

# The Effects of Phosphorus Fertilization After Incorporation of Green Manure Crops to Jeju Volcanic Ash Soils on Potato Yields, Available Phosphate Contents in Soil, and Phosphorus Balances

Ho-Jun Kang\*, Sang-Ho Yang, and Yu-Kyoung Kim

Jeju Special Self-governing Province Agricultural Research and Extension Services, Seogwipo 63556, Korea

\*Corresponding author: khj4066@korea.kr

## ABSTRACT

Received: October 1, 2015

Revised: July 3, 2017

Accepted: July 4, 2017

The volcanic ash soils from the Jeju province have low available phosphate because of the high phosphate fixing power of the soils. Phosphorus fertilizer was dressed after cultivating green manure crops and before cultivating potatoes in order to investigate potato yields, the available phosphate contents, and phosphorus balance in the soils. Green manure crops cultivated in this study were hairy vetch alone and hairy vetch and rye. During potato cultivation, four treatments were conducted in the experiments; NF (non fertilizer), P fertilizer (N-P-K = 0-25-0 kg 10a<sup>-1</sup>), NK fertilizer (N-P-K = 18-0-19 kg 10a<sup>-1</sup>), and NPK fertilizer (N-P-K = 18-25-19 kg 10a<sup>-1</sup>). There were no differences in the yields of potato stem and tuber from the cultivation plots of different green manure crops. However, in the plots with single-sown hairy vetch and mixed-sown hairy vetch and rye, the yields of potato stem and tuber were higher in the P fertilizer plot than in NF plot. The yield of tuber among the treatments with mixed-sown hairy vetch and rye was the highest in the NPK fertilizer plot. The available phosphate content in soils initially increased with time in all plots, but began to decrease gradually after Oct. 18. The available phosphate contents were high in the plots for phosphate fertilization, and the difference in available phosphate content between non-phosphorus fertilizer plots and phosphorus fertilizer plots increased with time. In the single-sown hairy vetch and mixed-sown hairy vetch and rye plot, the phosphorus balances in NF plot and NK fertilizer plot were very low, while those in the P fertilizer plot and NPK fertilizer plot were high. In conclusion, available phosphate contents in soil and the potato yields were increased by phosphorus fertilization when potatoes planted after cultivating hairy vetch and rye together, compared to hairy vetch alone.

**Keywords:** Green manure, Phosphate balance, Potatoes

Phosphate balance according to soil incorporation of green manure crops under different treatments.

Treatments	Input (A) (kg 10a <sup>-1</sup> )			Output (B) (kg 10a <sup>-1</sup> )			Balance (A - B)	
	Green manure	Chemical fertilizer	Total	Stem	Potato	Total		
Non fertilizer	2.40	0	2.40	0.61	0.50	1.12	1.28 b <sup>†</sup>	
Hairy vetch	P	2.40	25	27.40	0.82	0.53	1.35	26.05 a
	NK	2.40	0	2.40	1.13	0.73	1.86	0.54 b
	NPK	2.40	25	27.40	1.40	0.96	2.36	25.04 a
<b>Mean</b>	<b>2.40</b>	<b>12.5</b>	<b>14.90</b>	<b>0.99</b>	<b>0.68</b>	<b>1.67</b>	<b>13.22 a</b>	
Non fertilizer	3.57	0	3.57	0.61	0.60	1.20	2.37 b	
Hairy vetch +	P	3.57	25	28.57	0.89	0.60	1.48	27.09 a
	NK	3.57	0	3.57	1.23	0.94	2.17	1.40 b
Rye	3.57	25	28.57	1.69	0.92	2.60	25.97 a	
<b>Mean</b>	<b>3.57</b>	<b>12.5</b>	<b>16.07</b>	<b>1.11</b>	<b>0.77</b>	<b>1.88</b>	<b>14.21 a</b>	

<sup>†</sup>Treatments with same letter in each column are not significantly different (Duncan test,  $p < 0.05$ ).



