Cropping System Effects on Soil Properties and Tuber Quality of Potato: Continuous Cropping Vs. Rotation with Napa Cabbage and Soybean

Gyeryeong Bak^{1*} and Jeong-Tae Lee²

¹Research Scientist, Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Gangwon 25342, Korea

²Senior Researcher, Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Gangwon 25342, Korea

*Corresponding author: bgl1228@korea.kr

ABSTRACT

Received: December 4, 2020

Revised: January 5, 2021

Accepted: January 13, 2021

ORCID

Gyeryeong Bak

<https://orcid.org/0000-0001-6008-1939>

The importance of soil quality has been emphasized to improve crop productivity and quality. Many factors not only chemical, physical, and biological properties but also managements affect soil quality. The use of a cropping system could influence soil and crop qualities. In this study, two cropping systems-continuous and rotation with napa cabbage (*Brassica campestris* var. *Pekinensis*) and soybean (*Glycine max* L.) were compared on soil characteristics and potato (*Solanum tuberosum* L.) productivities. Chemical, physical, and biological properties were analyzed considering soil characteristics while potato yield and tuber nutrition were investigated to evaluate potato productivity and quality. Total yield was higher in the rotation despite lower input. There was no significance with soil chemical properties and porosity. Soil hardness data were higher value in rotation to the 25 cm depth but the tendency was reversed to the 45 cm depth. Soil microorganism activities showed a higher value on rotation during potato cultivation. Phosphate was higher in rotation while magnesium and potassium were higher in continuous inside potato tuber.

Keywords: Cropping system, Potato, Soil quality, Tuber quality

Influence of cropping systems on potato nutrient contents (T-test, ns: no significance, * p -value < 0.05, ** p -value < 0.01, *** p -value < 0.001, average $\pm$ standard deviation)

Introduction

농업에서 토양 질 (soil quality) 평가는 생산성과 농업이 환경에 미치는 영향 등을 고려하여 농업활동을 지속적으로 수행하기 위해 체계적인 토양관리의 필요성을 인지하면서 관심을 모으게 되었다. 토양 질은 여러 측면에서 고려해야 하며 한가지 요인만으로 평가할 수 없어 많은 연구자들에 의해 개념이 정립되어 왔다 (Ok et al., 2005). 토양의 질 지표는 물리·화학·생물학적 지표로 분류되어 토양의 건전성은 토양이 가진 여러 특성에 의해 결정된다. 토양의 질은 단순히 작물의 생산량과 관계가 있을 뿐 아니라 작물의 품질에도 영향을 미친다 (Hornick, 1992). 특히 여러 작물의 조합을 활용한 작부체계를 잘 이용하면 토양 질을 증가시켜 작물 생산성을 장기적으로 유지할 수 있어서 유기농업뿐만 아니라 관행농업에서도 연구의 필요성이 강조되어 왔다. 그 중에서도 콩과 작물은 공기 중 질소고정능력과 뿌리가 깊게 뻗어 토양 물리성 개선에 효과가 있어 작부체계에 추천되는 작물이다. 옥수수, 참깨, 토마토 등 여러 작물에서 이어짓기 (연작)가 장기적으로 토양 질과 관련된 물리, 화학, 생물학적 지표들에 부정적인 영향을 미치는 반면 콩과 작물을 이용한 돌려짓기 (윤작) 작부체계는 토양 질을 향상시킴으로써 농업활동을 지속적으로 할 수 있게 해줄 것이라는 보고가 있었다 (Karlen et al., 2006; Kim et al., 1998; Kim et al., 2012a; Jung et al., 2015). 감자 또한 토양 관리나 투입하는 유기물, 작부체계 등에 따라 감자의 수량 뿐 아니라 괴경 내 무기이온함량 등 괴경의 품질이 영향을 받는다 (Porter et al., 1999; Tein et al., 2014). 감자재배에서 돌려짓기는 감자의 품질과 토양 질에 영향을 주고 (Keller, 1989), 감자의 생산성과 상품성을 악화시키는 *Streptomyces* spp.와 *Rhizoctonia* spp. 등으로부터 발생하는 병들의 발생을 감소시킨다 (Peters et al., 2003; Kim et al., 2012b). 또한 감자를 콩과 작물과 돌려짓기 했을 때 수량이 증수하였다는 보고도 있었다 (Kim et al., 2012a). 그러나 감자를 주작물로 하여 작부체계가 토양환경 및 감자 괴경에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 이루어져 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 감자를 이어짓기 했을 때와 콩, 배추와 돌려짓기 했을 때의 토양 물리, 화학, 생물학적 지표들과 감자의 생산성과 무기성분함량을 비교함으로써 감자 재배에 있어 작부체계가 토양과 감자의 질에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

