

碩士學位論文

濟州道 柑橘園의 Vesicular - Arbuscular
Mycorrhizae(VAM)에 관한 研究

濟州大學校 大學院
園藝學科



1997年 12月

濟州道 柑橘園의 Vesicular-Arbuscular
Mycorrhizae(VAM)에 관한 研究

指導教授 文 斗 吉

金 相 燁

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

1997年 12月

金相燁의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____

委 員 _____

委 員 _____

濟州大學校 大學院

1997年 12月

Studies on Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae(VAM) in Citrus Groves

Sang-Youb Kim

(Supervised by Professor Doo-Khil Moon)

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	9
1. 토양시료 및 뿌리의 채취	
2. 포자추출 및 동정과 포자밀도 조사	
3. VAM균 감염율 조사	
4. 토양과 식물체의 분석	
IV. 결과 및 고찰	12
1. VAM균 동정	
2. 토양중 포자밀도의 변화	
3. VAM균 감염율	
4. 감귤원 토양과 잎의 무기성분 함량	
V. 적요	30
VI. 참고문헌	32

Summary

In 4 citrus groves of Satsuma mandarin (rootstock of trifoliolate orange) including 2 groves of organic management with neither fertilizers nor chemicals and 2 groves of conventional management, spore of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi were identified, and changes in spore density in soil and VAM infection ratio of roots of citrus and weeds were periodically investigated at interval of two months from October 1996 to October 1997. Soil and citrus leaf were analyzed for inorganic elements at the end of observation.

The results obtained are summarized as follows:

1. Three species of genus *Glomus* of *G. deserticola*, *G. vesiculiferum*, *G. rubiforme* were identified, and one unknown species of genus *Acaulospora* was observed.
2. Numbers of VAM fungi spores were counted in the range of 10,000~40,000 per 100g of soil with more spores in the organically-managed groves. The least spores were observed in December in all groves, and the most spores in April in the organically-managed groves while in February or April in the conventionally-managed.
3. Annual mean VAM infection ratios more than 27% of citrus root were observed in the organically-managed with the high peaks in April and October and the minimum in August, while mean ratios less than 15% in the conventionally-managed with the peak in February and the minimum in different times depending on groves and years.

4. Correlation between spore density in soil and infection ratio of root was not recognized with exception of one conventionally-managed grove in which positive correlation was recognized at 5% level.

5. Among 16 species of 11 families of 7 orders, species of Caryophyllaceae and Oxalidaceae were observed to be not infected with VAM fungi. But *Artemisia princeps*, *Erigeron annuus* and *Youngia japonica* of Composite, *Astrogalus sinicus* of Leguminosae, *Portulaca oleracea* of Portulacaceae showed high infection ratios in all groves.

6. Contents of elements in citrus leaf were correlated with neither VAM infection ratios of root nor contents in soil, though the highest P content in leaf was observed in the grove of the lowest available P content in soil with the highest VAM infection ratio of root.

I. 서 론

공생균근(mycorrhizae)은 식물뿌리의 표면 혹은 뿌리내부에 침입해서 식물체와 공생을 하는 것으로서 육상식물의 약 80%에 균근이 형성된다고 한다(Harley와 Harley, 1987). Frank(1887)는 균종 및 균사가 식물의 뿌리세포내에 침입하는 위치와 형태에 따라 외생균근(ectomycorrhizae), 내생균근(endomycorrhizae) 및 내외생균근(ectendomycorrhizae)의 세균으로 나누었는데, Lewis와 Gerdemann(1975)은 숙주의 특이성에 따라 균근의 분류체계를 세분화하여 다섯가지(ectomycorrhizae, ectendomycorrhizae, ericoid mycorrhizae, orchid mycorrhizae, vesicular-arbuscular mycorrhizae)로 구분하였다. 대다수의 공생균근은 vesicular-arbuscular mycorrhizae(VAM)이라고 알려져있다(Trappe, 1981). VAM은 숙주근내에 양분저장기관인 vesicles와 영양소 교환장소인 arbuscules를 형성한다. 이 균은 일반 초본 및 일부 목본식물에 형성되어 식물의 생육을 촉진하는 작용이 커서 농·임업의 응용면에서 크게 주목을 받고 있다. 아울러 VAM이 작물의 생육을 촉진 시키는 것은 인산흡수의 촉진(Hayman, 1983; Pacovsky 등, 1986), 미량원소(철, 구리, 망간 등)의 흡수 촉진, 망간 등의 과잉장해 경감, 건조스트레스의 저항성 및 병해저항성 부여(齊藤 등, 1992) 등에 있다.

제주도 면적의 74%를 차지하고 있는 화산회토는 알루미늄이 쉽게 유리되어 활성화되는 성질이 강하기 때문에 인산을 고정·흡착하는 능력이 대단히 커서 인산이 결핍되기 쉬운 토양으로 알려져 있다. 그러므로 화산회토양이 대부분인 본도의 감귤원에는 다량의 용성인비 사용이 권장되어 왔다. 그 결과 토양중의 인산함량이 꾸준히 증가되어 경작년대가 오래된 감귤원의 경우 Bray No. 1 침출인산의 함량이 거의 100ppm 이상으로 높은 토양이 많은 실정이다. 앞으로도 꾸준한 인산시비량 증가로 인하여 토양에 과량의 인

산이 존재할 가능성이 매우 높아 인산과다로 인한 미량원소 결핍현상이 나타날 수도 있을 것이다(김 등, 1989). 더욱이 화학비료의 과다사용은 토양을 황폐시킬 뿐만아니라 지표수의 부영양화나 지하수의 오염을 초래하게 된다. 이러한 오염을 미연에 방지하기 위해서는 토양에 존재하는 무기영양의 이용률을 높이는 방안을 강구하여 적은 시비량으로도 높은 생산성을 유지할 수 있어야 한다. 특히 인산을 비롯한 무기영양의 흡수를 촉진시키는 것으로 알려진 VAM에 대한 연구는 그 기초가 될 것이다.

이 연구는 제주도 감귤원 토양에서 VAM을 이용하여 토양중의 무기 영양을 효율적으로 이용할 수 있는 방안을 마련하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 VAM균을 분리 동정하고 포자 밀도의 분포와 감귤뿌리와 잡초의 VAM균 감염율을 조사함과 더불어 감귤원 토양의 화학적 성분과 감귤잎의 성분을 분석하여 이들 사이의 관련성을 검토하였다.



II. 연구사

Vesicular-arbuscular mycorrhizae(VAM)이란 명칭은 양분저장기관을 뜻하는 내부의 소포(vesicles)에서부터 기인된 것으로서 세포사이에서 이들 10~100 μm 의 균사의 연장부분은 통상 지질로 채워져 있고, 뿌리의 피층세포내부에 존재하는 다른 내부 구조는 침입균사망(arbuscles)이다. Arbuscles는 개개의 식물세포내에서 4~10일 동안 존재한다. 그 후 식물세포에 의해 소화되며 다른 식물세포에서 새로운 arbuscles이 형성된다고 한다(Paul과 Clark, 1989).

VAM은 이들 포자나 孢子囊의 형상이 분류기준으로서 이용되어 왔다. Walker(1983)는 VAM의 종 분류기준으로서 포자벽의 구조에 의한 분류법을 제창하였고, Schenck 등(1988)이 제안한 VAM균 6속(*Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis*, *Scutellispora*)은 Endogonales目, Endogonaceae科에 속해 있었다. Morton과 Benny(1990)는 포자벽 구조를 중심으로한 상세한 연구에 의해 이들 6속을 Endogonales目中에서 분리하여, 새로운 Glomales目を 두어 그 아래 두 개의 亞目(Glomineae, Gigasporineae) 및 3개의 科(Glonaceae, Acaulosporaceae 및 Gigasporaceae)로 재분류하였다.

VAM균의 동정은 채집된 포자의 크기와 형태를 기초로 분류하였다. VAM균의 種수준에서의 동정을 위해서 현재까지 여러보고가 있었다. 그러나 이들의 Key는 Walker(1983)의 포자벽에 의한 분류기준 이전의 것으로 실용성이 빈약하다. 실용적인 同定用 매뉴얼로서 Schenck와 Pérez(1988)의 매뉴얼과 Trappe(1982)의 분류키가 있다.

