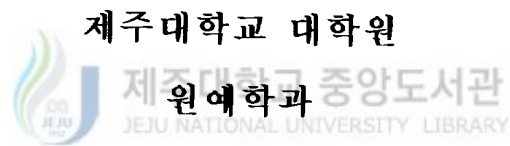

석사학위논문

Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae가
탱자 유묘의 생육과 무기양분 조성에
미치는 영향



오 현 우

1997년 12월

Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae가
텡자 유묘의 생육과 무기양분 조성에
미치는 영향

지도교수 한 해 룡

오 현 우

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함



오현우의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____

위 원 _____

위 원 _____

제주대학교 대학원

1997년 12월

**The Influence of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae
on Growth and Inorganic Composition
in Trifoliolate Orange Seedling**

Hyun-Woo Oh

(Supervised by Professor Hae-Ryong Han)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF AGRICULTURE



DEPARTMENT OF HORTICULTURE
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1997. 12

목 차

| | |
|--------------|----|
| Summary | 1 |
| I. 서론 | 3 |
| II. 연구사 | 5 |
| III. 재료 및 방법 | 8 |
| IV. 결과 및 고찰 | 12 |
| V. 적요 | 26 |
| VI. 참고 문헌 | 27 |



Summary

In order to investigate the effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) on the growth of trifoliolate orange (rootstock of citrus in Cheju island) in volcanic ash soil, seedlings in pots of various levels of fertilizer were artificially inoculated with VAM-infected root of trifoliolate orange. Growth characters and inorganic composition were analyzed 16 weeks after inoculation, and spores of VAM fungi were identified.

The results obtained are summarized as follows:

1. Percent pots infected by VAM was observed to be 70% in pots of high level of fertilizer and phosphate added (40g of 21-17-17 complex fertilizer and 50g of fused phosphate added to 50 l of soil), and not exceeding 20% in pots of low levels of fertilizer or without fused phosphate added.
2. Fresh and dry weights of shoot linearly regressed positively on VAM infection ratio at 5% level. Shoot length, and fresh and dry weights of root also tended to increase with increasing infection ratio.
3. Contents of P (at 1% level), Cu and Mg (at 5% level) linearly regressed positively on VAM infection ratio. Contents of N and Zn

also tended to increase, while that of Ca to decrease, with increasing infection ratio.

4. All of 4 species of VAM fungal spores, which were found in soil from which inoculation materials were taken, including *Glomus deserticola*, *G. rubiforme*, *G. vesiculiferum* and *Acaulospora* sp. were confirmed to be in soil of inoculated pots, indicating all of these species infect trifoliolate orange root.



I. 서 론

제주도에서 재배되는 감귤류는 대부분이 온주밀감이며, 탱자를 대목으로 하고 있다. 탱자의 원산지는 중국양자강 연안지방이며 중국 대륙에서는 북으로 河北 山東으로부터 남쪽은 廣東, 廣西에 걸쳐 널리 분포하고 있다.

우리나라에서 남해안 일대에 분포하고 있으며 제주도에서는 반야생상태로 생육하고 있다.

탱자는 약산성의 유기질이 풍부한 토양을 좋아하며 가볍고 건조하기 쉬운 사토나 석회암 토양에는 부적당한 것으로 알려져 있다. 또한 척박지에서는 수세가 한층 약하여 해거리를 강하게 나타내므로 다량의 시비가 필요하다(韓과 權, 1991).

제주도 토양은 현무암을 모재로한 화산회토로 Allophane이 많이 함유된 특이한 점토광물로 되어 있고 투수성이 양호하며 보수력이 좋다. 일반토양에 비하여 C.E.C가 높으나 염기(특히 NH_4^+ , K^+)의 보존력은 C.E.C에 비하여 매우 약하기 때문에 염기가 쉽게 이탈되기 쉽다. 반면에 인산을 흡착 고정하는 능력이 대단히 크며(金, 1989; 柳 등, 1985) 미량원소의 결핍 현상도 발현된다. 토양물리성은 가비중이 낮고 삼상분포에서 고상이 현저히 적은 반면, 액상과 기상이 커서 가볍다는 등의 문제점이 있으며 인산 고정능력이 높은 것이 저비옥성의 큰 원인으로 되어 왔다. 따라서 화산회토인 감귤원 토양에 다량의 용성인비 사용이 권장된 결과 제주시가 499ppm, 서귀포시가 385ppm, 북제주군이 535ppm, 남제주군이 242ppm으로 평균 415ppm으로 토양중 적정 유효인산 함량이 100~200ppm인데 비하면 제주도 전지역의 감귤원에서 과잉현상을 보이고 있다. 특히 제주도의 화학 비료 소비량은 해를 거듭 할수록 증가되고(85년 36,490M/T였던 것이

94년에는 58,363M/T로 1.6배증가) 있으며 감귤원과 시설원에 토양에는 질소, 인산, 칼리 등의 성분이 과잉 집적되어 염류의 농도가 매우 높게 나타나고 있다. 한편 화학비료의 편중으로 인하여 토양 pH는 60년대 6.2였던 것이 90년대는 5.0으로 급격한 산성화 추세를 보이고 있고 또한 과수원이 밀집되어 있는 지역일 수록 지하수의 오염이 심각해지고 있다(현, 1996). 제주도에서는 토양의 중요성과 환경 보존적 측면을 고려한 환경친화형 농업을 위한 흙살리기운동을 범도민 운동으로 확산시켜 나가고 있으며 일부 농민들은 유효미생물을 이용하여 감귤의 품질을 향상시킨 사례도 보고되고 있는데, 유효미생물의 선발과 이용적 측면에 대한 연구의 필요성이 높아지고 있다.

인산고정이 심하고 치환성 양이온의 용탈이 쉬운 화산회토에서 결핍되기 쉬운 무기물과 고정된 인산을 흡수하여 식물체에 공급함으로써 비효를 증진시킬 수 있는 유효 토양미생물인 vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM)균이 농업에 이용될 수 있다면 화학비료의 사용을 줄일 수 있을 것으로 생각되어진다.

따라서 이 연구는 VAM균을 이용한 환경 보전적 감귤원 관리기술 개발의 기초자료를 얻기 위하여 온주밀감의 대목으로 쓰이는 탱자유묘를 공시하여 제주도 화산회토에서의 성장과 무기양분의 조성에 미치는 VAM균 인공접종의 효과를 측정하고 더불어 VAM균 포자종류를 조사하였다.

