

## 화산회토양에서 Arbuscular Mycorrhizae에 의한 토마토의 인광석 이용

정종배\* · 문두길<sup>1)</sup>

대구대학교 자연자원대학 농화학과, <sup>1)</sup>제주대학교 농과대학 원예생명과학부

### Rock Phosphate with Mycorrhizae as P Source for Tomato Plant in Volcanic Ash Soil

Jong-Bae Chung and Doo-Khil Moon<sup>1)</sup> (Dept. of Agricultural Chemistry, Taegu University, Kyongsan, 712-714, <sup>1)</sup>Faculty of Horticultural Life Science, Cheju National University, Cheju, 690-756)

**ABSTRACT** : In order to examine the possible use of rock phosphate as P source, tomato seedlings with or without inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi were grown in the pots of sterile volcanic ash soil from Cheju island with two levels of phosphorus (100 and 200 mg/kg) supplied either as fused or as rock phosphate. After three months of culture, plant dry weight, P and other nutrient uptake, root colonization and spore density in the soil were determined. Treatments of rock phosphate of both levels resulted in the significantly depressed plant growth in comparison to the treatments of fused phosphate, likely due to lower P availability in soil with rock phosphate. Mycorrhizal fungi inoculation increased the dry weight of plant at 200 mg/kg level of both fused and rock phosphate. Root infection and sporulation were reduced in rock phosphate treatments. Nitrogen, K, Ca and Mg contents in plants were not significantly different at all treatments. As a P source, rock phosphate in combination with mycorrhizae was not satisfactory for optimum plant growth at 100~200 mg/kg levels in Cheju volcanic ash soil.

**Key words** : mycorrhizae, rock phosphate, tomato, volcanic ash soil

### 서론

제주도 면적의 74%를 차지하는 화산회토는 인산을 강하게 고정, 흡착하므로 다량의 용성인비의 시용이 권장되어 왔고 그 결과 감귤원 토양중의 유효인산 평균 함량은 415 mg/kg 정도로 조사되어 있다<sup>1)</sup>. 이러한 토양환경에서 인산 시비 효율을 높이고 토양의 유실에 따른 지표수의 부영양화나 지하수의 오염을 경감시킬 수 있는 환경친화형 영농체계의 구축은 우리 농업이 직면한 중요한 과제이다. 제주도 토양에서 발생하는 이러한 인의 시비 효율 문제를 해결하기 위한 방법으로 토양미생물의 이용 가능성에 대한 연구가 그 동안 수 차례 시도되었으나 아직 효과적인 대책은 없는 실정이다<sup>2,3)</sup>.

Mycorrhizae 균이 토양 중의 인을 흡수하여 기주식물에 전달함으로써 식물의 생장을 촉진시켜 줄 수 있다는 사실은 이미 잘 알려져 있다<sup>4)</sup>. 이러한 mycorrhizae의 작용은 뿌리의 흡수 표면적의 증대와 이에 따른 인산 이온의 확산 거리의 단축, 낮은 농도에서도 인산을 효율적으로 흡수할

수 있는 균사의 특성, 그리고 근권 토양으로 H<sup>+</sup> 이온, chelates 및 phosphatase 등을 분비함으로써 이루어진다<sup>5,6,7)</sup>. 인광석은 가격이 저렴하나 그 자체만으로는 용해도가 낮아 효과적인 인산 비료로 사용되지 못하고 있다. Mycorrhizae 균은 인광석을 직접 가용화 시키지는 못하나 위에서 지적한 작용들을 통하여 서서히 용출되는 인산 이온의 흡수를 증대시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 한편으로 Routein 등은 ectomycorrhizae의 경우 H<sup>+</sup> 이온이나 chelate물질을 분비함으로써 용해도가 낮은 인산을 일부 가용화시킬 수 있다고 하였으며<sup>8)</sup>, ectomycorrhizae 균이 분비하는 칼슘-oxalate는 철이나 알루미늄과 착염을 형성함으로써 인을 용출시켜 식물이 이용할 수 있게 한다는 연구 결과도 있다<sup>9)</sup>. Endomycorrhizae의 경우 직접적인 인의 가용화에 미치는 효과는 잘 밝혀져 있지 않은데, mycorrhizae 식물이 citrate 등의 유기화합물을 분비하는 결과로 인의 가용화가 일부 촉진되어 식물의 인 흡수가 증가된다는 보고가 있으며<sup>10)</sup>, 인광석을 처리한 오렌지 유식물에서 mycorrhizae 균을 접종하지 않은 경우에 비해 접종한 경우 인의 흡수 이용과

식물 생육이 증가한 결과도 보고되어 있다<sup>11)</sup>.