VAM균은 외부균사를 형성하여 식물의 뿌리가 도달할 수 없는 토양의 작은 틈까지 균사를 뻗음으로서 양분의 흡수면적을 넓히고 이동하기 힘든 무기양분인 인(P), 질소(N), 칼륨(K), 아연(Zn), 구리(Cu), 마그네슘(Mg), 칼슘

(Ca)등을 식물에게 공급한다(Elmes와 Mosse, 1984; Jencen, 1982; Menge, 1983). 무기양분의 흡수 외에도 물의 흡수를 촉진시켜주고 광합성 속도와 내병성을 증가시키며 Cytokinin, ABA, GA와 같은 식물 호르몬 축적에도 영향을 미쳐 기주식물의 생장과 수량을 증가시킨다(Smith, 1988).

토양의 인산농도는 식물의 VAM 감염율에 커다란 영향을 미친다. 인산농도가 12mg/l(Menge, 1983), 40mg/l(Elmes와 Mosse, 1984)에서 식물의 감염율이 높게 증가하나, 더 높은 인산농도의 증가는 오히려 VAM 감염율을 떨어뜨린다고 보고 되었다(Elmes와 Mosse, 1984).

환경적인 측면에서 중금속, 염분이 높은 토양, 수분압력 등에 대한 저항성과 VAM과의 관계에 대한 연구도 진행되어왔다. *Glomus mosse*에 감염된 크로바가 아연(Zn)이나 카드뮴(Cd) 같은 중금속의 함량이 높은 토양에서 저항성을 나타낸다고 보고하였다(Gildon과 Tinker, 1983). 또한 VAM에 감염된 식물체에서는 아연(Zn), 카드뮴(Cd), 망간(Mn)의 농도가 억제됨이 발견되었다(Heggo와 Angle, 1990).

VAM의 균사는 숙주식물이 필요로하는 무기영양(P : 13~20%, Zn : 16~25%)을 제공하기도 한다(Kothari 등, 1991). 염분이 높은 토양에서 VAM은 토마토의 성장을 개선시켰으며(Pond 등, 1984; Copeman 등, 1996), VAM에 감염된 콩은 수분압력에 대한 저항성으로 생육이 좋아졌다(Busse와 Ellis, 1985). 농작물중에서 질소를 고정하는 콩과식물은 VAM에 감염되므로서 비균근 콩과식물보다 식물생장이 좋아졌다(Rose와 Youngberg, 1988).

VAM균 포자의 증식은 토양의 물리적 성질(Sreenivasa와 Bagyaraj, 1988), 온도(Scherck와 Schroder, 1974), 계절변화(Gemma와 Koske, 1988), pH 등의 요인(Hayman과 Tarares, 1985)에 의하여 영향을 받는다고 하였다. 포자 증식에 있어 Gemma와 Koske(1988)는 영국에서 10월부터 다음해 3월까지 높은 포자밀도를 보이다가 5~7월 사이에 가장 낮은 포자밀도를 나타냈다고

보고하였다. VAM균의 포자수는 식물생장 및 외부환경요인에 의해 달라진다고 하였다(가, 1991).

우리나라의 공생균근에 대한 연구는 **李 등(1981)**에 의해 비롯되었다. 최초 연구는 주로 외생균근에 관한 연구로서 임학분야에서 이루어졌으며 이는 균근 연구의 저변 확대에 기여하였다.

VAM이 감귤 생육에 미치는 영향(Graham과 Syvertsen, 1985)과 제초제 살포 등의 재배관리가 VAM균 감염율에 미치는 영향(Nemec과 Tucker, 1983) 등에 대해서는 1970년대부터 많은 연구가 이루어져 왔다. VAM균의 일종인 *Glomus intraradices*에 감염된 감귤유묘의 생장이 좋지만 Cu함량이 높은 살균제에 의해 VAM균의 번식이 저하되었다(Graham 등, 1986). 정상적인 환경을 주어 동일한 생장을 보인 *G. intraradices*에 감염된 감귤과 비감염 감귤에 가뭄 스트레스를 주었을 때 식물체의 증산량과 잎의 수분 포텐셜이 감염된 감귤에서 높게 나타난다고 보고되었다(Graham 등, 1987). VAM균에 감염된 온주밀감은 생육이 더 좋았으며 과즙내의 당함량이 높고 과색도 더 좋게 나타났고(Yogesh 등, 1996), VAM균에 감염된 온주밀감은 비감염된 온주밀감보다 엽면적이 3배 이상으로 되고 왕성한 생육을 해서 나무당 3배 이상의 광합성 산물을 생산한다는 보고도 있다(Yogesh 등, 1995). 또한 VAM균의 균사는 식물의 뿌리가 닿지 않는 곳까지 뻗어서 토양중의 유효양분을 흡수할 뿐만 아니라 수분도 흡수하여 식물에 공급함으로써 내건성을 증대시킨다는 보고도 있다(Ishii 등, 1993). 우리나라에서 감귤대목으로 사용하고 있는 탕자뿌리에 대해서 18종의 VAM을 접종시켜 유용 VAM균 5종 (*G. velum*, *G. caledonium*, *G. merredum*, *G. macrocarpum*, *Acaulospora* sp.)의 선발결과가 발표되었다(Viyanak와 Bagyaraj, 1990).

내생균근 연구는 간척지 식물에서 VAM균의 분리동정 및 숙주식물의 의존성을 조사한 것이 최초의 연구보고이다(고와 이, 1984). 이후 우리나라 일부

식물의 감염조사, VAM균의 동정, 식물뿌리에서의 작용(손과 김, 1991; 이와 류, 1992; 이 등, 1994) 등의 생태적, 분류적, 생리적 실험들이 이루어졌다.

VAM은 대부분의 육상식물에서 발견되기 때문에 다른 형태의 공생균근보다 지리적으로 광범위하게 분포되어 있다. VAM은 전적으로 외생균근만을 갖는 Pinaceae(소나무과)와 Fagaceae(참나무과), 격막이 있는 내생균근과 공생하는 Orchidaceae(난초과)와 Ericaceae(진달래과) 그리고 균근을 형성하지 않는 Chenopodiaceae(명아주과), Cruciferae(십자화과), Fumariaceae(현호색과), Cyperaceae(사초과), Commeelinaceae(닭의장풀과), Polygonaceae(마디풀과)를 제외한 거의 모든 초본과 목본 식물에서 VAM을 볼 수 있다고 하였다(아, 1993).

제주도 감귤원 토양중 공생균과 포자밀도를 조사한 결과가 보고 되었지만(김 등, 1984; 유 등, 1985) 감귤뿌리의 감염여부는 확인되지 않았으며 균의 식별도 되지 않은 상태로서 공생균근의 이용에 관한 연구는 거의 이루어져 있지 않다.



I. 재료 및 방법

1. 토양시료 및 뿌리의 채취

이 실험에 사용한 토양과 뿌리는 제주도내 4개 감귤원에서 채취하였다. 표준 재배관리를 하고 있는 제주도 농촌진흥원 종합시험포(애월읍 상귀리)와 제주대학교 부속 감귤원(서귀포시 동홍동) 2곳과 비료와 농약을 사용하지 않고 유기농재배를 하고 있는 청림농원(제주시 도련동, 농장주 양석필)과 이영민씨 농장(서귀포시 도순동) 2곳이었다.

토양의 채취는 각각 1996년 10월 30일부터 1997년 10월까지 2개월 간격으로 7회 채취하였다. 각 감귤원에서 세군데의 감귤나무 주변을 정하여 매시기 동일 장소에서 토심 5~10cm의 흙을 채취하여 폴리에틸렌 봉지에 넣어 실험실로 가져온 뒤 4℃에 냉장보관하였다. 감귤뿌리는 채취된 토양에서 선별하여 물로 씻은 후 10% FAA용액(13ml formalin + 5ml acetic acid + 20ml 50% ethanol의 혼합액)에 담그거나 또는 폴리에틸렌 봉지에 넣어 실험실로 가져온 뒤 4℃에 냉장보관하였다. 잡초 뿌리는 식물체 주변의 토양을 조심스럽게 판 뒤 채취하여 감귤 뿌리와 동일한 방법으로 보관하였다.

