

석사학위논문

화산회 토양에서 인산 시용 수준이
감귤대목의 생육과 공생균근 형성에
미치는 영향

제주대학교 대학원

원예학과



강 석 범

1998년 12월

화산회 토양에서 인산 시용 수준이
감귤대목의 생육과 공생균근 형성에
미치는 영향

지도교수 문 두 길

강 석 범

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함



강석범의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____
위 원 _____
위 원 _____

제주대학교 대학원

1998년 12월

Influence of Various Levels of Phosphate
Fertilizer on the Growth and Versicular-
Arbuscular Mycorrhizae Formation of Citrus
Rootstocks in Volcanic Ash Soil

Seok-Beom Kang

(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

1998. 12

목 차

Summary	1
I. 서론	3
II. 연구사	5
III. 재료 및 방법	9
1. 식물재료와 접종재료	9
2. 토양처리와 시험구배치	10
3. 생육과 감염율조사	10
4. 토양과 식물체분석	11
IV. 결과 및 고찰	14
1. 중과석 시용수준이 토양의 이화학적 성질에 미친 영향	14
2. 중과석 시용수준이 탱자유묘의 생육과 무기양분 조성에 미친 영향	18
3. 중과석 시용수준이 탱자유묘의 VAM균 감염율과 생육 및 무기양분 조성에 미친 영향	23
V. 적요	29
VI. 참고문헌	30

Summary

In order to determine the optimum level of available P in volcanic ash soil for the infection of vesicular-arbuscular mycorrhizal(VAM) fungi to Citrus root, and to evaluate the effect of VAM infection, trifoliolate orange seedlings were artificially infected with VAM fungi by contact with infected root, and grown for 4 months in pots of black volcanic ash soil applied with 3,000~5,000mg P per 1 Kg of soil by addition of double superphosphate. The growth and inorganic composition of the seedlings were examined.

The results obtained are summarized as follows:

1. Application of 3,000~5,000mg P/Kg soil resulted in 52~184mg available P per 1Kg soil analysed by Bray No. 1 method, which decreased to 27~89mg after 4 months of seedling culture.
2. The maximum plant height, number of leaves, stem diameter, fresh weight, dry weight, and T/R ratio of trifoliolate orange seedling resulted from the application of 4,250~4,500mg P per 1 Kg of soil.
3. The ratio of VAM infection decreased with the increasing levels of P application, resulting in the maximum infection (17%) in control(without P application) and no infection in plots of 4,250mg P or more.
4. VAM infection increased seedling growth and tended to increase contents of P, N, K, Ca, and Mg in plant.

5. Overall low infection ratio in this experiment was supposed to be resulted from the high levels of P application and the deterioration of soil structure by crushing for mixing P and soil.



1. 서 론

제주도의 온주밀감(*Citrus unshiu* Marc.) 생산량은 '97년도 통계(제주농협지역본부, 1998)에 의하면 도내 총 과실생산량(698,712M/T)의 99% (693,200 M/T)를 차지하고 있는데, 이 온주밀감의 대목은 탕자(*Poncirus trifoliata* RAFIN)이다. 탕자는 우리 나라뿐만 아니라 일본, 중국, 나이지리아, 오스트레일리아 등지에서 감귤대목으로 널리 이용되어 오고 있다(Davies와 Albrigo, 1994). 탕자의 원산지는 중국이며 우리 나라에서는 남해안 일대와 제주도에서 반 야생 상태로 생육하고 있는데 약산성의 유기질이 풍부한 토양에서 잘 자란다(한과 권, 1993).

제주도는 화산회토와 비화산회토가 혼재된 지역으로서 5개 목, 11개 아목, 13개 대군과 63개 토양통으로 분류되며, 감귤원 토양은 대부분이 화산회토이다. 제주도의 화산회토는 염기성암인 현무암에서 유래된 화산회를 모재로 하고 있으며 통기성, 투수성, 토양완충력과 같은 물리적 특성이 양호하고, 토양 중 양이온 치환용량(CEC)과 치환성 염기, 유기물 함량도 다른 종류의 토양에 비해 매우 높다(송, 1998). 그러나 토양 중 유기물 함량은 높지만 분해가 어려워 자연비옥도가 낮고 침투성이 과다하여 염기 특히 NH_4^+ , K^+ 등이 용탈 유리되기 쉬우며, Allophane형 점토광물의 특성상 인산과 같은 음이온을 흡착 고정하는 능력이 높아 토양 중 인산함량은 높으나 이용할 수 있는 유효인산함량은 다른 토양에 비해 매우 낮은 것이 특징이다(유 등, 1975; 송, 1998).

그러나 현재 제주도 감귤원 토양은 60년대 이후부터 다량의 비료, 특히 화산회토의 인산흡착능력이 높다는 것을 인식하여 용성인비가 지속적으로 사용됨에 따라 토양 중 유효인산(P_2O_5)함량이 60년대 50mg/kg, 70년대 68mg/kg, 80년대 84mg/kg, 97년대 395mg/kg과 같이 감귤원 토양 중 유효인산 함량이 매우 높아지게 되었다(유와 송, 1984; 제주농진원, 1996).

한편, 제주도내 감귤원에서는 화산회토를 기준으로 시비가 이루어짐에 따라 감귤원 토양 중 유효인산(P_2O_5)함량의 적정기준을 300mg/kg으로 보았을 때(제주농진원, 1995), 화산회토인 지역에서는 적정 유효인산 함량을 유지하는데 반해, 비화산회토인 지역에서는 적정량에 비해 2배 이상 높은 곳도 나타났다. 그리고 과도한 비료사용에 의하여 도내 곳곳에서 특히 비화산회토 지역에서는 지하수의 부영양화, 이상낙엽 현상도 발생되고 있다. 또한 시비량이 증가함에 따라 감귤원 토양은 산성화되어 60년대에는 토양의 pH가 6.3으로 약산성을 띄었던 것이 70년대에는 5.7, 80년대는 5.4였고, 90년대에는 5.0으로 낮아져 강산성을 띄는 토양으로 되었다(제주농진원, 1996). 이렇게 토양의 pH가 낮아짐에 따라 토양 중 유효인산은 Fe, Ca, Al 과 쉽게 결합하여 작물이 이용하기 힘든 불용성 인산의 형태로 변하게 되었다.

따라서, 토양에 존재하는 무기양분의 이용율을 높이는 방안을 강구하여 적은 시비량으로도 높은 생산성을 유지시키는 것이 감귤산업의 지속적인 발전을 위한 선결과제이다. 특히, 인산을 비롯한 무기영양의 흡수를 촉진시키는 것으로 알려진 VAM(vesicular-arbuscular mycorrhizae)균근을 효과적으로 농업에 이용할 수 있다면 토양을 회복시키는 데 많은 보탬이 되리라 생각된다.

본 연구는 유효인산 흡착력이 높은 제주도 화산회토양 감귤원에서 VAM균근을 이용한 시비량 절감기술을 개발하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 화산회토에 인산시용 수준을 달리하여 VAM균 인공접종이 탕자유묘의 감염율, 생육 및 수체내 무기양분 함량에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 연구사

식물과 균의 공생관계를 의미하는 공생균근(mycorrhizae)은 1840년에 Robert Hartig가 소나무의 가는 뿌리에서 처음으로 관찰한 이래 이에 대한 연구가 많이 이루어져 왔는데 공생균근을 형성하는 곰팡이 중 뿌리내에 양분저장 기관인 낭(vesicular)을 형성하는 VAM(vesicular-arbuscular mycorrhizae) 균이 가장 흔한 것으로 알려져 있다(Paul과 Clark, 1989).

VAM균이 식물체에 미치는 이점으로는 P가 결핍된 토양에서 P 흡수(Bolan, 1991b; Vejsadova 등, 1992)를 촉진시키며, 식물체의 생육((Krikun과 Levy, 1980; Calvet 등, 1993; Masturbara 등, 1996)과 내건성(Shrestha, 1996b), 내염성(Ojala 등, 1982)을 증대시키고, 중금속 함량이 높은 토양에서는 Zn, Cd, Mn의 흡수(Brechelt. 1989)를 감소시킨다고 알려져 있다.

