

토양검정에 의한 유기자원 시비처방이 감자의 생육 및 양분이용효율에 미치는 영향

임진수^{1,†} · 이방현² · 강승희¹ · 이태근³

Influence of Fertilization Treatment using Organic Amendment based on Soil Testing on Plant Growth and Nutrient Use Efficiency in Potato

Jin-Soo Lim^{1,†}, Bang-Hyun Lee², Seung-Hee Kang¹, and Tae-Guen Lee³

ABSTRACT In this study, we verified the effects of organic amendment application based on soil testing in potato cultivation. The application rate of organic amendments was determined based on the inorganicization rate of nitrogen, phosphoric acid, and potassium in the organic amendments. There was no significant difference in the length, stalk number, stalk diameter, and leaf color of potato plants under organic amendment application compared with those under chemical fertilization. The quantity of potato tubers and yield of marketable tubers under organic amendment application were higher than those under chemical fertilization. The top fresh weight and top-to-root ratio were the highest under organic amendment application, followed by those under chemical fertilization and the control. The inorganic nitrogen content in the leaves and stems of potato plants was the highest under chemical fertilization. There was no difference in the phosphoric acid content between the potatoes under chemical fertilization and those under organic amendment application. The potassium content in potatoes was higher under chemical fertilization than that under organic amendment application. While the change trend of inorganic nitrogen content in the roots was similar to that in the leaves and stems, the potatoes under organic amendment application, with the highest yield, showed the highest dry weight. The tuber weight showed a positive correlation with plant length, stalk number, and stalk diameter. The higher the weight of the tuber, the higher the weight of the marketable tuber, and the higher the top fresh weight, the higher the yield. Therefore, to increase yield, it is necessary to supply nutrients to improve the top fresh weight to the optimal level. There was no difference in the utilization efficiency of nitrogen and potassium between the potatoes under chemical fertilization and those under organic amendment application. The utilization efficiency of phosphoric acid was increased by 0.1% in potatoes under organic amendment application compared with that under other treatments. Regarding soil chemistry after harvest, the soils under organic amendment application showed a higher electrical conductivity and higher nitrogen and phosphoric acid content than those under other treatments. Therefore, the organic amendment method used in this study can be an alternative to chemical fertilization. It is also advantageous for the cultivation of subsequent crops in potato fields.

Keywords : fertilization, nutrient use efficiency, organic amendment, potato, soil testing

감자는 세계 4대 식량작물 중 하나로써 우리나라에서 감자의 생산량은 2019년 630,140 ton으로 2018년 대비 15% 정도 증가하였으며, 단위수량은 2018년 대비 22% 증가한 28,650 kg·ha⁻¹이다(Korean Statistical Information Service, 2019). 국내에서 생산되는 감자는 대부분 봄감자이며, 30%

가 강원도에서 생산되고 있지만 유기재배인증을 받아서 생산하는 농가 및 법인수는 2020년 8월 현재 1,559개로 이중 충청북도는 24% 차지하며 이중 괴산군에서 27% 차지하고 있다(National Agricultural Products Quality Management Service, 2020).

¹사단법인 휴살림연구소 차장 (Administrative Manager, Heuksalim Soil Research Institute, Goesan 28002, Republic of Korea)

²사단법인 휴살림연구소 연구원 (Researcher, Heuksalim Soil Research Institute, Goesan 28002, Republic of Korea)

³사단법인 휴살림연구소 대표 (Chief, Heuksalim Soil Research Institute, Goesan 28002, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Jin-Soo Lim; (Phone) +82-43-833-5004; (E-mail) 3663225@heuksalim.com

<Received 22 August, 2020; Revised 31 August, 2020; Accepted 14 September, 2020>

감자재배는 현재 관행적으로 표준시비량 및 검정시비량의 몇 배 정도 증시하는 경향이 있는데(Jeong *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2006), 과비는 양분과다에 의한 염류집적 및 침출수 유출 등 환경을 오염시키고 있다 한다(Sohn & Han, 2000). 유기재배는 화학비료 대신 농가부산물 등 다양한 유기자원을 활용하여 양분을 공급하며, 유기농업에 따른 작물재배는 고품질, 다수확 및 환경보전의 목적을 모두 만족시켜야 한다.

감자의 식량자급도는 105.3%로 쌀보다도 높는데(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2019), 자급율이 높은 감자의 유기재배는 우리가 사는 환경을 더욱 보호할 수 있으며, 유기재배를 확대시키기 위해서는 기본적으로 유기재배에 사용 되어지는 유기자원의 적절한 사용방법이 제시되어야 한다.

작물의 생산성을 높이면서 환경오염의 문제를 줄이기 위해 토양검정에 따라 달리 시비하고자 하는 연구로는 고풍지 성토지에서 인산과 칼리 증시 효과(Lee *et al.*, 2002), 여름재배 가공용 감자의 질소시비량 결정(Jeong *et al.*, 2005)이 있으며, 질소위주의 연구로는 감자의 재식밀도와 시비수준에 따른 내부 생리장해 발생정도(Kim *et al.*, 1997), 화산회토에서의 시비처리에 따른 양분 흡수(Kang *et al.*, 2001) 등의 연구가 있지만, 모두 화학비료를 사용하는 관행재배를 위한 연구로써 유기재배에 적용하기에는 무리가 있다.

유기재배에서 사용되어지는 유기자원 양분 중 질소의 무기화율은 유기자원의 탄질율에 따라 다르다(Shin *et al.*, 2015).

따라서 본 연구는 감자 유기재배 시 유기자원의 시비량 결정을 위해서 유기자원에 N, P, K 무기화율을 적용하여

포장 시험을 실시하여 유기재배 농가에서 활용할 수 있는 시비처방 모델을 구축하는데 목적을 두고 수행하였다.

재료 및 방법

시험 토양

시비량 결정을 하기 위하여 밭거름 주기 10일 전에 토양 화학성 분석을 하였다(Table 1). 토양산도와 칼슘은 감자 적정 기준치보다 높았지만, 토양유기물, 유효인산, 칼륨과 양이온치환용량은 기준치보다 낮았다. 전기전도도와 마그네슘 함량은 적정 기준치 범위 내에 있었다.