## Introduction

제주지역 밭토양은 대부분 화산회토양으로 물리성이 양호하나 난분해성 유기물의 집적과 시용 인산의 불용화 및 염기의 용탈이 쉬운 토양특성을 지니고 있어 비옥도가 낮고 생산성이 떨어지는 것으로 알려져 있다 (Park et al., 1975; Ahin and Kim, 1975). 그러나 제주도 토양에 대해 비옥도를 조사한 결과, 일반적인 화산회토의 성질 즉, 산성화가 심하고 염기의 용탈이 커서 비옥도가 낮을 것이라는 예상과 달리 유효인산 함량은 낮았지만 pH가 높고 치환성 염기함량도 높은 편이나, 유기물함량이 높은 토양에서는 염기치환용량이 커서 상대적으로 염기포화도 수치는 낮다 (Yoo et al., 1976). 제주도 화산회토는 인산을 흡착, 고정시키는 능력이 커서 완효성의 용성인비가 다량으로 사용되어왔다 (Yoo and Song, 1984). 제주도 토양의 총인산에 대한 무기태인산의 비율은 토양종류에 따라 다르며, 결합형태에 따라 Al-P는 6.9~28.8%, Fe-P는 24.1~26.9%, Ca-P는 7.4~11.9% 범위이며 유효인산은 0.7~8.0%로 매우 낮다 (Shin et al., 1980). 제주도 토양중 인산형태별 분포비는 Al-P > Ca-P > Fe-P 순으로 화산회토양이 비화산회 토양보다 많다 (Joa et al., 2007). 이러한 난용성 인산염의 함량이 높고, 작물에 유효한 인산함량은 상대적으로 낮다 (Shin and Kim, 1975).

인산은 주로 뿌리로부터 흡수한 질소를 앞에서 만든 탄수화물과 결합하여 단백대사를 시키는 에너지원으로 작물 생육에 필수원소이다. 화분과 녹비작물의 유기물이 농경지에 환원되면 양분과 미량요소 공급 등 직접적인 효과뿐만 아니라 유기물 자체의 물리적 특성에 의한 토양구조 개선, 양분 및 수분의 보존력 증대, 경운성 향상, 미생물 활동 촉진 등의 간접적인 효과도 크기 때문에 토양지력 증진과 작물의 수량을 증대시킨다 (Matzuda, 1981; Sarantonio and Scott, 1988). 두과녹비 작물은 근류균에 의하여 고정된 질소가 다른 작물에 이용되고, 인산과 칼륨의 흡수력이 강하여 난용성 염류를 흡수이용하며 뿌리를 깊게 뻗어 비료성분을 지표면에 이동시키는 동시에 심토의 성질을 개선하여 작토층을 깊게 한다. 또한 녹비작물이 토양에 가해지면 토양중의 유기물함량과 무기성분의 유효도를 증가시키고 녹비가 분해되어 생성된 부식은 토양의 물리적, 화학적 및 미생물적 성질을 개선시켜준다 (Yasue, 1991). 녹비작물 윤작시 양분수지를 조사한 결과 질소의 경우 음의 값을 나타내었으나, 인산은 유기농구에서 -0.3~5.8로 거의 0에 근접하여 윤작을 도입함으로써 인산관리에 효과가 높았다. 칼리는 대체로 투입량에 비해 탈취량이 많아 별도의 칼리관리가 필요하였다. 녹비작물의 잠재적인 양분공급 가능량은 질소, 인산, 칼리 각각 호밀은 7.7, 7.8, 21.9 kg 10a<sup>-1</sup>, 헤어리베치는 17.0, 8.6, 22.9 kg 10a<sup>-1</sup>이었다 (Lee et al., 2005). 따라서 인산고정력이 큰 화산회토양에서 녹비작물을 재배하여 토양에 환원하고 감자를 재배하면서 인산시비에 따른 감자수량, 토양인산 함량 및 인산수지를 평가하고자 한다.

## Materials and Methods

**녹비작물 재배** 본 시험은 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 신산리 미사질양토 (신엄통)에서 수행되었다. 시험 전 토양의 화학성은 pH는 5.5이고, 유기물은 69.1 g kg<sup>-1</sup>으로 많고, 유효인산은 74.8 mg kg<sup>-1</sup>으로 낮고, 치환성 칼리, 칼슘 및 마그네슘함량은 각각 0.62, 3.4 및 1.2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>이었다 (Table 1).

**Table 1.** Soil chemical properties of the experimental field.

Soil texture	pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			EC (dS m <sup>-1</sup> )
				K	Ca	Mg	
SiL	5.5	69.1	74.8	0.62	3.4	1.2	0.36

OM, Organic matter; Av.P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; EC, Electrical Conductivity.