Materials and Methods

시험 포장 및 재배 처리 본 연구의 시험포장은 강원도 평창군 대관령면에 위치하고 있으며, 6년간 동일 시험포장에서 수행되었다. 시험포장의 토양은 사양토이고 대관령에서 작물의 재배는 5월 - 10월 사이에만 이루어지기 때문에 1년에 한번씩 작물을 재배하였으며, 이어짓기 포장의 경우 6년 동안 감자만 재배하였고, 돌려짓기 포장의 경우 콩, 감자, 배추를 돌려지었으며 자세한 내용은 Table 1에 표시하였다. 시험구는 $6 \times 4 \text{ m}^2$ 크기로 배치는 3반복으로 랜덤으로 배치하였다. 감자는 수미품종을 재배하였으며 흑색비닐로 멀칭을 하였고 재식간격은 $75 \times 25 \text{ cm}$ 로 시험기간 내내 퇴비는 투입하지 않고 비료는 봄철 포장 조성 전에 수행한 토양분석자료를 토대로 휴토람 사이트 (soil.rda.go.kr)에서 검정시비량을 산출하여 투입하였다. 본 시험을 수행할 때의 감자 주요생육시기 및 각 시험을 위한 샘플 채취와 분석시기에 대한 자료는 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Cropping systems of potato cultivation.

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Continuous	Potato	Potato	Potato	Potato	Potato	Potato
Rotation	Cabbage	Potato	Soybean	Cabbage	Soybean	Potato

Table 2. Sampling time and major developmental period of potato on 2020.

Developmental time	Before seeding	Seeding	Flowering	Harvest	After Harvest
Date	20.04.21.	20.05.08.	20.07.09.	20.08.20.	20.09.20.
Chemical properties	√				
Physical properties					√
Microorganism activity	√	√	√	√	√
Yield				√	
Plant mineral contents				√	

토양 화학성 분석 시험포장의 토양 화학성은 매년 4월 땅이 녹은 후 포스트 홀 핸드 오거 (auger)를 사용하여 0 - 15 cm 깊이의 표토를 채취하여 분석하였다. 토양시료의 채취는 동일 시험구에서 5지점의 토양을 시료봉투에 넣어 고르게 섞은 후 직사광선이 들어오지 않는 장소에서 48시간 이상 건조시킨 후 2 mm 체로 쳐서 분석시료로 사용하였다. 토양화학성 분석 항목은 pH, 유기물, 유효인산 (P_2O_5), 치환성 양이온 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), 전기전도도 (EC, Electric Conductivity) 였으며, 분석 방법은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2002)에 준하여 다음의 방식으로 분석하였다. pH와 전기전도도는 초자전극법, 유기물함량은 Vario Max (Hanau, Germany) 원소분석기로 탄소함량을 측정한 후 환산하였고, 유효인산함량은 Lancaster 방법에 따라 UV 720 nm (UV/VIS Spectrometer, Lambda 25, Perkinelmer Co., Norwalk, CT, USA)에서 측정하였으며, 치환성 양이온함량은 토양샘플을 1 M의 NH_4OAc 추출액으로 침출하여 유도결합 플라즈마 분광광도계 (Inductively Coupled Plasma Spectrometer, Optima 2100DV, PerkinElmer Co.)로 분석하였다.

토양 물리성 분석 토양 물리성은 토양 공극률과 경도를 조사하였는데, 공극률은 작물 수확 후 한달 정도 지난 뒤 100 cm³ 코어 (core)를 이용하여 시험 토양의 표토 (5 - 10 cm)와 심토 (20 - 25 cm)의 토양을 시험구 별로 채취하여 105°C에서 건조 후 무게를 측정하는 방식으로 구하였으며, 이 때 입자밀도는 경작지 표토의 평균인 2.65 Mg/m³를 적용하였다. 토양 경도는 관입식 경도계인 Penetrologer (Eijkkelkamp Agrisearch Equipment, Giesbeek, Netherlands)를 이용하여 원추부를 토양 중에 관입하여 깊이에 대한 관입저항을 측정하는 Penetropgraph 법을 사용하여 깊이에 따른 토양경도를 구하였다.

