인산염 처리에 따른 콩과 및 벼과 식물의 유기산 분비 및 인흡수량 차이

고미라[1] · 송성준[2] · 강영길[1]

[1]제주대학교 생명자원과학대학 식물자원환경전공
[2]제주대학교 방사선응용과학연구소

Effect of phosphates on exudation of organic acid and phosphorus uptake in legumes and grasses

[1]Mi-Ra Ko, [2]Sung-Jun Song and [1]Young-Kil Kang

[1]*Major of Plant Resources & Environ., Coll. of Applied Life Sci., Cheju National Univ., Jeju 690-756, Korea*
[2]*Applied Radiological Science Research Institute, Cheju National Univ., Jeju 690-756, Korea*

Abstract

This study was conducted to select the plants absorbing efficiently insoluble P in the volcanic ash soil. Sixteen plants were sand-cultured with addition of $AlPO_4$, $FePO_4$ or KH_2PO_4. The intact roots were taken and the organic acids in their rhizosphere were extracted by adding 10 mM $CaCl_2$. The concentration of citric acid in the extracts was determined by using ion chromatography. The concentration of citric acid in rhizosphere of the legumes was higher than in that of the grasses. Red clover, common vetch and Chinese milk vetch showed relatively higher concentrations of citric acid than other plant species. The concentration of citric acid were higher in the absence of P and in the supply of $AlPO_4$ or $FePO_4$ than in the supply of KH_2PO_4. $AlPO_4$ induced higher citric acid than $FePO_4$. Considering that common vetch had higher P concentrations in the plant and P absorptions from Al-P from the above results, it was expected that was a valuable plant species for the mobilization of P fixed in the volcanic ash soil.

서 론

웰빙은 대기·수질·토양환경오염으로 인한 각종 질병의 발병과 무관하지 않으며 특히 안전한 먹거리에 대한 염려를 반영하고 있다. 따라서 농림부는 토양환경보전과 적정시비를 위해 1997년부터 토양조건에 알맞은 새로운 비료를 개발보급하고, 적정시비지도를 통해 화학비료 시용량을 감축하고 있다[11].

한편 제주도내 화학비료 소비량은 현재 8만톤 이상을 유지하고 있으며, 전국 평균 4배[1] 이상 높게 시용되고 있다. 이러한 화학비료의 과다시용은 결국 토양의 물리·화학적 성질을 악화시키고 염류축적의 원인이 되는 등 많은 부작용을 야기하였다. 특히, 감귤원에서의 감귤품질저하, 이상 낙엽현상과 수체의 고사, 나아가 청정 제주 지하수의 오염주범이 화학비료라는 사실은[12] 제주지역에서 과다시비의 부작용이 얼마나 심각한 지를 보여주는 단적인 예이다.

제주도의 토양은 화산회토양으로서 비결정질의 Allophane 점토광물로 이루어져 인산에 대한 흡착력이 대단히 강하다. 이러한 화산회토양은 75~80%가 Al-P이며, 11~16%가 Fe-P, 5~12%가 Ca-P의 형이다[16]. 이러한 이유로 인산질 비료의 시용을 많이 하게 되었고, 필요이상으로 과다하게 축적된 원인이 되었다. 현재 제주토양 중에 함유되어 있는 유효인산량은 평균 393㎎/㎏ (30~1200 ㎎/㎏)이다[13]. 이를 용성인비의 가격으로 계산한다면 152억원 상당의 양이다. 이처럼, 상당량의 인

산이 토양 중에 축적되어 있음에도 불구하고 매년 만여 톤의 인산질 화학비료가 계속하여 경작지에 시용되고 있는 실정이다. 그러므로, 축적된 인산을 재순환하여 작물이 이용할 수 있도록 하게 한다면 영농비 절감과 나아가 토양환경 보호 측면에서 매우 뜻 깊고 친환경 농업을 실천하는 길이기도 하다.