2. 포자추출 및 동정과 포자밀도 조사

포자의 분리는 wet-sieving and decanting 방법(Pacioni와 Rosa, 1992)에 의하여 분리하였다. 토양시료 100g을 500ml beaker에 넣고 수돗물을 350ml 더한 뒤 유리막대로 강하게 저어 혼탁액이 되도록 하여 10~15초 정치한 뒤 300, 145, 38 μ m의 체를 차례로 겹쳐 상정액을 따랐다. 위의 과정을 5회 반복

한 다음 1:1 glycerol 수용액을 250ml 시린더에 4/5 정도 채워 각체의 잔사물을 가하여 잘 흔들어 준 뒤 30분간 정치시켰다. 상정액을 38 μ m체에 옮겨 걸러진 잔사물을 beaker에 옮겨 0.01M CaCl₂를 넣어 10ml 용액으로 만든 뒤 1ml를 취하여 해부현미경($\times 40$)을 이용하여 VAM균 포자수를 세고 또 포자형태를 관찰하였고 Microscope Image Analyzer(Leica, U. K.)를 이용하여 좀더 세밀한 관찰을 하였다. VAM 포자는 Schenck와 Pérez(1988)의 Manual과 Trappe(1982)의 Synoptic Keys를 이용하여 동정하였다. 토양중 포자밀도는 각 감귤원에서 조사한 세군데 토양의 포자수를 평균하여 나타냈다.

3. VAM균 감염율 조사

감귤 또는 잡초뿌리의 VAM균 감염율은 Phillips와 Hayman(1970) 방법에 따라 조사하였다. 즉, 세균이 떨어져 나가지 않게 주의하며 수돗물을 이용하여 뿌리에 붙은 토양입자를 제거한 다음 씻은 뿌리를 10% KOH 용액이 든 시험관에 넣어 90 $^{\circ}$ C로 10분간 가열한 뒤 깨끗이 수돗물에 씻었다. Alkaline H₂O₂ 용액을 가하여 상온에서 10~20분간 탈색시킨 후 깨끗이 수돗물로 씻었다. Alkaline H₂O₂는 3ml NH₄OH, 30ml 10% H₂O₂, 567ml 수돗물을 혼합하여 만들었다. 씻은 뿌리를 1% HCl 용액에 3~4분간 담가두었다가, 다시 수돗물로 씻어 0.01% acid fuchsin 염색용액이 들어있는 비이커에 넣고 cover를 씌워 90 $^{\circ}$ C 온도에서 1시간 가량 염색시켰다. 0.01% acid fuchsin 염색용액은 875ml lactic acid, 63ml 수돗물, 0.1g acid fuchsin을 혼합하여 만들었다.

염색한 뿌리를 1cm 정도로 자른 뒤 50개의 프레파라트를 만들어 해부현미경($\times 40$)으로 fungal hyphae, vesicles, arbuscles들의 존재여부를 확인하여

이들이 존재하는 부분은 VAM균이 형성된 것으로 간주하고 다음 식으로 VAM균 감염율을 계산하였다. 각 감귤원에서 세군데의 감염율을 평균하여 그 감귤원의 감염율로 하였다.

$$\text{감염율(\%)} = (\text{감염된 뿌리 절편수} / \text{총 관찰된 뿌리 절편수}) \times 100$$

4. 토양과 식물체의 분석

1997년 10월 30일 4개의 감귤원에서 각각 깊이 5~10cm의 토양과 감귤잎을 채취하였다. 채취한 토양은 풍건한 후 0.5mm체를 통과시킨후 분석시료로 사용하였고 pH는 토양과 물 1:5 비율의 현탁액중에서 glass combination electrode로 측정하였고 유기물은 Walkey-Black법(Nelson 과 Sommers, 1982), 총질소는 2020 Digestion System(Tecator, Sweden)으로 분해하여 Kjeltac Auto Sampler System 1035 Analyzer(Tecator, Sweden)로 분석하였다. 유효인산은 Bray NO. 1법으로 측정하였다(Olson 과 Sommers, 1982). 치환성 양이온(K, Ca, Mg)은 1N ammonium acetate로 추출하여 Atomic Absorption Spectrophotometry(Philips SP9-800, U. K.)로 측정하였다(Tomas, 1982).

토양시료 채취와 함께 채취한 엽시료는 70℃에서 건조시킨후 분쇄하여 분석시료로 하였다. 분쇄한 시료 0.3g에 conc-H₂SO₄ 7ml, 분해촉진제(10.35g K₂SO₄ + 3.5mg Se, Tecator, Sweden) 1알을 넣고 2020 Digestion System으로 분해하였다. 질소(N)는 Kjeltac Auto Sampler System 1035 Analyzer로 분석하였다. 인(P)은 Ammonium vanadomolybdate법으로 발색하여 420nm에서 흡광도를 측정하였으며 무기양분(K, Ca, Mg, Zn, Cu) 함량은 Atomic Absorption Spectrophotometry로 측정하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. VAM균 동정

4개의 감귤원토양에서 수집된 VAM포자를 분류한 결과 *Glomus* 속의 3종과 *Acaulospora* 속 1종이 동정되었다.

*Glomus deserticola*는 孢子果(sporecarp)가 관찰되지 않았으며 단일 포자로 분리되었다(그림 1). 포자의 색은 해부현미경에서 황색 또는 적갈색을 나타내었으며, 포자의 형태는 일반적으로 구형이며 지름은 80~120 μ m이고 표면이 매끈한 형태로 관찰되었다. 포자벽은 1개이며 5.0~7.5 μ m의 두께를 가진 층판(laminated wall)이었다. 부착균사는 뒤쪽으로 휘거나(recurved) 또는 깔때기(funnel)형으로 5~6.5 μ m의 폭을 가지며 포자와의 부착부분이 9~10 μ m로 가장 넓으며 균사의 벽은 1.0 μ m내외이었다. 이상과 같은 특징으로 보아 *Glomus deserticola*로 동정하였다.

*Glomus vesiculiferum*은 모든 감귤원에서 고루 관찰되었으며 단일 포자와 포자과(sporecarp)가 관찰되었다(그림 2). 포자색은 해부현미경에서 옅은 황색을 띠고 있으며 포자는 곤봉(clavate) 형태로 나타났다. 포자의 크기는 50~100 μ m 크기로 관찰되었으며 포자벽은 1개이며 2~4 μ m 두께로 층판(laminated wall)의 형태를 보였다. 이상과 같은 포자형태 및 색에 의해 *Glomus vesiculiferum*으로 동정하였다.

짧은 부착균사와 함께 cluster 형태 및 단일 포자로 관찰되는 *Glomus rubiforme*이 또한 관찰되었다(그림 3). 포자는 구형(giobal) 또는 넓은 곤봉형(clavate)으로 황색 또는 황갈색을 띠며 42~60 × 37~48 μ m의 크기를 가졌다. 포자벽은 하나의 벽층으로 구성되며 여러층에 겹친 모양으로 2-5 μ m 두께였다. 이상과 같은 특징으로 *Glomus rubiforme*으로 동정하였다.

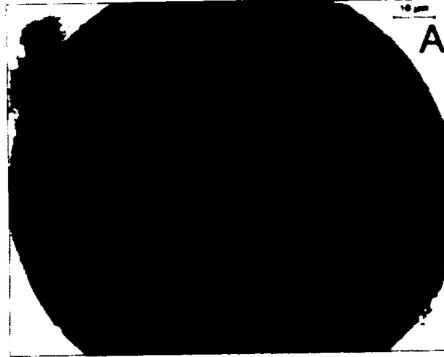


Fig. 1. Chlamydospore of *Glomus deserticola*(Trappe).
A) $\times 1000$, Whole spore. B) $\times 400$, Whole spore.
C) $\times 1000$, Broken spore.