한편, 감귤대목을 재배하는 유묘상을 methyl bromide로 토양소독을 하면 몇몇 종류의 감귤대목들의 생육이 통상 위축되었는데 그 원인이 선충 등 유해 토양미생물을 없애기 위한 살균소독이 VAM균도 함께 살균해 버리기 때문이라고 알려지면서 감귤에서 VAM균의 중요성이 인식되었다(Kleinschmidt와 Gerdemann, 1972).

VAM균과 주요 감귤대목과의 공생관계에 대해서는 현재 많은 연구가 보고되고 있다. P함량이 낮은 토양에 VAM균 접종으로 sour orange(*Citrus aurantium* L.)의 생육이 촉진되었고, 엽내 P, Cu 함량이 높아졌으며, N, K, Ca 함량이 낮아졌다고 하였다(Krikun과 Levy, 1980), Menge 등(1982)은 탕자(*Poncirus trifoliata* R_{AFIN})에 VAM균의 일종인 *Glomous faciculatus*를 접종시킴으로써 생육이 증가되고 엽내 P, K, Cu의 농도가 높아졌으며, Mg와 Na의 농도가 감소하였는데, VAM균 의존도는 토양의 pH와 정의 상관관계에 있는 반면, 토양내 P, Zn, Cu, 유기물함량, CEC와는 부의 상관관계가 있었다고 하

였다. 토양 중 인산농도가 낮은 사토에 carrizo citrange와 sour orange를 재배한 실험에서는 감염된 유묘들의 T/R율은 감소되었으나, 수분이 충분한 조건 하에서는 감염된 뿌리의 단위면적당 수리전도도(hydraulic conductivity)는 비감염 식물보다 2배 가까이 높았으며, 감염된 유묘들에서 유의하게 높은 증산율을 나타냈다고 하였다(Graham과 Syvertsen, 1984a). 그러나 Bass(1990)는 *Plantago major* ssp. *pleiosperma*를 이용한 실험에서 VAM균 감염으로 T/R율이 높아졌다고 보고하였다.

VAM균이 온주밀감의 생육에 미치는 영향에 대해서도 많은 연구가 이루어지고 있다. VAM균(*Glomus ambisporum*, *G. fasciculatum*, *G. mosseae*, *Gigaspora ramisporophora*)을 탕자대목의 온주밀감(*Citrus unshiu* MARC.)에 접종시키면 여름의 고온 스트레스 조건하에서 광합성과 증산이 비감염 식물체보다 빨랐고, 엽면적이 넓어졌고, 엽내 인산농도가 높아졌으며, 생육이 왕성하였다고 하였다(Shrestha 등, 1995a). 그리고, 감염된 온주밀감에서는 과실이 커지고, 과즙내 당함량이 증가하며 착색도 잘 되어 품질이 좋아졌고 수분 스트레스에 대한 저항성이 증가됐다고 보고하였다(Shrestha 등, 1996b).

감귤대목의 VAM균 의존도는 대목의 종류에 따라 차이가 있었는데 5종의 감귤대목에 *Glomus intraradices*를 접종하여 인산 농도가 낮은 사토에서 재배한 실험에서, 대목의 VAM균 의존도는 sour orange = cleopatra mandarin > swingle citrumelo > carrizo citrange > 탕자 순으로 낮아졌으며 이들 중 VAM균에 가장 낮은 의존도를 보인 탕자와 carrizo citrange는 sour orange와 cleopatra mandarin 보다 생장이 느리며, 가는 뿌리를 갖고 있었고 엽내 P농도가 높았으나, 균근 의존도가 높은 대목들은 뿌리의 수리전도도, 증산율과 CO₂ 동화율이 높았다고 보고하였다(Graham과 Syvertsen, 1985b).

18종의 VAM균들 중 5종(*G. macrocarpum*, *G. caledonicum*, *G. velum*, *G. monosporum*, *Gigaspora margarita*)이 탕자와 공생적 관계가 좋았으며 이들 균에 감염된 식물체는 엽면적, 초장, 줄기직경, 생체중이 유의하게 증가되고,

수체내 P, Zn, Cu의 농도도 높아 탱자가 접목 가능한 크기로 자라는데 걸리는 기간이 감염되지 않은 것은 18~19개월 소요되는데 반해, 감염된 것은 13~14개월이 소요되어 5~6개월 단축하는 효과를 얻었다고 하였다(Vinayak과 Bagyaraj, 1990).

식물체의 VAM균 감염에 영향을 미치는 요인들에 대해서도 많은 연구결과가 보고되어 있다. VAM균근에 의한 뿌리 감염은 산성 토양보다 알칼리성 토양에서가 낮았다(Treeby, 1992). 소량의 인산처리(20kg/ha)에서는 뿌리의 감염율이 증가하였으나, 다량의 인산처리(100kg/ha)는 감염율을 감소시켰다(Lu 등, 1994). 탱자를 대목으로 한 온주밀감에 활성탄 처리는 VAM균 감염율을 증가시켰으며 이로 인하여 뿌리의 활력과 지상·지하부의 생체중을 증가시켰다고 하였다(Ishii와 Kadoya, 1994). *Capsicum annuum*에서 멸균처리하지 않은 신선한 거름이 멸균처리된 거름보다 VAM균 감염율을 증가시켰으나 유기물 함량이 증가함에 따라 VAM균에 의한 식물체의 생육은 감염되지 않은 식물체보다 감소되었다고 하였다(Brechelt, 1989). 탱자뿌리에서 VAM균 포자발아와 균사의 생장은 0.01~0.1mg/L의 에틸렌 처리에서 촉진되었으나 0.2mg/L에서 균사의 생장이 억제되었고, VAM균 발달은 0.05mg/L에서 뚜렷하게 높아졌으나 1mg/L에서 감소되었으며, 0.05mg/L에서는 수체의 생육이 왕성하고 엽내 P 농도도 높았다고 보고하였다(Ishii 등, 1996).

Antunes와 Cardoso(1990)는 고농도의 인산을 멸균된 사토에 시용했을 때 VAM균(*G. etunicatum*)의 감염여부가 식물체의 생육에 미치는 영향을 규명하기 위하여 각각 수용성인산과 인광석의 농도를 0, 50, 100, 200mg/L 처리한 실험에서, 수용성인산에서는 0과 50mg/L, 인광석은 모든 수준에서 VAM균 감염으로 건물량과 수체내 P, K 함량이 유의하게 증가하였다고 하였다. 그러나, 수용성인산 100mg/L에서는 감염된 식물체의 생육이 비감염 식물체와 비슷하였고, 200mg/L에서는 비감염 식물체보다 유의하게 감소하였으며, 고농도의 인산 수준(Bolan과 Robson, 1984)에서 뿌리 감염과 포자형성이 억제되었다고 하

였다. 또한, 저농도(9-12mg/L)의 인산과 고농도(420mg/L)의 인산처리를 받은 곳에서 재배되는 sour orange에 VAM균(*G. intraradice*) 접종으로, 저농도의 인산처리에서는 접종한 식물체가 비접종된 식물체에 비해 엽내 $^{14}\text{CO}_2$ 흡수는 67%, 총 엽록소 함량은 28%, RuBPCase 효소활성은 42%까지 증가되었으며, 고농도 인산처리에 비해서는 엽내 $^{14}\text{CO}_2$ 흡수와 광합성대사 생성물의 농도가 높아졌다고 하였다(Nemec과 Vu, 1990). Chickpea(*Cicer arietinum* L.)를 이용한 실험에서는 P 처리량이 200mg/800g이내일 때 VAM균 접종에 의하여 지상부의 생육과 P 함량이 유의하게 증가하였으나, 2,000mg/800mg일 때는 감소되었다고 하였다(Hirata 등, 1988).