식물 중에는 특이적으로 인산양분이 매우 낮은 토양에서도 잘 자라는 것들이 있는 데 이러한 식물은 자신이 근권에 분비하는 유기산으로 토양 난용성 인 Al-P 또는 Fe-P를 용해시켜 흡수한다고 알려져 있다[2,3,4,5,6]. 그러므로, 제주지역의 토착 또는 외래 식물 중에서 난용성 인을 잘 흡수하는 식물을 선발한 뒤 이를 녹비작물로 재배하여 화산회 토양중의 불용화된 인산을 흡수케 하고 녹비로 활용한다면 인산 비료의 공급원 뿐만 아니라 유기물 공급원의 역할을 하게 되어 토양의 건전성을 유지하는 데 직접적인 도움을 줄 수 있을 것이라고 생각된다. 이러한 녹비작물이용기술은 토양에 유기물을 공급하여 토양의 물리성 및 미생물상을 개선시키고 녹비의 양분을 토양에 공급하여 지속적으로 농업을 영위할 수 있게 하는 친환경농업의 가장 중요한 기술이기도 하다[11].

따라서 본 연구의 목적은 유기산을 분비하여 난용성 인의 흡수력이 상대적으로 큰 식물을 선발하여 이를 녹비로 활용할 때 감귤원 및 원예작물 재배지의 축적된 인산을 재활용하는 방안을 강구하고자 하는데 있다.

재료 및 방법

공시식물은 Table 1에서 보는바와 같이 16 초종(콩과 8종, 벼과 8종)이었고 $AlPO_4$(난용성), $FePO_4$(난용성), KH_2PO_4(수용성) 및 P 결제구를 두어 2요인 완전임의배치법 3반복으로 아래와 같이 수행하였다.

1. 사경재배

200 ml 용량의 pot에 심지를 꽂고 수정모래와 비료를 골고루 섞어 넣은 뒤 양액이 들어 있는 비이커에 얹어 놓았다. 표 1의 종자를 각각 0.1% 차아염소산나트륨 용액에 30분간 침지한 후 증류수로 3회 세척한 뒤 petridish에 넣어 25℃ 항온

Table 1. Plant species used in this study

Plant species	Korean name	Abbreviation
Alfalfa (*Medicago sativa* L. cv. Vernal)	알팔파	A
Chines milk vetch (*Astragalus sinicus* L.)	자운영	CMV
Common vetch (*Vicia sativa* L.)	살갈퀴	CV
Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth cv. Barlosa)	헤어리베치	HV
White Lupin (*Lupinus albus* L. cv. Amiga)	화이트루핀	WL
Pigean pea (*Cajanus cajan* L. Millsp.)	피존피	PP
Red clover (*Trifolium pratense* L. cv. Titus)	레드크로버	RC
White clover (*Trifolium repens* L. cv. Regal)	화이트크로버	WC
Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flugge)	바이하그라스	BG
Finger grass (*Digitaria ciliaris* Rets. Koler)	바랭이	FG
Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam cv. Tetra florum)	이탈리안라이그라스	IRG
Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L. cv. Kenblue)	켄터키블루그라스	KBG
Oats (*Avena sativa* L. cv. Palinup)	귀리	O
Orchardgrass (*Dactylis glomerata* L. cv. Amba)	오차드그라스	OG
Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)	수수	S
Tall fescue (*Festuca arundinacea* schreb. cv. Triumph)	톨페스큐	TF

기에서 발아를 시켰다. 그 중 20개의 양호한 개체를 골라 pot에 정식하여 개화 또는 출수 개시 직전까지 사경재배를 실시하였다. 영양액은 Hoagland 용액을 1/4로 희석하여 저면 심지식 관수방법으로 공급하였는데, 염류집적에 의한 장해를 피하기 위해 양액과 증류수를 교대로 공급하였다.

2. 근권의 유기산 분석

뿌리를 가능한 상하지 않도록 하여 pot에서 꺼낸 뒤 가볍게 흔들어 과량의 모래를 털어내고 뿌리와 표면에 붙어 있는 모래를 적실 만큼의 10 mM $CaCl_2$ 용액을 가하여 유기산을 추출하였다. 추출 용액은 0.25μm membrane filter로 거른 뒤 이온크로마토그라프(Dionex 500-X, USA)(IonPac® ICE-AS6 유기산컬럼, AMMS-ICEII 음이온 suppressor)로 citric acid를 분석하였다. Citric acid 함량은 뿌리의 건물중 당 몰농도로 나타냈다.