II. 연구사

공생균근(mycorrhizae)에 대한 연구는 1881년 Kamieski와 1885년 Frank로부터 시작되었다(Norris 등, 1994). 공생균근은 전세계에 분포하며 대부분의 식물뿌리와 공생관계를 갖고 P, Zn, Cu, K, Ca, Fe, Mg, Mn, S 등 무기양분의 흡수를 촉진시킨다고 하였다(Menge, 1981). Guy와 Tinker(1976)는 공생균근에 의한 인산흡수는 기주식물 뿌리에서 식균작용에 의해 일어나는 것이 아니라고 결론을 내리고 살아있는 곰팡이와 숙주식물의 원형질막을 통한 인산 이동이 인산흡수를 촉진시키는 기작일 가능성이 높다고 하였다. Cox 등(1980)은 인산흡수는 세포질 유동에 의하여 일어나며 곰팡이 내에서 약 $2.7 \times 10^{-8} \text{ mol P cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 의 속도로 이동된다고 보고하였다. Nelsen과 Safir(1982a)는 여러 가지 수분조건에서 재배한 양파에서 vesicular-arbuscular mycorrhizae(VAM)에 감염된 식물이 생체중, 건물중 및 인산함량이 더 높았으나 감염되지 않는 양파는 인산수준을 높게(26mg P/440g soil) 시비하였음에도 인이 결핍되었다고 하였고, 감염된 식물은 증산율도 높았다고 하였다(Nelsen과 Safir, 1982b; Graham과 Syvertsen, 1984). Geroge(1992)는 couchgrass와 whiteclover에서 VAM균에 감염된 식물은 질소와 인산수준이 더 높았다고 하였고, Boyetchko 등(1990)은 콩, 알팔파, 양파, 레드클로버, 옥수수, 그리고 4종류의 보리품종을 공시한 VAM균의 일종인 *Glomus dimorphicum* 접종실험에서 보리 4품종의 감염율이 낮았고, 감염양상도 다양하였다고 하였으며 또한 감염율은 기주식물의 genome에 영향을 받는다고 하였다.

4종의 VAM균(*Glomus* sp., *G. epigaeum*, *G. fasciculatum*, *G. moseae*)에 감염된 수수와 대두는 VAM균에 감염되지 않은 식물보다 3~6배 더 양

호한 생장을 보였으며 감염율은 건물중, 엽내인산함량, 엽면적등과 상관관계가 있다고 하였다(Pacolovsky, 1986). VAM균은 낮은 농도의 중금속이 토양내에 함유되어있을 때는 흡수에 촉진적으로 작용하나, 토양내 중금속 함량이 많을 때는 오히려 그 흡수를 감소시켰다고 하였고(Heggo 등, 1990), VAM균에 감염된 big bluestem(*Andropogon gerardii* Vit.)은 감염되지 않는 식물체보다 인산을 500~600배 더 많이 흡수하였다고 하였다(Jayachandran 등, 1992).

Graham 과 Syvertsen(1985)은 감귤대목의 VAM균 의존도(mycorrhizae dependency)가 sour orange = cleopatra mandarin > swingle citrange > carrizo citrange > 탕자 순이며, VAM균 의존도가 낮은 탕자와 탕자의 잡종인 carrizo citrange는 가는 뿌리를 가지고 높은 엽내 인산함량을 유지하며, sour orange와 cleopatra mandarin 보다 생장이 느리고 VAM균 의존도가 낮을수록 뿌리의 수리전도도와 증산율 그리고 동화율도 높았고, 관수를 잘하고 인산을 시비했을 때 생장과 인함량이 감염된 식물과 비 감염된 식물사이에 차이가 없었다고 하였다.

Krikum과 Levy(1980)는 sour orange, rough lemon, cleopatra mandarin 을 공시한 실험에서 VAM균은 P, Cu의 농도를 더 높게 하였으나 N, K 그리고 Ca 등은 낮았다고 하였으며, Camprubi 와 Calvet(1996)는 감귤류의 대목으로 이용되는 4품종을 공시하고, 13종의 VAM균을 접종하여 그들의 효과에 대하여 보고하였다. Nemecek(1985)는 여러 종류의 살충제는 VAM균의 효과에 크게 영향지 주지 않는다고 하였다. Ishii 와 Kadoya (1994)는 chacoal을 첨가하였을 때가 첨가하지 않았을 때 보다 감염율이 높았다고 보고하였고, Shrestha 등(1996)은 VAM균이 온주밀감의 품질을 향상시켰고, 건조처리에도 VAM균 접종구에서 견디는 힘이 컸다고 보고하였다.

우리 나라의 VAM균에 대한 연구로서 高(1984)는 간척지 식물에서 VAM균의 분리동정 및 숙주식물과의 관계를 구명하고자 하였고, 柳 등(1984)은 제주도내 토양에서 VAM균포자의 밀도를 조사 보고하였다. 嚴과 李(1990)는 고마리군락의 식물뿌리에서 李 등(1991)은 원예식물 및 재배식물에서 安 등(1992)은 두과식물에서 VAM균포자를 분리 동정하여 보고하였다. 李 등(1994)은 감염율과 키틴함량이 서로 상관관계를 가지며 VAM균의 생장은 P, N, K 순으로 영향을 받는다고 하였다. 그러나 인 흡착력이 강한 제주도 화산회토양에서 탱자의 생육에 미치는 VAM균감염의 효과에 대해서는 보고된 바 없다.



Ⅲ. 재료 및 방법

1. 접종 실험과 생육조사

1996년 10월 16일 남원읍 한남리 초지에 자라는 야생 상태의 탕자나무에서 종자를 채취하고 흐르는 물에서 깨끗이 씻은 다음 풍건시켰다. 종피를 제거하여 로브랄 500배액에 1시간 침지처리하고 버미클라이트에 파종한 다음 유리온실에서 관리하였다.

접종재료는 제주도 제주시 도련동에 위치한 유기농법으로 관리하는 감귤원에서 온주밀감 대목인 탕자뿌리를 접종당일 채취하여 실험실에서 수돗물로 깨끗이 세척한 후 물기를 제거한 다음 감염율을 조사할 시료와 접종재료로 쓸 뿌리를 나누었다. 접종재료는 직경 1mm이하의 감귤뿌리를 1cm정도의 길이로 자르고 0.8g(약 100개의 절편)씩 나눠서 접종 재료로 사용하였다.

토양은 서귀포시 토평동에 위치한 제주대학교 아열대농업연구소에서 경작하지 않는 지역의 화산회토양을 채취하여 중기멸균하고 재배토양으로 사용하였다.

토양처리는 대조구(CC), 소비구(LC), 소비인산구(LP), 다비구(HC), 다비인산구(HP)의 5그룹으로 나누어 처리하였다. 대조구는 멸균된 토양을 그대로 사용하였고 멸균된 토양 50/당 21-17-17복비 20g을 혼합한 것을 소비구로 하고, 토양 50/당 복비 40g을 혼합하여 다비구로 하였다. 소비인산구와 다비인산구의 처리는 소비구와 다비구에 용성인비를 각각 50g씩을 혼합하였다.

토양처리 24시간 후에 각 처리구당 2ℓ 씩을 채취하여 풍건한 후 0.5mm 체를 통과시켜 분석한 토양의 이화학적 성질은 표 1과 같다.

Table 1. Chemical properties of soil in this experiment

| Soile treatment ²⁾ | Total N(%) | Oganic C(%) | pH (1:5) | Soluble | | | |
|-------------------------------|------------|-------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | | | | P (μg/g) | K (μg/g) | Mg (μg/g) | Ca (μg/g) |
| CC | 0.480 | 35.69 | 5.35 | 0.186 | 630 | 30.2 | 988 |
| LC | 0.563 | 39.30 | 5.55 | 0.455 | 189 | 38.3 | 139 |
| LP | 0.577 | 34.84 | 5.54 | 1.049 | 195 | 107.7 | 312 |
| HC | 0.567 | 37.98 | 5.66 | 0.780 | 260 | 38 | 138 |
| HP | 0.612 | 34.62 | 5.67 | 1.103 | 211 | 137.7 | 211 |

²⁾CC, control(without fertilizer added); LC, 20g of 21-17-17 complex fertilizer added to 50 l of soil; LP, LC with 50g of fused phosphate added; HC, 40g of 21-17-17 complex fertilizer added to 50 l of soil; HP, HC with 50g of fused phosphate added.