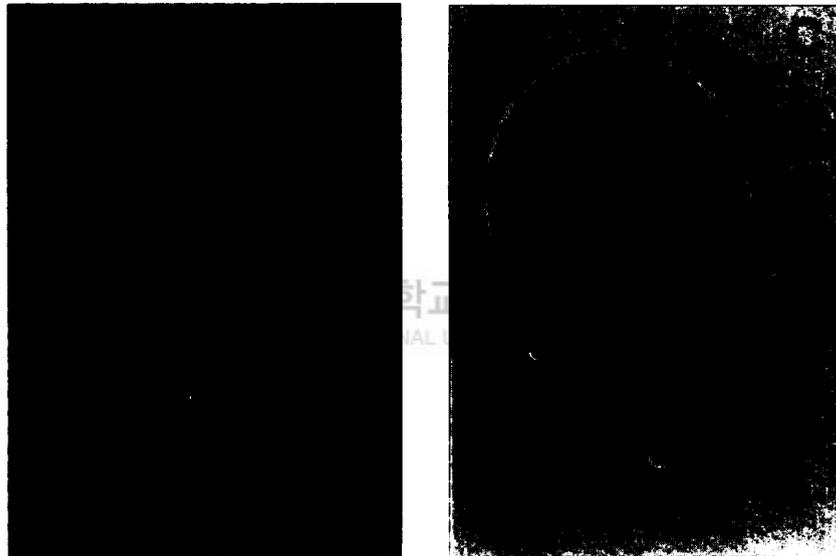
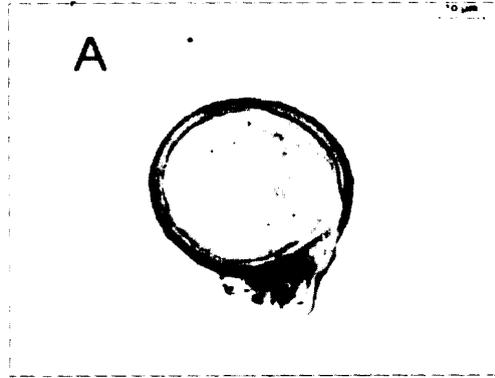


Fig. 2. Chlamydospore of *Glomus vesiculiferum*(Gerdemann and Trappe).
A) $\times 1000$, Whole spore. B) $\times 200$, Sporecarp. C) $\times 1000$,
Whole spore.

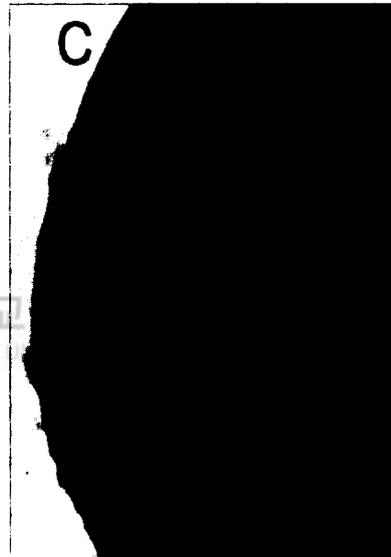
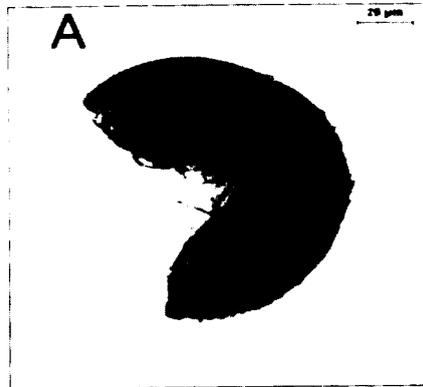


Fig. 3. Azygospore of *Glomus rubiforme*(Gerdemann and Trappe).
A) $\times 400$, Broken spore. B) $\times 200$, Broken spore. C) $\times 1000$,
Partial broken spore.

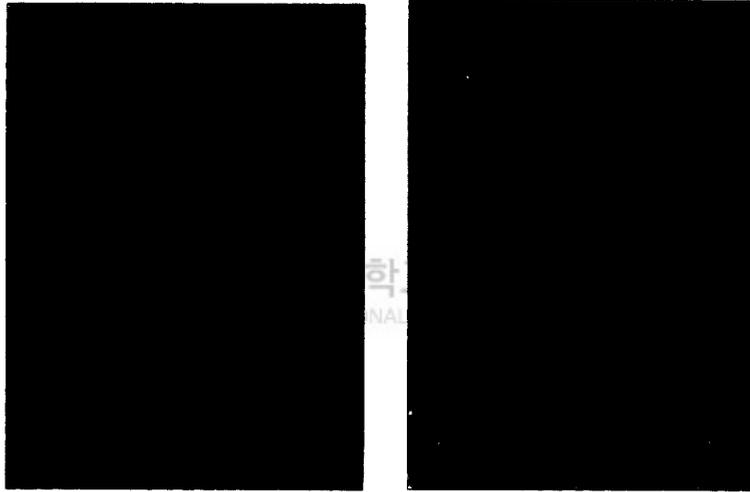
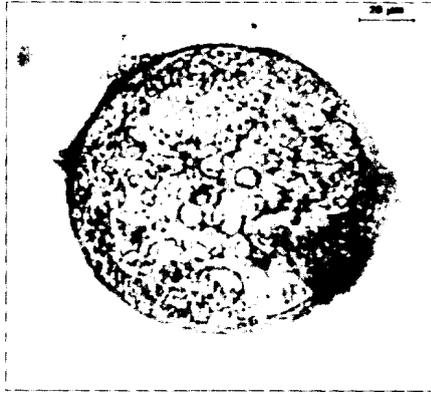


Fig. 4. Azygospore of *Acaulospora* sp.
A) $\times 400$, Whole spore. B) $\times 400$, Whole spore.
C) $\times 1000$, Partial spore.

또한 90~100 μ m 크기이며 해부현미경에서 흑갈색을 띄는 *Acaulospora*속의 포자도 1종이 동정되었는데, 모든 감귤원에서 가장 분포가 높은 포자로서 비접합포자(azygospore)만 단일포자 형태로 관찰되었으며 균사의 말단부(hyphal terminus)는 관찰되지 않았다. 색깔, 형태 및 크기로 보아 *Acaulospora* sp.로 1차 동정하였다(그림 4).

4개의 감귤원에서 채취되어 동정된 VAM 포자는 Shenck와 Perez의 Manual(1988)과 비교시 포자크기에서 차이를 보이는데, 이 실험에서 포자크기의 변이는 환경적인 요인으로 판단되었다.

2. 토양중 포자밀도의 변화

감귤원 토양 100g당 공생균근균 포자수의 시기별 변화를 조사한 결과는 그림 5에 나타났다. 유기농법으로 관리하는 도련과 도순 소재 감귤원에서는 4월에 포자수가 가장 많고 8월과 12월에 적었다. 일반관리를 하는 감귤원중 상귀 소재 감귤원에서는 4월에 가장 많고 8월에 적었지만 12월에 줄어들지 않고 10월 이후 다음해 4월까지 꾸준히 증가하였다. 반면, 서귀포시 소재 감귤원에서는 8월과 12월에 최저치를 나타내는 것은 유기농법으로 관리하는 감귤원에서는와 같은 경향이었지만 2월에 최고치를 보인 후 급격히 감소하였다. 12월과 2월에는 유기농법으로 관리하는 감귤원과 일반관리를 하는 감귤원 사이의 포자수 차이에 일정한 경향이 없었으나 나머지 관찰시기에는 유기농법으로 관리하는 감귤원에서 포자수가 많았다. 영국에서 10월부터 다음해 3월까지 높은 포자밀도를 보이다가 5~7월 사이에 가장 낮은 포자밀도를 나타냈다는 보고(Gemma와 Koske, 1988)가 있는데 이 연구에서 조사한바로는 2월부터 6월까지 포자수가 많았고 8월과 12월에는 포자수가 적었다.