3. 식물체 건물중

식물체를 지상부와 뿌리로 나누어 80℃의 건조기에서 48시간 건조시킨 뒤 무게를 측정하였다.

4. 식물체 인 분석

건조된 식물체를 분쇄기로 곱게 빻고 0.5 g 을 crucible에 넣어 550℃의 전기로 7시간 회화를 시켰다. 회화된 시료에 HNO_3(1:2) 2.5 ml를 가하여 hot plate상에서 액량이 1/4정도 줄어들 때까지 가열하고 냉각 후 증류수 2 ml를 첨가하였다. 그 후 25 ml로 부피를 맞춘 뒤 No. 5C 여과지로 여과하여 여액의 일부를 취하여 vanado-molydate 법으로 분석하였다.

5. 자료분석

SAS 통계팩키지를 이용하여 2요인 완전임의법으로 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 모든 형질에서 주효과와 상호작용효과가 인정되었으므로 주효과에 관계없이 상호작용효과에 대한 처리평균간 비교를 하였으며 처리평균간 비교는 던칸검정으로 나타내었다.

결과 및 고찰

식물의 근권중에서 분비하는 유기산은 식물의 종류에 따라 다양하나 토양의 인유효도와 가장 관계가 깊은 것은 carboxyl 기가 3개 달려 있는 citric acid으로 알려져 있다[6,8]. 따라서, 공시식물의 근권 유기산 분비력은 citric acid 함량을 가지고 비교하였고 뿌리의 건물중으로 나타내었다(Fig. 1). 일반적으로 근권의 citric acid 함량은 화본과에서 보다는 두과에서 높은 경향이었고, 레드클로버, 살갈퀴, 자운영이 높은 값을 보였다. citric acid 함량은 수용성인산염(KH_2PO_4)을 공급한 경우에는 낮았으나 인산을 완전히 결제하거나 난용성 $AlPO_4$ 또는 $FePO_4$를 공급했을 때 높은 경향이었다. 식물이 인산함량이 부족하면 PEP carboxylase 활성이 증대되어[8] 뿌리 중에 citrate가 축적되는 데, 음이온 channel과 H^+-ATPases 작용으로 H+ coupled 음이온 수송이 이루어 져 유기산 분비가 많아지는 것으로 사료된다[7]. 식물체 건물중은 KH_2PO_4를 공급하여 인산 영양상태가 양호했을 때 가장 높았고 난용성 인산 공급구 또는 결제구에서 건물중이 낮았다. 식물종별로 비교했을 때 화이트루핀과 수수의 건물중이 가장 높은 편이다. 이는 식물의 고유의 성장특성과 관련되어 있는 것으로 사료된다. 또한, 건물수량은 $FePO_4$ 보다는 $AlPO_4$를 공급했을 때 높은 경향을 보였으며 화이트루핀, 피전피, 헤어리베치, 귀리 등의 건물수량이 처리구에 간에 차이를 보이지 않은 것은 종자의 크기가 커서 내생 인 함량의 영향이 컸기 때문인 것으로 사료된다(Table 2, 3).

식물체 지상부의 P 농도는 KH_2PO_4를 공급한 경우에 가장 높았으며, 난용성 인산 공급구도 결제구보다 높은 경향을 보이고 있다. 이는 공시초종이 난용성 인산을 흡수 이용하고 있다는 것을 입증하는 것이다. 일반적으로, 두과의 식물체 인산 함량은 화본과 보다 높은 경향이며, 초종에 따라 약간 다르지만 주로 $FePO_4$ 보다는 $AlPO_4$를 공급했을 때 높은 경향을 보였다(Table 4).

식물체 지상부의 인흡수량은 식물체 중의 인 함량이 약간 낮더라도 건물생산량이 큰 화이트루핀, 수수의 경우에 가장 높은 편이고 피전피와 헤어리베취가 그 다음으로 높은 편이다(Table 5).