이식할 탱자 묘는 묘상에서 생육이 고른 것만을 선발하여 뿌리가 마르지 않도록 40분씩을 나눈 다음 물수건으로 싸서 보관하였다. 이식은 15×20cm 화분에 흙을 2/3정도를 채우고, 각 토양처리당 접종구는 접종재료를 골고루 편 다음 4분의 탱자를 곧게 세우고 흙을 덮었고 무접종구는 동일 토양에 접종재료를 첨가하지 않고 심었다. 이식된 탱자묘는 유리온실에서 완전임의배치법으로 배치하여 관리하였다.

접종 16주후 각 화분당 생육이 중간인 2분씩을 뽑아서 뿌리를 깨끗이 씻고 물기를 제거한 다음 초장을 측정하고 지상부와 지하부를 분리하여 생체중을 측정하였다. 건물중은 60℃의 건조기에서 4일간 건조 후 측정하였다.

2. 감염을 조사 및 포자동정

생체중을 측정하고 난 뿌리를 FAA용액(formalin 1: glacial acetic acid 1: ethanol 1 ; v/v/v)에 고정시켰다가 Phillips와 Hayman (1970)의 방법으

로 VAM균감염율을 조사하였다. 즉, FAA용액 속의 뿌리를 꺼내어 물로 헹군 다음 1cm 길이의 절편으로 절단하여 1개의 시료당 25개의 뿌리 절편을 만들었다. 뿌리절편을 10% KOH 용액을 넣은 시험관 속에서 90℃로 7분간 가열한 후 KOH 용액을 버리고 수돗물로 깨끗이 씻은 다음 Alkaline H₂O₂(3ml NH₄OH : 3ml 10% H₂O₂ : 567ml tap water)를 가하여 탈색시킨 후 수돗물로 깨끗이 씻은 다음 1% HCl 용액에 담가두었다가 HCl 용액을 버리고 acid fuchsin 염색용액을 넣고 90℃로 40분간 증탕하였다. acid fuchsin용액에서 뿌리절편을 꺼내어 받침유리 위에 올려놓은 다음 덮개유리를 덮고 압착하여 해부현미경(×80)으로 관찰하였다. 감염율(%)은 (감염된 뿌리 절편수/ 관찰한 뿌리 절편수)×100으로 하였다.

감염된 포트에서 토양을 채취하여 약 100g을 500ml 비이커에 넣고 수돗물을 토양이 유실되지 않을 정도의 유속으로 직접 떨어뜨리며 강하게 저어주고 149 μ m체와 35 μ m체를 겹쳐서 걸러 내는 과정을 반복하였다. 35 μ m체에 걸린 포자를 0.1M CaCl₂를 가하여 수집한 다음 해부현미경(×80)으로 포자를 분류하고 광학현미경으로 관찰하였다. 포자종류의 식별은 Schenck와 Pérez(1988)의 방법으로 식별하였다.

3. 토양과 식물체의 분석

토양중 총질소는 2020 Digestion System(Tecator, Sweden)로 분해하여 Kjeltac Auto 1035/38 Sampler System(Tecator, Sweden)으로 분석하였다.

유효인산은 풍건 토양 2g을 시험관에 넣고 침출액(460ml의 증류수에 15ml의 1N NH₄F용액과 25ml의 0.5N HCl용액을 혼합한 것) 14ml을 가한 다음 1분간 voltexing한 후 No.2 여과지로 여과하였다. 여액 2ml을 취하여 다른 시험관에 넣은 다음 증류수 8ml을 가하고 2ml의 (NH₄)₆Mo₇O₂₄용액을 넣고 잘 흔들어준 다음 10분 경과 후 20분이 지나기 전에 비색계로 620nm의 파

장에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 0, 2, 4, 6, 8 $\mu\text{g/g}$ 이 되도록 조제한 인산 표준용액 2ml을 취하여 동일한 시험과정을 거쳐 작성하였다. K, Ca, Mg은 풍건토양 5g을 정량하여 100ml 삼각플라스크에 넣은 다음 침출액 (1N-NH₄OAC, pH 7.0) 50ml을 첨가하여 30분간 교반기에서 진탕후 No.2 여과지로 여과하여 원자흡광광도계(Philips SP9-800, U. K.)로 측정하였다.

토양의 pH는 풍건토양 5g을 정량하여 100ml 삼각플라스크에 넣은 다음 2차증류수 25ml을 가하고 교반기에서 30분간 진탕후 측정하였다.

토양중 유기물함량은 풍건 토양 0.3g을 300ml 정량하여 삼각플라스크에 넣은 다음 1N K₂Cr₂O₇ 용액 10ml을 가한 다음 시료와 잘 섞이도록 서서히 흔들어주고 농황산 20ml을 가하여 잘 흔들어준 다음 30분간 방치후 200ml의 증류수를 첨가하여 산화반응을 종결시켰다. 반응이 종결된 다음 o-phenanthroline-ferrous혼합 지시약을 3방울 첨가하고 0.5N FeSO₄로 붉은 색이 들 때까지 적정하였다. 유기물함량은 Walkley-Black법의 계산법에 준하여 계산하였다.

식물체는 건물중을 측정한 후 지상부와 지하부를 합쳐서 분쇄하였다. 분쇄한 시료 0.3g에 농황산 7ml, 분해촉진제(0.35g K₂SO₄ + 3.5mg Se) 한 알을 넣고 2020 Digestion System으로 분쇄하였다.

질소(N)는 Kjeltac Auto 1035/38 Sampler System(Tecator, Sweden)으로 분석하였고 인(P)은 Vanadate법으로 420nm의 흡광도로 측정하였고, Ca, Mg, Cu, Zn은 원자흡광광도계(Philips SP9-800, U. K.)로 측정하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 유묘생장과 VAM균 감염율

시비수준이 다른 화산회토양에서 VAM균접종이 탱자유묘의 초장에 미친 영향을 조사한 결과는 그림 1에 나타냈다.

인산을 첨가한 다비구에서 VAM균을 접종시킨 HPM구의 초장이 가장 길어 14.1cm로 비료도 주지않고 접종도 시키지 않은 대조구인 CCN구 초장 11.4cm 보다 24%나 더 길었다. 인산을 첨가한 소비처리에서 접종구인 LPM구의 초장은 13cm로 CCN구의 초장 보다 14% 더 길었다. 인산을 추가로 첨가하지 않은 무비구, 소비구 및 다비구 모두 VAM균 접종여부에 관계없이 초장이 비슷하였으며 인산을 첨가했지만 VAM균을 접종하지 않았던 소비구와 다비구인 LPN, HPN구의 초장은 CCN구와 HPM구의 중간이었다.

탱자유묘의 생체중(그림 2)과 건물중(그림3)에 미친 시비수준과 VAM균 접종의 영향도 초장에 미친 영향과 비슷한 경향이었다. 다만 HPM구와 LPM구 사이에 차이가 전혀 없었다. HPM구와 LPM구에서 유묘생장이 좋은 것은 인산가용 효과와 VAM균접종 효과가 상가적으로 작용한 것이라고 볼 수 있다. 복합비료 시비량의 영향은 거의 없는 반면 인산가용 효과가 뚜렷하게 나타난 것은 비료를 전혀 주지 않은 토양인 CC구의 유효 인산 함량이 $0.1\mu\text{g/g}$ (표 1)으로 인산 결핍이 심한 반면 N과 K의 함량은 시비에 의해 별 변화가 없었기 때문이라고 생각된다.