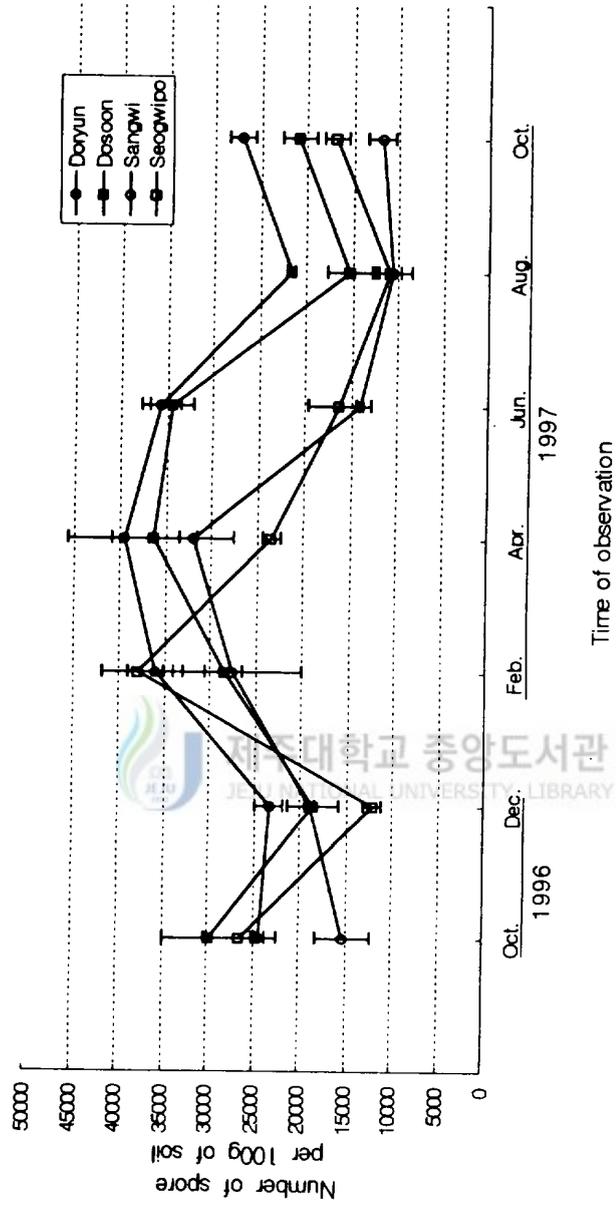


Fig. 5. Seasonal changes in spore density of VAM fungi in soil of 4 Citrus groves. Two groves of Doryun and Dosoon have been organically managed with neither fertilizers nor chemicals, while other two groves regularly managed. Vertical bars indicate standard error.

표 1은 4개 감귤원 토양 100g 당 연평균 포자수를 나타낸 것인데 유기농법으로 관리하는 도련과 도순소재 감귤원에서는 26,000개 이상인데 비하여 일반관리를 하는 상귀와 서귀포소재 감귤원에서는 20,000개 내외였는데 김 등 (1984)이 제주도내 6개지역 감귤원 토양을 조사하여 토양 100g 당 116~456개의 포자수를 보고한 것보다는 훨씬 높은 포자밀도를 관찰할 수 있었다.

유기농재배 감귤원과 일반관리 감귤원과의 차이는 일반관리에서 농약사용에 따른 감소(Graham등, 1986)와 화학비료 시비에 의한 포자증식 감소(李 등, 1994)로 사료된다.

Table 1. Annual mean spore density and infection ratio of VAM fungi in 4 citrus groves

Site	Spore density	Infection ratio
Doryun	29661a ^z	35.14a
Dosoon	26243ab	27.85a
Sangwi	18554b	9.85b
Seogwipo	20541ab	14.85b

^zMean separation in columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

3. VAM균 감염율

그림 6은 시기별 감염율을 조사한 결과이다. 유기농법으로 관리하는 도순과 도련 소재 감귤원의 경우 도순은 96년 10월이 44%로 가장 높고, 도련은 97년 4월이 51%로 가장 높았으나 전반적인 변화추세는 두 감귤원에서 다 같이 10월과 4월에 감염율이 높고 12월과 8월에 낮아 토양중 포자수의 변화와 비슷하였다. 일반관리를 하는 상귀와 서귀포 소재 감귤원에서는 2월에 감염율이 가장 높아 20% 전후였으며 나머지 시기의 변화에는 뚜렷한 경향이 없었으며 변화폭도 유기농법 감귤원에서 보다 작았었다.

뿌리 감염율의 연평균(표 1)을 보면 유기농법의 도련과 도순 감귤원에서는 각각 35, 28%인데 비하여 일반관리의 감귤원에서는 15% 미만으로 비료와 농약 사용이 VAM균 감염을 억제한다고 생각되었다.

포자밀도의 시기별 변화와 감귤뿌리 감염율과의 관계를 알아보기 위하여 상관계수를 구한 결과(표 2), 서귀포 소재 감귤원에서만 $r=0.84$ 로 5% 수준에서 정의 상관성이 인정되었고 나머지 감귤원에서는 상관관계가 인정되지 않았다.

두 군데의 해안 간척지에서 공통으로 자생하는 17종의 식물을 조사한 결과에서 포자밀도와 뿌리 감염율 사이에 정의 상관관계가 인정되었다고 하였으나(고, 1986), 동일 감귤원에서 시기별로 조사한 이 연구에서는 대부분 상관이 인정되지 않았다. 이는 뿌리 감염에 미치는 환경영향과 포자증식에 미치는 환경영향이 다르기 때문이라고 생각된다.

그림 7은 VAM균에 감염된 감귤과 쑥(*Artemisia princeps*)의 뿌리 사진으로서 뿌리세포내에 형성된 vesicles와 내생균사의 모습을 분명히 볼 수 있다.

표 3은 1996년 10월부터 1997년 8월까지 2개월 간격으로 4개의 감귤원에서 채취한 잡초의 뿌리에 대해 VAM균의 감염여부를 조사한 것이다. 7목 11과

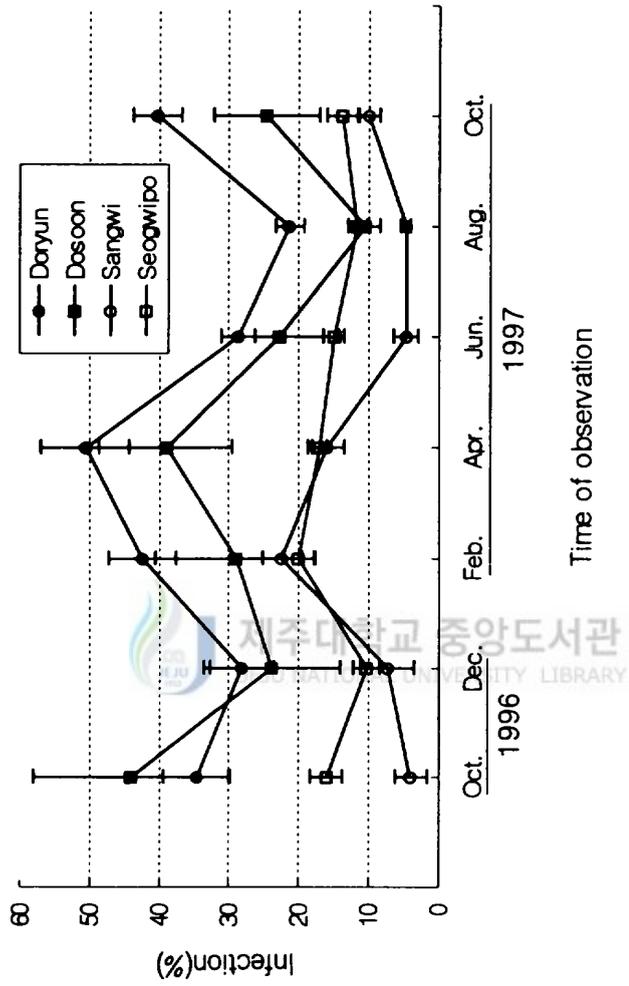


Fig. 6. Seasonal changes in mycorrhizal Infection ratio of citrus roots in 4 Citrus groves.
See Fig. 5 for the explanation of groves and vertical bars.