유기자원의 화학적 조성

시험에 사용한 유기자원은 질소, 인산, 칼륨의 공급원으로 균배양체, 유박 및 미라클 K (가딘)를 사용하였다(Table 2). 유기자원 각각의 탄소함량은 Nam *et al.* (1998)이 제시한 식 (1)에 의하여 계산하였다.

$$\text{탄소함량(\%)} = 1.995 + 0.484 \times \text{유기물함량(\%)} \quad (1)$$

시비량 결정

토양검정에 의한 질소 추천 시비량은 노지재배의 경우 토양 유기물 함량을 기준으로 하며, 인산은 토양 유효인산 함량, 칼리는 토양 내 칼륨 함량에 따라 달리 처방되며, 퇴구비 사용량 또한 토양 유기물 함량을 기준으로 처방한다(NIAST, 2017). 각각의 유기자원은 비료 추천 성분량을 기준으로 처방하였으며 NIAST(2017)이 제시한 식 (2~5)에 의하여 계산하였다.

Table 1. Chemical properties of upland soil pre-treatment (initial).

Item	pH (1:5)	EC (dS·m ⁻¹)	SOM (g·kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹)	K ⁺ ----- (Ex. Cations	Ca ²⁺ cmol ⁺ ·kg ⁻¹)	Mg ²⁺ -----	CEC -----
Exp. Soil	6.8	0.3	10	133.7	0.1	9.1	1.6	7.4
Optimum range for potato ^{†)}	5.5~6.2	2>	20~30	250~350	0.5~0.6	4.5~5.5	1.5~2	10~15

^{†)} National Institute of Agricultural Science and Technology, 2017.

Table 2. Chemical properties of organic amendments.

Organic amendments	Organic matter	Total nitrogen	Phosphorus	Potassium	Total carbon	C:N ratio
	----- (%)					
Microorganism compost	47.2	1.7	1	0.8	24.8	14.6
Mixed oil-cake	79.6	4.4	2	1.2	40.5	9.2
Miracle K	0	0	0.3	11		

$$\text{질소비료 사용량(kg}\cdot\text{1 ha}^{-1}\text{)} = 163.29 - 0.98 \times \text{OM} \quad (2)$$

(OM: 토양 유기물 함량)

$$\text{인산비료 사용량(kg}\cdot\text{1 ha}^{-1}\text{)} = 124.69 - 0.14 \times \chi \quad (3)$$

(χ: 토양 유효인산 함량)

$$\text{칼리비료 사용량(kg}\cdot\text{1 ha}^{-1}\text{)} = 217.30 - 101.56 \times \chi \quad (4)$$

(χ: 토양 칼륨 함량)

$$\begin{aligned} &\text{퇴구비(우분퇴비) 사용량(kg}\cdot\text{1 ha}^{-1}\text{)} \\ &= \begin{cases} 20,000 & (\text{OM} \leq 20) \\ 15,000 & (20 < \text{OM} \leq 30) \\ 10,000 & (\text{OM} > 31) \end{cases} \quad (5) \end{aligned}$$

(OM: 토양 유기물 함량)

시비량 결정을 위한 유기자원의 질소 무기화율은 Lim *et al.* (2019)의 자료에 각각 120일을 적용하였고, 질소기아현상을 유발하지 않는 유기자원의 탄질율은 30 전후(Gale *et al.*, 2006; Shin *et al.*, 2015), 토양 중 무기태질소를 더 많이 이용하여 전기전도도를 감소시키는 유기자원의 탄질율은 30 이상(Lee *et al.*, 2009), 탄질비가 33.7인 축분퇴비는 토양 중 질소의 고정화 기능을 나타낸다(Lee *et al.*, 2012)고 하여 유기자원의 질소무기화율이 최저(0)가 되는 탄질율을 35로 기준하여 탄질율에 따른 질소의 무기화율을 만들었으며(Table 3) 선형추세회귀식 (6)을 도출하였다. 질소무기화율에 대하여 탄질율로 예측하는 회귀분석을 실시한 결과

이 회귀모형은 통계적으로 유의미하였다(F(1,3)=7.257, p<0.1). 식 (6)에 균배양체(C:N율 14.6)와 유박(C:N율 9.2)의 탄질율을 적용하여 본 시험에 사용된 유기자원의 질소 무기화율을 구하였으며, 인산과 칼륨의 무기화율은 일률적으로 80%와 90%를 적용하였다(Table 4).

$$\text{질소무기화율} = - 2.6136 \times \text{탄질율} + 80.891 \quad (R^2 = 0.7075) \quad (6)$$

시험구 구성

본 시험은 2020년 3월부터 6월까지 4개월 동안 충청북도 괴산군에 위치한 (사)흙살림연구소 시험 농장에서 수행하였다. 시험구는 7.3 m × 6 m의 크기로 조성하였으며, 처리구는 화학비료구, 유기자원구 및 무처리구로 구성하였다. 화학비료구의 질소질 비료는 요소, 인산질 비료는 용성인비, 칼리질 비료는 황산칼리, 추천된 혼합퇴비는 균배양체로 대체하여 사용하였다. Heuktoram (2019)에서 추천된 비료 성분량대로 화학비료구는 질소, 인산, 칼리 전량을 밀거름으로 사용하였다. 유기자원구는 유기자원에 무기화율을 적용하여 (Table 4) Heuktoram (2019)에서 추천된 비료 성분량에 맞춰 질소, 인산, 칼리 전량을 밀거름으로 처방하였으며, 추천된 혼합퇴비는 균배양체로 대체하여 사용하였다. 시험구 배치는 처리구당 난괴법 3반복으로 실시하였다. 각 처리별 추천 시비량에 맞춰 밀거름은 정식 10일 전인 3월 20일에 사용하였다.

시험작물 재배 및 생육조사

감자 품종은 수미로 괴산농업연구소에서 생산한 종서를 구입하여 사용하였다. 정식 1주일 전에 종서의 눈이 1~2개 불도록 소독된 칼로 자른 후 비닐하우스안에서 산광최아를 실시하였다. 포장의 경사도가 10% 정도인 노지 포장에 3월 30일 파종하였다. 파종 간격은 휴간 110 cm, 주간 22 cm로 하였다. 생육조사는 파종 후 55일과 수확 시 총 2차례로 나누어 실시하였다. 생육 중 조사는 초장, 경수, 경경, 엽색도(SPAD value; SPAD-502, Japan) 및 총해율과 토양수분 측정기(Hydro Sense II, USA)로 토양수분과 전기전도도를

Table 3. Nitrogen inorganicization rate according to the C:N ratio.

C:N ratio	Nitrogen inorganicization rate (%)
35	0
15	12.4
14.6	33
9.2	71.6
5.5	80.2

Table 4. Fertilizer inorganicization rate of organic amendments.