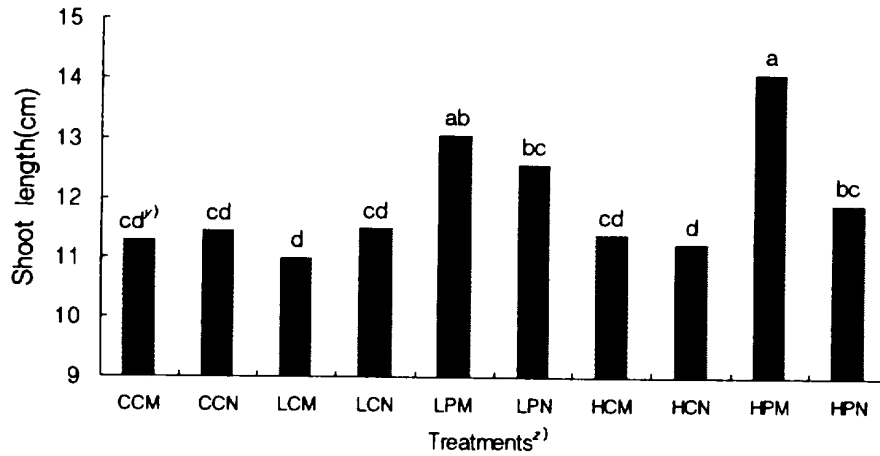


Fig. 1. Shoot length of trifoliate orange seedling as affected by fertilizer levels and inoculation of VAM.

²⁾See Table 1 for the explanation of first two characters. The last character indicate artificial inoculation of VAM fungi: M, inoculated; N, not inoculated. For example, CCM means pots inoculated without fertilizer.

¹⁾Mean separation by Duncan's multiple range test at 5% level.

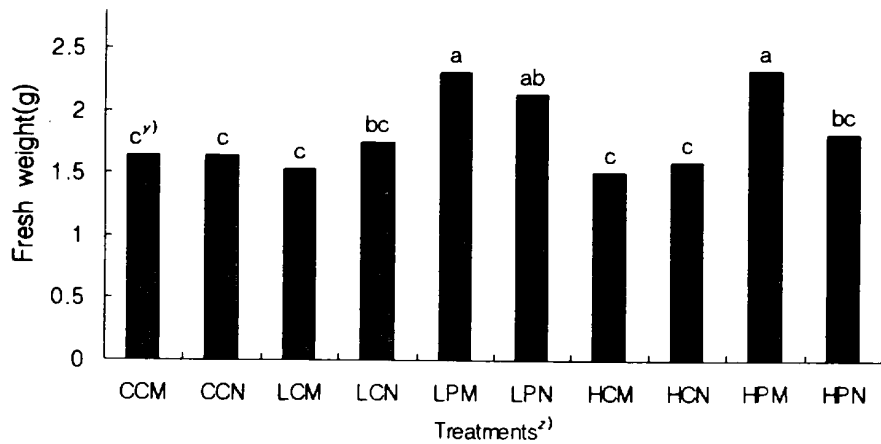


Fig. 2. Fresh weight of trifoliate orange seedling as affected by fertilizer levels and inoculation of VAM.

²⁾See Table 1 and Fig. 1 for the explanation of treatments.

³⁾Mean separation by Duncan's multiple range test at 5% level.

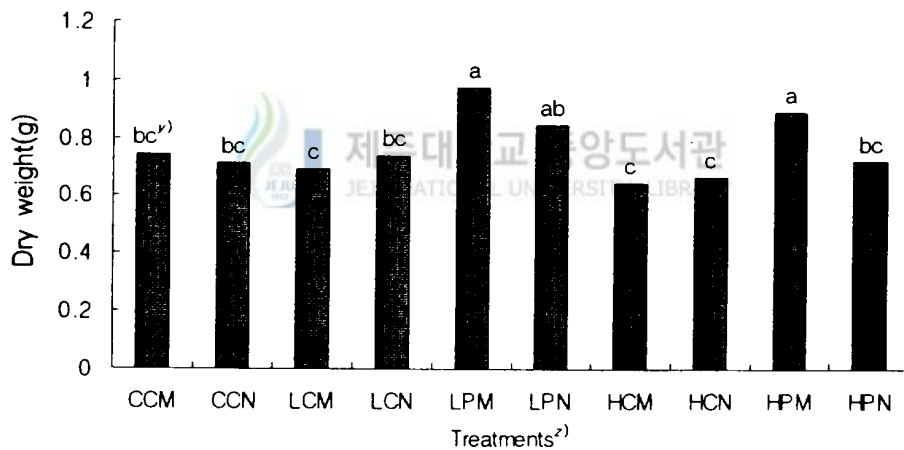


Fig. 3. Dry weight of trifoliate orange seedling as affected by fertilizer levels and inoculation of VAM.

²⁾See Table 1 and Fig. 1 for the explanation of treatments.

³⁾Mean separation by Duncan's multiple range test at 5% level.

지상부와 지하부의 건물중 비율로 나타낸 T/R율(표 2)은 접종여부에 관계없이 인산을 첨가한 모든구(LPM, HPM, LPN, HPN)에서 1.2~1.4로 가장 높았고 인산을 첨가하지 않은 다비구(HCM, HCN)에서 0.9로 중간이었으며 나머지 무비구(CCM, CCN)와 소비구(LCM, LCN)에서는 0.6~0.7로 가장 낮았다. 따라서 인산 첨가가 T/R율을 높이는데 가장 효과가 컸으며 복합비료의 시용효과도 다소 있었지만 VAM균 접종은 영향을 미치지 않았다.

Tale 2. Effect of fertilizer levels and inoculation of VAM on the T/R ratio of trifoliolate orange seedling

| Treatment ²⁾ | CCM | CCN | LCM | LCN | LPM | LPN | HCM | HCN | HPM | HPN |
|-------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| T/R ratio | 0.6d ³⁾ | 0.7d | 0.6d | 0.6d | 1.4a | 1.2b | 0.9c | 0.9c | 1.3ab | 1.3ab |

²⁾See Table 1 and Figure 1 for the explanation of treatments.

³⁾Mean separation by Duncan's multiple range test, at 5% level.

표 3은 각 처리별로 VAM균이 감염된 풋트의 비율을 나타낸 것이다. 인산을 가용하지 않고 접종한 CCM, LCM 및 HCM구에서는 감염된 풋트의 비율이 10% 이내였다. 인산을 가용한 LPM구는 20%, HPM구는 70%의 풋트가 감염되었음을 확인하였다. 이 등(1992)은 수수를 공시하여 인산 시비량을 달리했을 때 P가 25 μ g/g 수준에서 VAM균감염이 좋았다고 하였다.

Table 3. Effect of fertilizer added on percent pots of trifoliate orange seedling infected by VAM fungi

| Treatment ²⁾ | CCM | CCN | LCM | LCN | LPM | LPN | HCM | HCN | HPM | HPN |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 10 | 0 | 70 | 0 |

²⁾See Table 1 and Figure 1 for the explanation of treatments.