Table 2. Correlation coefficients between spore density and infection ratio of VAM fungi observed through the year in 4 citrus groves

Site	Correlation coefficients
Doryun	0.50ns
Dosoon	0.46ns
Sangwi	0.1ns
Seogwipo	0.84*

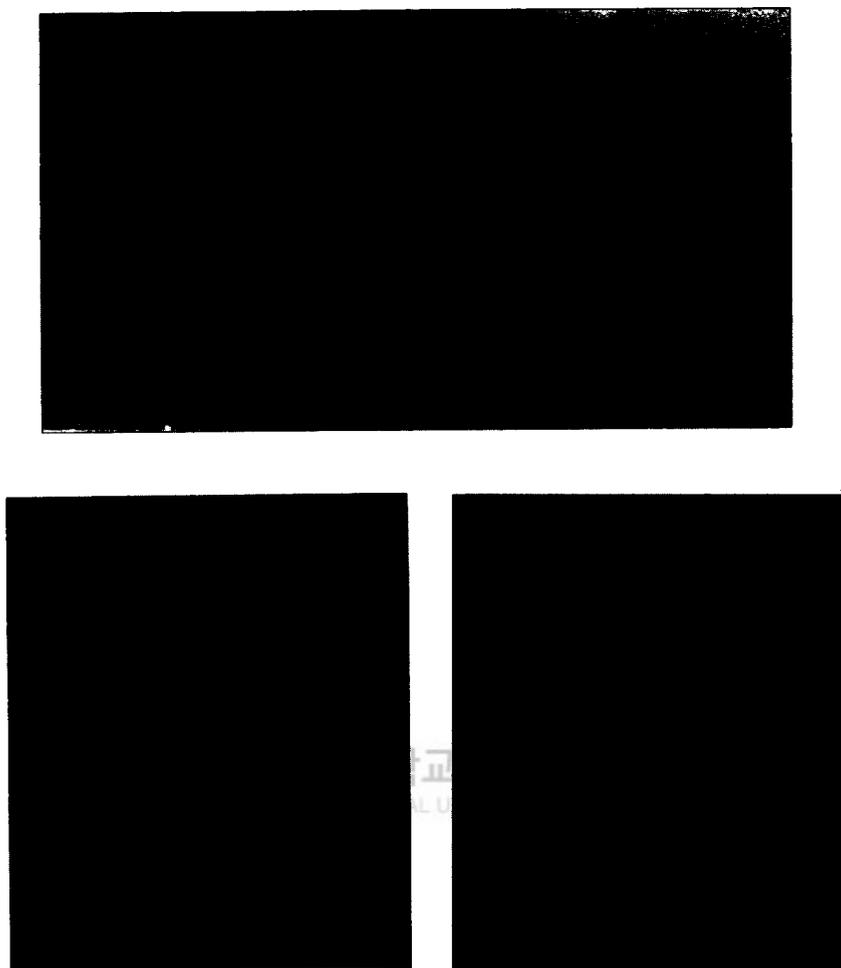


Fig. 7. A) $\times 100$, Citrus root infected with VA-mycorrhizae.
B) $\times 100$, *Artemisia princeps* root infected with VA-mycorrhizae. C) $\times 50$, Observed interal fungal hyphae in *Artemisia princeps*.

*. V : vesicle, H : interal fungal hyphae.

Table 3. Degree of mycorrhizal infection in weed roots

Weed species	Time of observation					
	Oct. 1996	Dec. 1996	Feb. 1997	Apr. 1997	Jun. 1997	Aug 1997
Gramineae (벼과)			<++>			
<i>Poa annua</i> (새 포아풀)			[+]			
<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i> (뚝새풀)		(+)				
<i>Poa sphondylodes</i> (포아풀)		<+>			<->	<->
<i>Digitaria sanguinalis</i> (마랭이)					(+) <->	<+>
Compositae (국화과)			(++)	(++)		(++)
<i>Artemisia princeps</i> (쑥)				<+>		
	(+++)	(++)	(++)	(++)	(++)	
<i>Erigeron annuus</i> (개망초)		(++)	(++)			
<i>Youngia japonica</i> (뽕리뱅이)			(++)			
Labiatae (꿀풀과)						
<i>Mosla punctulata</i> (들깨풀)	(+++)	<->		(+++)		(+)
<i>Lamium amplexicaule</i> (광대나물)	(-)	(-)	(-)			
	[-]	[-]	[-]			
Caryophyllaceae (석죽과)						
<i>Stellaria media</i> (별꽃)	[-]	[-]	(-) (-)	<->		(-) [-] [-]
<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i> (점나도나물)						
				(-)		

Table 3. (being continued)

Weed species	Time of observation					
	Oct. 1996	Dec. 1996	Feb. 1997	Apr. 1997	Jun. 1997	Aug 1997
Liliaceae (백합과) <i>Ophiopogon japonicus</i> (소엽맥문동)	<++>		<+>			
Portulacaceae (쇠비름과) <i>Portulaca oleracea</i> (쇠비름)					(+) [+]	[+++]
Rosaceae (장미과) <i>Duchesnea chrysantha</i> (뱀딸기)	<++>	<->		(+) <+>	<+>	<++>
Leguminosae (콩과) <i>Astragalus sinicus</i> (자운영)			<++>			
Violaceae (제비꽃과) <i>Viola mandshurica</i> (제비꽃)						{+}
Oxalidaceae (괘야뻘과) <i>Oxalic cornicalata</i> (괘야뻘)		<->	<->			
Cyperaceae(사초과) <i>Cyperus amuricus</i> (방동사니)					<-> [++] {++}	<+>

* () , in Doryun; < > , in Dosoon; [] , in Sangwi; { } , in Seogwipo.

* Degree of infection : -, none; +, less than 20%; ++, 20~40%; +++, more than 40%.

16種의 잡초를 채취하여 조사하였다. 사초과(Cyperaceae), 골풀과(Juncaceae), 쐯기풀과(Urticaceae), 명아주과(Chenopodiaceae), 석죽과(Caryophyllaceae), 십자화과(Brassicaceae)의 일부 수종들은 잘 감염되지 않는 것으로 알려져 있는데 (Paul과 Clark, 1989), 이번 조사에서도 석죽과의 별꽃(*Stellaria media*)은 감염이 되지 않은 것으로 확인되었으나 사초과의 방동사니(*Cyperus amuricus*)는 20~40%의 감염율을 보였다. 팽이밥과의 팽이밥(*Oxalis corniculata*)에서는 감염되지 않았다. 가장 높은 감염율을 보인 것은 국화과인 쑥(*Artemisia princeps*), 개망초(*Erigeron annuus*), 뿌리뱅이(*Youngia Japonica*), 콩과인 자운영(*Astragalus sinicus*), 쇠비름과의 쇠비름(*Portulaca oleracea*)으로 전지역에서 고른 감염율을 보였다. 이들 감염율이 높은 잡초를 중심으로 초생재배법의 개발을 검토할 필요가 있다고 생각된다.

4. 감굴원 토양과 잎의 무기성분 함량

토양의 pH와 유기물, N, P, K, Ca의 함량은 4개 감굴원에서 차이가 컸다 (표 4). 도순과 서귀포 감굴원에서 유기물 함량이 많은 것은 다른 감굴원과 달리 화산회토이기 때문이며 다른 성분들의 차이는 시비관리상의 차이에 기인된 것으로 생각된다. 감굴잎의 N, P, K, Mg 함량은 감굴원에 따라 차이가 있었으나 Ca, Zn, Cu의 함량은 감굴원간 차이가 없었다(표 5).

포자밀도와 감염율이 가장 높은 도련의 경우 토양중 유효인산 함량은 가장 낮았으나 (표 4) 엽내 P의 함량이 높게 나타났다(표 5).