Organic amendments	Nitrogen inorganicization	Phosphorus inorganicization	Potassium inorganicization
	----- (%) -----		
Microorganism compost	42.7	80	90
Mixed oil-cake	56.8	80	90
Miracle K	0	80	90

조사하였다. 수확 후 조사는 초장, 경수, 경경, 괴경중, 상서중, 상서율, 경엽중 및 경엽중(Top)/괴경중(Root) 비율을 조사하였으며, 감자의 지상부 및 지하부 N, P, K 성분량과 건물중도 조사하였다. 상서율은 총 괴경수량중 51 g 이상의 상품성 있는 건전한 괴경의 무게를 백분율로 계산하였다. 수확한 감자의 양분이용효율은 Cho *et al.* (2018)이 제시한 식 (7)에 의하여 계산하였다.

$$\text{양분이용효율(\%)} = ((\text{처리구 양분흡수량} - \text{무처리구 양분흡수량}) / \text{처리구 양분투입량}) \times 100 \quad (7)$$

시료 채취 및 분석

토양 화학성을 조사하기 위하여 시험 전과 수확기에 토양 시료를 채취하였다. 각 처리구별로 오거(Augar)를 사용하여 표토(0-20 cm)를 채취하였다. 토양화학성 분석은 상온 건조한 토양을 2 mm 체를 통과 시킨 후, 농촌진흥청에서 제시한 농업과학기술 연구조사분석기준(Rural Development Administration, 2012)에 준하여 토양산도, 전기전도도, 유기물 함량, 질산태질소, 유효인산, 치환성 양이온 등 화학성을 분석하였다. 토양산도, 전기전도도는 5배량의 물로 추출하여 초자전극법을 이용하였고, 유기물 함량은 Walkley Black 법, 질산태질소 함량은 Kjeldahl 증류법, 유효인산은 Lancaster 법으로 분석하였다. 치환성 양이온은 1 N-ammonium acetate 로 침출한 후 ICP (SPECTRO, GENESIS FEE, Germany) 로 정량하였다. 양이온 치환용량은 1 N-ammonium acetate 법으로 분석하였다.

식물체 분석을 위한 감자 시료는 수확기에 처리구별로 반복당 3개씩 수확하였다. 감자의 무기성분 및 건물중은 잎-줄기와 감자뿌리로 나누어 농촌진흥청에서 제시한 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 준하여, 80°C에서 24시간 건조 후 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다. 식물체 시료를 황산으로 습식 분해하여 전질소 함량은 Kjeldahl 증류법, 인산 함량은 Ammonium Vanadate법, 칼륨은 ICP (SPECTRO, GENESIS FEE, Germany)로 정량하였다.

통계 분석

탄질율에 따른 질소의 무기화율에 대한 회귀분석은 lm 함수(P=0.1)를, 시비 처리별 ANOVA 분석은 aov 함수를 사용하였고, 다중검정은 “agricolae” 패키지 안의 scheffe.test() 함수(P=0.05)를, 수확 시의 생육과 수량과의 상관분석은 cor.test() 함수를 사용하였다. 모든 분석은 R프로그램(ver. 3.5.3)을 이용하였다.

결과 및 고찰

양분이용효율

작물의 양분이용율은 pH, 토성, 온도, 수분함량, 유기물 종류 등(Kim *et al.*, 2014)과 토양 양분의 함량(Lee *et al.*, 1993)에 따라 달라진다. 질소의 공급량은 화학비료구가 153 kg·ha⁻¹, 유기자원구는 167 kg·ha⁻¹이었으며, 질소이용효율은 47~64%로 차이가 없었다(Fig. 1). 양분이용효율은 투입량이 많을수록 시비효율은 감소 된다(Lee *et al.*, 1993). 그러나 투입량이 많은 유기자원구에서 양분이용효율이 낮은 것은 수량이 많아 흡수량이 많았기 때문이다.

Kang *et al.* (2001)은 보비구와 증량구에서 감자 생체 및 건물수량은 비슷하지만, 다비 할수록 식물체내 질소함량 및 흡수량은 유의하게 증가한다고 하여 질소의 이용효율을 높이기 위해서는 시비량을 늘리면 된다. Lim *et al.* (2020)도 양배추에서 질소의 2배 증시에서는 화학비료구와 유기자원구에서 질소의 이용효율이 차이가 없다고 하였다. 화학비료구와 유기자원구에서 질소의 이용효율의 차이가 없다는 것은 본 실험에서 적용한 유기자원 탄질율에 따른 질소의 무기화율이 적정하다고 판단된다.

Jeong *et al.* (2005)은 수량을 높이기 위해서는 질소 시비량이 본 연구보다 높은 10a당 33 kg을 추천한다고 하였다. Lee *et al.* (1993)은 10a당 18 kg을 추천한 반면, Kim *et al.* (1997)은 질소 시비량이 10a당 15~20 kg에서는 수량 차이가 없다고 하였으며, 오히려 질소 시비량이 많을수록 감자의 품질이 낮아진다고 하여 본 연구의 시비량이 적정 하였음을 뒷받침한다.

인산의 공급량은 화학비료구와 유기자원구에서 비슷한 106 kg·ha⁻¹과 107 kg·ha⁻¹이었으며, 인산이용효율은 16~28%로 0.1% 수준에서 유기자원구에서 높았다(Fig. 2). OK *et al.* (2016)도 화학비료보다 유박처리에서 더 높은 양분이용율

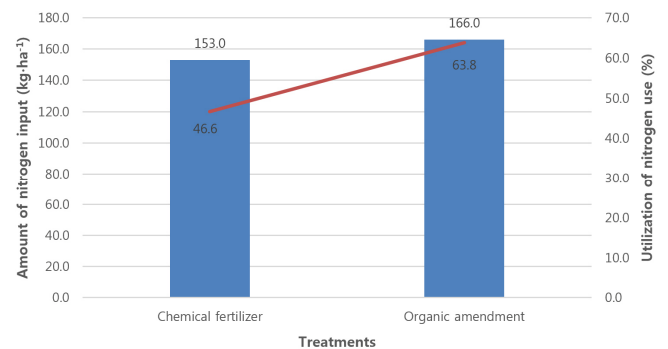


Fig. 1. Amount of nitrogen input and nitrogen utilization under different fertilization methods.

을 보인다고 하였다. 화학비료구의 인산이용효율이 낮은 이유는 시용된 용성인비는 분해가 빠르고 쉽게 토양에 고정된 반면 유기자원구의 경우 균배양체와 유박이 천천히 분해되면서 작물에 흡수량을 증가시킨 것으로 추정된다(Lee *et al.*, 2012). Lim *et al.* (2020)은 양배추에서 같은 양의 인산을 투입할 경우 이용효율의 차이가 없지만 30% 증시할 경우 이용효율이 0.05% 수준에서 높다고 하였다. 같은 양

의 인산을 투입한 본 실험에서도 화학비료구와 유기자원구 간 0.05% 수준에서는 이용효율의 차이가 없었다. 따라서 인산의 이용효율을 높이기 위해서는 인산의 투입량을 30% 증시할 수 있도록 현재의 무기화율을 80%에서 55%로 조절할 필요가 있다. Lee *et al.* (1993)도 인산 시비량은 200 kg·ha⁻¹ 수준에서 수량이 높다고 하여 본 연구보다 인산 시비량의 증가를 제시하였다.