이 실험에 사용한 화산회토는 극심한 인산결핍상태였기 때문에(표 1) 감염율이 나뻐으며 인산가용구의 토양중 인산 함량도 1 μ g/g 내외로 인산부족으로 감염율이 높지 않았다고 생각된다. 따라서 이후 인산 시비량을 증가시켜 감염율과 생육에 미치는 영향을 검토할 필요가 있다고 본다.

VAM균 감염이 유묘생장에 미친 영향을 분석하기 위하여 LPM구와 HPM구에서 감염된 유묘와 감염되지 않은 유묘의 성장량을 비교한 결과는 표 4에서 보는 바와 같다.

Table 4. Effect of VAM infection on the growth of trifoliate orange seedling

| Treatment ²⁾ | Shoot length(cm) | Fresh weight(g) | | Dry weight(g) | | |
|-------------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | Shoot | Root | Shoot | Root | |
| LPM | I | 14.2 | 1.48 | 0.68 | 0.68 | 0.43 |
| | N | 12.2 | 1.38 | 1.08 | 0.55 | 0.40 |
| | Difference | 2.0 ^{ns} | 0.1 ^{ns} | -0.4 ^{ns} | 0.13 ^{ns} | 0.03 ^{ns} |
| HPM | I | 14.9 | 1.45 | 1.18 | 0.57 | 0.42 |
| | N | 12.1 | 0.86 | 0.75 | 0.36 | 0.30 |
| | Difference | 2.8 ^{ns} | 0.59* | 0.43* | 0.21* | 0.12 ^{ns} |

*Significant at 5% level, ^{ns}not significant.

²⁾See Table 1 and Figure 1 for the explanation of LPM and HPM; I, infected; N, not infected.

LPM구에서는 유묘생장에 미치는 VAM균 감염효과를 인정할 수 없었으나 HPM구에서는 지상부와 지하부의 생체중과 지상부의 건물중이 VAM균 감염에 의해 유의하게 증가하였으며 증가량도 비감염구의 50% 이상 되었다.

VAM균의 식물생장 촉진효과는 사과(Matsubara 등, 1996), 탕자(Vinayak와 Bagyaraj, 1990)등 여러식물에서 보고되었다.

VAM균 감염효과가 인정되지 않았던 LPM구는 20%의 풋트가 감염되긴 했지만(표 3) 감염된 풋트내 뿌리 감염율이 20% 이하로 낮았으며, 반면 VAM균 감염효과가 인정되었던 HPM구에서는 뿌리감염율이 평균 30% 정도로 높았다. 따라서 감염율이 높아야 VAM균에 의한 생육촉진 효과가 나타난다고 생각되었다.

뿌리의 감염율과 유묘생장량과의 관계를 알아보기 위하여 감염율이 다양한 HPM구에서 회귀관계를 분석한 결과는 그림 4에 나타냈다. 지상부의 생체중과 건물중은 뿌리의 감염율과 정의 상관성이 인정되었다. 비록 5% 수준에서 유의성은 인정되지 않았지만 초장, 지하부의 생체중과 건물중도 감염율이 높을수록 커지는 경향이였다.

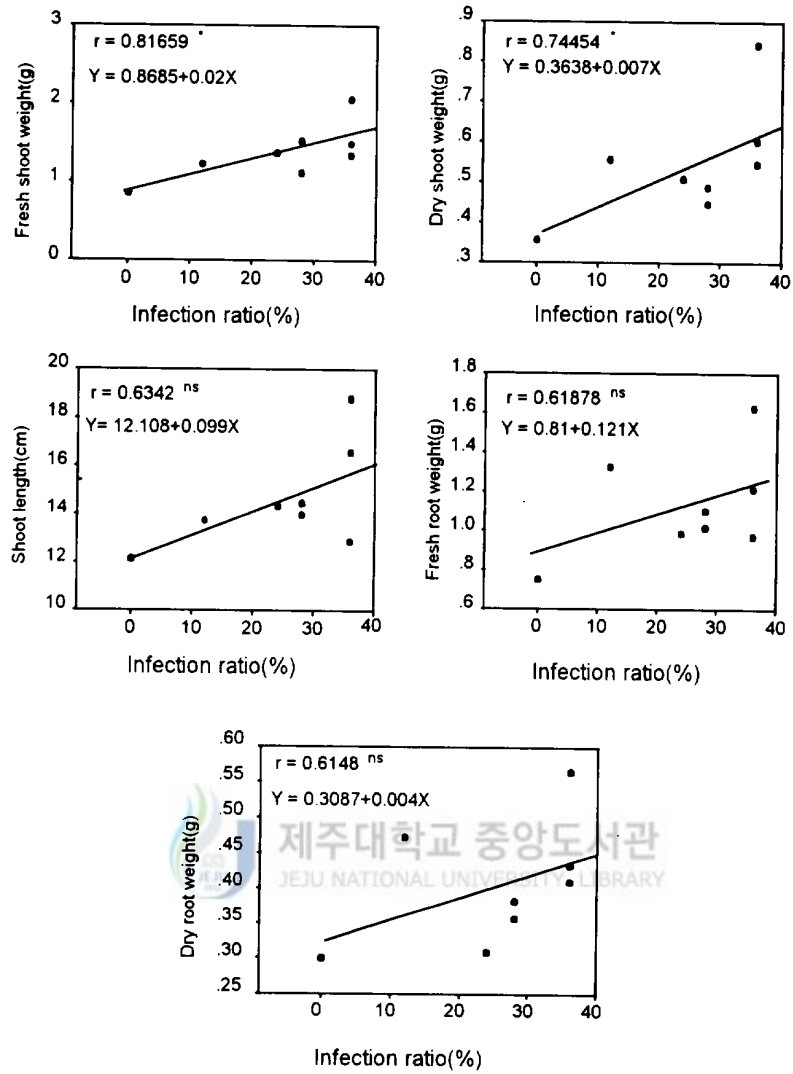


Fig. 4. Regression of growth characters on the ratio of VAM infection of root in trifoliate orange seedling.

2. 유묘의 무기성분 함량

HPM구와 HPN구의 식물체 무기성분을 분석한 결과(표 5), P와 Mg 함량은 VAM균 접종구인 HPM에서 무접종구인 HPN에서 보다 유의하게 많았고 Ca 함량은 반대였다. N, Cu 및 Zn 함량도 비록 5% 수준에서 유의성은 인정되지 않았지만 VAM균 접종구에서 많은 경향이 있었다.

그림 5는 무기성분함량과 뿌리 감염율과의 관계를 HPM구에서 분석한 결과이다. P 함량은 감염율이 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하였으며 Cu와 Mg 함량도 감염율의 증가에 따라 유의하게 증가하였다. N와 Zn 함량도 5% 수준에서 유의성은 없었지만 감염율의 증가에 따라 증가하는 경향이었다. 반면 Ca 함량은 감염율 증가에 따라 감소하는 경향이었다.

VAM균이 P의 흡수를 촉진시킨다는 것은 꾸준히 보고되어졌다 (Rosario 등, 1978; Morin 등, 1994; Kothari 등, 1991). Vinayak와 Bagyaraj(1990)는 VAM균에 감염된 탱자에서 P, Zn, Cu 등의 흡수를 증가시킨다고 하였고 Hartmond 등(1987)도 VAM균에 감염된 sweet orange, sour orange, carrizo citrange에서 엽내 P함량이 높았다고 하였다. Krikun과 Levy (1980)은 VAM균에 감염된 sour orange와 cleopatra mandarin, rough lemon에서 Mg의 엽내 함량은 VAM균에 감염된 식물체가 높았으나, Ca의 함량은 감염되지 않은 식물체에서가 더 높았다고 하였다. N의 흡수에 미치는 VAM균의 효과는 콩 (Heggo와 Angle, 1990), 간척지 식물(고, 1986) 등에서 인정되었으나 옥수수 (Shen 등, 1994)나 감귤류(Hartmond 등, 1987; Peng 등, 1993)에서는 인정되지 않았다고 보고되었다.