우리 나라에서는 고와 이(1984)가 간척지 식물에서 VAM균의 분류와 분포에 관해 연구하였고, 이 등(1994)은 화학비료를 사용한 arbuscular 내생균균의 포자증식에 관하여 연구하였다. 또한, 엄과 이(1989)는 산림 및 해안지역에서, 안 등(1992)이 콩과식물 주변의 토양에서 내생균균에 대하여 보고하였고, 이 등(1998)은 제주도 감귤원 토양에서 *Acaulospora bireticulata*, *Glomus deserticola*, *G. geosporum*, *G. vesiculiferum*, *Sclerocystis pachycaulis*와 두종의 *Acaulospora* sp. 공생균균을 동정하였다. 오(1997)는 화산회 토양에서 VAM균균 감염이 탱자유묘의 생육과 수체내 P, Cu, Mg 함량을 증가시켰다고 하였으며, 김(1997)은 제주도 감귤원의 토양에서 *G. deserticola*, *G. vesiculiferum*, *G. rubiforme*, *Acaulospora* sp.의 4종의 VAM균 포자를 동정하고 계절별 포자밀도 변화를 조사하였다. 그러나 제주도 화산회토양에서 인산 시용 수준에 따른 토양 중 유효인산함량과 VAM균균 감염율과의 관계 및 유묘의 생육과 무기성분 함량에 대해서는 아직까지 조사된 적이 없다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 식물재료와 접종재료

탱자종자는 1997년 10월 20일 서귀포시 서홍동에 위치한 과수원에서 열매를 따다가 1개월 정도 후숙 시킨 후 물러진 탱자를 흐르는 물에서 세척하여 종자를 채취하였다. 채취한 종자를 농황산 30%액에 30분 동안 침지했다가 수돗물로 깨끗이 씻어 종자에 묻은 점액질을 제거하여 음건한 다음 냉장 보관했다가 실험에 이용하였다.

버미큘라이트로 채워진 유묘 상자에 2cm 간격으로 파종한 종자들은 1998년 4월 14일부터 5월 24일까지 40일 동안 주간 28℃ 야간 25℃의 유리온실에서 이틀 간격으로 관수하며 육묘시켰다. 정식시 유묘는 본엽 4~5매가 나올 정도로 자란 생육이 고른 것들만 선발하여 시험에 이용하였다.

접종재료는 제주시 도련동에 위치한 유기농 감귤원에서 온주밀감의 대목인 탱자뿌리를 접종당일 채취하여 수돗물로 깨끗이 세척한 후 물기를 제거한 다음 접종재료로 이용할 재료와 감염율을 조사할 재료로 나누었다. 접종재료는 VAM균 감염율이 30~35%인 직경 1mm 이하의 감귤뿌리를 1cm 정도의 길이로 자르고 화분당 2.0g(약 200개 정도의 절편)씩 접종하였다. 직경 15cm, 높이 20cm의 화분에 토양을 2/3정도 채우고 접종재료를 골고루 뿌린 다음 화분당 탱자 2본씩을 심었다.

2. 토양처리와 시험구배치

토양은 서귀포시 토평동에 위치한 제주대학교 아열대농업연구소내의 비경작지 화산회토양을 이용하였다. 고압증기 멸균기로 121℃에서 1시간씩 2회 증기 멸균한 토양을 5일 동안 온실 내에서 잘 건조시켜 5mm 체로 친 후 잘게 부스러뜨렸다. 중과석 사용량은 P 사용량이 토양 1kg당 3,000~5,000mg이 되도록 8수준으로 하였다(표 1참조). 이는 KH_2PO_4 를 이용하여 토양 1kg당 P 10,000~40,000mg을 사용한 예비실험에서 얻은 토양 중 유효인함량(C_1)과 인 사용량(C_0)와의 관계식을 이용하여 토양 중 유효인함량이 0~140mg/kg 되도록 한 것이었다. 중과석에 포함된 Ca 영향을 없애기 위하여 모든 처리에 Ca 사용량이 같도록 중과석 사용량 차이에 의한 Ca 부족분을 탄산칼슘(CaCO_3)으로 공급하였다. 또한 모든 토양에 복비(21-17-17)를 토양 25L당 20g씩 중과석과 함께 사용하였다. 중과석, 탄산칼슘, 복비를 토양과 잘 혼합하여 물을 충분히 주고 48시간 지나서 다시 잘 섞어 물을 충분히 주어 48시간 지나서 화분에 나누어 유묘를 정식하였다. 각 P 사용 수준마다 VAM균 접종처리와 무처리로 나누어 모두 16처리를 처리당 4반복(화분)의 완전임의 배치법으로 시험하였다. 화분은 유리온실에 두어 5일 간격으로 관수하였다. 분석용 토양은 각 처리당 5L씩 취하여 식물체와 똑같이 관수하면서 경시적으로 취하여 풍건한 후 0.2mm 체를 통과시켜 분석에 이용하였다.

3. 생육과 감염을 조사

재식일과 재식 후 4, 8, 12, 16주의 5회에 걸쳐 엽수와 초장을 조사하였고, 16주째(수확일)에는 식물체의 초장, 엽수, 생체중과 건물중, 지상부와 지하부의 T/R율, 줄기직경을 조사하였다. 초장은 식물체가 심겨진 화분의 윗면을 기준

으로 길이를 잴고, 줄기직경은 지면에서 1cm 부위를 잴으며, 생체중은 토양에서 분리한 식물체를 수돗물로 잘 씻어 물기를 제거한 후 무게를 잴고, 건물중은 생체중을 썬 유묘들을 60℃ 건조기에서 4일간 방치 후 무게를 조사하였다.

VAM균 감염율은 식물체의 생체중을 측정하고 난 뿌리를 FAA용액 (formalin 1 : glacial acetic acid 1 : ethanol 1 : v/v/v)에 고정시켰다가 Phillips와 Hayman (1970)의 방법으로 조사하였다. FAA용액 속에 담가 두었던 뿌리를 꺼내어 물로 잘 행군 다음 1cm 길이의 절편으로 절단하여 1개의 식물체 당 50개의 뿌리 절편을 만들었다. Acid fuchsin 염색법에 의해 먼저 절단된 뿌리절편을 시험관속에 넣고 10% KOH를 뿌리가 잠길 정도로 채워 90℃에서 5분간 가열한 후 KOH용액을 버리고 수돗물로 깨끗이 씻었다. 그리고 alkaline H₂O₂(3mL NH₄OH + 30mL 10% H₂O₂ + 567mL 수돗물)를 넣어 3분간 방치하여 탈색시킨 후 수돗물로 깨끗이 씻고 1% HCl 용액에 넣은 다음 HCl 용액을 버리고 acid fuchsin 염색용액을 넣어 90℃에서 10분간 증탕한 후 50분 동안 실온에 방치하였다. 염색된 뿌리시료는 받침유리 위에 올려놓고 덮개유리를 덮고 압착하여 해부현미경(Kyowa, Sel-3)으로 40배에서 관찰하였다. 감염율은 다음 공식에 의하여 계산하였다.

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

4. 토양과 식물체 분석

토양 중의 pH는 100mL 삼각플라스크에 풍건 토양 5g과 증류수 25mL을 넣고 80rpm으로 1시간동안 교반한 후 Orion 520 pH meter로 측정하였다.

유효인함량 측정은 Bray No 1. 법(Oslon과 Sommers, 1982)을 이용하였다. 풍건 토양 2g을 시험관에 넣고 유효인 침출액(460mL 증류수 + 15mL 1N

NH_4F + 25mL 0.5N HCl) 14mL을 가하여 1분간 vortexing한 후 Whatman No 2. 여과지로 여과하였다. 침출된 여액중 2mL를 취하여 증류수 8mL을 가하고 2mL의 발색시약을 넣어 잘 흔들어준 다음 10분에서 20분 사이에 분광광도계(Pharmacia Biotech, Ultrospec 4000)로 620nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 2, 4, 6, 8, 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 가 되도록 조제한 인산표준용액 2mL을 취하여 동일한 시험과정을 거쳐 작성하였다. 발색시약은 250mL 증류수에 12.0g의 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 를 녹인 용액과 증류수 100mL에 0.2908g의 $\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ 를 녹인 용액을 1L의 5N H_2SO_4 용액과 혼합하여 2L로 희석한 다음 희석액 100mL에 L-asciribic acid 0.528g을 녹여 사용하였다.

토양 중 치환성 양이온분석은 풍건 토양 5g을 정량하여 100mL 삼각플라스크에 넣은 다음 침출액(1N NH_4OAC , pH 7.0) 50mL을 가하여 교반기에서 30분간 진탕한 후 Whatman No 2. 여과지로 여과하여 원자흡광 광도계(Philips SP9-800)로 측정하였다(Tomas, 1982).