칼륨의 공급량은 화학비료구와 유기자원구 모두 207 kg·ha⁻¹이었으며 칼륨이용효율은 26~29%로 화학비료구와 유기자원구의 차이는 없었다(Fig. 3). 유기자원구의 칼륨 흡수율은 무처리 및 화학비료구보다 낮으므로(Tables 6과 7) 유기자원의 칼륨 이용효율을 화학비료구보다 높이기 위해서는 지금보다 더 많은 양의 칼리질비료 공급을 통해 작물체 내 흡수율을 높일 필요가 있다. Lim *et al.* (2020)은 유기자원 및 광물질의 칼륨이용효율은 화학비료보다 2배 이상 증시할 때 높다고 하였다. 따라서 칼리질 비료의 공급량을 늘리기 위하여 본 연구에서 적용한 칼륨의 무기화율 90%를 50% 내외로 낮출 필요가 있다.

질소, 인산, 칼륨의 양분이용효율은 49~67%, 16~29%, 27~30%로 질소가 가장 높았는데, Lee *et al.* (1993)도 인산, 칼륨보다 질소의 양분이용효율이 가장 높다고 하였다. 전질소, 칼리 및 인산의 함량은 화학비료구와 무처리구보다 유기자원구에서 낮거나 같았음에도 불구하고 양분이용효율에서 유기자원구가 화학비료구보다 낮지 않은 것은 수량이 많았기 때문이다.

토양의 화학성 변화

감자 수확 시기에 토양의 화학성 변화를 조사하였다(Table 5). 시험전과 비교하여 시비처리구의 토양산도는 낮아졌지만 전기전도도, 유기물 함량, 유효인산, 치환성 마그네슘 함량 및 양이온치환용량은 높아졌으며, 질산태질소 함량은 유기자원구에서만 시험 전보다 높아졌다.

토양산도는 무처리구보다 시비처리구에서 낮아졌는데, Lee

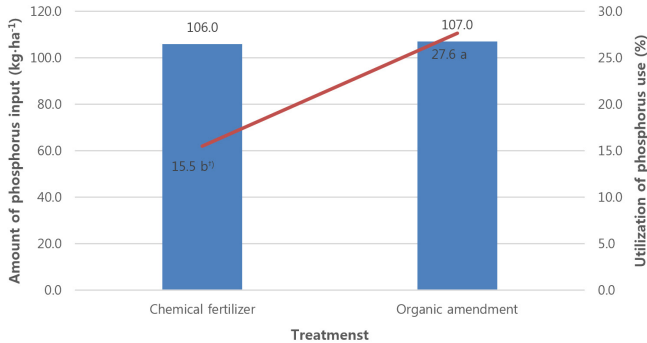


Fig. 2. Amount of phosphorus input and phosphorus utilization under different fertilization methods.

^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Scheffe's multiple range test at P < 0.1.

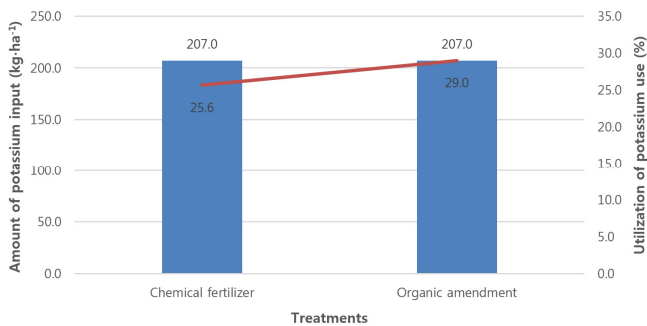


Fig. 3. Amount of potassium input and potassium utilization under different fertilization methods.

Table 5. Soil chemical properties under different fertilization methods after harvesting potatoes.

Treatments	pH (1:5)	EC (dS·m ⁻¹)	SOM (g·kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg·kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹)	K ⁺ (Ex. Cations)	Ca ²⁺ (cmol ⁺ ·kg ⁻¹)	Mg ²⁺ (cmol ⁺ ·kg ⁻¹)	CEC (cmol ⁺ ·kg ⁻¹)
Control	6.82 a ^{†)}	0.23 c	8.07 b	54.09 b	189.62 c	0.12	10.36 a	1.77 c	8.40 b
Chemical fertilizer	6.64 b	0.48 b	12.33 a	59.52 b	239.35 b	0.12	10.01 b	1.93 a	9.13 a
Organic amendment	6.58 b	0.60 a	11.63 a	82.31 a	272.63 a	0.12	10.05 b	1.88 b	8.87 a
p value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.842	<0.05	<0.001	<0.01

^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Scheffe's multiple range test at P < 0.05.

et al. (2010)도 질소 비료 시비량이 많을수록 산도가 낮아진다고 하였다. 전기전도도는 유기자원구에서 화학비료구보다 높았는데, Lee et al. (2010)도 양분 투입량이 많을수록 전기전도도가 높다고 하였으며, 이는 투입한 유기자원에 비료3요소 이외의 양분이 들어 있음을 나타낸다. 토양유기물함량은 무처리보다 시비처리한 화학비료구와 유기자원구에서 높았다. Yun et al. (2007), Park et al. (2008)도 퇴비 등 유기물을 사용하면 토양유기물 함량이 증가한다고 하였다.

Jeong et al. (2003)은 토양유기물함량이 높을수록 괴경의 건물중이 높다고 하였는데, 유기물함량이 높은 유기자원구에서 괴경 건물중이 높았다(Table 7). 그러나 화학비료구에서도 유기물함량이 높았음에도 괴경 건물중은 유기자원구와 같이 높지 않았는데, 건물중에 영향을 미치는 다른 요인은 지상부의 생체중으로 지상부의 생육이 좋을수록 광합성 동화산물이 많아져(Kim et al., 2012; Im et al., 2016) 지상부생체중이 높을수록 뿌리의 수량이 많아지고(Chung et al., 2000), 수량이 많을수록 건물중이 높다(Jeong et al., 2005)고 하였다.

