28.1a	12.7ab	13.5c	2.5a	14.4b	5.1a
100	28.5a	12.9a	13.8bc	2.7a	16.3a	4.5a

†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.

고구마 생육 및 수량 수확기 고구마 생육과 수량은 Table 4와 같다. 지상부 무게는 추천시비량 100% 처리구가 5,822 kg $10a^{-1}$로 무처리 4,469 kg $10a^{-1}$ 및 25% 처리구 4,927 kg $10a^{-1}$ 보다 유의적으로 무거웠으며 시비수준이 증가할수록 무거운 경향이었다 ($P < 0.05$). 주당 상품수는 추천시비량 25% 처리구가 4.1개, 75% 처리구가 4.0개로 무처리 2.9개 및 50% 처리구 3.0개 보다 유의적으로 많았다 ($P < 0.05$). 개당 상품중은 추천시비량 50% 처리구가 157 g으로 다른 처리구 보다 유의적으로 무거웠다 ($P < 0.05$). 고구마 수량은 추천시비량 75% 처리구가 3,305 kg $10a^{-1}$으로 가장 많았으며 무처리 3,102 kg $10a^{-1}$에 비해 6.5% 증수되는 효과가 있었다 ($P < 0.05$).

Table 4. Effect of different application rates of fertilizer recommendation on the growth and yield of sweet potato.

Amount of NPK test	Vine lengh	Node number	Plant weight	Marketable root number	Marketable root weight	Yield
%	cm	no. $plant^{-1}$	kg $10a^{-1}$	no. $plant^{-1}$	g	kg $10a^{-1}$
0	207a†	63a	4,469b	2.9b	123b	2,388b
25	192a	58a	4,927b	4.1a	99b	2,634b
50	191a	61a	5,011ab	3.0b	157a	3,160a
75	227a	55a	5,225ab	4.0a	125b	3,305a
100	242a	66a	5,822a	3.3ab	125b	3,102a

†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.

추천시비량의 시비수준에 따른 고구마의 생육상황은 Photo 1과 같으며 멀칭재배에서 수량 회귀곡선은 Fig. 1과 같이 $Y = -1{,}461X^2 + 2{,}301X + 2{,}316$ ($r = 0.842$***)의 수식을 보였고, 최적 시비수준은 추천시비량의 80%로 나타났다. Islam et al. (1994)은 비닐 멀칭 재배를 통하여 고구마 수량이 3% 정도 증대되는 효과가 있으며 질소 이용률을 높여 질소 시비량과 토양 용탈을 줄일 수 있는 것으로 보고하였다. 또한, Nam et al. (1996)도 지하부 생육량은 10a 면적에 질소 2.7 kg, 인산 6.5 kg, 칼리 19.8 kg 보다 많이 시비할 경우 오히려 감소한다고 하였다. 따라서 고구마 멀칭재배에서는 추천시비량의 80% 수준으로 시용하면 고구마 수량 확보와 더불어 시비효율을 높여 친환경적인 토양관리에 효과적이라고 생각된다.

Photo 1. Yield response of sweet potato to different application rates of fertilizer recommendation.

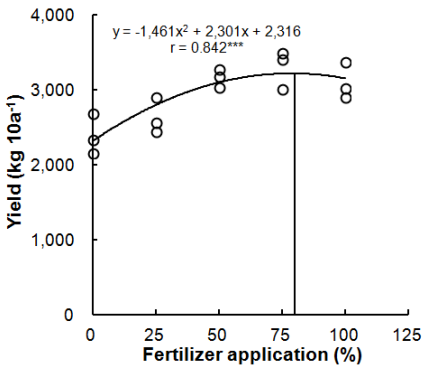


Fig. 1. Regression yield curve of sweet potato according to different application rates of fertilizer recommendation.

Conclusions

고구마 멀칭재배에서 토양검정 추천시비량의 시비수준이 생육과 수량에 미치는 영향을 검토하였다. 수확기 토양 화학성분은 시비수준에 따른 영향이 없었다. 토양 미생물은 시비수준 75%와 100% 처리구에서 FAME, 총세균, 그람음성세균, 그람양성세균, 곰팡이 함량이 높았으며 그람양성세균 군집은 75% 처리구가 0, 25% 및 50% 처리구에 비해 낮았다. 주당 상품수는 25%와 75% 처리구에서 많았으며 개당 상품중은 추천시비량 50% 처리구가 157 g으로 가장 무거웠다. 고구마 수량은 추천시비량 75% 처리구가 3,305 kg $10a^{-1}$으로 무처리에 비해 6.5% 증대되었으며 수량 회귀곡선을 적용한 최적의 시비수준은 추천시비량의 80%였다.

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

Agbede, T.M. 2010. Tillage and fertilizer effects on some soil properties, leaf nutrient concentrations, growth and sweet potato yield on an Alfisol in southwestern Nigeria. Soil Till. Res. 110:25-32.

Ahn, B.K., D.Y. Ko, H.J. Kim, M.S. Ahn, J.H. Lee, and Y.J. Lee. 2018. Impacts of different amounts of N, P, and K fertilizer applications on growth of *Cirsium japonicum* var. *ussuriense* related to soil properties. Korean J. Soil Sci. Fert. 51:211-221.