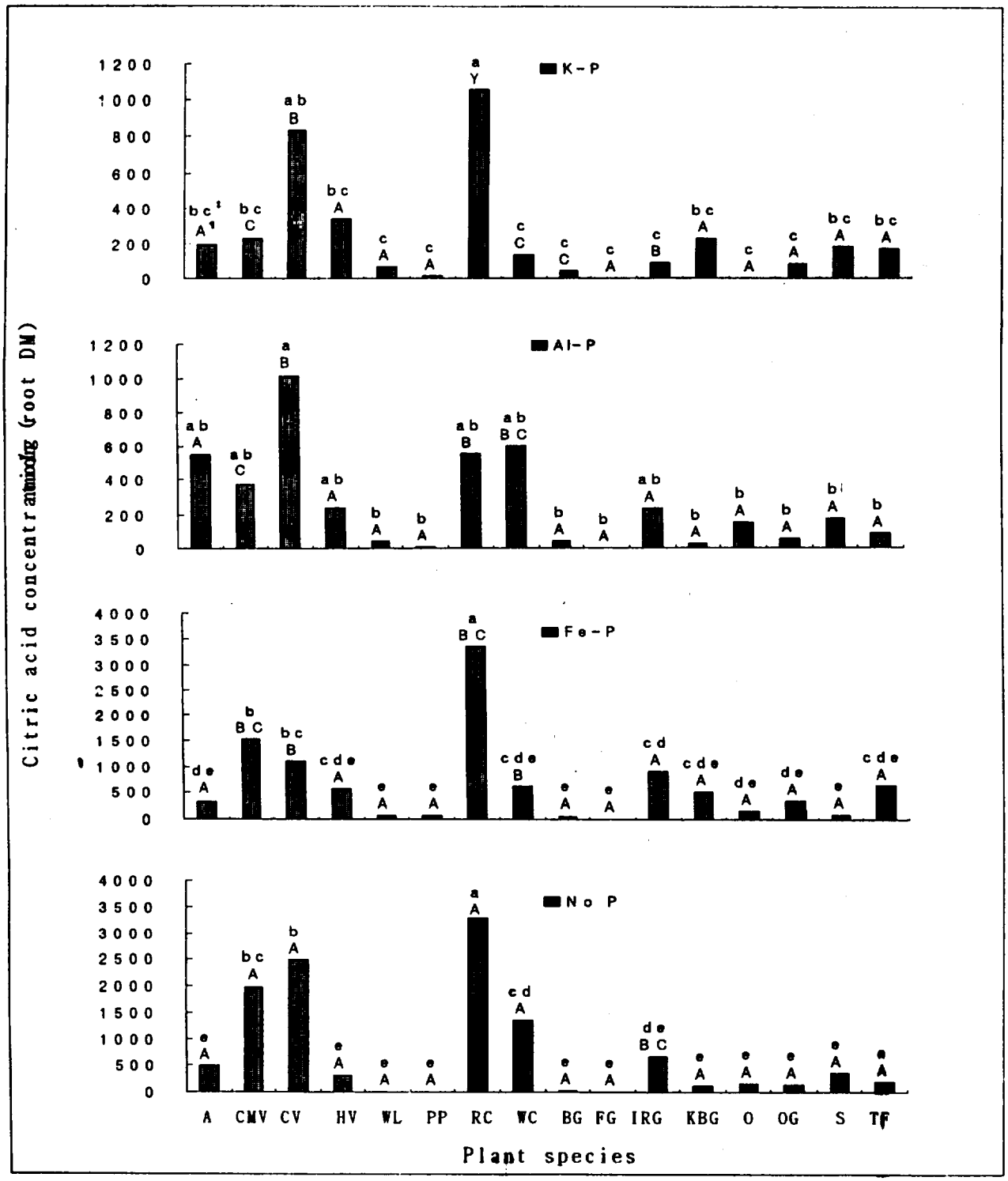

Fig. 1. Concentration of citric acid in the rhizosphere of plant species sand-cultured under the supplement of different P-fertilizers.