질산태질소는 유기자원구에서 화학비료구보다 높아 유기자원으로 공급된 질소가 고정화보다는 무기화쪽으로 반응이 더 많이 이루어지고 있음을 알 수 있는데, Lee et al. (2010)도 화학비료구보다 축분퇴비구에서 질산태질소 함량

이 높다고 하였다. Kim et al. (2018)과 Kim et al. (2019)는 유기질비료의 과다사용은 토양의 전기전도도와 질산태질소의 함량을 높여 염류 집적이 우려된다고 하였다. 본 연구에서도 전기전도도와 질산태질소의 경우 유기자원으로 처리한 구의 함량이 화학비료구보다 높아졌다. 그러나 감자 재배의 적정 기준치보다 낮아 염류집적의 문제는 발생되지 않을 것으로 판단된다. 유효인산의 경우 유박을 사용한 유기자원구에서 함량이 화학비료구보다 높았는데, Ok et al. (2016)도 유박 시비 후 유효인산의 함량이 높아진다고 하였다.

치환성 칼슘 이온의 함량은 무처리구에서 가장 높았고, 화학비료구와 유기자원구의 함량 차이는 없었다. 시비구가 무처리구보다 낮은 이유는 무처리구에서 시비구보다 칼리 흡수 많았고(Tables 6과 7), 이로 인한 양이온간 길항작용으로 칼슘 흡수가 낮아지므로(Song et al., 2003) 무처리구에서 흡수가 적어 토양내 잔존 칼슘 함량이 무처리구에서 높아진 것으로 판단된다. 치환성 마그네슘 이온의 함량은 화학비료구가 유기자원구보다 높았으며, 무처리구에서 가장 낮았다. 양이온 치환용량은 양이온인 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 등의 양분을 식물이 이용할 수 있게 하는 능력으로 칼슘의 차이가 없던 화학비료구와 유기자원구의 차이는 없었고, 마그네슘의 함량이 낮았던 무처리구에서 양이온치환용량이 낮았다.

Table 6. Concentration of inorganic nutrients in potato stalks and leaves under different fertilization methods.

Treatments	Total nitrogen	Phosphorus	Potassium	Dry matter weight
	----- (%) -----			
Control	1.85 c ^{†)}	0.49 a	3.27 a	14.3
Chemical fertilizer	2.59 a	0.38 b	2.46 b	13.46
Organic amendment	2.14 b	0.40 b	0.80 c	14.11
p value	<0.001	<0.001	<0.001	0.394

^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Scheffe's multiple range test at P < 0.05.

Table 7. Concentration of inorganic nutrients in potato tubers under different fertilization methods.

Treatments	Total nitrogen	Phosphorus	Potassium	Dry matter weight
	----- (%) -----			
Control	0.93 c ^{†)}	0.60 a	2.03 a	15.42 b
Chemical fertilizer	1.64 a	0.48 b	1.76 b	15.51 b
Organic amendment	1.52 b	0.50 b	1.61 c	19.11 a
p value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01

^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Scheffe's multiple range test at P < 0.05.

감자 수확 후 토양의 전기전도도, 질소 및 인산의 함량이 유기자원구에서 높았는데, 작물에 흡수되지 않은 양분은 지하로 용탈될 가능성이 있으므로(Kang *et al.*, 2001) 감자 수확 후의 후작물재배를 통해 양분용탈을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

지상부 및 지하부의 무기성분 함량

감자 줄기·잎의 전질소 함량은 화학비료구에서 가장 높았고, 무처리구에서 가장 낮았다(Table 6). 인산 함량은 무처리구에서 가장 높은 값을 보였는데, Lim (2006)은 화학비료로 준 인산은 토양 고정력이 높아 느리게 식물에 공급된다고 하였다. 인산 함량은 화학비료구와 유기자원구의 차이는 없었는데, Lim *et al.* (2020)은 양배추에서 유기자원의 시비량은 화학비료보다 30% 더 많이 시비할 경우 인산 흡수량이 높지만 같은 양의 인산을 시비할 경우 비슷한 흡수량을 보인다고 하였다. 본 실험에서도 Lim *et al.* (2020)과 같은 무기화율을 적용하여 화학비료와 같은 양을 시비한 결과 흡수량에서는 차이가 없는 결과를 보여 인산의 무기화율은 적정하다고 판단된다. 그러나 유기자원의 인산도 화학비료와 같이 토양에 고정되는 비율을 감안하고, 무처리구보다 높은 흡수율을 맞추려면 지금보다 30% 이상의 증시가 되도록 인산의 무기화율을 새롭게 설정할 필요가 있겠다.

칼륨 함량은 시비처리구보다 무처리구에서 가장 높았다. 칼륨도 토양에 투입되더라도 바로 작물에 흡수되는 것이 아니라 토양에 흡착되어 고정되는 비율이 높기 때문(Lim, 2006)에 칼륨을 처리한 유기자원 및 화학비료구에서 작물에 흡수가 잘 안되어 무처리구보다 함량이 낮아진 것으로 보인다. 무처리에서 칼륨의 함량이 가장 높은 이유는 무처리 토양 내에 있던 칼륨은 감자가 바로 흡수할 수 있는 교환성 칼륨(Lim, 2006)이었기 때문으로 보인다. 그러나 Kang *et al.* (2001)은 무처리구보다 시비증량구에서 가리함량이 높다고 하여 다른 결과를 보였는데, 본 연구보다 질소시비량은 2배정도, 퇴비량은 3배정도 증시하였을 때 가장 높았다.

Lim *et al.* (2020)의 방법과 같은 칼륨의 무기화율을 90%로 적용하여 화학비료와 같은 양을 시비한 결과 무처리구보다도 낮은 흡수율을 보였으므로, 유기자원 칼륨의 시비량을 늘리기 위하여 칼륨의 무기화율은 90%보다 낮출 필요가 있다고 판단된다. Lim *et al.* (2020)도 양배추에서 유기자원의 시비량을 화학비료의 185% 시비할 경우 화학비료구보다 흡수량이 높다고 하였고, 250% 시비할 경우에도 무처리구보다 낮은 흡수율을 보인 것으로 봐서 칼륨의 무기화율을 90%로 적용한 것을 절반 이하로 낮추어야 토양

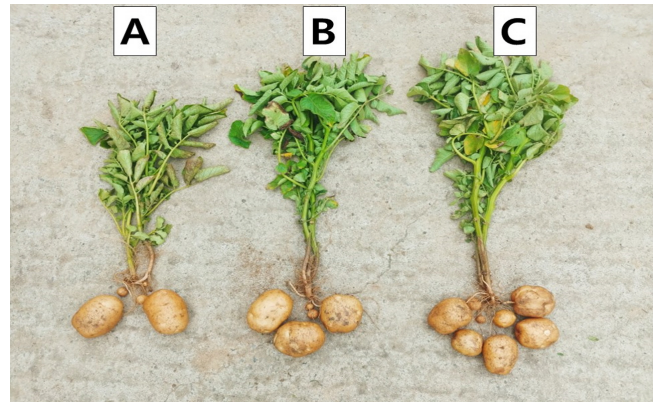


Fig. 4. Photographs of potatoes cultivated under different fertilization methods (A: Control, B: Chemical fertilizer, C: Organic amendment).