Bourke, R.M. 1985. Influence of nitrogen and potassium fertilizer on growth of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in Papua New Guinea. Field Crop Res. 12:363-375.

Chen, X., M. Kou, Z. Tang, A. Zhang, H. Li, and M. Wei. 2017. Responses of root physiological characteristics and yield of sweet potato to humic acid urea fertilizer. PLoS ONE 12(12):e0189715. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189715.

Costa, C.C., A.B. Cecílio 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.

Hadgu, G.Z., T. Negesse, and A. Nurfeta. 2015. Nutritive value of fresh, dried (hay) and ensiled vines of four sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties grown in southern Ethiopia. Trop. Subtrop. Agroecosys. 18:195-205.

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.

Hayati, R., M. Hayati, and D. Armanita. 2017. Result of several clone of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in middle east on the influence of phosphor fertilizer dosage and clone types. Proceedings of The International Conference of FoSSA Jember, August 1st-3rd, pp. 193-200.

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.

Islam, T., I. Hasegawa, K. Ganno, N. Kihou, and T. Momonoki. 1994. Vinyl-film mulch: a practice for sweet potato (*Ipomoea Batatas* Lam. var. Edulis Makino) cultivation to reduce nitrate leaching. Agr. Water Manage. 26:1-11.

Jaya, E.F.P. 2013. The use of antioxidants and betacarotene of purple sweet Potato in non-alcoholic beverages manufacturing. Media Gizi Masyarakat Indonesia 2:54-57.

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.

Kwack, P.J. 1969. Studies on increasing the efficiency of nitrogen nutrition. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 11:151-166.

Kwak, H.K., K.S. Seong, N.J. Lee, S.B. Lee, M.S. Han, and K.A. Roh. 2003. Changes in chemical properties and fauna of plastic film house soil by application of chemical fertilizer and composted pig manure. Korean J. Soil Sci. Fert. 36:304-310.

Lugo-Torres, M.deL. and M. Díaz. 2007. Weed control in sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. J. Agric. Univ.

P.R. 91:161-167.

Mark, B.P., S.P. John, and A.A. Craig. 1983. Mobilization of nitrogen in fruiting plants of a cultivar of cowpea. J. Exp. Bot. 34:563-578.

Min, W., H. Guo, W. Zhang, G. Zhou, L. Ma, J. Ye, Y. Liang, and Z. Hou. 2016. Response of soil microbial community and diversity to increasing water salinity and nitrogen fertilization rate in an arid soil. Acta Agr. Scand. B-S. P. 66:117-126.

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.

Mukhongo, R.W., J.B. Tumuhairwe, P. Ebanyat, A.H. AbdelGadir, M. Thuita, and C. Masso. 2017. Combined application of biofertilizers and inorganic nutrients improves sweet potato yields. Front. Plant Sci. 8:219.

Nam, S.Y., S.K. Jong, C.W. Rho, I.J. Kim, and S.K. Park. 1996. Optimum application rate of three major fertilizers in early season cultivation of sweet potato. RDA. J. Agri. Sci. 38:396-401.

Nam, S.Y., S.K. Jong, I.J. Kim, M.J. Kim, C.H. Lee, and T.S. Kim. 2001. Effect of amount of fertilizer and defoliation on dry weight matter in sweet potato. Korean J. Plant Res. 14:43-47.

NIAS (National Institute of Agricultural Science). 2017. Fertilizer recommendation for crops. RDA, Wanju, Korea.

NIAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2010. Methods of soil chemical analysis. Suwon, Korea.

Oh, W.K. and S.H. Chang. 1969. A study of optimum application of fertilizers for major crops in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 2:39-44.

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.

Pan, X.Y., J.Y. Li, K.Y. Deng, R.K. Xu, and R.F. Shen. 2019. Four-year effects of soil acidity amelioration on the yields of canola seeds and sweet potato and N fertilizer efficiency in an ultisol. Field Crop Res. 237:1-11.

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. Rroc. Amer. Sco. Hort. Sci. 56:248-252.

Sebayang, H.T., W.S.D. Yamika, and L.K. Mulyani. 2018. The effect of weeding with two kinds of fertilizers on sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) growth and yield. J. Degrade. Min. Land Manage. 6:1539-1544.

Shasha, L., W. Shaojie, Y. Pengwei, G. Dan, L. Xiujun, L. Shiqing, and T. Chunjie. 2019. Soil microbial communities under film mulching and N fertilization in semiarid farmland. Nutr. Cycl. Agroecosys. 114:1-14.

Šimanský, V., P. Kováčik, and J. Jonczak. 2017. The effect of different doses of N fertilization on the parameters of soil organic matter and soil sorption complex. J. Ecol. Eng. 18:104-111.

Wu, S.C., Z.H. Cao, Z.G. Li, K.C. Cheung, and M.H. Wong. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma 125:155-166.

Yevdokimov, I.V., A. Gattinger, F. Buegger, M. Schloter, and J.C. Munch. 2012. Changes in the structure and activity of a soil microbial community caused by inorganic nitrogen fertilization. Microbiology 81:743-749.