Mycorrhizae가 직접 인광석을 가용 화시켜 인의 이용율을 높이거나 또는 단순히 기주식물 뿌리의 흡수 표면적을 확대시켜 인산의 흡수를 증대시키거나, 일단 불용성 인의 이용율을 높일 수 있는 이러한 토양 미생물을 이용한다면 인광석은 값싼 완효성 인산 비료로서의 가치를 가지게 될 것이며, 또한 과도한 가용성 화학비료의 사용을 대체하여 환경보전형 시비 관리가 될 수 있을 것이다. 본 연구는 인광석을 제주 화산회토양에서 인산 공급원으로 이용할 수 있는지 검토하기 위해 arbuscular mycorrhizae가 형성된 토마토의 인광석의 이용 효과를 가용성 인산비료와 비교하여 조사하였다.

### 재료 및 방법

서귀포시 토평동에 위치한 제주대학교 아열대농업연구소의 비경작지 화산회토양(김녕통)을 채취하여 5mm체에 통과시킨 후 120℃ 에서 5시간 동안 멸균하여 사용하였다. 토양의 일반 물리화학적 성질은 표 1과 같다. 토양 분석은 농촌진흥청 표준분석법에 따랐는데, pH는 초자전극법, 유기물은 Walkley-Black 법, 치환성 양이온은 1M ammonium acetate (pH 7.0) 로 추출하여 inductively coupled plasma atomic emission spectrometer (Varian liberty series II)로 분석하였으며, 양이온치환용량은 1M ammonium acetate법으로 측정하였고, 유효인산은 Bray No. 1 법으로 측정하였다<sup>12)</sup>. 토양의 pH는 약산성이었고 유효인산의 함량은 비경작지 토양이므로 아주 낮았다.

인산 공급원으로는 경기화학(주)에서 공여 받은 인광석과 용성인비를 사용하였는데 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 함량으로 인은 인광석에서 34.23%, 용성인비에서 20% 였다. 각 인산 공급원의 처리량은 P 성분량으로 100과 200mg/kg으로 하였으며 멸균된 토양에 균일하게 혼합하였고, mycorrhizae 균의 접종구와 비접종구를 두고 1L pot에 건조토양 700g 씩을 담고 토마토를 재배하였는데 처리내용은 표 2와 같았으며 각 처리는 3 반복으로 하였다.

시험용 토마토는 서광 품종을 사용하였으며 멸균된 vermiculite 상토에 파종하여 2 주일 후 유묘를 시험 pot에 1주씩 이식하였으며, 이식할 때 mycorrhizae 균 접종 처리의 경우 뿌리 근처에 pot당 약 3,000개 정도씩의 mycorrhizae 균을 접종하였다. 접종용 mycorrhizae 포자는 공시 토양에서 wet-sieving and decanting 방법으로 분리한 여러 종의 혼합 포자를 사용하였다<sup>13)</sup>. 토마토는 정식 후 90일

간 온실에서 재배하였는데 재배기간 동안 pot 토양의 수분 함량은 -30 kPa 정도로 유지하였으며 인을 제외한 질소 등 기타 무기영양분은 Hoagland 양액으로 공급하였다.

수확후 식물체를 지상부와 지하부로 나누어 건물량을 조사하였고 뿌리의 mycorrhizae 형성율을 조사하였으며 pot 토양중의 mycorrhizae 균의 포자 밀도도 조사하였다. Mycorrhizae 형성율은 Phillips와 Hayman의 방법으로 조사하였는데<sup>14)</sup>, 처리별로 시료당 1cm 길이의 뿌리 절편 50개씩을 준비하여 10% KOH 용액을 넣은 시험관에 담아 90℃로 7분간 가열한 후 물로 씻고 다음 alkaline H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 용액에 옮겨 탈색시킨 후 물로 씻고 1% HCl 용액에 담가두었다가 acid fuchsin 용액에서 90℃로 40분간 가열하여 염색하였다. 염색된 뿌리를 해부 현미경(×40)으로 관찰하여 vesicle, arbuscule, fungal hyphae 등이 존재하는 부위를 mycorrhizae가 형성된 것으로 간주하고 다음 식으로 형성율을 계산하였다.