Table 4. Chemical properties of soil in 4 citrus groves

Sites	Organic (%)	pH	Mineral contents				
			N(%)	P(mg/l)	K(mg/l)	Mg(mg/l)	Ca(mg/l)
Doryun	8.06c ^z	5.61a	0.18c	0.35c	308.30b	135.53a	496.33ab
Dosoon	21.04b	4.84b	0.44b	372.00b	287.70b	151.03a	400.33bc
Sangwi	7.38c	3.97c	0.20c	1.21c	492.00ab	139.07a	201.33c
Seogwipo	30.68a	5.01b	0.61a	1,101.33a	678.70a	143.47a	700.00a

^zMean separation in columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 5. Mineral contents in the leaf at 4 citrus groves

Sites	Mineral contents						
	N(%)	P(%)	K(mg/l)	Mg(mg/l)	Ca(mg/l)	Zn(mg/l)	Cu(mg/l)
Doryun	2.36b ^z	0.39ab	1040.0ab	0.26b	1.76a	0.01a	0.01a
Dosoon	2.22b	0.34b	606.6b	0.35a	1.18a	0.06a	0.11a
Sangwi	2.92a	0.38b	816.0ab	0.45a	1.55a	0.01a	0.01a
Seogwipo	3.10a	0.48a	1266.7a	0.28b	1.36a	0.04a	0.07a

^zMean separation in columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

이러한 결과는 유효인산의 함량이 낮은 토양에서 VAM 형성율이 높아지며 그에 따라서 식물체중의 인산함량이 증대된다는 기존의 보고(Nielsen과 Safir 1982; Bolan과 Robson 1984)와 일치한다.

뿌리의 VAM균 감염율과 엽내 무기성분함량사이의 상관 계수를 구한 결과 (표6) P는 0.60으로 다른 성분에 비해 크게 나타났으나 유의성이 인정되지 않았고 나머지 원소들은 상관계수가 매우 작았다.

Table 6. Correlation coefficients between contents of various elements in leaf and VAM infection ratio of root or contents in soil observed in 4 citrus groves

Element	with VAM infection	with contents in soil
N	0.60	0.10
P	0.10	0.57
K	0.0008	0.48
Mg	0.42	0.01
Ca	0.18	0.01
Zn	0.01	-
Cu	0.01	-

NS

Shen(1994)은 엽내 K함량이 감염율과는 무관하다고 하였는데 본 실험결과에서도 감염율이 엽내 K함량에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단되어진다. Krikum(1980)은 Ca함량은 비감염된 식물체에서 오히려 높았다고 하였으나 본 실험에서는 유의차가 없었다. VAM이 Zn, Cu의 무기양분 흡수를 촉진한다는 보고(Viyanak 등, 1990)와는 달리 본 실험에서는 그 함량에 별다른 차이를 보이지 않았다(표 5).

기존의 보고와는 달리 이 실험에서 거의 모든 원소가 VAM균 감염율과 관련이 없는 것으로 나타난 것은 토양중 원소의 함량이 감귤원에 따라 차이가 크고(표 4) 흡수조건도 다를 것이며 또 표본수가 작기 때문이라고 생각된다. 원소의 엽내 함량과 VAM균 감염율과의 관계는 같은 조건의 토양에서 평가되어야 할 것이다.



V. 적 요

유기농법으로 관리하는 감귤원과 일반관리를 하는 감귤원 각 2곳씩 총 4곳에서 감귤원 토양내 vesicular-arbuscular(VAM)균 포자를 동정하고 토양내 포자밀도와 온주밀감(탱자대목)과 잡초 뿌리의 VAM균 감염을 변화를 1996년 10월부터 1997년 10월까지 2개월 간격으로 조사하였으며 더불어 조사 감귤원의 토양과 감귤잎을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. VAM균 포자는 *Glomus*속 3종(*G. deserticola*, *G. vesiculiferum*, *G. rubiforme*)과 *Acaulospora*속 1종 (*Acaulospora* sp.)이 동정되었다.
2. VAM균 포자밀도는 토양 100g당 10,000~40,000개의 범위로 조사되었는데, 유기농 감귤원에서 훨씬 높았다. 모든 감귤원에서 12월에 포자밀도가 가장 낮았으나 가장 높은 시기는 유기농 감귤원에서는 4월이었지만 일반관리 감귤원에서는 2월 또는 4월이었다.
3. 감귤뿌리의 VAM균 감염율은 유기농 감귤원에서 연평균 27% 이상이었으며 4월과 10월에 가장 높고 8월에 가장 낮은 반면 일반관리 감귤원에서는 연평균 15% 미만이었으며 2월에 최고치를 보였고 최저치를 보이는 시기는 감귤원과 해에 따라 달랐다.
4. 포자밀도와 감귤뿌리의 VAM균 감염율 사이에는 1곳에서만 정의상관이 인정되었다.

5. 7目 11科 16種의 잡초뿌리를 채취하여 VAM균의 감염율을 조사한 결과 석죽과(Caryophyllaceae)와 팽이밥과(Oxdlidaceae)에서는 감염되지 않았으며, 국화과(Compositae)인 쑥(*Artemisia princeps*), 개망초(*Erigeron annuus*), 뿌리뱅이(*Youngia japonica*), 콩과(Leguminosae)인 자운영(*Astrogalus sinicus*), 쇠비름과(Portulacaceae)의 쇠비름(*Portulaca oleracea*)은 전지역에서 높은 감염율을 보였다.

6. 감귤뿌리의 VAM균 감염율이 가장 높은 감귤원에서 토양중 유효인산함량이 가장 낮았는데도 엽내 P 함량이 가장 높았지만 엽내 무기성분별 함량과 뿌리의 VAM균 감염율 또는 토양중 무기성분별 함량 사이에 상관관계는 인정되지 않았다.

참고문헌

- Bolan, N. S, and A. D. Robson. 1984. Increasing phosphorus supply can increase the infection of plant roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 16(4):419-420.
- Busse, M. D. and J. R. Ellis. 1984. Vesicular-arbuscular mycorrhizal (*Glomus fasciculatum*) influence on soybean drought tolerance in high phosphorus soil. *Can. J. Bot.* 63:2290-2294.
- Copeman. R. H., C. A. Martin, and J. C. Stutz. 1996. Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or nonsaline soils. *HortScience* 31(3):341-344.
- Elmes, R. P. and B. Mosse. 1984. Vesicular-arbuscular endo mycorrhize inoullum production. II. Experiments with maize(*zea mays*) and other hosts in nutrient flow culture. *Can. J. Bot.* 62:1531-1536.
- Frank. A. B. 1887. Uber neue mykorrhiza formen. *Ber. dt. bot. Ges.* 5:395.
N. C. Schenck. (ed.) *Methods principles of mycorrhizal reserve*
Cited from *The American Phytopathological Society*. MN55121. USA.
- Gemma, J. N. and R. E. Koske 1988. Seasonal variation in spore abundance and dormancy of *Gigaspora gigantea* and in mycorrhizal inoculum potential of a dune soil. *Mycologia* 80(2):211-216.
- Gildon, A. and P. B. Tinker. 1983. Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. *New Phytol.* 95:247-261.
- 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., L. W. Timmer and D. Farcelmann. 1986. Toxicity of fungicidal copper in soil to citrus seedlings and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 76:66-70.
- Graham, J. M., J. P. Syvertsen and M. C. Smith. 1987. Water relations of mycorrhizal and phosphorus-fertilized non-mycorrhizal citrus under drought stress. *New Phytol.* 105:411-419.
- Hayman, D. S. 1983. The Physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Can. J. Bot.* 61:944-963.
- Hayman, D. S. and M. Tavares. 1985. Plant growth responses to vesicular mycorrhiza. XV. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. *New Phytol.* 100:367-377.
- 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. Y., H. Shrestha and K. Kadoya. 1993. Effect of vesicular-arbuscular (VA) mycorrhizal fungi on tree growth, fruit development and fruit quality, and water stress of satsuma mandarin trees(in japanese). *Jour. Jap. Soc. Hort. Sci.* 62(sup.1):26-27.
- Jensen, A. 1982. Influence of four vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake and growth in Barley(*Hordeum vulgan*). *New Phytol.* 90: 45-50.