K-P = KH_2PO_4, Al-P= $AlPO_4$, Fe-P = $FePO_4$

[1] Between plant species within the same P-fertilizers by DMRT at 5% level.
[2] Between P-fertilizers within the same plant species by DMRT at 5% level.
[3] See the Table 1 for explanation of abbreviations.

Table 2. Shoot dry matter of plant species sand-cultured under the supplement of different P-fertilizers.

Plant species(PS)	Shoot dry matter (g/plant)			
	P-fertilizers (PF)			
	K	Al	Fe	N
Alfalfa	$29.69^{lm\dagger A\ddagger}$	$29.74^{l\ A}$	$16.41^{i\ A}$	$7.67^{f\ A}$
Chines milk vetch	$23.71^{m\ A}$	$24.35^{l\ A}$	$14.48^{i\ A}$	$6.86^{f\ A}$
Common vetch	$44.29^{iklm\ A}$	$31.79^{l\ A}$	$29.18^{hi\ A}$	$25.96^{f\ A}$
Hairy vetch	$103.49^{defg\ A}$	$94.30^{e\ A}$	$94.55^{de\ A}$	$78.89^{de\ A}$
White Lupin	$545.83^{a\ A}$	$514.17^{a\ B}$	$486.67^{a\ C}$	$479.53^{a\ C}$
Pigean pea	$124.88^{cde\ A}$	$130.77^{bcd\ A}$	$136.62^{bc\ A}$	$118.58^{b\ A}$
Red clover	$58.62^{ijk\ AB}$	$64.74^{ghijk\ W}$	$35.98^{hi\ BC}$	$18.96^{f\ C}$
White clover	$51.11^{ijk\ A}$	$42.29^{kl\ BC}$	$15.93^{i\ C}$	$4.91^{f\ C}$
Bahiagrass	$76.65^{i\ AB}$	$78.73^{efghi\ A}$	$25.86^{hi\ C}$	$13.60^{f\ C}$
Finger grass	$131.51^{c\ A}$	$93.73^{ef\ B}$	$28.33^{hi\ C}$	$8.31^{f\ C}$
Italian ryegrass	$106.46^{cdef\ A}$	$82.49^{efg\ B}$	$62.78^{fg\ BC}$	$20.80^{f\ D}$
Kentucky bluegrass	$38.32^{klm\ AB}$	$41.43^{kl\ A}$	$27.35^{hi\ BC}$	$4.23^{f\ C}$
Oats	$126.44^{cd\ A}$	$137.36^{bc\ A}$	$117.37^{cd\ A}$	$117.13^{bc\ A}$
Orchardgrass	$106.17^{cdefg\ A}$	$81.80^{efgh\ B}$	$63.79^{f\ BC}$	$11.53^{f\ D}$
Sorghum	$250.24^{b\ A}$	$147.50^{b\ DC}$	$156.54^{b\ B}$	$79.50^{d\ D}$
Tall fescue	$69.31^{ij\ B}$	$73.48^{efghij\ A}$	$48.18^{fgh\ BC}$	$15.88^{f\ D}$

Significance of F-test

PS ***, PF ***, PS× PF ***

Al = $AlPO_4$, Fe = $FePO_4$, K = KH_2PO_4, N = No P

*** : Significant at 0.1% probability level.

† Between plant species within the same P-fertilizers by DMRT at 5% level.

‡ Between P-fertilizers within the same plant species by DMRT at 5% level.

이상의 결과에서 보면 근권 citric acid 농도는 화본과 보다 두과식물에서 높고, 특히, 레드클로버, 살갈퀴, 자운영의 경우에 높은 편이다. 한편, 피전피와 화이트루핀은 μmol 수준의 유기산을 분비하는 것으로 알려져 있으나[2,3,9] 본 사경재배에서 그 함량이 낮은 이유는 설명하기 힘드나, 재배지역과 상이한 환경조건이 유기산 분비력에 영향을 준 것으로 사료된다.