$$\text{mycorrhizae 형성율(\%)} = (\text{mycorrhizae가 형성된 뿌리 절편수} / \text{관찰된 뿌리 절편수}) \times 100$$

재배 후 토양중의 mycorrhizae 균의 포자 밀도는 wet-sieving and decanting 방법으로 분리하여<sup>15)</sup> 0.01 M CaCl<sub>2</sub> 용액에 보관하며 해부현미경(×40)으로 포자수를 확인하였다. 식물체는 60℃ 에서 건조시켜 분쇄한 후 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 이용하여 분해하였고 질소는 Kjeldahl 중류장치(Kjeltec System 1026)로 정량 하였고, 인은 ammonium paramolybdate 법으로 발색시켜 spectrophotometer(Hewlett Packard 8452A)로 측정하였으며<sup>16)</sup>, 기타 무기이온은 inductively coupled plasma atomic emission spectrometer(Varian Liberty Series II)로 분석하였다.

### 결과 및 고찰

건물량으로 조사된 각 처리별 식물체 생육 결과는 표 3에 나타내었다. 인 공급원에 따른 생육을 보면, 인광석 처리의 경우 mycorrhizae 균의 접종에 상관없이 용성인비의 처리에 비해 식물체 생육이 지상부와 지하부 모두 현저히 저해되었다. 재배기간 동안 용성인비 처리에서도 식물체가 일부 인산 부족 증상을 보였으며 인광석 처리에서는 전체적으로 뚜렷한 부족 증상을 나타내었다. 인산 고정력이 강한 화산회토양을 비경작지에서 채취하여 시험 토양으로 사용하였기에 본 시험에서 처리한 수준의 인산은 상당부분 불용화 되고 따라서 작물 생육 기간동안 식물이 이용 가능

Table 1. Some physicochemical properties of soil used in the experiment

pH (1:5 H <sub>2</sub> O)	Organic C %	Exch. Cations, cmole/kg				CEC cmole/kg	Av. P mg/kg
		Ca	Mg	K	Na		
5.7	11.4	0.92	0.34	0.95	0.13	9.64	0.27

Table 2. Treatments

Treatments	P sources	P addition, mg/kg	Mycorrhizae inoculation*
YP2V	Fused phosphate	200	+
YP2NV	Fused phosphate	200	-
YP1V	Fused phosphate	100	+
YP1NV	Fused phosphate	100	-
RP2V	Rock phosphate	200	+
RP2NV	Rock phosphate	200	-
RP1V	Rock phosphate	100	+
RP1NV	Rock phosphate	100	-

\* + : inoculated, - : not inoculated

한 형태의 인산이 부족하였던 것으로 생각된다. 특히 인광석 처리구에서 식물 생육이 저해된 것은 인광석의 가용화가 부족하여 생육기간 동안 토양중의 유효인산 함량이 낮아 인산 공급이 충분하지 못하기 때문으로 판단된다. 시험 후 토양 중의 유효인산 함량은 용성인비와 인광석 처리에서 각각 2 와 1 mg/kg 이하로 조사되었다 (표 4).

용성인비 200 mg/kg 처리에서 mycorrhizae 균의 접종구에서 비접종구에 비하여 지상부 및 뿌리의 생육이 우세하였으며 이는 mycorrhizae에 의한 인산 흡수 증가에 따른 생육 촉진 효과로 볼 수 있을 것이다. 용성인비 100 mg/kg 처리에서는 mycorrhizae에 의한 지상부 생육 촉진 효과는 없었다. 인광석 200 mg/kg 처리에서 mycorrhizae 균의 접종구에서 비접종구에 비하여 지상부와 뿌리의 생육은 모두 2배정도 높았는데 이는 mycorrhizae에 의한 인산 흡수 촉진의 결과로 볼 수 있을 것이며, 인광석 100 mg/kg 처리에서도 일부 생육 촉진 효과를 보였으나 통계적으로 유의성은 없었다. 그러나 mycorrhizae 균을 접종하지 않은 용성인비 200 mg/kg 처리구에 비해 mycorrhizae 균을 접종한 인광석 200 mg/kg 처리구에서 식물 생육량이 1/2 이하임을 볼 때 위에서 언급한 바와 같이 mycorrhizae에 의한 인광석의 이용 효율은 동일 수준의 가용성 인산비료 처리에 비하여 매우 낮다.