토양 미생물활성 분석 시험 토양의 미생물활성은 Triphenyltetrazolium Chloride를 기질로 사용하는 탈수소효소활성법 (DHA, Dehydrogenase Activity Analysis)를 이용하여 측정하였다. 각 작부체계의 시험토양은 겨울이 지나고 감자 파종 전부터 파종 후 재배시기, 그리고 수확 후 토양을 채취하여 분석하였고, 처리 간의 비교를 수행하였다. 채취한 토양시료는 만 24시간 동안 그늘에서 말린 후 2 mm 체로 쳐서 준비하였다. 시험관에 토양시료 6 g과 $CaCO_3$ 0.06 g을 혼합한 후 1 ml의 3% TTC (2,3,5-Triphenyltetrazolium)-용액과 2.5 ml의 증류수를 가한 후 시료와 용액을 Vortex를 이용하여 잘 섞어준 후 37°C에서 24시간 배양을 통해 반응을 시켰다. 배양이 완료된 시료는 메탄올로 추출하여 Watman No.2 여과지에 여과시켜 100 ml까지 채운 후 485 nm (UV/VIS Spectrometer, Lambda 25, Perkinelmer Co., Norwalk, CT, USA)에서 측정하여 24시간 동안 토양 내 미생물의 탈수소효소에 의해 환원된 TPF (1,3,5-triphenylformazan)의 값으로 환산하여 구하였다.

작물생산성 및 괴경 무기성분 분석 감자의 수량조사는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준에 준하여 실시하였다. 수확시기에 각 시험구에서 10개체씩 수량조사를 수행하였으며 조사데이터를 바탕으로 총수량은 10 a 기준으로 산출하였다. 조사가 끝난 괴경은 물로 씻어 흙을 제거하고 물기를 충분히 건조시킨 후 각 처리의 식물체 10개체에 달린 각각의 모든 괴경들을 약 1 cm 두께로 자른 후 70°C의 열풍 건조기에서 충분히 말린 후 분쇄하여 실험에 사용하였다. 식물체 무기성분은 농촌진흥청 (Rural Development Administration, 2012)의 농업연구조사분석기준에 준하여 total nitrogen, total carbon, 인산 (P_2O_5), 칼륨 (K^+), 칼슘 (Ca^{2+}), 마그네슘 (Mg^{2+})의 함량을 측정하였다. 분쇄한 시료 1 g에 35% HNO_3 10 ml를 첨가한 후 고주파분해기기 (AMDS Ethos 1, Milestonesrl Co., Italy)로 200°C 에서 120분 간 산분해하였다. 분해액은 여과지 (No. 6, Whatman, UK)로 여과한 후 각 성분 별 분석에 사용하였다. Total Nitrogen과 Carbon은 Vario Max (Hanau, Germany) 원소분석기로 측정하였고, 다른 무기이온성분들은 유도결합 플라즈마 분광광도계 (Inductively Coupled Plasma Spectrometer, Optima 2100DV, PerkinElmer Co.)로 분석하였다.

통계분석 본 시험에서 토양화학성과 공극률, 미생물활성은 각 처리 별 3반복, 토양 경도는 9반복, 괴경 무기성분은 8반복, 총 수량은 10개체에서 조사한 데이터를 토대로 통계분석을 수행하였다. 통계분석은 Excel에서 제공하는 분석도구 중 t-test를 이용하여 두 처리 간의 유의성을 검정하였다.