에 고정되는 비율을 감안하더라도 무처리구보다 흡수량이 높아질 것으로 판단된다.

감자뿌리에서도 전질소, 인산, 칼륨 함량은 줄기·잎의 처리구별 성분함량과 같은 경향으로 질소함량은 화학비료구에서 높았지만 인산과 칼륨 함량은 무처리구에서 높았다(Table 7). 인산 및 칼리의 함량이 무처리보다 낮은 것은 수량이 많아 인산 및 칼리의 양분을 나눠가지는 양분경합(Kim *et al.*, 2012)이 일어났기 때문인데, Lim *et al.* (2020)도 양배추의 경우 수량이 많은 유기자원 및 화학비료구에서 무처리보다 인산, 칼리의 함량이 낮다고 하여 같은 결과를 보였다. 감자 뿌리의 무기성분함량은 칼륨>질소>인 순으로 칼륨 함량이 가장 많았는데, Jang *et al.* (2011), Park *et al.* (2014), Kim *et al.* (2016)도 칼륨 함량이 가장 많다고 하였다.

건물중은 수량이 많은 유기자원구(Fig. 4)에서 19%로 가장 높은 값을 보였는데, Lee *et al.* (2012)도 비슷한 함량을 보인다고 하였다. 감자의 건물율은 전분함량이나 감자 가공품의 수율과 높은 상관성이 있다(Kim, 2002; Lee *et al.*, 2012). 시비처방시 화학비료보다 유기자원을 사용함으로써 전분함량이 높은 품질 좋은 감자를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

감자뿌리의 건물중이 높은 유기자원구에서 생육이 양호하였는데(Tables 8과 9), Kang *et al.* (2001)은 작물체 생육이 양호하면 양분의 용탈수량은 감소하고 건물중은 높다고 하였다. 이는 본 시험에 적용된 질소무기화율을 고려한 유기자원의 양분 용탈수량이 화학비료보다 높지 않다는 뜻으로써 본 연구에 적용된 질소의 무기화율이 적정하다는 뜻이기도 하다.

전질소 함량과 칼륨 함량은 화학비료구보다 유기자원구에서 낮았고, 인산의 함량은 차이가 없었음에도 유기자원

구의 지상부생육이 화학비료구와 같았으며(Table 8) 수량은 오히려 유기자원구에서 높은 경향을 보여(Table 9) 유기자원의 시비처방 효과가 좋은 것을 알 수 있다.

시비 처리별 생육 특성

괴경비대시기인 파종 후 55일 생육조사시 초장, 경수, 경경 및 엽색도(SPAD value)는 화학비료구와 유기자원구간 차이가 없었으며 무처리구보다 높았다(Table 8). 엽색도(SPAD value)는 질소 흡수량에 비례하며(Hong *et al.*, 2001), 질소의 영양결핍의 지표로 활용 가능한데(Kim *et al.*, 2005), 화학비료구와 유기자원구간 차이가 없는 값을 보여 무기화율을 고려한 유기자원 처리는 화학비료와 비교하여 질소의 부족이 없음을 알 수 있다. 감자의 괴경비대기인 수확 20~30일 전에는 수분을 가장 많이 필요로 하는 시기이다(Rural Development Administration, 2016). 토양수분은 시비처리구보다 무처리구에서 높았는데, 생육은 시비처리를 한 화학비료구와 유기자원구에서 더 좋은 값을 보여 감자 생육에는 수분의 영향보다는 시비의 효과가 더 크게 작용함을 알 수 있다.

괴경 및 상서수량은 화학비료구보다 유기자원구에서 높은 경향이었는데(Table 9), Kwon *et al.* (1996)과 Chung *et al.* (2000)도 유기자원으로 화학비료대체가 가능함을 제시 하였다. 지상부생체중은 유기자원구에서 화학비료구보다 높

았으며 이것은 지상부와 지하부 무게의 비율인 T/R율에 영향을 미쳐 유기자원구에서 T/R율이 높아진 것으로 판단된다. Im *et al.* (2016)도 지상부가 도장된 곳에서 TR율이 높다고 하여 같은 결과를 보였다.

생육 특성과 수량의 상관관계

수확시기의 초장은 경수, 경경, 괴경중, 상서중, 지상부생체중, T/R율 및 건물함량과 양(+)의 상관관계가 인정되었다(Table 10). 경수와 경경은 괴경중, 상서중 및 지상부생체중과 양(+)의 상관관계가 인정되었다. 괴경중은 상서중 및 지상부생체중과 양(+)의 상관관계가 인정되었는데, Im *et al.* (2016)은 상서수량과 엽면적지수는 양(+)의 상관관계가 인정된다고 하여 비슷한 결과를 보였다. 지상부생체중은 T/R율 및 건물함량과 양(+)의 상관관계가 인정되었다.

지상부무게와 지하부무게의 비율인 T/R율과 건물함량은 초장 및 지상부생체중과는 양(+)의 상관관계가 인정되었다. 건물함량은 전분의 함량과 높은 관계를 보이는데(RDA, 2016), 전분의 함량이 높은 품질 좋은 감자를 생산하기 위해서는 초장 및 지상부생체중을 적정 이상 크게 키울 수 있는 양분 공급이 필요하다. 그러나 지상부가 너무 커 도장 되거나 과밀 되면 지상부 과번무를 초래하여 도복에 의한 광합성능

Table 8. Growth and soil characteristics of potatoes following treatment for 55 days.

Treatments	Plant height (cm)	Stalk number (ea)	Stalk diameter (mm)	Leaf color (SPAD value)	Worm damage (%)	Soil moisture (%)	EC (dS·m ⁻¹)
Control	35.8 b ^{†)}	2.4 b	8.3 b	42.9 b	1.2	13.2 a	1.9
Chemical fertilizer	49.2 a	3.3 a	11.3 a	47.0 a	0	9.0 b	1.8
Organic amendment	49.7 a	3.4 a	11.1 a	47.1 a	0	8.9 b	1.8
p value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.05	0.383	<0.01	0.055

^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Scheffe's multiple range test at P < 0.05.

Table 9. Yield characteristics of potatoes following treatment for 85 days.