토양 중 유기물 함량은 Walkley-Black법(Nelson과 Sommers, 1982)으로 분석하였다. 풍건 토양 0.2g을 300mL 삼각 플라스크에 넣고 hood 내에서 1N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 용액 10mL을 가하여 시료와 잘 섞이도록 흔들어 주었다. 그 후 즉시 진한 황산 20mL을 넣고 1분간 서서히 흔들어준 다음 30분간 방치하여 산화반응이 진행되도록 하였다. 30분 후 200mL의 증류수를 넣어 반응을 종결시키고 o-phenanthroline-ferrous 혼합지시약을 7 방울 떨어뜨린 후 0.5N FeSO_4 용액으로 붉은색이 될 때까지 적정하여 유기물 함량을 계산하였다.

토양 중 총질소는 켈달튜브에 풍건 토양 0.5g과 분해촉진제 1알, 진한 황산 7mL을 가하여 2020 Digestion system(Tecator, Sweden)를 이용하여 402 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간동안 분해한 후, Kjeltac Auto 1035/38 Sampler System(Tecator, Sweden)으로 분석하였다.

식물체 분석은 건물중을 측정된 후 지상부와 지하부를 나눠서 분쇄한 시료 0.2g에 농황산 10mL을 넣고 2020 Digestion System으로 400 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30분간 분

해시킨 후 10분간 실온에서 방치한 다음 HClO_4 7mL을 가하고, 재차 200°C 로 20분간 방치하여 분해액이 투명한 물과 같이 될 때까지 분해시켰다. 분해된 시료는 100mL 불 플라스크에서 정량한 후 분석에 이용하였다.

식물체의 무기물(N, K, Ca, Mg) 분석은 토양분석과 같은 방법으로 분석하였다. 식물체내의 인산분석은 Vanadate법(농촌진흥청, 1997)으로 분석하였다. 30mL 시험관 속에 분해된 시료 2mL과 ammonium meta vanadate용액 2mL을 넣고 6mL의 증류수를 넣은 후 vortexing하여 15분이 경과한 다음 분광광도계를 이용하여 470nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준용액은 2, 5, 10, 15, $20\mu\text{g/L}$ 로 조제하여 표준곡선을 만들었다. Ammonium meta vanadate 용액은 25g의 ammonium molybdate, 1.25g의 ammonium meta vanadate, 250mL의 HNO_3 를 혼합하고 증류수를 가하여 1000mL로 하였다.



IV. 결과 및 고찰

1. 중과석 시용수준이 토양의 이화학적 성질에 미친 영향

중과석 시용수준에 따른 토양 중 유효인함량의 예상치와 실측치는 표 1에 나타냈다. KH_2PO_4 를 이용하여 P 시용량(C_0)과 토양 중 유효인함량(C_1) 사이에 $C_1 = -359 + 0.0901C_0$ 의 관계식을 얻은 예비실험 결과를 근거로 토양 중 유효인함량이 0~140mg/kg 되도록 중과석 시용수준을 결정했었으나 실측치는 예상치 보다 43~87mg/kg 높아 최고 183.5mg/kg이나 되었으며, 중과석을 이용한 P 시용량(C_0)과 토양 중 유효인함량(C_1) 사이에는 $C_1 = -134 + 0.0615C_0$ ($r^2 = 0.96^{**}$)의 관계식으로 설명되었다.

Table 1. Expected and observed value of the P content in soil as affected by various levels of double superphosphate

P applied C_0 , (mg/kg)	Ca(H_2PO_4) ₂ · H ₂ O (g/25L)	CaCO ₃ (g/25L)	P contents(mg/kg)		
			Expected P(A)	Observed P(B)	B - A
0	0	162	0	0.87	+0.87
3000	244	65	0	51.92	+51.92
3500	285	52	0	85.82	+85.82
3750	305	40	13.6	100.78	+87.18
4000	325	33	38.4	100.40	+62.00
4250	346	24	63.2	129.40	+66.20
4500	366	16	88.0	131.32	+43.32
5000	407	0	137.7	183.52	+45.82

Table 2. Changes in chemical composition of soil as affected by various levels of double superphosphate during the experiment

Date of analysis	P applied ^z (mg/kg)	pH	Mineral content					
			O.M (%)	Total N(%)	P	K	Ca	Mg
					(mg/kg)			
At the beginning	0	6.81	22.6	0.67	0.87	198.0	1213	40.8
	3000	6.18	22.2	0.63	51.92	207.3	1363	50.7
	3500	6.04	21.4	0.62	85.82	204.7	1547	52.4
	3750	5.98	22.7	0.78	100.78	215.7	1643	52.9
	4000	5.97	22.7	0.63	100.40	199.0	1453	47.7
	4250	5.91	21.5	0.62	129.40	190.0	1570	50.7
	4500	5.95	21.4	0.65	131.32	191.7	1520	48.8
	5000	5.87	22.9	0.64	183.52	195.3	1537	51.3
At the end	0	5.69	23.1	0.64	0.44	264.0	1177	65.2
	3000	5.76	22.9	0.61	26.06	282.0	1067	56.9
	3500	5.41	23.1	0.64	34.65	271.0	1343	73.7
	3750	5.42	24.0	0.67	53.85	268.3	1380	67.7
	4000	5.24	23.9	0.64	67.60	264.7	1493	70.1
	4250	5.38	23.1	0.63	78.94	240.0	1690	67.1
	4500	5.33	22.7	0.61	85.10	241.7	1807	68.9
	5000	5.30	22.4	0.61	111.86	282.0	2563	67.7

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

재식일과 수확일의 재배토양을 분석한 결과는 표 2에 나타내었다. pH와 P 함량은 시험기간 감소하였고(후술), 그 외의 성분 변화에는 뚜렷한 경향이 없었다.

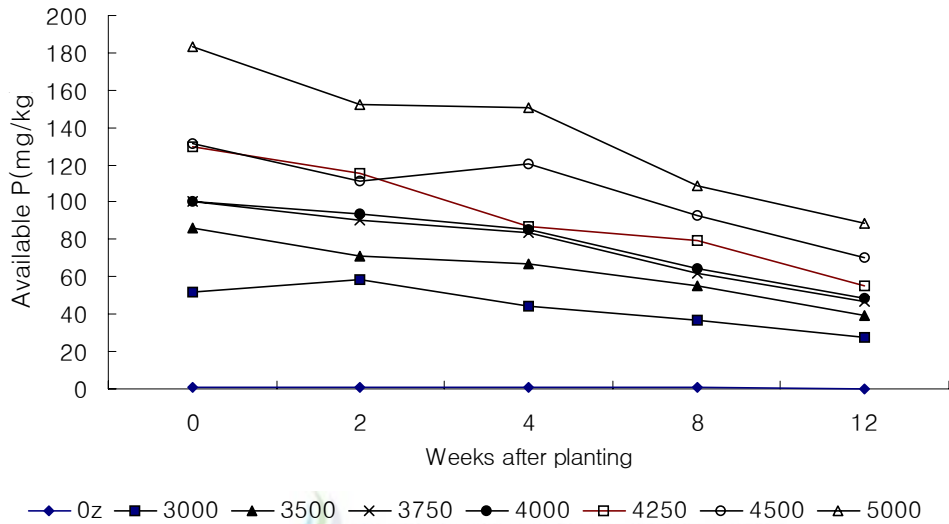


Fig. 1. Changes in available P contents in volcanic ash soil as affected by various levels of double superphosphate.

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

시험기간 중 토양의 유효인함량은 모든 처리에서 꾸준히 감소하였는데(그림 1) 처음 P 함량이 높았던 처리에서 감소 속도가 빨라 중과석 시용구의 처음 유효인 함량은 51.9 ~ 183.5mg/kg 범위였는데 시험 종료시점에서는 27.3 ~ 88.5mg/kg 범위로 시용수준간 차이가 감소되었다.

Table 3. Changes in pH of volcanic ash soil as affected by various levels of double superphosphate

P applied ^z (mg/kg)	Weeks after planting					
	0	2	4	8	12	16
0	6.81	6.10	5.63	5.62	5.77	5.69
3000	6.18	5.64	5.84	5.36	5.33	5.76
3500	6.04	5.60	5.65	5.23	5.36	5.41
3750	5.98	5.52	5.66	5.50	5.35	5.42
4000	5.67	5.49	5.49	5.51	5.34	5.24
4250	5.91	5.56	5.50	5.30	5.41	5.38
4500	5.95	5.41	5.55	5.40	5.35	5.33
5000	5.87	5.39	5.47	5.37	5.25	5.30

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

본 실험에 이용했던 토양의 중과석 첨가전 pH는 5.30이었는데 대조구 토양의 pH가 6.81로 높고 5,000mg/kg의 P를 중과석으로 시용한 구의 pH가 5.87로 중과석 시용량이 많을수록 토양 pH가 낮아졌다(표 3). 이는 중과석 시용에 따른 Ca 첨가량의 차이를 없애기 위하여 중과석 시용량이 적은구에는 CaCO₃ 시용량을 많게 하였기 때문이라고 판단된다. 시험기간 중 모든 처리에서 pH가 서서히 내려가 시험이 끝나는 시점에서는 5.69 ~ 5.30 범위로 되었다.