총인산 함량으로 계산하여 가용성 인산과 동일한 수준으로 인광석을 처리하였을 경우 mycorrhizae가 형성된 경우일 지라도 인산 흡수 이용율이 인광석에서 현저히 낮다고 볼

수 있다. 이러한 결과는 mycorrhizae가 형성된 오렌지 유묘에 중과석과 인광석을 처리한 경우 식물의 지상부 생육이 인광석 처리구에서 중과석 처리구에 비해 60 % 정도였다는 Antunes와 Cardoso의 보고와 동일한 결과이다<sup>11)</sup>. 따라서 mycorrhizae균의 처리가 인광석을 효과적으로 가용화 시켜 식물이 필요로 하는 인을 충분히 공급할 수 있는 가능성은 본 연구에서 사용한 인광석 처리 수준에서는 매우 낮은 것으로 결론지을 수 있으며 인산의 고정, 흡착이 어느 정도 포화 상태에 있는 토양을 이용한 연구와 인광석 사용량을 증가시켜 시험해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

토마토 뿌리의 mycorrhizae 형성율과 토양중 mycorrhizae 균 포자 밀도는 표 4에 나타내었다. Mycorrhizae균을 접종한 모든 처리 수준과 반복에서 mycorrhizae가 형성되었으며, 형성율은 전체적으로 30 % 이상으로 나타나 비교적 높았으며, 용성인비를 처리한 경우에서 인광석 처리보다 높은 경향이었고 각 인산공급원 별로는 처리 수준이 높은 경우에 형성율이 평균적으로 더 높았다. Pot 토양중의 포자 밀도도 뿌리의 mycorrhizae 형성율과 같은 경향으로 용성인비 처리구에서 높았다. mycorrhizae의 형성은 토양중의 인산 수준과 식물체 중의 인산 함량에 의해서 결정되는데, 토양 중 유효인산 함량이 과다하면 mycorrhizae의 형성이 저해되는 것이 일반적인 현상이지만<sup>16,17)</sup>, mycorrhizae의 형성은 식물체 중의 인산이 현저히 부족할 경우 또한 저해될 수 있다<sup>18)</sup>. 표 4의 결과에서 나타난 인광석 처리에서 재배 후 토양중의 유효인산 함량이 낮은 것이 mycorrhizae 형성율을 저하시킨 요인일 수 있다. 100~200 mg/kg의 인광석

Table 3. Effects of P-sources and mycorrhizae on tomato growth expressed by mean dry weight of shoot and root.

Treatments	Dry weight, g	
	Shoot	Root
YP2V	3.43a*	2.74a
YP2NV	2.46b	1.71bc
YP1V	2.34b	1.88b
YP1NV	2.44b	1.34c
RP2V	1.09c	0.73d
RP2NV	0.61d	0.35e
RP1V	0.76d	0.52ed
RP1NV	0.66d	0.44e

\* Means followed by the same letter are not significantly different using the Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

Table 4. Available P and mycorrhizal spore density in pot soils, and mycorrhizae infection of tomato roots after experiment.

Treatments	Bray No. 1 P, mg/kg	Spore density, /50g	Infection, %
YP2V	1.98a	2700a	45a
YP2NV	2.07a	-	-
YP1V	1.39b	2550a	42a
YP1NV	1.30b	-	-
RP2V	0.78c	2110b	38a
RP2NV	0.80c	-	-
RP1V	0.70c	2060b	29b
RP1NV	0.76c	-	-

\* Means followed by the same letter are not significantly different using the Duncan's multiple range test ( $P < 0.05$ ).

Table 5. Phosphorus and other mineral nutrient contents in tomato leaf samples

Treatments	N %	P %	Ca %	Mg %	K %	Cu mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg
YP2V	4.98	0.090	1.58	1.54	1.76	10.9	995.4	51.2
YP2NV	4.40	0.100	1.21	1.43	1.50	3.1	1036.5	45.3
YP1V	3.85	0.108	1.46	1.44	1.73	3.1	1217.5	43.2
YP1NV	4.52	0.090	1.23	1.34	1.58	3.0	1052.2	48.6
RP2V	4.60	0.074	1.24	1.14	1.69	204.3	608.2	158.8
RP2NV	5.10	0.080	1.29	1.21	1.66	133.0	525.7	96.4
RP1V	5.17	0.078	1.39	1.18	1.81	135.1	475.1	52.9
RP1NV	4.48	0.072	1.50	1.16	1.90	275.3	410.7	198.3

처리 수준에서는 mycorrhizae 가 형성되더라도 식물에 인산을 충분히 공급할 수 없고, 또한 그에 따라 mycorrhizae 형성율도 낮아진다고 볼 수 있다.