Treatments	Total tuber weight (R)	Marketable tuber weight (kg·ha ⁻¹)	Marketable tuber ratio (%)	Top fresh weight (T) (kg·ha ⁻¹)	T/R ratio
Control	17,505 b ^{†)}	17,036 b	98	5,520 c	0.32 c
Chemical fertilizer	25,812 ab	24,549 ab	96	11,002 b	0.43 b
Organic amendment	30,980 a	29,555 a	96	16,706 a	0.54 a
p value	<0.013	<0.02	0.742	<0.001	<0.001

^{†)} Means followed by the same letter within a column are not significantly different according to Scheffe's multiple range test at P < 0.05.

Table 10. Correlations between the growth and yield elements of potatoes.

	Plant height	Stalk number	Stalk diameter	Total tuber weight (R)	Marketable tuber weight	Top fresh weight (T)	T/R ratio	Dry matter weight
Plant height	1.00	0.51* ^{†)}	0.51*	0.75*	0.74*	0.77*	0.50*	0.8*
Stalk number		1.00	-0.05	0.6*	0.6*	0.47*	0.14	-0.2
Stalk diameter			1.00	0.59*	0.58*	0.49*	0.03	0.5
Total tuber weight (R)				1.00	0.99*	0.84*	0.18	0.53
Marketable tuber weight					1.00	0.8*	0.13	0.52
Top fresh weight (T)						1.00	0.64*	0.74*
T/R ratio							1.00	0.55
Dry matter weight								1.00

^{†)}: Significant at 0.05 probability levels, respectively.

를저하 및 병해충 다발 등으로 수량성 증대에도 효과적이지 못하며 품질도 낮아지게 된다(Kim *et al.*, 1997; Jeong *et al.*, 2005).

적 요

토양검정에 의한 유기자원 시비처방 효과를 구명하기 위하여 감자를 대상으로 포장시험을 실시하였으며, 유기자원 시비량은 유기자원의 질소, 인산, 칼륨 성분함량에 무기화율을 적용하여 결정한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 질소 및 칼리의 이용효율은 화학비료와 유기자원처리의 차이가 없었으며, 인산의 이용효율은 0.1% 수준에서 유기자원구에서 높았다.
2. 감자 수확 후 토양화학성은 전기전도도, 질소 및 인산 함량이 유기자원구에서 높았다.
3. 감자 잎·줄기의 무기성분 중 질소 함량은 화학비료구에서 가장 높았고, 무처리구에서 가장 낮았다. 인산 및 칼륨 함량은 무처리구에서 가장 높았다. 인산은 화학비료구와 유기자원구의 차이가 없었고, 칼륨은 화학비료구에서 함량이 더 높았다.
4. 뿌리의 무기성분 함량도 잎·줄기에서와 같은 경향을 보였지만 건물중에 있어서는 수량이 많았던 유기자원구에서 가장 높았다.
5. 화학비료구와 유기자원구간 초장, 경수, 경경 및 엽색도는 차이가 없었지만 무처리구보다 높았다.
6. 괴경수량, 상서수량은 유기자원구에서 화학비료구보다 높은 경향이였으며 무처리구보다 높았다.
7. 지상부생체중과 T/R율은 유기자원구>화학비료구>무처리구 순이었다.

8. 초장은 경수, 경경, 괴경중, 상서중, 지상부생체중, T/R율 및 감자의 건물함량과 양(+의 상관관계가 인정되었으며, 괴경중은 초장, 경수 및 경경과 양(+의 상관관계가 인정되었다. 괴경중이 높을수록 상서중도 높았고, 지상부생체중이 높을수록 수량도 높은 양(+의 상관관계가 인정되어 수량을 키우기 위해서는 지상부도 적정 이상으로 키우는 양분공급이 필요하다.
9. 이상의 결과를 볼때 본 연구에서 유기자원으로 처방한 시비방법은 화학비료대비 적정한 유기자원 처방방법으로 활용가능하며, 후작물 재배에도 유리할 것으로 판단된다.

사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(No.316032-5).

인용문헌(REFERENCES)

- Cho, J. L., N. H. An, H. S. Nam, and S. M. Lee. 2018. Effects of green manures and complemental fertilization on growth and nitrogen use efficiency of Chinese cabbages cultivated in organic systems. *Korean J. Organic Agri.* 26(4) : 731-743.
- Chung, W. B., S. J. Jeong, K. Y. Kim, and P. S. Hwang. 2000. Effect on growth and yield of mulching materials and fertilizer application level in potato. *Res. Works Graduate School.* 25 : 295-302.
- Gale, E.S., D.M. Sullivan, C.G. Cogger, A.I. Bary, D.D. Hemphill, and E.A. Myhre. 2006. Estimation plant-available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *J. Environ. Qual.* 35 : 2321-2332.