식물의 인 흡수효율은 식물의 인 요구도가 크면 인 흡수력도 높겠지만 최종적인 평가는 식물체중의 인농도 × 건물중에 의해 좌우된다. 식물체중에 인 농도가 높더라도 건물수량이 적으면 토양으로부터 인 흡수효율은 크지 않을 수 있으며 이와 반대로 인농도는 낮더라도 건물수량이 높으

Table 3. Root dry matter of plant species sand-cultured under the supplement of different P-fertilizers.

Plant species(PS)	Root dry matter (g/plant)			
	P-fertilizers (PF)			
	K	Al	Fe	N
Alfalfa	30.35^{fg†} A‡	30.22^{ghi} A	15.80^{hi} A	11.34^{cf} A
Chines milk vetch	35.20^{g} A	46.75^{defgh} A	16.48^{ghi} C	10.35^{efg} C
Common vetch	34.59^{fg} A	31.17^{ghi} A	27.78^{fghi} A	22.60^{defg} A
Hairy vetch	48.11^{cdefg} A	46.88^{defg} A	61.39^{c} A	52.05^{bc} A
White Lupin	87.33^{c} A	91.96^{c} A	81.46^{b} A	83.09^{a} A
Pigean pea	33.94^{fg} A	42.27^{fghi} A	40.93^{def} A	40.67^{bcd} A
Red clover	34.45^{fg} AB	36.60^{ghi} A	20.79^{efghi} AB	14.95^{efg} C
White clover	31.07^{g} A	25.65^{i} AB	8.71^{i} BC	4.03^{g} C
Bahiagrass	39.32^{fg} A	30.97^{ghi} AB	9.42^{i} C	6.48^{fg} C
Finger grass	61.51^{cde} AB	63.53^{d} A	22.37^{efghi} B	9.56^{efg} B
Italian ryegrass	132.68^{b} A	117.34^{a} AB	55.48^{cd} C	25.51^{def} D
Kentucky bluegrass	28.09^{g} AB	41.35^{fghi} A	12.84^{hi} BC	3.05^{g} B
Oats	37.96^{fg} A	30.18^{ghi} A	31.88^{efgh} B	29.62^{de} B
Orchardgrass	52.55^{cdef} AB	58.33^{def} A	36.75^{defg} BC	9.18^{efg} D
Sorghum	183.95^{a} A	116.89^{ab} B	112.75^{a} BC	58.75^{b} B
Tall fescue	64.34^{d} A	63.34^{de} AB	40.95^{de} C	15.52^{efg} D

Significance of F-test

PS ***, PF ***, PS× PF ***

Al = $AlPO_4$, Fe = $FePO_4$, K = KH_2PO_4, N = No P

*** : Significant at 0.1% probability level.

† Between plant species within the same P-fertilizers by DMRT at 5% level.

‡ Between P-fertilizers within the same plant species by DMRT at 5% level.

면 인흡수 효율이 높을 수 있다. 특히, 제주 감귤원의 화산회 토양에서 초생재배(녹비작물)에 활용될 경우에는 건물수량이 어느 정도 확보되어야 하고 식물의 초장이 크지않아 감귤생육에 영향을 주지 말아야 한다. 또한, 식물의 인 흡수와 생육이 지역 풍토에 의해서 좌우될 수 있다. 그러므로 지역의 풍토에 잘 적응된 식물이 인 농도가 높고 건물수량이 높다면 상대적으로 인 흡수 효율이 큰 식물이 될 수 있다. 더불어, 제주지역의 지하수의 질산성 질소 오염주범이 질소비료에서 온다는 사실을 감안한다면 녹비작물이 질소 공급능력이 크다면 매우 이상적인 초종이 될 수 있다. 공시한 식물의 난용성 인에 시비반응(엽 중 인 농도, 건물수량)이 사경재배에서 잘 나타나고 있으며 지상부의 인흡수량은 화본과 보다는 두과 특히, 살갈퀴, 헤어리베치 등이 큰 것으로 나타나고 있다. 특히, 실제포장에서의 베치류(살갈퀴나 헤어리베치)의 건물수량이 clover나 목초류 보다도 훨씬 높은 점[15]과 식물체 중의 인농도가 높은 것을 감안한다면 식물체의 인흡수효율이 상대적

으로 높다. 한편, 화본과는 초장이 너무 길어 예취하여야 하는 번거로움으로 노동력이 많이 드는 단점이 있다.