녹비작물은 헤어리베치 단파 및 호밀과 헤어리베치 혼파구의 2처리로 하여 3월 11일에 파종하였으며, 파종량은 헤어리베치  $13.5 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ , 혼파구는 헤어리베치  $6.8 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 와 호밀  $11.3 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이었다. 처리별 시험구 크기는 각각  $210 \text{ m}^2$ 이었다. 녹비작물은 6월 28일에 수확하여 수량과 양분 함량을 조사하여 인산 공급량을 계산하였다. 녹비파쇄는 6월 29일에 트랙터를 사용하여 파쇄하였다.

**시험처리 및 감자재배** 헤어리베치 단파구와 헤어리베치 + 호밀 혼파구를 주구로 하였으며, 감자 재배시 무비구, P 시비구 (N-P-K = 0-25-0  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ ), NK 시비구 (N-P-K = 18-0-19  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ ) 및 NPK (N-P-K = 18-25-19  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ ) 시비구의 4처리구를 세구로 하여 분할구 배치법을 사용하였다. 시험구 면적은  $3.5 \times 5 \text{ m}$ 이었다. 감자재배는 녹비작물 환원 후인 8월 27일에 재식거리  $70 \times 25 \text{ cm}$ 로 파종하여 12월 10일에 수확하였다.

**토양 및 식물체 분석** 토양은 표층 (0~20 cm)을 채취하여 풍건 후 2 mm체를 통과한 시료를 사용하였다. 토양 pH는 시료와 증류수 비율을 1:5로 하여 pH 측정기로 (S220, MettlerToledo, Germany) 측정하였고, 유기물은 0.1 mm를 통과한 풍건토를 Tyurin법으로 분석하였으며, 유효인산은 Lancaster법으로 측정하였다. 치환성양이온은 1 N ammonium acetate 법으로 추출하여 유도결합 플라즈마 원자방출 분광계 (Optima 7300DV, PerkinElmer, USA)로 측정하였다.

**시험기간 기후특성** 시험기간 동안 강우량은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 9월 중순과 11월 중순에 많은 강우가 있었으며, 지온은 감자 파종기인 8월 하순부터 수확기인 12월 까지 지속적으로 감소하였다.

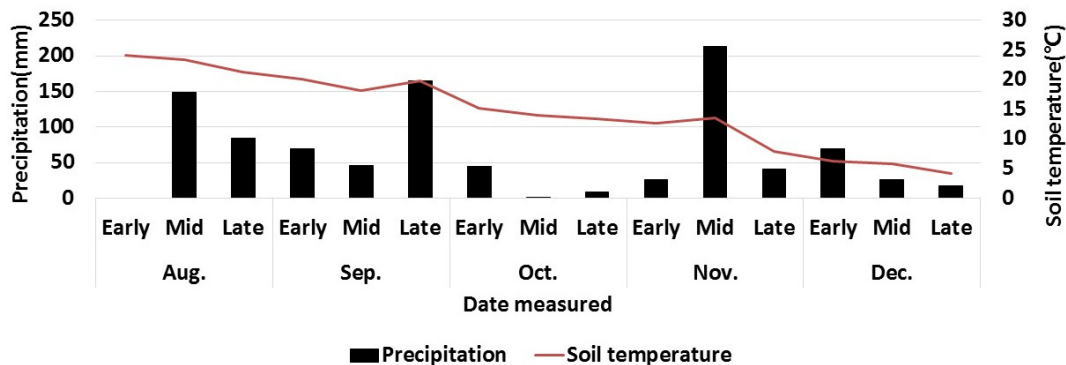


Fig. 1. Soil temperature and rainfalls during potatoes cultivation.

## Results and Discussion

**녹비작물 수량 및 인산 환원량** 녹비작물 수량과 녹비에 의한 토양 인산 환원량은 헤어리베치 + 호밀 혼파구가 헤어리베치 단파구보다 많았다. 이것은 호밀의 인산함량이 헤어리베치보다 많기 때문이다. 그러나 녹비작물의 인산 함량은 화분과인 트리티케일보다 헤어리베치 녹비가 약 2배 정도 많은 인산을 함유하고 있는데 (Cho et al., 2006), 본 연구에서 인산함량은 헤어리베치가  $10.4\text{--}10.8 \text{ g kg}^{-1}$ , 호밀이  $12.8 \text{ g kg}^{-1}$ 으로 호밀이 높았다 (Table 2). 벼를 통해서 흡수된 인산의 양이 벼짚과 조곡수량이 많은 처리구에서 높은 것 (Kim et al., 2012)과 같이 본 연구에서 녹비 수확시

**Table 2.** Dry yields, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contents and amounts of phosphate supplied to soils by green manure.