- Heuktoram. 2019. Available from: <http://soil.rda.go.kr/>.
- Hong, S. D., K. I. Kim, H. T. Park, and S. S. Kang. 2001. Relationship between leaf chlorophyll reading value and soil N-supplying capability for tomato in green house. Korean J. Soil Sci. Fert. 34(2) : 85-91.
- Im, J. S., J. H. Cho, K. S. Cho, D. C. Chang, Y. I. Jin, H. S. Yu, and J. N. Lee. 2016. Effect of ridging system and mulch types on growth, yield, and profitability of potato (*Solanum tuberosum* L.) in spring cropping. Korean J. Environ Agri. 35(3) : 202-210.
- Jang, H. L., J. Y. Hong, N. J. Kim, M. H. Kim, S.R. Shin, and K. Y. Yoon. 2011. Comparison of nutrient components and physicochemical properties of general and colored potato. Korean J. Hort. Sci. Technol. 29(2) : 144-150.
- Jeong, J. C., D. C. Chang, Y. H. Yun, C. S. Park, and S. Y. Kim. 2005. Recommendable model of nitrogen fertilization for high processing quality of summer crop potato (*Solanum tuberosum* L.) in highland area of Korea. Korean J. Hort. Sci. Technol. 23(1) : 38-43.
- Jeong, J. C., Y. H. Yun, D. C. Chang, C. S. Park, and S. Y. Kim. 2003. Processing quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers as influenced by soil and climatic conditions. Korean J. Environ Agri. 22(4) : 261-265.
- Kang, B. K., Y. M. Park, and Y. K. Kang. 2001. Nutrient uptake and leaching under different fertilizer treatment for corn and potato growth in volcanic ash soil. Korean J. Crop Sci. 46(3) : 253-259.
- Kim, C. G., H. C. Ok, J. C. Jeong, O. S. Hur, J. H. Seo, K. H. Jeong, and S. J. Kim. 2012. Effects of altitude and planting time on tuber bulking of potato. Korean J. Crop Sci. 57(4) : 418-423.
- Kim, H. J., S. Y. Kim, K. Y. Shin, and S. J. Yang. 1997. Effects of planting density and nitrogen fertilizer level on the occurrence of hollow heart and internal brown spot of processing potato tubers. J. Korean Soc. Hort. Sci. 38(2) : 107-110.
- Kim, K. C., B. K. Ahn, D. Y. Ko, J. Kim, and S. S. Jeong. 2014. Effects of expeller cake fertilizer on soil properties and tah tasai Chinese cabbage yield on organic greenhouse farm. Korean J. Environ Agric. 33 : 149-154.
- Kim, M. H., J. C. Shin, and B. W. Lee. 2005. Applicability of vegetation index and SPAD reading to nondestructive diagnosis of rice growth and nitrogen nutrition status. Korean J. Crop Sci. 50(6) : 369-377.
- Kim, M. S., S. C. Kim, S. J. Park, and C. H. Lee. 2019. Evaluation of replacement ratio of organic fertilizers for basal application of nitrogen fertilizer in pot cultivation of rice. J. of KORRA. 27(1) : 5-14.
- 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. 51 : 296-305.
- Kim, S. Y. 2002. Prospects and status on quality of potato. Korean J. Crop Sci. 47(S) : 135-139.
- Kim, Y. X., S. M. Kim, S. N. Kim, H. R. Kim, S. C. Kim, J. B. Hwang, and Y. M. Choi. 2016. Food composition of raw and boiled potatoes. Korean J. Food Cook Sci. 32(4) : 517-523.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2020. Available from: http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0026&conn_path=I3. Accessed August 2, 2020.
- Kwon, J. B., J. R. Kwon, Y. S. Shin, C. R. Kim, and B. S. Choi. 1996. Effect of organic matters on horticultural characteristics and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) in greenhouse. J. Korean Soc. Hort. Sci. 37(6) : 758-760.
- Lee, C. S., G. J. Lee, K. Y. Shin, J. H. Ahn, J. T. Lee, and B. K. Hur. 2002. Effect of application added phosphorus and potassium for potato and Chinese cabbage in mounded highland soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 35(6) : 372-380.
- Lee C. S., Y. S. Song, J. Y. Lee, H. K. Kwak, Y. D. Park, and D. S. Kim. 1993. Newly recommended rates of N P K fertilizers based on soil testing for some upland crops. Korean J. Soil Sci. Fert. 26(2) : 111-120.
- Lee, J. T., G. J. Lee, J. S. Ryu, Y. S. Zhang, S. W. Hwang, and C. S. Park. 2010. Inorganic nutrient uptake pattern of vegetable crops in highland. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(5) : 616-623.
- Lee, J. T., G. J. Lee, Y. S. Zhang, S. W. Hwang, S. J. Im, C. B. Kim, and Y. H. Mun. 2006. Status of fertilizer application and soil management for major vegetable crops in farmer's fields of alpine area. Korean J. Soil Sci. Fert. 39(6) : 357-365.
- Lee, S. B., C. H. Lee, C. O. Hong, S. Y. Kim, Y. B. Lee, and P. J. Kim. 2009. Effect of organic residue incorporation on salt activity in greenhouse soil. Korean J. Environ Agri. 28(4) : 397-402.
- Lee, Y. J., J. C. Jeong, Y. H. Yoon, S. Y. Hong, S. J. Kim, Y. I. Jin, J. H. Nam, and O. K. Kwon. 2012. Evaluation of quality characteristics and definition of utilization category in Korean potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. Korean J. Crop Sci. 57(3) : 271-279.
- Lee Y., H. S. Choi, S. M. Lee, J. A. Jung, and Y. I. Kuk. 2012. Effects of organic materials on changes in soil nutrient concentrations and nutrient uptake efficiency in Sorghum-Sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). J. Bio-Environ Control. 21(2) : 108-113.
- Lim, J. S., B. H. Lee, and S. H. Kang. 2019. Estimation of nitrogen mineralization of organic amendments affected by nitrogen content in upland soil conditions. Korean J. Environ Agri. 38(4) : 262-268.
- Lim J. S., B. H. Lee, S. H. Kang, and T. G. Lee. 2020. Influence of fertilization treatment using organic amendment based on soil testing on plant growth and nutrient use efficiency in cabbage. Korean J. Environ Agri. 39(2) : 95-105.
- Lim, S. U. 2006. Fertilizer studies. Ilsinsa publisher. pp. 150-208. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA).
2019. Statistics Yearbook.
- Nam, J. J., N. J. Cho, K. Y. Jung, and S. H. Lee. 1998. Conversion

- factor for determining carbon contents from organic matter contents in composts by ignition method. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(4) : 380-383.
- National Agricultural Products Quality Management Service (NAPQMS). 2020. Eco-Certification Management Information System. <http://enviagro.go.kr/>
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). 2017. Fertilizer Application Recommendation for Crops.
- Ok, J. H., J. L. Cho, B. M. Lee, N. H. An, J. H. Shin, and Y. Lee. 2016. Effects of oil cake banding application on growth and nutrient use efficiency in Maize. *Korean J. Organic Agri.* 24(4) : 907-917.
- Park, K. C., T. R. Kwon, K. S. Jang, and Y. S. Kim. 2008. Short-term effects of cultivars and compost on soil microbial activities and diversities in red pepper field. *Korean J. Environ Agric.* 27(2) : 139-144.
- Park, S. J., M. S. Kwon, K. Y. Shin, and Y. A. Rha. 2014. Comparison of nutritional components and physicochemical properties of small colored potatoes and small regular potatoes. *Korean J. Culin. Res.* 20(3) :80-89.
- Rural Development Administration (RDA). 2012. The standard of study reach analysis in agricultural science and technology. Rural Development Administration (RDA). 2016. Agricultural Technology Manuals (potato).
- Shin, J. H., S. M. Lee, and B. W. Lee. 2015. Estimation of N Mineralization potential and N mineralization rate of organic amendments in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(6) : 751-760.
- Sohn, S. M., and D. H. Han. 2000. Assessment of environmentally sound function on the increasing of soil fertility by Korean organic farming. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33 : 193-204.
- Song, Y. S., H. K. Kwak, B. Y. Yeon, J. H. Yeon, and H. J. Jun. 2003. Growth and yield response of Chinese cabbage and radish on application of potassium chloride fertilizer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(6) : 399-406.
- Yun, H. B., Y. Lee, C. Y. Yu, J. E. Yang, Y. B. Lee, and K. S. Lee. 2007. Soil organic matter fractions in upland soil under successive application of animal manure composts. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(5) : 400-404.