제주도 화산회토양에서 탱자를 공시한 이실험에서 VAM균 감염이 P를 비롯한 Cu, Mg, Zn, N 등의 무기성분 흡수를 증가시키는 것으로 나타난 결과는 다른 작물 또는 다른 토양의 감귤류에서 얻어진 결과와 대체로 일치하였다. 따라서 뿌리의 감염율을 높이는 방안을 모색하면 VAM균을 이용하여 시비량을 줄일 수 있는 감귤원 관리기술개발이 가능하다고 판단된다.

Table 5. Effect of inoculation of VAM on the inorganic composition in trifoliate orange seedling

| Treatment ²⁾ | N(%) | P($\mu\text{g/g}$) | Ca($\mu\text{g/g}$) | Mg($\mu\text{g/g}$) | Cu($\mu\text{g/g}$) | Zn($\mu\text{g/g}$) |
|-------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| HPM | 1.82 | 1458 | 1971 | 3123 | 102.2 | 130.0 |
| HPN | 1.71 | 1164 | 2306 | 2064 | 72.8 | 107.1 |
| Difference | 0.11 ^{ns} | 294 [*] | -335 [*] | 1059 [*] | 29.4 ^{ns} | 22.9 ^{ns} |

*Significant at 5% level, ^{ns}not significant.

²⁾See Table 1 and Fig. 2 for the explanation of treatments.

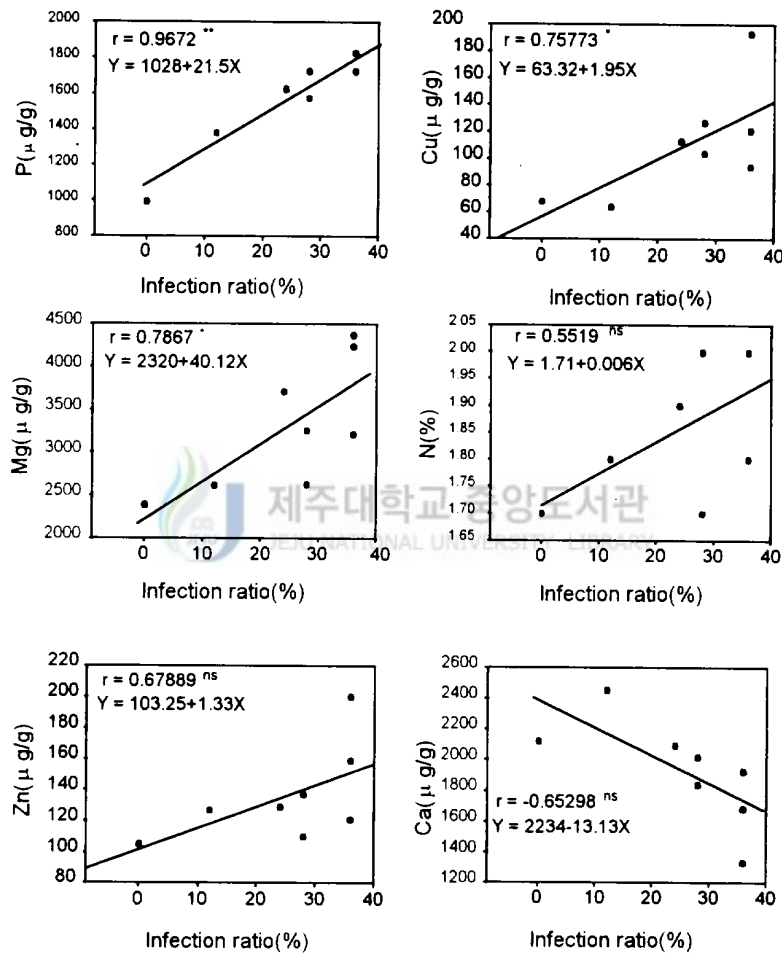


Fig. 5. Regression of contents of nutrients in plant tissue on the ratio of VAM infection of root in trifoliate orange seedling.

3. 포자 동정

탱자유묘의 뿌리가 VAM균에 감염된 것으로 나타난 HPM과 LPM의 토양을 혼합하여 분리한 VAM균포자는 *Glomus*속의 3종과 *Acaulospora*속의 1종 모두 4종으로 관찰되었다(Schenck와 Pérez, 1988).

해부현미경 하에서 축구공 모양을 하고 적갈색을 나타내며 크기가 90~100 μ m정도이고 균사의 흔적이 없는 비접합포자인 것은 *Acaulospora* sp.로 동정되었다(그림 5).

*Glomus vesiculiferum*으로 동정된 포자(그림 6)는 약간의 타원형을 이루고 노란색이 확연히 드러나며 균사의 흔적이 깔대기 모양을 하고 있으며 포자의 크기는 50~100 μ m이고 2~4 μ m두께의 포자벽을 1개 가지며, 포자과(그림 6의 C)도 관찰되었다.

황색 또는 적갈색을 나타내며, 곤봉형(clavate)을 나타내고 크기가 80~120 μ m이고 포자벽은 1개이며 5.0~7.5 μ m의 두께를 가진 층판(laminated wall)이고 부착균사는 뒤쪽으로 휘거나 깔때기형으로 5~6.5 μ m의 폭을 가지며 포자와의 부착부분이 9~10 μ m로 가장 넓으며 균사의 벽은 1.0 μ m내외인 것은 *Glomus deserticola*(그림 7)로 동정되었다.

그림 8에 제시된 포자는 황색 또는 황갈색을 띠며, 구형 또는 넓은 곤봉형을 보이며, 42~60 \times 37~48 μ m의 크기를 가지며 포자벽은 하나의 벽층으로 구성되며 여러 층이 겹친 모양으로 2~5 μ m두께를 갖는다. 이러한 특징으로 *Glomus rubiferme*(그림 8)으로 동정되었다.

집종재료를 채취한 감귤원 토양에서 발견되는 4종 모두가 탱자 뿌리로 집중시킨 토양에서도 확인되어 4종 모두 탱자뿌리에 감염된다고 판단되었다.