- 가강현. 1991. 식물과 VA-mycorrhizae 간의 숙주 특이성 70pp. 한국교원대학교대학원 석사학위논문.
- 김형욱, 이신찬, 현해남. 1989. 화산회토에서 고정 인산 장해 경감 연구. 농시논문집(산학협동 편). 32:109-115.
- 김형욱, 유장걸, 이신찬. 1984. 제주도 감귤원 토양의 VA-mycorrhizae 분포 및 사상균에 의한 인광석의 용해에 관한 연구. 제주대논문집 17:45-50.
- 고성덕. 1986. 해안간척지에서 Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae(VAM)에 관한 생태적 연구 235pp. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 고성덕, 이철주. 1984. 간척지식물과 관련된 Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal fungi 의 분류와 분포에 관한연구. 한국균학회지 12(4):175-182.
- Kothari, S. K., H. Marschner, and V. Romheld. 1991. Contribution of the VA-mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. Plant and Soil 131:177-185.
- Krikum, J. and Y. Levy. 1980. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on citrus growth and mineral composition. Phytoparasitica 8(3):195-200.
- 이천룡. 1993. 산림환경토양학. p.108. 보성출판사.
- 이경준, 구창덕, 심상영. 1981. 한국의 목본식물의 외생균근에 관한 조사. 한국임학회지 52:50-57.
- 이상선, 엄만흠, 이석구. 1994. 식물뿌리에서 Arbuscular 내생균근 균의 성장에 작용 하는 요인들. 한국균학회지 22(2):160-183.

- 이상선, 류창년. 1992. 식물뿌리에 내생균근공생. 한국균학회지 20(2):126-133.
- Lewis, D. H. 1975. Comparative aspects of the carbon nutrition of mycorrhizas. In F. E. Sander, et al. (ed). Endomycorrhizas. pp.120-148 Academic press, London, New York, San Francisco.
- 齊藤雅典, 上田哲也, 俵谷圭太郎. 1992. VA菌根菌の分類と生理. 日本土壤肥料學會雜誌. 63(1):103-111.
- Menge, J. A. 1983. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. Can. J. Bot. 61:1015-1024.
- Morton, J. B. and G. L. Benny. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi(zygomycetes): A new order, glomales, two new suborders, glomineae and gigasporineae, and two new families, acaulosporaceae and gigasporaceae, with an emendation of glomaceae. Mycotaxon 37:471-491.
- Nelsen, C. E, and G. R. Safir. 1982. Increased drought tolerance of mycorrhiza onion plants caused by improved phosphorus nutrition. Planta 154:407-413.
- Nelson. D. W. and L. E. sommers. 1982. Total C, organic C, and organic matter. 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.
- Nemec, S. and D. Tucker. 1983. Effects of herbicides on endomycorrhizal fungi in Florida citrus(*citrus* spp.) soils. Weed Science 31(4):427-431.
- Olson. S. R. and L. E. Sommers. 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.
- Pacioni, G. and S. Rosa. 1992. Wet-sieving and decanting technique for the extraction of spores of vesicular-arbuscular fungi. p.777 In Norris, J. R. et al. (ed.). Techniques for mycorrhizal research. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Pacovsky, R. S., G. J. Bethlenfalvay, and E. A. Paul. 1986. Comparisons between P-fertilized and mycorrhizal plants. Crop Science 26: 151-156.
- Paul, E. A. and F. E. Clark. 1989. Soil microbiology and biochemistry. 296pp. Academic press, Inc.
- Philips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Brit. Mycol. soc. 55:158-161.
- Pond, E. C., J. A. Meuge, and W. M. Jarrell. 1984. Improved growth of tomato in salinized soil by vesicular-arbuscular mycorrhizal Fungi collected from saline soils. Mycologia 76(1):74-84.
- Rhodes, L. H. and J. W. Gerdemann. 1975. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. New Phytol. 75:555-561.
- Rose, S. L. and C. T. Youngberg. 1981. Tripartite associations in snowbush(*Ceanothus velutinus*): effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on growth, nodulation and nitrogen fixation. Can. J. Bot. 59:34-39.
- Schenck, N. C and Y. Pérez. 1988. Manual for the identification of VA-

mycorrhizal Fungi. 241pp. INVAM.

Schenck, N. C. and V. N. Shroder. 1974. Temperature response of endogone mycorrhiza or soybean roots. *Mycologia* 66:600-625.

Shen L. U., 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* 158:199-228.

Smith, S. E. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol Plant Mol. Biol.* 39:221-224.

손보균, 김광식. 1991. 시설원예작물에서 토착 VA균근균에 관한 연구. *한토비지* 24(4):293-301.

Sreenivasa, M. N. and Bagyaraj, D. J. 1988. Selection of a suitable substrate for mass multiplication of *Glomus fasciculatum*. *Plant and Soil* 109:125-127.

Thomas, G. W. 1982. Exchangeable cations. p. 159-165. In A. L. Page et al(ed.). *Methods of soil analysis. part. 2.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.

Trappe. J. M. 1981. Mycorrhizae and productivity of arid and semiarid rangelands. In *Advauce in food producing systems for arid and semiarsd lards.* Acad. Press. Inc. pp. 581-599.

Trappe, J. M. 1982. Synoptic keys to the genera and species of zygomycetous mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 72:1102-1107.

- Viyanak, K. and D. J. Bagyaraj. 1990. Selection of efficient VA-mycorrhizal fungi for trifoliolate orange. *Biological Agriculture and Horticulture* 6(4):305-311.
- Walker, C. 1983. Taxonomic concepts in the endogonaceae: spore wall characteristics in species descriptions. *Mycotaxon* 18:443-455.
- Yogesh Hari Sherstha, Takaaki Ishii, and Kazuomi Kadoya. 1995. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, photosynthesis, transpiration and the distribution of photosynthates of bearing satsuma mandarin trees. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 64(3):517-525.
- 유장걸, 김형옥, 이신찬. 1985. 인광석의 인산비효증진에 관한 연구-토양중 mycorrhizae포자밀도조사 및 인광석 용해성 사상균의 분리와 배양. *제주대논문집* 20:81-92.



감사의 글

이년간 노력의 결실을 맺었습니다. 수많은 난관도 있었지만 여러분들의 도움에 힘입어 이 논문을 완성하게 되었습니다.

우선 논문이 완성되기까지 아낌없는 지도와 격려를 주신 문두길 지도 교수님께 큰 감사를 올립니다. 바쁘신 와중에도 세심하게 논문을 지도해 주신 한애봉 교수님, 백자준 교수님 감사드립니다. 아울러 평소 가르침을 주시고 이끌어 주신 장전익 교수님, 박용봉 교수님, 소인섭 교수님, 강준 교수님 감사드립니다. 멀리 계시지만 연구에 큰 도움이 되어주신 대구대학교의 정중배 교수님께도 감사드립니다.

대학원 생활동안 선배로서 묵묵히 이끌어 주신 중훈이형, 우택이형, 진보형 고맙구요 실험 중에 많은 도움을 준 봉준과 익진이 고맙다. 힘든 실험 마다 않고 도와준 후배 지용, 승진, 석범, 영철, 성민아 고맙구나. 특히, 지난 2년간 친형제같이 조그만 일도 마다하지 않으며 평생 잊지 못할 도움이 되어준 동혁이와 현우에게 고마움을 전한다.

옆에서 용원애준 선배 진철이형, 석현이형, 혁준이형과 친구 성준, 일우, 상준, 용, 장하, 석관, 수일, 장섭, 경관, 정준, 동환, 지나와 그의 선배님들 감사드립니다. 끝으로 늘 염려해주시고 뒷바라지 해주시고 언제나 힘이 되어주신 아버지, 어머니, 금화이모와 동생 태열이 그리고 연욱이에게 진심으로 감사드립니다.