2. 중과석 시용수준이 탕자유묘의 생육과 무기양분 조성에 미치는 영향

중과석 시용수준에 따른 탕자유묘의 초장을 일정한 간격으로 조사한 결과 (그림 2), 재식일에서 1개월째까지는 처리간에 차이가 없었는데 재식 후 2개월째부터 처리효과가 나타나기 시작하였다. 재식후 3개월째의 초장은 무처리 (0mg/kg)에서 11.4cm 였는데 비하여 4,500mg/kg P 시용구에서 22.8cm로 가장 길었다. 5,000mg/kg의 P 시용구의 초장은 18.6cm로 4,250mg/kg P 시용구에서 보다는 짧아 초장의 신장에 가장 좋은 P 시용수준은 4,250~4,500mg/kg 범위내에 있을 것으로 추정되었다.

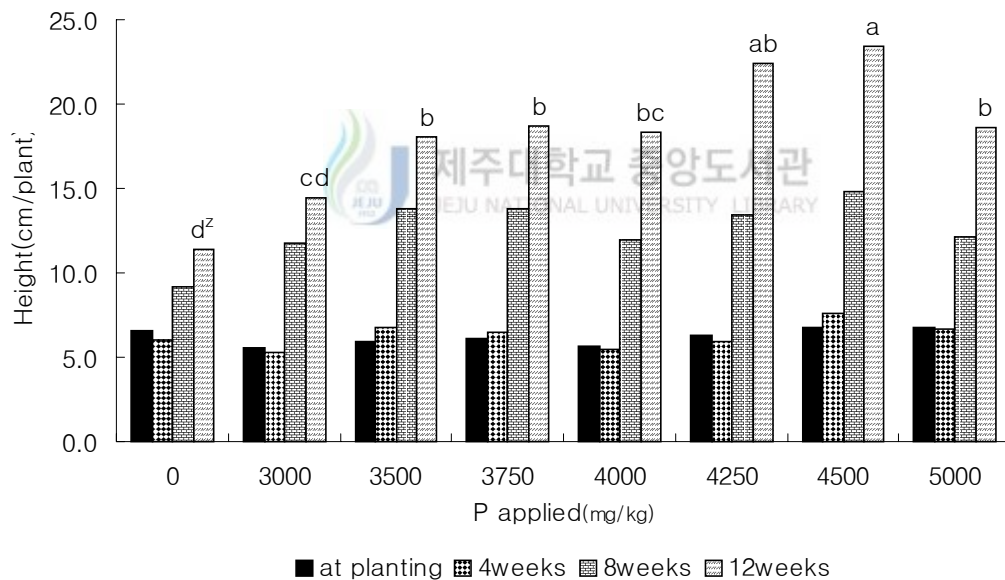


Fig. 2. Increase in plant height of *Poncirus trifoliata* as affected by various levels of double superphosphate in volcanic ash soil.
^zMean separation of the height 12weeks after planting by Duncan's multiple range test at 5% level.

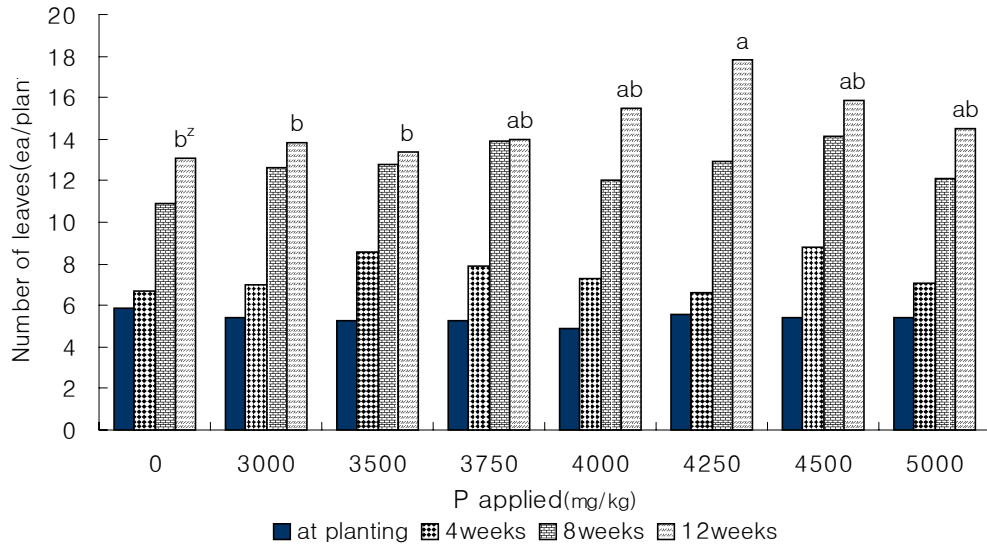


Fig. 3. Increase in the number of leaves of *Poncirus trifoliata* as affected by various levels of double superphosphate in volcanic ash soil.

^zMean separation of the number of leaves 12weeks after planting by Duncan's multiple range test at 5% level.

엽수에 미친 P 시용수준의 영향(그림 3)은 초장에서 만큼 뚜렷하지는 않았지만 4,250mg/kg P 시용구에서 최고치를 보여, 초장이 가장 길 것으로 추정되는 P 시용수준에서 엽수도 가장 많을 것으로 생각되었다. 줄기의 직경(그림 4)과 생체중(그림 5)은 P 시용에 의해 유의하게 증가되었지만 시용수준 간에는 유의차가 없었다. P 시용수준에 따른 건물량의 반응(그림 6)은 초장과 같은 경향을 보여 건물중이 최고치로 될 수 있는 P 시용수준은 4,250~4,500 mg/kg 사이에 있다고 추정되었다. 유묘의 지상부와 지하부 생체중으로 계산한 T/R율(그림 7)은 P 시용수준 3,750mg/kg 이상에서 증가되었으며 초장과 건물중이 최고치를 보였던 4,500mg/kg P 시용구에서 가장 높았다.

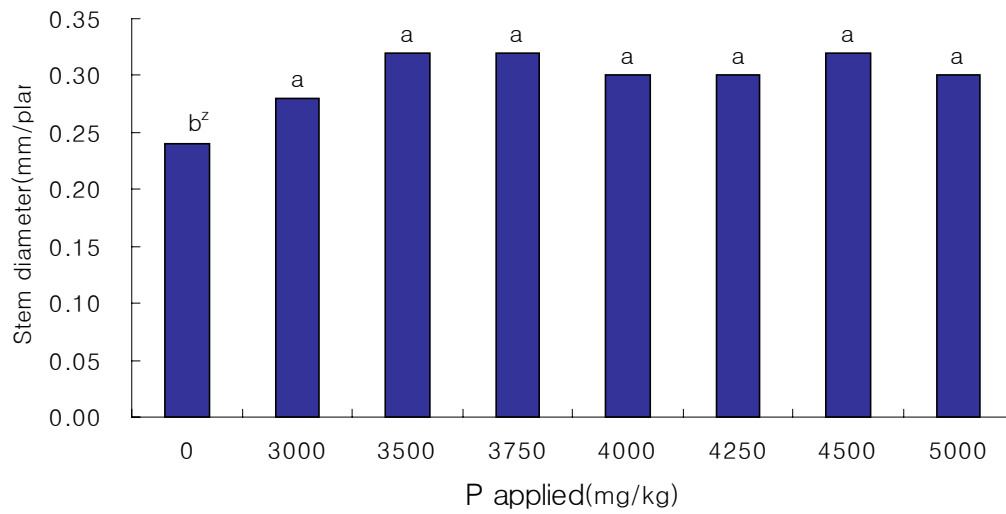


Fig. 4. Stem diameter of *Poncirus trifoliata* as affected by various levels of double superphosphate in volcanic ash soil.

^zMean separation by Duncan's multiple range test at 5% level.