Treatments	Dry yield (kg 10a <sup>-1</sup> )			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g kg <sup>-1</sup> )		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> supply (kg 10a <sup>-1</sup> )		
	Hairy vetch	Rye	Total	Hairy vetch	Rye	Hairy vetch	Rye	Total
Hairy vetch	230	-	230 b <sup>†</sup>	10.4	-	2.40	-	2.40 b
Hairy vetch + Rye	116	181	297 a	10.8	12.8	1.26	2.31	3.57 a

<sup>†</sup>Treatments with same letter in each column are not significantly different (Duncan test,  $p < 0.05$ ).

기에 호밀의 종실이 포함되었기 때문이다. 헤어리베치 + 호밀 혼파구에서 헤어리베치에 의한 인산 환원량이 낮은 것은 파종량이 헤어리베치보다 적어 수량이 낮기 때문이다.

**감자 줄기 및 감자 생산량** 녹비작물 토양환원 후 감자를 재배한 결과 헤어리베치 단파구와 헤어리베치 + 호밀 혼파구간에 줄기와 괴경의 생산량은 통계적인 유의차가 없었으나 헤어리베치 + 호밀 혼파구에서 높은 경향이였다 (Table 3). 헤어리베치 단파구에서 시비구간에 줄기와 괴경은 무비구보다 인산 시비구에서 15~17%의 수량이 증가되었다. 그러나 NK시비구 및 NPK시비구의 줄기와 괴경은 질소와 칼리시비로 증가되었으나, NK와 NPK시비구간에 유의적인 차이는 없었다. 그리고 헤어리베치 + 호밀 혼파구의 줄기와 괴경 수량은 무비구보다 인산시비로 증가되었으며, NPK처리구에서 2,675 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 많았다. 고랭지 성토지에서 감자에 인산과 칼리를 증시했을 때 표준구에 비하여 1년차는 수량이 1%가 증가되었고, 2년차와 3년차에는 통계적으로 유의성은 없었지만 각각 5%와 22% 증수되었는데 (Lee et al., 2002), 인산비옥도가 낮은 토양에 다량의 인산을 사용하여도 작물 및 토양특성에 따라 다소 차이는 있으나 토양중에서 이동성이 적고, 쉽게 유실되지도 않으며 유효도가 오래 동안 지속된다 (Lee et al., 1984). 본 시험에서 인산 사용으로 줄기 생육과 괴경 크기에 영향이 크지 않은 것은 인산 흡수량이 0.50~1.03 kg 10a<sup>-1</sup>으로 적고, 이용률도 0.87~7.22%로 낮기 때문이다 (Table 4).

**Table 3.** Potato stem and tuber yields at harvest.

Treatments		Stem (kg 10a <sup>-1</sup> )	Potato tuber (kg 10a <sup>-1</sup> )	Total (kg 10a <sup>-1</sup> )
Hairy vetch	Non fertilizer	778 c <sup>†</sup>	1,333 c	2,111 c
	P	918 b	1,535 b	2,453 b
	NK	1,352 a	2,242 a	3,594 a
	NPK	1,474 a	2,465 a	3,939 a
	<b>Mean</b>	<b>1,131 a</b>	<b>1,894 a</b>	<b>3,024 a</b>
Hairy vetch + Rye	Non fertilizer	782 c	1,261 d	2,043 c
	P	1,011 b	1,479 c	2,490 b
	NK	1,450 a	2,300 b	3,750 a
	NPK	1,500 a	2,675 a	4,175 a
	<b>Mean</b>	<b>1,186 a</b>	<b>1,929 a</b>	<b>3,115 a</b>