토마토 잎 중의 무기영양분 함량은 표 5에 나타내었다. 질소 함량을 보면 일반적인 식물체 중의 평균 질소 함량(1~5%)을 보였는데 인산 공급원별 또는 mycorrhizae 균의 접종 여부에 따른 차이는 보이지 않았다. 인의 함량은 용성인비 처리구에서 인광석 처리구에 비하여 높았으며 mycorrhizae 균의 처리에 따른 영향은 인정되지 않았다. 식물체중의 평균 인산 함량인 0.1~0.5%에 비교하면 용성인비 처리구에서는 비교적 적정 인산 함량을 보였으나, 인광석 처리에서 생육기간 동안 나타났던 인산 부족 증상대로 인산 함량이 적정 함량 이하로 나타났다. Menge 등의 보고에 의하면 mycorrhizae가 형성된 경우와 그렇지 않은 경우를 비교했을 때, mycorrhizae가 형성된 경우 감귤 잎 중의 K의 농도는 높았으며 Mg의 농도는 낮았고 Ca의 농도는 토양에 따라 증감현상이 다르게 나타났으며<sup>19)</sup>, Kirkun 등의 결과에 의하면 mycorrhizae 식물에서 Mg의 잎 중 함량은 높았고 Ca 함량은 오히려 낮았다고 하였는데<sup>20)</sup>, 본 연구의 결과에서는 Ca, Mg, K 등의 다량 무기영양소의 흡수는 인산공급원이나 mycorrhizae 처리간에 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다. Cu와 Zn의 함량은 인광석 처리구에서 높았고 Mn 함량은 용성인비 처리구에서 높았는데 이들 원소의 흡수량은 mycorrhizae 균 접종 여부와 상관없이 인산 공급원의 영향으로 나타난 결과로 보이며 인산 공급원에 함유된 부성분의 영향이나 작물 재배 기간중의 인산 공급원별 토양 화학성 변화의 차이에 일부 기인한 것으로 추정된다.

이상의 결과에서 100~200 mg/kg 수준에서 인광석 처리는 용성인비의 처리에 비해 mycorrhizae의 형성에 상관없이 정상적인 식물 생육에 필요한 인산의 이용 효과를 거둘 수 없는 것으로 판단된다. 인광석의 난용해성 때문에 생육 초기 단계에서부터 식물에 인산 부족을 가져오며 따라서 뿌리 생육이 저해되고 그 결과로 뿌리의 인산 흡수율이 저하되며 mycorrhizae의 형성율이나 mycorrhizae가 형성된 뿌리의 절대량 또한 적으므로 인산 이용율이 저하될 수밖에 없

고 식물의 생육이 원활하지 못한 것이다. 본 연구에서는 토양을 멸균하여 사용하였으므로 접종한 mycorrhizae 균 외의 토양 미생물이 존재하지 않는 조건에서 이루어졌다. 따라서 mycorrhizae의 인광석 이용 효과는 매우 미약한 것으로 판단된다. 일반 토양중에는 인광석의 가용화를 촉진시킬 수 있는 미생물들이 존재하므로 이들 미생물의 존재 하에서는 mycorrhizae의 인산 이용을 증대 효과가 잘 나타날 수도 있을 것으로 추정된다. 또한 200mg/kg 수준의 인광석 처리에서 mycorrhizae의 식물 생육 촉진 효과가 나타난 것으로 미루어 인광석과 용성인비의 혼용으로 용성인비의 사용량을 줄일 수 있는 가능성이 보이기도 한다. Mycorrhizae 균의 인광석의 이용 효과를 촉진할 수 있는 방법의 모색을 위해 인광석 가용화 미생물의 이용과 용성인비와의 혼용 등에 관한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