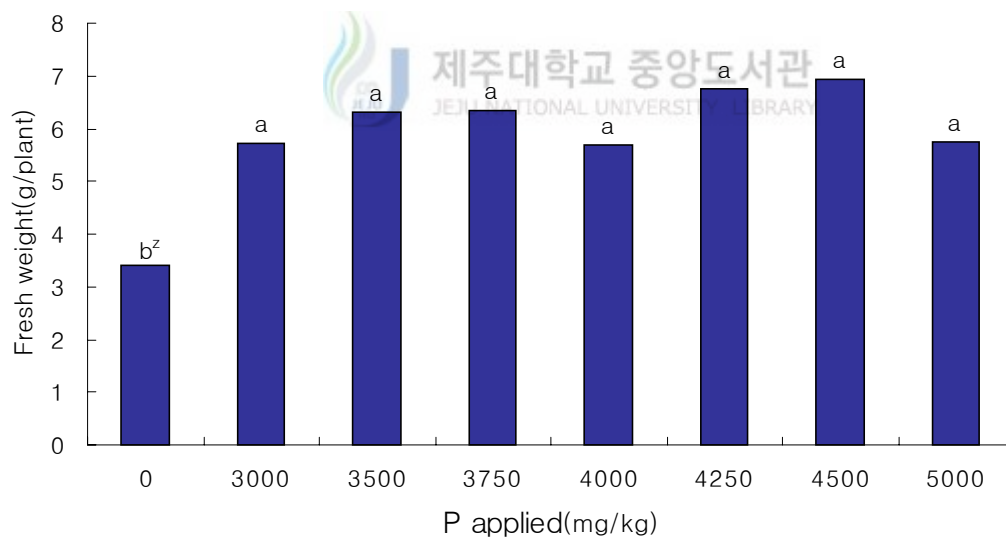


Fig. 5. Total fresh weight of *Poncirus trifoliata* as affected by various levels of double superphosphate in volcanic ash soil.

^zMean separation by Duncan's multiple range test at 5% level.

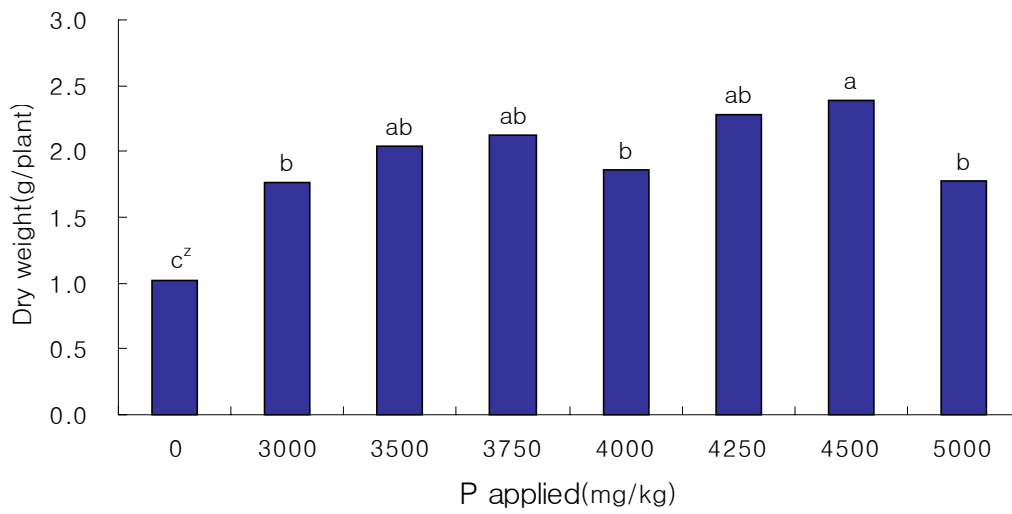


Fig. 6. Total dry weight of *Poncirus trifoliata* as affected by various levels of double superphosphate in volcanic ash soil.

^zMean separation by Duncan's multiple range test at 5% level.



Fig. 7. T/R ratio of *Poncirus trifoliata* as affected by various levels of double superphosphate in volcanic ash soil.

^zMean separation by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 4. Effect of various levels of double superphosphate on inorganic composition of *Poncirus trifoliata* in volcanic ash soil

P applied ^z (mg/kg)	Inorganic composition				
	N	P	K	Ca	Mg
	(%)	(mg/kg)			
0	2.34 ^{cy}	2036 ^d	9669 ^a	14956 ^b	1269 ^a
3000	2.45 ^{bc}	2951 ^c	8847 ^a	21427 ^a	1167 ^b
3500	2.57 ^{bc}	3144 ^{bc}	9569 ^a	19672 ^a	1128 ^{bc}
3750	2.57 ^{bc}	3382 ^{abc}	9416 ^a	18578 ^{ab}	1039 ^{cd}
4000	2.34 ^c	3593 ^{ab}	9306 ^a	20363 ^a	997 ^d
4250	2.38 ^c	3787 ^a	8622 ^a	18047 ^{ab}	1013 ^d
4500	2.96 ^a	3523 ^{ab}	8850 ^a	18788 ^{ab}	980 ^d
5000	2.68 ^b	3681 ^a	8941 ^a	17628 ^{ab}	1044 ^{cd}

^zSee Table 1 for the explanation of P level.

^yMean separation by Duncan's multiple range test at 5% level

P 사용수준이 탕자유묘의 무기물 조성에 미친 영향을 분석한 결과는 표 4와 같다. N 함량은 P 시용에 의해 증가되는 경향이었으며 P 함량은 4,000 mg/kg 이상의 P시용구에서 무시용구의 1.7배 이상으로 높았다. K와 Ca 함량은 일정한 경향이 없었으며 Mg 함량은 P 시용량이 증가될수록 감소되는 경향이였다.

3. 중과석 시용수준이 탱자유묘의 VAM균 감염율과 생육 및 무기양분 조성에 미친 영향

공시된 포트 중 VAM균에 감염된 포트의 비율은 P 시용량이 증가될수록 감소되어 4,250mg/kg 이상의 P 시용구에서는 전혀 감염되지 않았으며(표 5), 비록 감염된 포트라고 할지라도 감염율은 매우 낮았다.

Table 5. Effect of P levels added on percent pots of *Poncirus trifoliata* seedlings infected by VAM

P applied ^z	0	3,000	3,500	3,750	4,000	4,250	4,500	5,000
%	75	75	75	25	50	0	0	0

^zSee Table 1 for the explanation of treatments.

그림 8은 중과석 처리 후 3개월째의 토양 중 유효인 함량에 대한 탱자유묘의 뿌리내 VAM균 감염율의 회귀관계를 분석한 결과이다. 무처리(0mg/kg)에서는 토양 중 유효인 함량이 1.0mg/kg 안팎으로 인산결핍 상태였으며 이때 감염율이 17%로 가장 높았다. 그리고 토양 중 유효인 함량이 높아짐에 따라 감염율이 급격히 감소하였는데 토양 중 유효인 함량이 50mg/kg 이상부터는 감염이 전혀 이루어지지 않았다.

소량의 인산시비는 공생균근의 형성을 도와주지만 과량의 인산시비는 오히려 공생균근의 형성을 억제한다는 것은 클로버(Bolan과 Robson, 1984a), Chickpea(Hirata 등, 1988), 수수(이와 류, 1992), 옥수수(Lu 등, 1994) 등에서 알려져 있으며, 감귤에서도 토양종류에 따라 적당한 인산농도를 유지해줄 때 VAM형성이 많은 것으로 보고되어 있다(Habate 와 Fox, 1993). 그러나 본 시험의 가장 낮은 P 시용수준에서 Bray No. 1 법으로 분석한 토양 중 유효인 함량이 식물체 재식일에 52mg/kg으로 높았기 때문에 P시용구는 모두 대조구