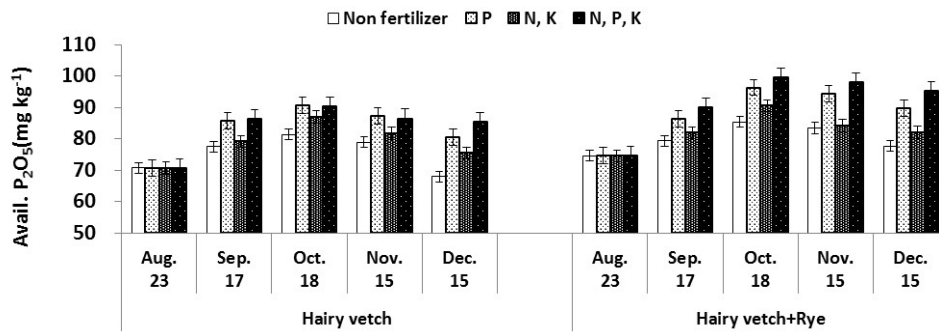
<sup>†</sup>Treatments with same letter in each column are not significantly different (Duncan test,  $p < 0.05$ )

**Table 4.** The amount of phosphate absorbed and utilization ration of phosphate.

Treatments		P absorbed amount (kg 10a <sup>-1</sup> )			P utilization ratio (%)		
		Shoot	Tuber	Total	Shoot	Tuber	Total
Hairy vetch	Non fertilizer	0.32	0.22	0.54	-	-	-
	P	0.39	0.23	0.62	0.83	0.04	0.87
	NP	0.54	0.32	0.87	2.86	0.92	3.79
	NPK	0.61	0.42	1.03	4.36	1.80	6.16
	<b>Mean</b>	<b>0.47</b>	<b>0.30</b>	<b>0.77</b>	<b>2.68</b>	<b>0.92</b>	<b>3.61</b>
Hairy vetch + Rye	Non fertilizer	0.24	0.26	0.50	-	-	-
	P	0.36	0.26	0.62	1.13	0.01	1.12
	NP	0.54	0.41	0.95	3.47	1.39	4.86
	NPK	0.58	0.40	0.98	5.99	1.23	7.22
	<b>Mean</b>	<b>0.43</b>	<b>0.33</b>	<b>0.76</b>	<b>3.53</b>	<b>0.88</b>	<b>4.40</b>

**토양의 유효인산 함량 변화** 토양내 유효인산 함량 변화는 모든 처리구에서 시간이 지날수록 증가되다가 감자 개화기인 10월 18일부터 서서히 감소되었다 (Fig. 2).

토양 유효인산함량이 무비구에서도 증가되다가 감소하는 것은 녹비작물에 의해 인산이 2.4~3.57 kg 10a<sup>-1</sup>이 공급되었기 때문이다 (Table 2). 녹비작물이 재배되는 동안 토양 중 인산을 흡수하였다가 토양에 환원된 후 분해되고 (Cho et al., 2006), 감자재배기간 동안 토양에 인산이 공급되었기 때문에 감자재배 초기에 토양 유효인산함량이 증가된 것으로 판단된다. 녹비환원 후 무기인산의 결합형태에 따른 인의 형태가 작물이 흡수 이용되기 쉬운 Al-P, Ca-P의 형태로 전환되어 작물에 흡수 이용되고, 이 후 시간이 경과하면서 안정적인 고정형태인 Fe-P로 변환된다 (Cho et al., 2006). 처리구별로 유효인산 함량은 인산시용구에서 높았으며, 시간이 지날수록 인산시용구와 인산 무시용구간에 차이가 큰 것은 인산비료 공급에 의한 영향이다. 이런 결과는 Cho et al. (2006)이 녹비작물 투입에 따른 토양내 인산함량 변화 시험연구에서 토양중 유효인산 함량은 인산무비구보다 인산시비구에서 높고, 시간이 경과할수록 인산시비구와 무시비구의 차이는 증가되었다고 보고한 것과 같은 경향이었다. 그러나 인산비료 사용수준 증가로 토양의 유효인산 함량이 증가되나 (Bauder J.W. et al., 1997), 본 시험에서 토양의 유효인산 함량이 인산시용으로 크게 증가되지 않은 것은 사용된 인산이 토양중에 고정되었기 때문으로 판단된다.



**Fig. 2.** Changes of available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contents in soils during potatoes cultivation.