Results and Discussion

감자 작부체계에 따른 토양 화학적 특징 및 화학비료 투입량 6년의 작부처리 이후 시험 포장의 토양 화학성은 Table 3에 나타내었다. 시험기간 내내 시비는 검정시비를 하여 두 시험구의 화학비료 투입량이 다르며, 돌려짓기 시험구에 비해 이어짓기 시험구에서 더 많은 양의 비료가 투입되었다 (Fig 1). 시험 후 토양화학성 결과는 두 시험구 모두 pH, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온이 감소하였다. 토양 내 유기물과 유효인산함량은 두 시험구에서 비슷한 수준으로 감소하였다. 일반적으로 작물재배 시 퇴비를 투입하여 토양 내 유기물 함량을 증진시키는데 (Park et al., 2009), 본 연구에서는 시험 기간 내내 퇴비를 투입하지 않아서 두 시험구에서 유효인산, 유기물, 치환성 양이온, EC의 감소가 일어난 것으로 판단된다. 두 처리 모두에서 칼슘의 감소폭이 컸는데, 밭 토양에서 치환성 칼슘의 적정범위는

Fig. 1. NPK fertilizers depending on soil testing of two potato cropping systems for 5-years.

Table 3. Soil chemical properties of two cropping systems on potato cultivation.

Treatment	Year	pH	O.M.	P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	EC
		(1:5)	(g/kg)	(mg/kg)	cmol/kg			(dS/m)
Continuous	2015	6.5 ± 0.12	25.8 ± 3.07	272.5 ± 32.92	0.3 ± 0.01	8.4 ± 0.33	1.2 ± 0.07	0.6 ± 0.29
	2020	6.3 ± 0.01	19.1 ± 1.54	230.2 ± 53.72	0.2 ± 0.02	7.3 ± 0.10	1.2 ± 0.03	0.1 ± 0.01
Rotation	2015	6.5 ± 0.15	27.3 ± 1.65	327.8 ± 33.56	0.3 ± 0.03	8.1 ± 0.55	1.1 ± 0.09	0.2 ± 0.02
	2020	6.0 ± 0.08	19.9 ± 5.14	279.4 ± 33.31	0.1 ± 0.02	6.9 ± 1.01	1.0 ± 0.06	0.1 ± 0.02

5.0 - 6.0로 (Kim et al., 2019) 본 연구의 치환성 칼슘함량은 이후 작물생육에 지장이 없는 수준이며, 지속적으로 퇴비와 석회를 투입하지 않았을 때의 변화는 장기적인 모니터링이 필요하다.

감자 작부체계에 따른 토양 물리성 특징 농업에서 토양의 물리성은 작물생육에 필요한 성분은 아니지만 작물생육에 영향을 주는 중요한 요인으로 토양 질과도 밀접한 관련이 있다고 알려져 있다 (Kim et al., 2010). 토양 공극률과 경도는 토양의 다짐 정도를 나타내주는 대표적인 지표로 공극률이 높고 경도가 낮을수록 토양 구조가 단단하지 않아 작물의 뿌리생육과 미생물의 활동이 원활할 수 있다는 것을 의미한다 (Kim et al., 2010). 작부체계에 따른 토양 공극률은 표토가 약 47% 수준으로 약 38%의 심토보다 높았으며, 처리 간에는 유의성 있는 차이는 없었으나 돌려짓기 시험구가 이어짓기 시험구보다 표토와 심토 모두 공극률이 조금 높은 경향을 보였다 (Fig 2).

두 작부체계에서 토양 깊이에 따른 토양 경도는 깊이에 따라 감자의 과경이 비대되는 약 25 cm 깊이까지는 감자를 이어짓기 한 시험구의 토양경도가 더 낮았으나 그보다 더 깊은 깊이에서는 돌려짓기 한 시험구의 토양경도가 약 45 cm 깊이까지 더 낮은 경향을 보였다 (Fig 3). 콩의 최대 신장 깊이는 60 cm로 감자보다 깊은 깊이까지 뿌리가 뻗으며 (Zhang et al., 2017) 약 25 - 45 cm 깊이에서 돌려짓기 시험구의 경도가 낮은 것은 이러한 콩의 효과로 생각된다. 45 cm 깊이 이후의 경도는 측정이 불균일하여 데이터로 제시하는 것이 어려워 토양 깊이에 따른 두 처리의 비교가 어려웠으며 45 cm 깊이 이후의 두 작부에 따른 토양 물리성의 비교는 이후 다른 시험을 통해 보완할 필요가 있다.

Fig. 2. Soil porosity based on two cropping systems for potato cultivation (T-test, NS: no significance, average ± standard deviation).

Fig. 3. Soil hardness of two potato cropping systems with soil depth (T-test, NS: no significance, average $\pm$ standard error).