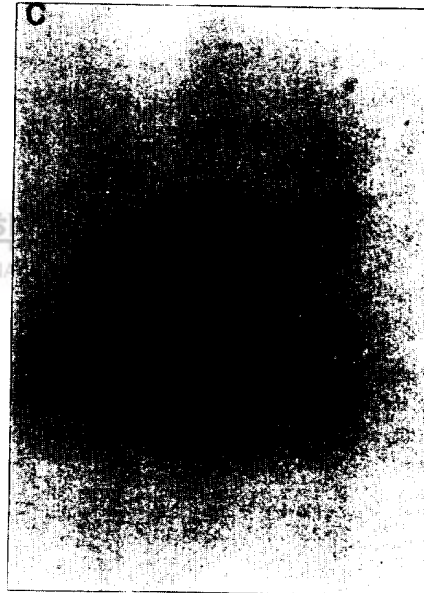
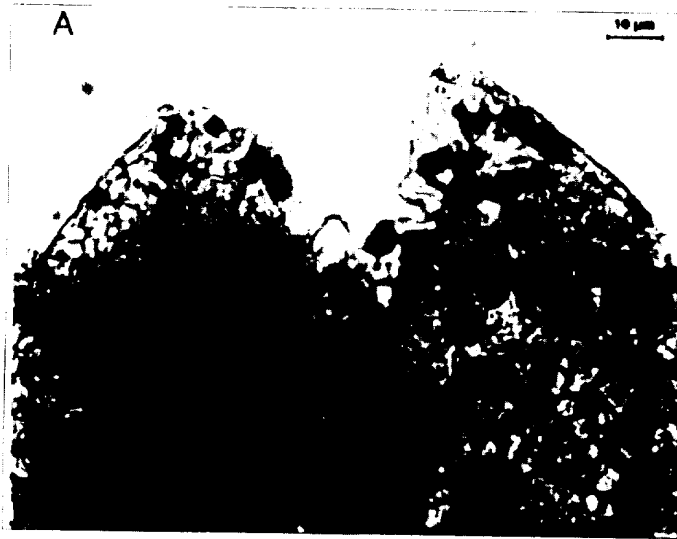


Fig 5. Azygospore Chlamydozporas of *Acaulospora* sp.
A) 1000 X, Broken spore. B) 400 X, Broken spore.
C) 200 X, Broken spore

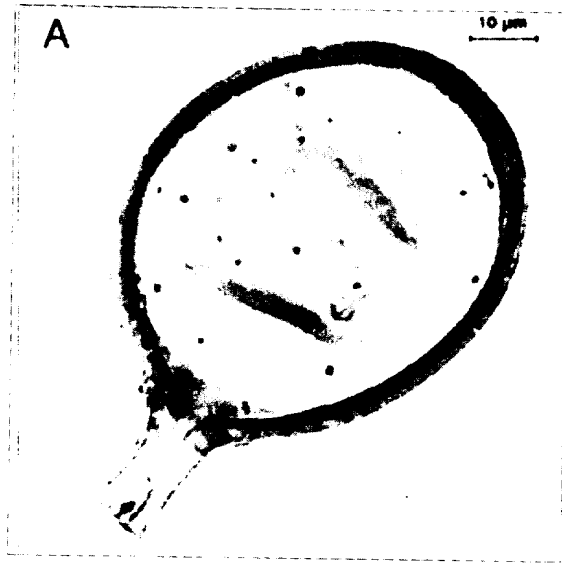


Fig 6. Chlamydothecas of *Glonus vesiculiferum* (Gerdemann and Trappe).
A) 1000 X, Whole spore B) 1000 X, Whole spore
C) 400 X, Sporocarp

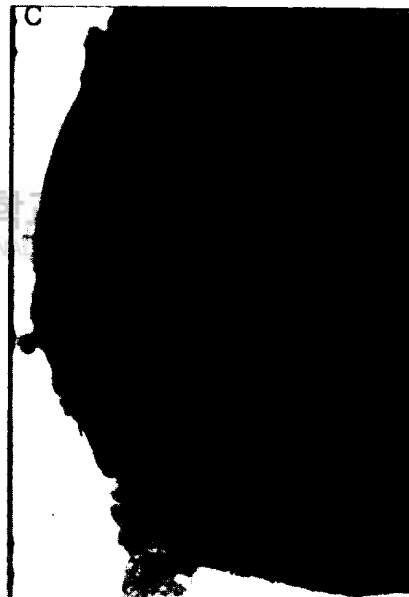
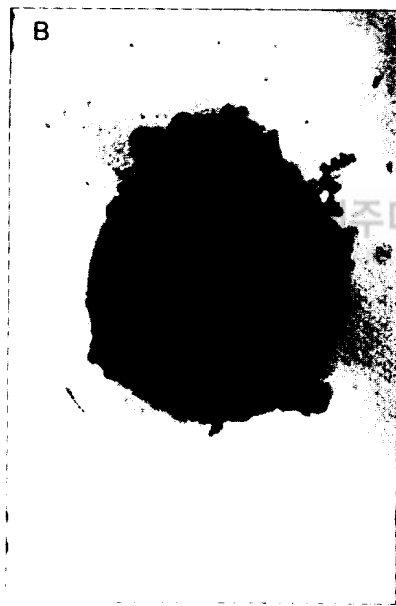


Fig 7. Chlamydosporas of *Glonus deserticola* (Trappe).
A)1000 X, Partial spore. B)400 X, whole spore.
C)1000 X, Partial spore.

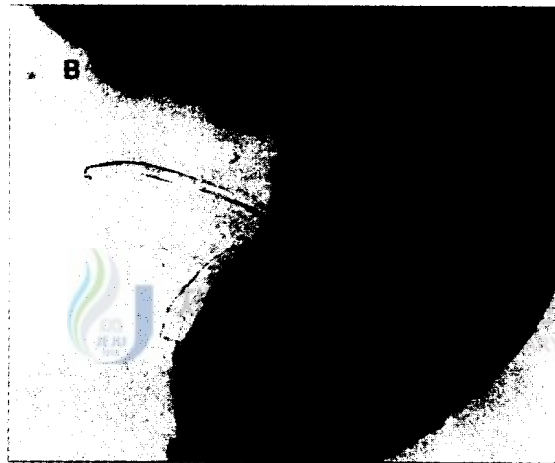
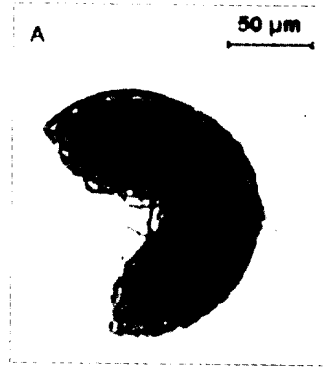


Fig 8. Azygospore of *Glonus rubiforme* (Gerdemann and Trappe).
A) 200 X, B) 1000 X, Broken spore

V. 적 요

화산회토양에서 감귤대목인 탱자의 생육에 미치는 vesicular-arbuscular mycorrhizae(VAM)의 영향을 알아보기 위하여, VAM균에 감염된 감귤뿌리를 접종재료로 하고 시비수준을 달리하여 화분에 심은 탱자유묘에 인공 접종시켜 유묘의 생육과 식물체내 무기성분함량으로 분석하고 감염된 화분토에서 채취한 포자종류를 동정한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 토양 50 l 당 21-17-17 복비 40g과 용성인비 50g을 준 다비인산구에서만 감염된 화분비율이 70%였고 나머지 인산을 첨가하지 않거나 시비량이 적은 구에서는 20% 이하였다.
2. VAM균 감염율의 증가에 따라 지상부의 생체중과 건물중은 유의하게 증가되었으며, 초장과 지하부 생체중 및 건물중도 5%수준에서 유의성은 인정되지 않았지만 증가하는 경향이였다.
3. 식물체내 P와 Cu, Mg의 함량은 VAM균 감염율 증가에 따라 비례적으로 유의하게 증가하였으며, N과 Zn의 함량도 증가하지만 Ca 함량은 감소하는 경향이였다.
4. 접종재료를 채취한 토양에서 발견되는 *Glomus deserticola*, *G. rubiforme*, *G. vesiculiferum* 과 *Acaulospora* sp. 등 4종의 VAM균 포자 모두가 접종된 화분토에서도 확인되어 탱자뿌리에 감염된다고 판단되었다.