**인산 흡수량 및 이용률** 인산 흡수량 및 이용율은 질소+인산+칼리구에서 가장 높았으며, 헤어리베치+호밀구의 인산 이용율은 4.40%로 헤어리베치구의 3.61%보다 높았다 (Table 4). 이와 같이 인산 흡수량과 이용율이 낮은 것은 감자의 인산흡수가 칼륨이나 질소보다 낮기 때문이다 (Terry et al., 1993). 양분이용율은 비료성분의 화학적인 형태, 작물의 종류, 토양조건, 시비방법, 기상조건 등에 따라 달라지는데 인산의 흡수율이 낮은 편이며 토양반응이 심한 산성이거나 화산회토양에서는 더욱 낮아 10% 이하인 경우도 있다 (Yoo and Lim, 1997)고 한 결과와 비슷하였다.

**인산양분 수지** 인산의 양분수지는 헤어리베치 단파구가 평균 13.22 kg 10a<sup>-1</sup>, 헤어리베치+호밀 혼파구가 평균 14.21 kg 10a<sup>-1</sup>로 혼파구가 높았으나 유의적인 차이는 없었다. 비료처리별 인산수지는 헤어리베치 단파구에서 무비구 1.28 kg 10a<sup>-1</sup>, NK 시비구 0.54 kg 10a<sup>-1</sup>로 아주 낮았으며, 인산을 시비한 P 시비구와 NPK 시비구에서 각각 26.05 kg 10a<sup>-1</sup>과 25.04 kg 10a<sup>-1</sup>로 높았다. 헤어리베치+호밀 혼파구의 인산수지도 같은 경향으로 인산의 공급량과 흡수량간의 차이는 모든 처리에서 크게 나타나지 않았다 (Table 5). 화산회토양은 인산 고정력이 높고 (Shin and Kim, 1975), 토양에 인산비료가 사용된 후 식물생육에 이용되는 인산은 적으며 대부분 불용화된다 (Joa et al., 2007). 따라서 감자의 인산흡수량이 적고, 가용화된 인산이 다시 고정되어 인산질비료 시용효과가 낮다.

**Table 5.** Phosphate balance affected by fertilization after soil incorporation of green manure crops.

Treatments	Input (A) (kg 10a <sup>-1</sup> )			Output (B) (kg 10a <sup>-1</sup> )			Balance (A - B)	
	Green manure	Chemical fertilizer	Total	Stem	Potato	Total		
Hairy vetch	Non fertilizer	2.40	0	2.40	0.61	0.50	1.12	1.28 b <sup>†</sup>
	P	2.40	25	27.40	0.82	0.53	1.35	26.05 a
	NK	2.40	0	2.40	1.13	0.73	1.86	0.54 b
	NPK	2.40	25	27.40	1.40	0.96	2.36	25.04 a
	Mean	2.40	12.5	14.90	0.99	0.68	1.67	13.22 a
Hairy vetch + Rye	Non fertilizer	3.57	0	3.57	0.61	0.60	1.20	2.37 b
	P	3.57	25	28.57	0.89	0.60	1.48	27.09 a
	NK	3.57	0	3.57	1.23	0.94	2.17	1.40 b
	NPK	3.57	25	28.57	1.69	0.92	2.60	25.97 a
	Mean	3.57	12.5	16.07	1.11	0.77	1.88	14.21 a

<sup>†</sup>Treatments with same letter in each column are not significantly different (Duncan test, *p* < 0.05).

## Conclusions

제주 화산회토양에서 헤어리베치 단파 및 헤어리베치와 호밀을 혼파하여 녹비로 토양에 환원한 후 감자를 재배할 때 인산비료 시용이 감자수량, 토양 유효인산 및 인산수지에 미치는 영향을 조사하였다. 녹비작물 수량과 토양 인산 환원량은 헤어리베치+호밀 혼파구가 헤어리베치 단파구보다 많았다. 녹비작물 토양환원 후 감자를 재배했을 때 감자줄기와 괴경의 생산량은 헤어리베치 단파구와 헤어리베치+호밀 혼파구간에 차이가 없었다. 헤어리베치 단파구와 헤어리베치+호밀 혼파구에서 감자줄기와 괴경은 무비구와 인산시비구간에 유의적인 차이가 있었다. 감자 수량은