감자 작부체계에 따른 감자 재배 토양 미생물활성 두 작부체계에 따른 감자 생육에 따른 미생물활성은 전반적으로 돌려짓기 시험구가 이어짓기 시험구보다 높은 미생물활성을 보였다 (Fig 4). Bak et al. (2019)의 연구에서 마사토에서 콩을 재배했을 때 감자를 재배했을 때보다 유의하게 높은 미생물활성 값을 나타낸다는 연구결과로 돌려짓기 시험구의 높은 미생물활성은 전 작물인 콩의 영향으로 추측된다. 또한 Mariangela et al. (2009)등의 연구에서도 콩을 돌려짓기 할 경우 미생물 대사 활성이 증가한다고 보고하였다. 본 연구와 비슷하게 콩과 유채를 재배 후 감자를 재배 후 미생물활성을 측정한 연구에서도 감자를 이어짓기 했을 때 보다 높은 미생물활성과 다양성을 나타냈다 (Larkin and Honeycutt, 2006). 그러나 전 작물인 콩이 토양 미생물활성을 높인 효과는 감자를 재배하면서 수확 후에는 돌려짓기 시험구와 이어짓기 시험구의 토양미생물 활성값이 비슷해져 유의성 있는 차이를 보이지 않았다.

Fig. 4. Microorganism activities compared between two potato cropping systems on 2020 (T-test, NS: no significance, * p -value < 0.05 , average $\pm$ standard deviation).

감자 작부체계에 따른 감자 생산성 및 괴경 무기성분 비교 작부체계에 따른 감자 생산성을 조사한 결과 돌려짓기 시험구에서 이어짓기 시험구보다 약 1.4배 증수된 수량을 나타내었다 (Fig 5). 검정시비를 하였기 때문에 돌려짓기 시험구는 이어짓기 시험구보다 오히려 적은 양의 화학비료가 투입되었다 (Fig 1). 토양 내 질소 및 퇴비 투입량 등은 감자 수량에 영향을 미치는데 일반적으로 어느정도 수준까지는 질소질 비료와 유기물 투입량이 증가할수록

Fig. 5. Potato total yield based on two cropping systems (T-test, *** p -value < 0.001, average $\pm$ standard deviation).

Fig. 6. Influence of cropping systems on potato nutrient contents (T-test, ns: no significance, * p -value < 0.05, ** p -value < 0.01, *** p -value < 0.001, average $\pm$ standard deviation).

(Tein et al., 2014; Ayyub et al., 2019) 그리고 콩과작물과의 돌려짓기 체제에서 감자수량이 증가한다고 알려져 있다 (Kim et al., 2012a). 본 연구에서는 토양검정을 통해 질소질비료의 투입량을 결정하여 이어짓기 처리구에서 돌려짓기 처리구의 1.6배 수준의 질소가 투입되었으나 검정시비 수준으로 질소비료투입 수준에 따른 증수가 도드라지지 않은 것으로 판단된다. 돌려짓기와 이어짓기 처리구의 감자 수량을 6년간 비교한 문헌에서도 돌려짓기로 인한 증수효과가 3가지 작물을 조합하여 재배했을 때 4년차 이후부터 나타났으며 유의차가 크지 않아 (Carter and Sanderson, 2001) 작부체계에 의한 감자의 증수효과에 대한 해석이 쉽지 않음을 알 수 있었다. 감자 돌려짓기 처리구에서의 증수는 그 요인을 명확하게 정의할 수는 없으나 돌려짓기로 인한 토양 질의 향상과 관련이 있을 것으로 추측된다.