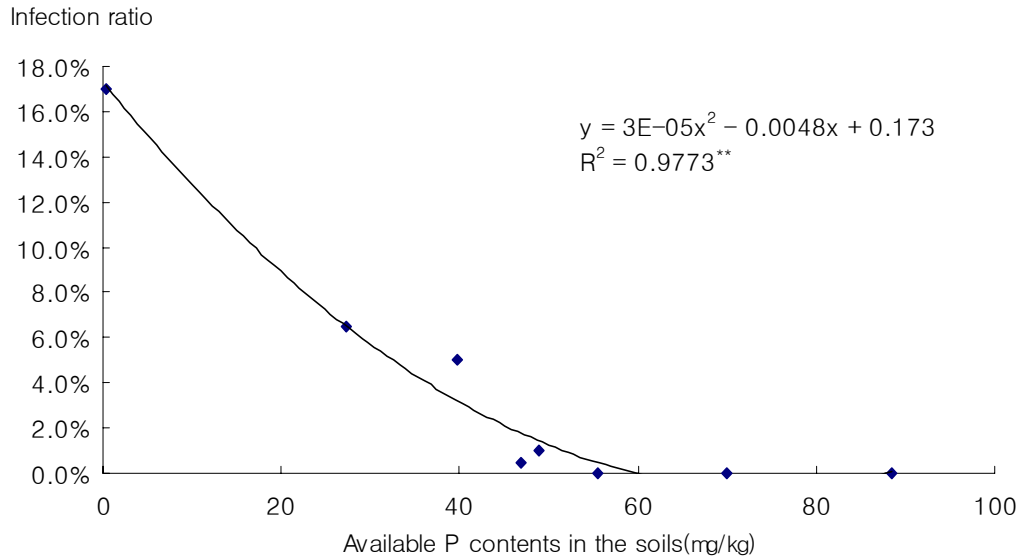


Fig. 8. Regression of available P contents in the soil on the mycorrhizal infection ratio of *Poncirus trifoliata* root.

보다 감염율이 나빠졌다고 생각된다. 따라서 P 시용수준을 낮추어 토양 중 유효인 함량을 0~50mg/kg 범위로 조절하여 VAM형성율을 조사해 볼 필요가 있다고 본다.

VAM균 감염율이 36%로 높았던 풋트의 탱자유묘의 생장은 쉽게 구별될 수 있을 정도로 좋았다(그림 9). 표 6은 감염되지 않은 유묘와 감염된 유묘의 성장량을 비교한 결과인데 감염된 유묘는 주간직경, 초장 및 엽수가 증가되었으며, 특히 생체중과 건물중은 2배 이상 무거워졌다. T/R율도 VAM균 감염으로 높아졌다. 이러한 결과는 기존의 보고(Vinayak와 Bagyaraj, 1990; 오, 1997)와 일치하였다.

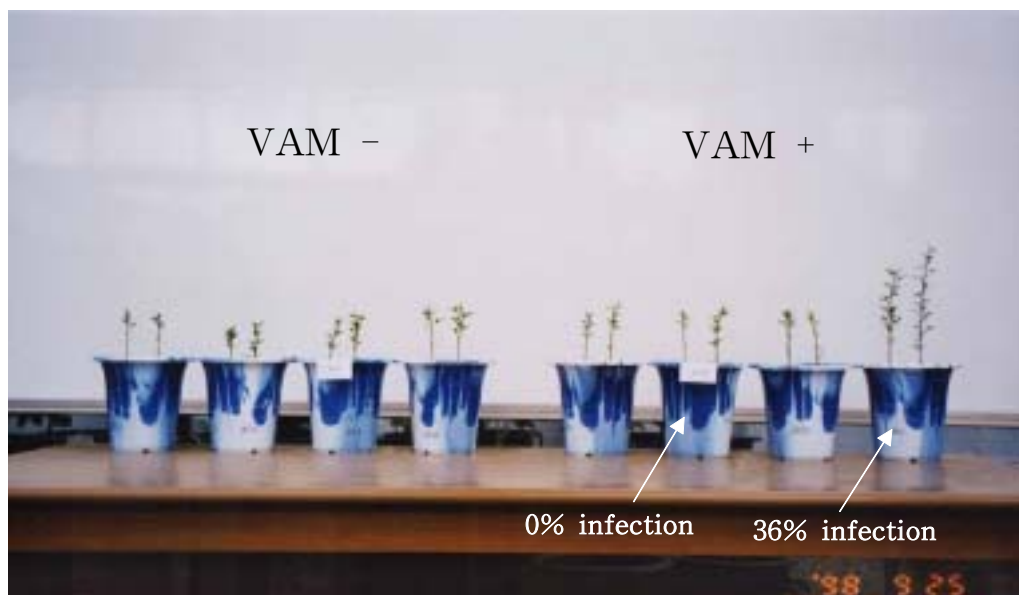


Fig. 9. Photograph showing the growth of *Poncirus trifoliata* as affected by VAM infection in volcanic ash soil.

Table 6. Effect of VAM infection on the growth of *Poncirus trifoliata* in volcanic ash soil

Infection ratio(%)	Plant growth					
	Stem diameter (mm)	Height (cm)	No. of leaves	Fresh weight(g)	Dry weight(g)	T/R ratio
0	2.15	14.7	43	1.52	0.483	0.89
36	3.20	25.7	64	3.48	1.402	1.21
Difference	1.05	11.0	21	1.96	0.919	0.32

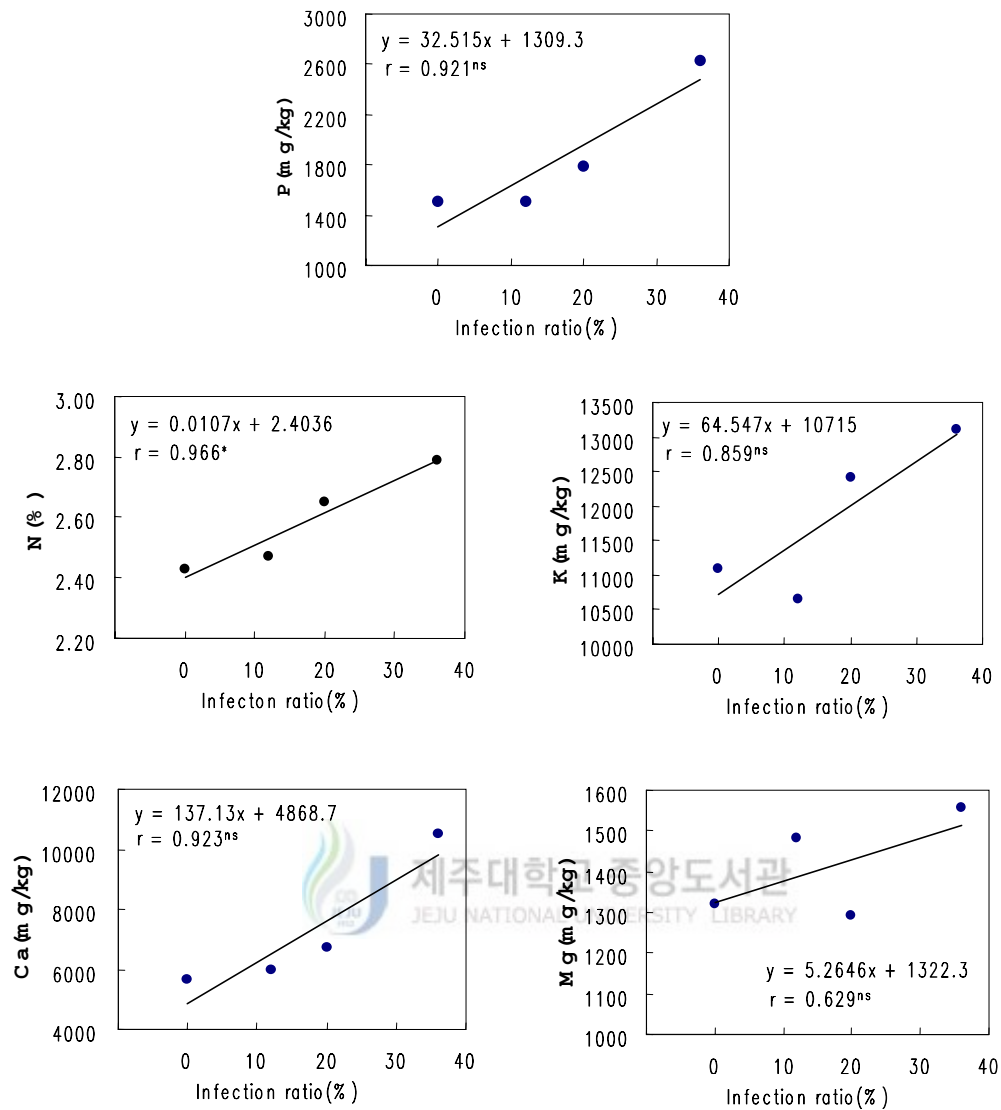


Fig. 10. Regression of contents of nutrients in shoot tissue on the ratio of VAM infection in *Poncirus trifoliata*.