헤어리베치 + 호밀 혼파구의 NPK 처리구에서  $2,675 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 으로 가장 많았다. 토양유효인산 함량은 감자 개화기인 10월 18일까지 증가되다가 그 후 감소되었으며, 시간이 지날수록 인산 무시비구와 인산 시비구간에 차이가 크게 나타났다. 인산수지는 헤어리베치 단파구가  $13.22 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ , 헤어리베치 + 호밀 혼파구가  $14.21 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 으로 비슷한 수준이었다. 비료처리별 인산수지는 무비구와 NK 시비구에서  $0.54\text{--}2.37 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 낮았으며, P 시비구와 NPK 시비구에서  $25.04\text{--}27.09 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 높았다. 결론적으로 감자를 재배할 때 헤어리베치 단파보다 헤어리베치 + 호밀을 혼파 재배하여 토양환원 후 인산질비료를 사용하면 토양 유효인산 함량이 증가되고, 감자 수량이 증가되었다.

## Acknowledgement

This study was supported by Rural Development Administration, Republic of Korea (Project No. PJ009443022014).

## References

- Bauder, J.W., S. Mahmood, B.E. Schaff, and D.J. Sieler. 1997. Effect of phosphorus soil test level on sorghum-sudangrass response to phosphorus fertilizer. *Agron. J.* 89:9-16.
- Cho, H.S., J.H. Seo, M.T. Kim, S.P. Eom, and J.K. Lee. 2006. The change of phosphorus in soil by green manure application. *Res. Rep. Rural Development Administration Nat. Inst. Crop Sci.* 7:503-516.
- Joa, J.H., H.C. Lim, S.G. Han, S.J. Chun, and J.S. Suh. 2007. Characteristics of *Bacillus sphaericus* PSB-13 as phosphate solubilizing bacterium isolated from citrus orchard soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(5):405-411.
- Kim, T.Y., A.R. Daquiado, F. Alam, and Y.B. Lee. 2012. Evaluation of nitrogen and phosphorus balance in green manure-rice cropping systems without incorporation of green manure crops. *Korean J. Environ. Agric.* 31(4): 308-312.
- 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., J.K. Park, C.W. Shin, and J.K. Kim. 1984. Determination of the optimum rates of phosphorus fertilizer for soybean in the different reclaimed hillside soils. *Res. Rep. Rural Development (Soil Fertilizer)*. 26(1):9-14.
- Lee, S.M., J.K. Sung, Y.H. Lee, H.J. Ji, B.M. Lee, D.H. Choi, and Y.H. Kim. 2005. Effect of crop rotation introduced for organic farming practice in the upland soil. *Res. Rep. Rural Development Administration Nat. Inst. Agric. Sci.* 87-118.
- Matsuda, A. 1981. Crop rotation and organic amendment for biological control of soil-borne diseases. *Plant Prot.* 35:108-114.
- Park, H., S.H. Yoo, and S.B. Hong. 1975. Characteristics and management of citrus orchard soils in Jeju. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 8(3):135-152.
- Ryu, I.S., S.H. Yoo, and J.H. Yoon. 1976. Fertility status of Jeju volcanic ash soil and its improvement. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 8(3):121-133.
- Sarantonio, M. and T.W. Scott. 1988. Tillage effects on availability of nitrogen to corn following a winter green manure crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 85:134-140.
- Shin, C.W., I.S. Ryu, and J.H. Yoon. 1980. A study on composition of inorganic phosphorus forms and methods of determining available phosphorus in volcanic ash. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 13(3):93-97.
- Shin, Y.H. and H.O. Kim. 1975. Characteristics of volcanic ash soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 8(3):113-119.
- Terry, A. Tindall, D.T. Westermann, J.C. Stark, J.C. Ojala, and G.E. Kleinkopf. 1993. Phosphorus nutrition of potatoes.

University of Idaho College Agriculture. Current Information Series No. 903.

Yause, T. 1991. The change of cultivation and utilization of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) and the effect of fertilizer and soil fertility on paddy field as a green manure. Jpn. J. Crop Sci., 60(4):583-592.

Yoo, S.H. and K.C. Song. 1984. Chemical characteristics of soils in Cheju Island. II. Variations in chemical characteristics of the citrus orchard soils as a function of years of cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 17(2):161-166.

Yoo, S.H. and S.U. Lim. 1997. Soil fertilizer. Korea Broadcasting and Telecommunications University. p. 235-236.