## 요 약

Mycorrhizae가 형성된 식물에서 인광석이 인산공급원으로 이용될 수 있는지를 검토하기 위하여 온실 실험을 수행하였다. 멸균된 제주 화산회토에 인광석과 용성인비를 100 및 200 mg P/kg 수준으로 처리하고 토마토를 재배하였는데 토마토는 mycorrhizae 접종구와 비접종구를 두고 3개월간 재배한 후 식물생육과 인을 비롯한 무기영양소 흡수를 조사하였다. 용성인비 처리구에 비하여 인광석 처리구에서 생육이 현저히 저해되었는데 이는 인광석처리에 따른 토양 중의 유효인산 부족 때문일 것이다. 용성인비와 인광석 200 mg P/kg 처리구에서는 mycorrhizae 균의 접종에 따라 건물량이 증가하였다. Mycorrhizae 형성율과 토양중의 포자밀도는 인광석 처리구에서 낮았다. 식물체중의 인 함량은 용성인비 처리구에서 높았으며, mycorrhizae 처리 효과는 없었다. N, K, Ca, Mg 등의 함량에서도 처리별로 차이는 없었다. 이상의 결과를 볼 때, 제주 화산회토양에서 100~200 mg P/kg 수준의 인광석 처리로는 mycorrhizae 형성 여부에 상관없이 적정 식물생육을 위한 인 공급이 될 수 없는 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 1997년도 교육부 학술연구조성비(농업과학: 농-95-23)에 의하여 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- Hyun, S.W. (1996). Sustainable agriculture in Cheju island. Proc. of Int'l Symposium on Sustainable Agriculture. Cheju National University Subtropical Horticulture Research Center. pp. 119-139.
- U, Z.K., Kim, H.O. and Lee, S.C. (1985). Improvement of rock phosphate utilization efficiency: Distribution of VA mycorrhizae on Cheju island, and isolation and cultivation of rock phosphate solubilizing fungi. Cheju Nat'l Univ. J. 20:81-92.
- Kim, H.O., Lee, S.C. and Hyun, H.N. (1989). A study on the utilization of residual phosphate in volcanic ash soils. Res. Rept. RDA 32:109-115.
- Sanders, F.E. and Tinker, P.B. (1973). Phosphate flow into mycorrhizal roots. Pestic. Sci. 4:385.
- Tinker, P.B. (1978). Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizae on plant growth. Physiol. Veg. 16:743-751.
- Bolan, N.S., Robson, A.D. and Barrow, N.J. (1987). Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the availability of iron phosphates to plants. Plant Soil. 99:401-410.
- Gardner, W.K., Barber, D.A. and Parbery, D.G. (1983). The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. III The possible mechanism by which phosphorus movement in the soil root interface is enhanced. Plant Soil. 70:107-124.
- Routein, J.B. and Dawson, R.F. (1943). Some interrelationships of growth, salt absorption, respiration and mycorrhizal development in *Pinus actinata* Mill. Am. J. Bot. 30:440-451.
- Lapeyrie, F. (1988). Oxalate synthesis from soil bicarbonate by the mycorrhizal fungus *Paxillus involutus*. Plant Soil. 110:3-8.
- Parfitt, R.L. (1979). The availability of P from phosphate-goethite bridging complexes: Desorption and uptake of ryegrass. Plant Soil. 53:55-65.
- Antunes, V. and Cardoso, E.J.B.N. (1991). Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. Plant Soil. 131:11-19.
- Han, K.H. (ed.) (1988). Methods of Soil Chemical Analysis. Nat'l Inst. Agri. Sci. Tech., Suwon.
- Pacioni, G. and Rosa, S. (1992). Wet-sieving and decanting technique for the extraction of spores of vesicular-arbuscular fungi. p. 777. In J.R. Norris et al. (ed.) Techniques for Mycorrhizal Research. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Phillips, J.M. and Hayman, D.S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Brit. Mycol. Soc. 55:158-161.
- Olson, S.R. and Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. pp. 403-430. In A.L. Page et al., (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Asmah, A.E. (1995). Effect of phosphorus source and rate of application on VAM fungal infection and growth of maize (*Zea mays* L.). Mycorrhiza. 5:223-228.
- Vinayak, K. and Bagyaraj, D.J. (1990). Selection of efficient VA mycorrhizal fungi for trifoliate orange. Biol. Agri. Hort. 6:305-311.
- Johnson, C.R. (1984). Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of citrus aurantium. Plant Soil. 80: 35-42.
- Menge, J.A., Jarrell, W.M., Labanauskas, C.K., Ojala, J.C., Huszar, C. and Johnson, E.L.V. (1982). Predicting mycorrhizal dependency of Troyer citrange on *lomus fasciculatus* in California citrus soils and nursery mixes. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 762-768.
- Krikun, J. and Levy, Y. (1980). Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza on citrus growth and mineral composition. Phytoparasitica. 8:195-200.