따라서, 살갈퀴와 헤어리베치가 감귤원의 초생재배용으로 적당할 것으로 사료되나, 건물 생산성이 비슷한 점을 감안하고 살갈퀴가 제주도의 자생초종인 점을 감안한다면 감귤원 초생재배용으로 살갈퀴가 적당한 것으로 생각된다.

Table 4. P content in the shoot of plant species sand-cultured under the supplement of different P-fertilizers.

Plant species(PS)	P content in shoot (μg/g)			
	P-fertilizers (PF)			
	K	Al	Fe	N
Alfalfa	$6768^{a\dagger}$ A‡	2293^{ab} B	1251^{abc} C	774^{ab} C
Chines milk vetch	6109^{ab} A	2295^{a} B	1458^{abc} C	1003^{ab} C
Common vetch	5336^{c} A	2131^{abc} B	1274^{abc} C	631^{ab} C
Hairy vetch	4010^{efg} A	1852^{abcd} B	1243^{abc} BC	863^{ab} C
White Lupin	3307^{fghi} A	$1449^{abcdefgh}$ B	1580^{abc} B	1467^{a} B
Pigean pea	1516^{p} A	$1510^{abcdefg}$ AB	1076^{abc} C	1203^{ab} C
Red clover	4215^{ef} A	$1362^{cdefghi}$ B	1054^{abc} BC	476^{b} C
White clover	5231^{cd} A	1680^{abcdef} B	986^{abc} BC	556^{b} C
Bahiagrass	2617^{jklmn} A	902^{efghi} B	687^{bc} BC	366^{b} C
Finger grass	2910^{jklm} A	846^{fghi} B	663^{c} B	304^{b} B
Italian ryegrass	3017^{hijkl} A	1102^{defghi} A	730^{bc} A	419^{b} A
Kentucky bluegrass	3702^{efghi} A	1731^{abcde} BC	1820^{a} B	465^{b} D
Oats	4400^{e} A	902^{efghi} B	668^{c} B	519^{b} B
Orchardgrass	2336^{lmno} A	524^{i} B	650^{c} B	359^{b} B
Sorghum	3307^{ghijk} A	808^{fghi} BC	1492^{abc} B	535^{b} C
Tall fescue	3817^{efgh} A	$1286^{cdefghi}$ B	988^{abc} B	507^{b} B

Significance of F-test

PS ***, PF ***, PS× PF ***

Al = $AlPO_4$, Fe = $FePO_4$, K = KH_2PO_4, N = No P

*** : Significant at 0.1% probability level.

† Between plant species within the same P-fertilizers by DMRT at 5% level.

‡ Between P-fertilizers within the same plant species by DMRT at 5% level.

Table 5. P absorption in the shoot of plant species sand-cultured under the supplement of differen P-fertilizers.

Plant species(PS)	P absorption in shoot (μg P/plant)			
	P-fertilizers (PF)			
	K	Al	Fe	N
Alfalfa	200^{c†} A‡	68^{b} A	21^{b} A	6^{b} A
Chines milk vetch	147^{c} A	56^{b} A	21^{b} A	7^{b} A
Common vetch	237^{c} A	68^{b} A	37^{b} A	16^{b} A
Hairy vetch	412^{c} A	174^{b} A	118^{b} A	67^{b} A
White Lupin	1805^{a} A	744^{a} B	769^{a} B	703^{a} B
Pigean pea	184^{c} A	196^{b} A	146^{b} A	143^{b} A
Red clover	246^{c} A	88^{b} A	39^{b} A	9^{b} A
White clover	264^{c} A	71^{b} A	16^{b} A	3^{b} A
Bahiagrass	201^{c} A	72^{b} A	18^{b} A	5^{b} A
Finger grass	384^{c} A	79^{b} A	19^{b} A	3^{b} A
Italian ryegrass	322^{c} A	90^{b} A	46^{b} A	9^{b} A
Kentucky bluegrass	141^{c} A	66^{b} A	50^{b} A	2^{b} A
Oats	560^{bc} A	124^{b} B	80^{b} A	60^{b} B
Orchardgrass	249^{c} A	64^{b} A	42^{b} A	4^{b} A
Sorghum	827^{b} A	119^{b} B	231^{b} A	42^{b} B
Tall fescue	264^{c} A	98^{b} A	48^{b} A	8^{b} A