두 처리에서 수확한 감자의 식물체분석을 수행한 결과 이어짓기 시험구는 돌려짓기 시험구보다 총 질소, 칼륨, 마그네슘의 함량이 높았다 (Fig 6A, 6D, 6E). 본 연구에서 질소와 칼륨이 이어짓기 시험구에서 더 높은 것은 검정시비를 하여 질소와 칼륨비료의 시비량이 이어짓기 시험구에서 더 높았던 것이 영향을 주었으리라고 생각된다. 감자 재배 시 퇴비를 투입하지 않고 화학비료 투입량을 달리 한 Tein et al. (2014) 등의 연구에서도 괴경 내 질소 함량은 투입 질소시비량과 양의 상관관계를 보였다. 선행연구 (Kim et al., 2012a)와는 다르게 이어짓기 시험구에서 괴경 내 마그네슘의 함량이 돌려짓기 시험구보다 높게 나왔다. 감자 괴경 내 마그네슘의 함량에 대한 연구는 국내 20개 품종의 마그네슘 함량이 1,020 - 1,770 ppm의 범위이며 (Lee et al., 2012a), 질소질비료의 투입량과 상관관계를 보이지 않아 (Cieslik and Sikora, 1998) 돌려짓기 처리구에서 이어짓기 처리구보다 높은 마그네슘 함량을 보인 것에 대해서는 장기적으로 관찰하면서 분석할 필요가 있다. 돌려짓기 시험구에서는 이어짓기 시험구보다 총 탄소와 인산함량이 높았는데 (Fig 6B, 6C), 특히 인산함량은 두 시험구에서 비슷한 양의 인산질 비료를 줬는데도 불구하고 돌려짓기 시험구에서 유의하게 높은 수치를 보였다. 식물체 내 인은 전적으로 토양으로부터 공급받기 때문에 돌려짓기 시험구에서의 높은 인산함량은 토양과 관련이 있을 것으로 생각되며, 그 요인으로는 먼저 돌려짓기 시험구에서 더 높은 토양 내 인산함량이다 (Table 3). 또 다른 요인으로 생각할 수 있는 것은 콩을 도입한 돌려짓기가 괴경 내 인산함량에 영향을 주었을 가능성이 있다. 식물체의 인산 흡수는 인산가용화 미생물이 많이 관여한다고 알려져 있으며 (Lee et al., 2012b), Lee et al. (2020a, 2020b) 등의 연구에서 콩과 작물인 헤어리베치를 인산이 축적된 유기농경지에 재배한 결과 토양 내 수용성 인산의 함량이 유의하게 증가하였다는 보고가 있었다.

Conclusion

콩, 배추와 돌려짓기를 한 것과 감자를 이어짓기 했을 때를 비교하여 작부체계에 따른 토양 특성 및 감자의 생산성에 대해 분석한 결과 검정시비로 화학비료 투입량은 돌려짓기 시험구에서 더 적었지만 토양 내 양분상태는 돌려짓기 시험구와 이어짓기 시험구가 비슷한 수준을 보였다. 토양 물리성은 공극률은 유의한 차이가 없었으나 경도의 경우 감자의 괴경이 성장한다고 생각되는 약 25 cm 깊이까지는 이어짓기 시험구가 더 낮았으나 그보다 깊은 깊이부터 약 45 cm 깊이까지는 돌려짓기 시험구가 더 낮았다. 토양미생물 활성은 감자 생육기 중에는 돌려짓기 시험구가 더 높은 활성을 보였으나 수확 후에는 비슷한 수준을 보였다. 작부체계에 따른 감자 생산성은 돌려짓기 시험구에서 유의하게 높은 수량을 보였으며, 돌려짓기 시험구에서는 인산이, 이어짓기 시험구에서는 마그네슘과 칼륨이 괴경 내에서 유의하게 높은 함량을 보였다. 그러므로 감자 재배 시 작부체계는 농경지의 이화학성 및 괴경의 무기성분에 영향을 준다.

Acknowledgement

This work was financially supported by the Rural Development Administration (grant number PJ01346004).