VI. 참고문헌

- 안태근, 이민웅, 가강현, 이상선. 1992. 두과식물에서 발견된 내생균근 포자들. 한국균학회지. 20(2):95-108.
- Boyetchko, S. M. and J. P. Tewari. 1990. Root colonization of different hosts by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus dimorphicum*. Plant and Soil 129:131-136.
- Camprubi, A. and C. Calvet. 1996. Isolation and screening of mycorrhizal fungi from citrus nurseries and orchards and inoculation studies. HortScience 31(3):366-369.
- George, E., K. U. Häussler, D. Vetterleiv, E. Gorgus, and H. Marschner. 1992. Water and nutrient translocation by hyphae of *Glomus mosseas*. Can J. Bot. 70:2130-2137.
- Cox, G. and P. B. Tinker. 1976, Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhiza. I. The arbuscule and phosphorus transfer: A quantitative ultrastructural study. New Phytol. 77:371-378.
- Cox, G., K. J. Moran., F. Sanders, C. Nockolds, and P. B. Tinker. 1980. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhiza. III. Polyphosphate granules and phosphorus translocation. New Phytol. 84:649-659.

- 엄안홍, 이상선, 1990. 고마리 군락의 토양에서 발견된 내생균근. 한국균학회지 18(1):26-41.
- Graham, J. H. and J. P. Syvertsen. 1984. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the hydraulic conductivity of roots of two citrus rootstock. *New Phytol.* 97:277-284.
- Graham, J. H. and J. P. Syvertsen. 1985. Host determinants of mycorrhizal dependency of citrus rootstock seedlings. *New phytol.* 101:667-676.
- Graham, J. H. and D. Fardfemann. 1985. Inoculation of citrus with root fragments containing chlamydospores of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Can. J. Bot.* 64:1739-1744.
- Habte, M. and R. L. Fox. 1993. Effectiveness of VAM fungi in non-sterile soils before and after optimization of P in soil solution. *Plant and soil* 151:219-226
- 한해룡, 권오균, 1991. 감귤원예신서 237-240 pp. 선진문화사.
- Hartmond, U., N. V. Schaesberg, J. H. Graham and J. P. Syvertsen. 1987. Salinity and flooding stress effects on mycorrhizal and non-mycorrhizal citrus rootstock seedlings. *New Phytol.* 105:37-43

현승원, 1996. 환경친화형농업을 위한 국제 심포지움 119-139 pp. 제주대학교 아열대원예산업연구센터.

Heggo, A. and J. S. Angle. 1990. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on heavy metal uptake by soybeans. *Soil Biol. Biochem.* 22(6):865-869.

Ishii, T. and K. Kadoya. 1994. Effects of charcoal as a soil conditioner on citrus growth and vesicular-arbuscular mycorrhizal development. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 63(3):529-535.

Jayachandran, K., A. P. Schwab and B. A. D. Hetrick. 1992. Mineralization of organic phosphorus by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *soil Biol. Biochem.* 24(9):897-903.

Kothari, S. K., H. Marschner and V. Römheld. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in calcareous soil. *Plant and Soil* 131:177-185.

김형욱, 이신찬, 현해남. 1989. 화산회토에서 고정 인산 장애 경감 연구. 농시논문집(산학협동 편). 32:109 - 115.

고성덕. 1986. 해안간척지에서 Vesicular- Arbuscular mycorrhizae(VAM)에 관한 생태적 연구 235 pp. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.

- Krikun, J. and Y. Levy. 1980. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza on citrus growth and mineral composition. *Phytoparasitica* 8(3): 195-200.
- 이상선, 가강현, 이석구, 백기엽. 1991. 원예식물 및 재배식물에서 발견된 내생균근. *한국균학회지* 19(3):186-202.
- 이상선, 류창년. 1992. 식물 뿌리에 내생균근의 공생. *한국균학회지* 20(2): 126-133.
- 이상선, 엄안흠, 이석구. 1994. 식물 뿌리에서 Arbuscular 내생균근균의 성장에 작용하는 요인들. *한국균학회지* 22(2):160-171.
- Matsubara, Y., T. Karikomi, M. Ikuta, H. Hori, S. Ishikawa and T. Harada. 1996. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungus inoculation on growth of apple(*malus* ssp.)seedlings. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65(2):297-302.
- Menge, J. A., W. M. Jarrell, C. K. Labanauskas, J. C. Ojala, C. Huszar, E. L. V. Johnson, and D. Sibert. 1981. Predicting mycorrhizal dependency of troyer citrange on *glomus fasciculatus* in california citrus soils and nursery mixes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:762-768.
- Morin, F., J. A. Fortin, C. Hamel, R. L. Granger and D. L. Smith. 1994. Apple rootstock response to vesicular-arbuscular mycorrhizal

- fungi in a high phosphorus soil. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(3): 578-583.
- Nelsen, C. E. and G. R. Safir. 1982a. Increased drought tolerance of mycorrhizal onion plants caused by improved phosphorus nutrition. *Planta*. 154:407-413.
- Nelsen, C. E. and G. R. Safir. 1982b. The water relations of well-watered, mycorrhizal, and non-mycorrhizal onion plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(2):271-274.
- Nemec, S. 1985. Influence of selected pesticides on *Glomus* species and their infection in citrus. *Plant and Soil* 84 : 133-137.
- Norris, J. R., D. Read and A. K. Varma. 1994. *Techniques for Mycorrhizal Research* 1 p. Academic Press.
- Pacovsky, R. S., G. J. Bethlenfalvay, and E. A. Paul. 1986. Comparisons Between P-Fertilized and mycorrhizal plants. *crop Sci.* 26:151-156.
- Peng, S., D. M. Eissenstat, J. H. Graham, K. Williams, and N. C. Hodge. 1993. Growth depression in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply. *Plant Physiol.* 101:1063-1071.

- Philips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Rosario, A., A. D. Marin and J. M. Barea. 1978. Comparative Role of phosphate in soil or inside the host on the formation and effects of endomycorriza. *Plant and Soil* 49:561-567.
- Schenck, N. C. and Y. Pérez. 1988. Manual for the identification of VA-mycorrhizal fungi 241 pp. INVAM.
- Shen, L., P. G. Braunberger and M. H. Miller. 1994. Response of vesicular-arbuscular mycorrhizas of maize to various rates of P addition to different rooting zones. *Plant and Soil* 158:119-128.
- Shrestha, Y. H., T. Ishii, I. Matsumoto and K. Kadoya. 1996. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on satsuma mandarin tree growth and water stress tolerance and on fruit-development an quality. *J. Japan. Soc. Hort.* 64(4):801-807.
- Trappe, J. M. 1982. Synoptic keys to the genera and species of zygomycetous mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 72:1102-1107.
- 유장결, 김형욱, 이신찬. 1985. 인광석의 인산비효증진에 관한 연구-토양중

mycorrhizae 포자밀도조사 및 인광석용해성사상균의 분리와 배양. 제주대
논문집 20:81-92.

Vinayak, K. and D. J. Bagyaraj. 1990b. Selection of Efficient VA
mycorrhizal fungi for trifoliolate orange. *Biological Agriculture and
Horticulture* 6:305-311