Significance of F-test

PS ***, PF ***, PS× PF ***

Al = $AlPO_4$, Fe = $FePO_4$, K = KH_2PO_4, N = No P

*** : Significant at 0.1% probability level.

† Between plant species within the same P-fertilizers by DMRT at 5% level.

‡ Between P-fertilizers within the same plant species by DMRT at 5% level.

참고문헌

1. Ahn, H. S., C. Y. Lee and S. H. Yoo(1968) Studies on the behavior of phosphorus fertilization in the soil employing 32P(I). Efficiency of phosphorus fertilization in the plant in different soils. Korea Atomic Energy Research Institute Journal 8(1-2):91-96.
2. Ae, N., J. Arihara, K. Okada, T, Yoshihara and C. Johansen. 1990. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. Sci. 248:477-480.
3. George, T.S., P.J. Gregory, M. Wood, D. Read and R.J. Buresh. 2002. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize 34:1487-1494.
4. Hinsinger, P. and R.J. Gilkes. 1997. Dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of five plant species grown in an acid, P-fixing mineral substrate. Geoderma 75:231-249.
5. Jones, D.L., P.G. Dennis, A.G. Owen and P.A.W. van Hees. 2003. Organic acid behavior in soils - misconceptions and knowledge gaps. Plant Soil 248:31-41.
6. Kpomblekou-A, K. and M.A. Tabatabai. 2003. Effect of low-molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailabilty of phosphorus in phosphate rocks added to soils. Agric. Ecosyst. Eviron. 100:75-284.
7. Neumann, G. and V. Römheld. 1999. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. Plant Soil. 211:121-130.
8. Uhae-Stone, C, G. Gilbert, J. M-F. Johnson, R. Litjens, K.E. Zinn, S. J. Temple, C. P. Vance and D.L. Allan(2003) Acclimation of white lupin to phosphorus deficiency involves enhanced expression of genes related to organic acid metabolism. Plant Soil. 248:99~116.
9. Veneklaas, E.J., J. Stevens, G.R. Cawthray, S. Turner, A.M. Grigg and H. Lambers. 2003. Chickpea and white lupin rhizosphere carboxylates vary with soil properties and enhance phosphorus uptake. Plant Soil 248: 187-197.
10. Wouterlood, M., G.R. Cawthray, S. Turner, H.? Lambers and E.J. Veneklaas(2004) Rhizosphere carboxylate concentrations of chickpea are affected by genotype and soil type. Plant Soil. 261:1~10.
11. 이호진, 서종호. 2001. 친환경 작물재배기술 및 소재개발. 환경친화형 소재개발 및 이용확대 심포지엄. p85~119.
12. 박재우, 송성준, 홍경애, 고기원, 박원배(2003 지하수오염판별을 위한 동위원소 fingerprinting 기수개발, 과학기술부 원자력개발 연구과제 최종보고서.
13. 이신찬, 강호준, 황재종(1999) 밭토양 보전관리기술연구, 제주도 농업시험연구보고서 p341~364.
14. 조백현(1984) 신고 토양학. 향문사.
15. 최동근, 김형국, 유동현(2002) 과수 생력재배에 관한 연구 : 초종별 초생재배가 배 과원의 토양 및 재배에 미치는 영향. 전라북도 농업기술원. 시험연구보고서 2001:265-272
16. 東海林健, 桶口福男(1970) 日本土肥誌 4:353~357.