References

- Ayyub, C.M., M.W. Haidar, F. Zulfiqar, Z. Abideen, and S.R. Wright. 2019. Potato tuber yield and quality in response to different nitrogen fertilizer application rates under two split doses in an irrigated sandy loam soil. *J Plant Nutr.* 42(15):1850-1860.
- Bak, G.R., G.J. Lee, and T.Y. Kim. 2019. The effects of soybean cultivation on soil microorganism activity. *Korean J. Environ. Agric.* 38(2):76-82.
- Carter, M.R. and J.B. Sanderson. 2001. Influence of conservation tillage and rotation length on potato productivity, tuber disease and soil quality parameters on a fine sandy loam in eastern Canada. *Soil Till Res.* 63:1-13.
- Cieslik, E. and E. Sikora. 1998. Correlation between the levels of nitrates and nitrites and the contents of potassium, calcium and magnesium in potato tuber. *Food Chem.* 63(4):525-528.
- Hornick, S.B. 1992. Factors affecting the nutritional quality of crops. *Am. J. Alternative Agr.* 7(1/2):63-68.
- Jung, Y.J., I.S. Nou, and K.K. Kang. 2015. Effects of green manure crops on tomato growth and soil improvement for reduction of continuous cropping injury through crop rotation in greenhouse. *Korean J. Plant Res.* 28(2):263-270.
- Karlen, D.L., E.G. Hurley, S.S. Andrews, C.A. Cambardella, D.W. Meek, M.D. Duffy, and A.P. Mallarino. 2006. Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt location. *Agron. J.* 92(3):484-495.
- Keller, E.R. 1989. Crop rotation-an important aspect in integrated potato production in temperate zones. Springer. Dordrecht. p. 291-301.
- Kim, C.Y., Y.J. Seo, T.Y. Kwon, J.H. Park, M.S. Heo, and S.K. Ha. 2010. Correlation between the factors of soil physical property in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6):793-797.
- Kim, D.H., J.H. Seo, C.G. Kim, S.H. Choi, M.H. Ko, and I. B. Heo. 1998. Effect of crop rotation on the growth of sesame (*Sesamum indicum* L.) and soil properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(3):216-224.
- Kim, Y.K., H.J. Kang, S.H. Yang, H.J. Oh, S.C. Lee, S.K. Kang, and H.S. Kim. 2012a. Effects of crop rotations on potato yield, soil chemical and microbiological properties in organic farming system. *Korean J. Org. Agric.* 20(4): 687-702.
- Kim, J.S., Y.G. Lee, M. Kwon, J.I. Kim, G.J. Lee, J.T. Lee, and J.S. Ryu. 2012b. Control of common scab of potato caused by *Streptomyces* spp. by soil pH adjustment and crop rotation. *Res. Plant Dis.* 18(2):117-122.
- Kim, Y.H., M.S. Kong, E.J. Lee, T.G. Lee, and G.B. Jung. 2019. Status and changes in chemical properties of upland soil from 2001 to 2017 in Korea. *Korean J. Environ. Agric.* 38(3):213-218.
- Larkin, R. P. and C. W. Honeycutt. 2006. Effects of different 3-year cropping systems on soil microbial communities and Rhizoctonia disease of potato. *Phytopathology.* 96(1):68-79.
- Lee, C.R., K.L. Park, J.L. Cho, Y.R. Oh, S.M. Lee, and N.H. An. 2020a. The effects of barley-hairy vetch mixtures on green manure productivity and soil phosphorus solubilization. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(2):118-127.
- Lee, C.R., Y.R. Oh, K.L. Park, J.L. Cho, N.H. and An, S.M. Lee, 2020b. Effects of green manure-maize rotation on phosphorus uptake of crop and decrease in phosphorus accumulation in organic upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(3):247-257.
- 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. 2012a. 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, K.K., I.K. Mok, M.H. Yoon, H.J. Kim, and D.Y. Chung. 2012b. Mechanisms of phosphate solubilization by PSB (phosphate-solubilizing bacteria) in soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2):169-176.
- Mariangela, H., C.F. Julio, B.J. Osvaldino, K. Glaciela, and A.S. Rosinei. 2009. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop rotation systems. *Appl Soil Ecol.* 42: 288-296.
- Ok, Y.S., J.E. Yang, Y.H. Park, Y.S. Jung, K.Y. Yoo, and C.S. Park. 2005. Framework on soil quality indicator selection and assessment for the sustainable soil management. *J. Environ Pol.* 4(1):93-111.
- 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. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 27(1):24-29.
- Peters, R.D., A.V. Sturz, M.R. Carte, and J.B. Sanderson. 2003. Developing disease suppressive soils through crop rotation and tillage management practices. *Soil Till Res.* 72:181-192.
- Porter, G.A., G.B. Opena, W.B. Bradbury, J.C. McBurnie, and J.A. Sisson. 1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: I. Soil properties, Tuber yield, and quality. *Agron. J.* 91(3):416-425.
- Tein, B., K. Kauer, V. Eremeev, A. Luik, A. Selga, and E. Loit. 2014. Farming systems affect potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber and soil quality. *Field Crop Res.* 156:1-11.
- Zhang, Y.S., K.H. Han, K.H. Jung, H.R. Cho, M.J. Seo, and Y.K. Sonn. 2017. Study on the standards of proper effective rooting depth for upland crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(1):21-30.