그림 10은 탕자유묘 지상부의 무기양분 함량과 VAM균 감염율과의 관계를 나타낸 것이다. P, N, K, Ca, Mg 함량 모두 감염율이 증가됨에 따라 높아지는 경향이였다. 5% 수준에서 정의상관이 인정된 것은 N 함량뿐이었으며, P와 Ca 함량은 결정계수(r^2)가 0.8 이상이였지만 관측치수가 적어 무의하게 나타났다.

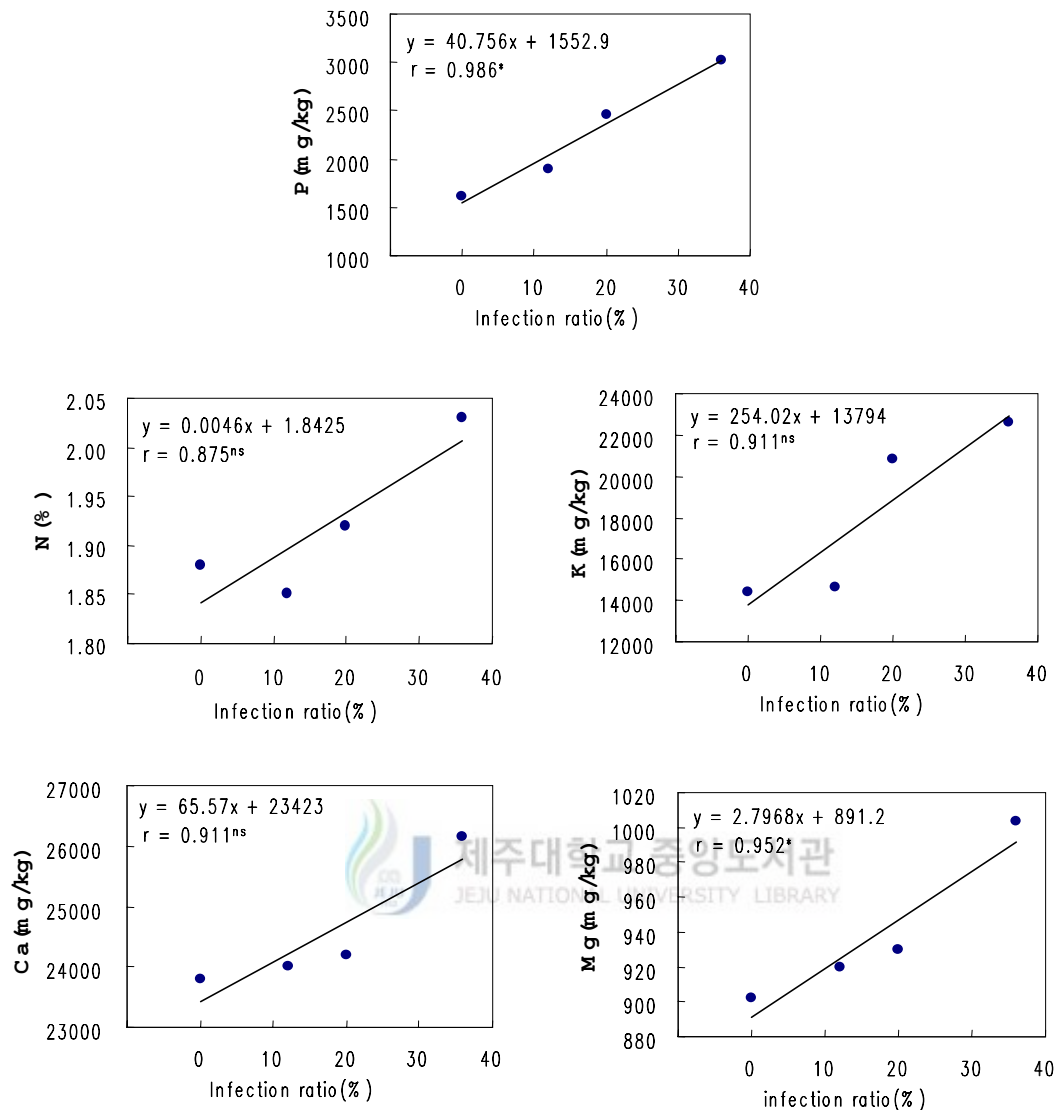


Fig. 11. Regression of contents of nutrients in root tissue on the ratio of VAM infection in *Poncirus trifoliata*.

뿌리의 무기양분 함량과 VAM균 감염율과의 관계(그림 11)에서도 분석한 모든 성분은 감염율이 증가함에 따라 높아지는 경향이었으며 P와 Mg의 함량은 5% 수준에서 정의상관이 인정되었다. K와 Ca 성분은 유의성이 인정되지 않았지만 결정계수(r^2)가 0.8 이상이였다.

VAM균 감염이 감귤류의 P흡수를 증가시킨다는 보고는 많다(Krikun과 Levy, 1980; Menge 등, 1982; Antunes와 Cardoso, 1991; Vinayak와 Bagyaraj, 1990; 오, 1997). 그러나 N흡수에 미치는 VAM균 감염효과는 억제(Krikun과 Levy, 1980), 영향없음(Hartmand 등, 1987; Peng 등, 1993), 증진(Heggo와 Angle, 1990; 오, 1997) 등으로 보고자에 따라 다르다. K흡수도 VAM균 감염에 의하여 감소(Krikun과 Levy, 1980)된다는 보고와 증가(Menge 등, 1982; Antunes와 Cardoso, 1991)된다는 보고가 있으며, Ca흡수는 감소되는 것으로 알려져 있다(Krikun과 Levy, 1980; 오, 1997). VAM균 감염이 Mg 흡수에 미치는 영향도 증진(오, 1997)과 억제(Menge 등, 1982)로 상반되게 보고되어 있다. 즉 P를 제외한 다른 양분들의 흡수에 미치는 VAM균 감염의 효과는 보고자에 따라 다르다.

이 연구에서 전반적으로 VAM균 감염율이 낮아 VAM 감염이 탱자유묘의 생육이나 무기양분 함량에 미치는 영향을 충분히 평가할 수 없었다. 감염율이 낮은 이유는 중과석 시용량이 너무 많아 유묘 재식시 Bray No. 1 방법으로 분석한 토양 중 유효인 함량이 50mg/kg 이상으로 높았으며(표 1), 또한 유효인 함량 조절을 위해 토양을 완전히 분쇄한 결과 입단구조가 파괴되어 토양 물리성이 나빠졌기 때문이라고 추정된다. 따라서 화산회토양에서 VAM감염을 증가시키는 토양 중 유효인 함량을 구명하고 또 VAM 감염이 탱자유묘의 생육에 미치는 영향을 객관성 있게 평가하기 위해서는 P 시용수준을 낮추고 토양물리성을 악화시키지 않는 방법을 찾아 시험을 수행하며 반복수를 늘려야 할 것으로 판단된다.

V. 적 요

제주도 감귤원 토양에서 vesicular-arbuscular mycorrhizal(VAM)균 감염에 알맞은 토양 중 유효인 함량을 찾아내고 VAM균 감염효과를 알아보기 위하여 흑색화산회토에 중과석으로 인 시용수준을 달리한 토양을 화분용토로 하고 VAM균을 인공접종 시킨 후 탱자유묘의 감염율과 생육 및 수체내 무기양분 함량을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 토양 1kg당 3,000~5,000mg의 P를 중과석으로 시용한 결과 Bray No. 1법으로 분석한 토양 중 유효인 함량은 52~184mg/kg 이었으며, 4개월간 탱자유묘를 생육시킨 후에는 27~89mg/kg으로 낮아졌다.
2. 4,250~4,500mg/kg의 P 시용구에서 탱자유묘의 초장, 엽수, 주간직경, 생체중, 건물중, T/R율 등이 최고치를 보였다.
3. VAM균 감염율은 P 무시용구에서 가장 좋았으며, P 시용량이 많을수록 낮아져 4,250mg/kg 이상의 P 시용구에서는 전혀 감염되지 않았다.
4. VAM균 감염율이 높을수록 유묘의 생육은 좋아지는 경향이었으며 식물체내 P, N, K, Ca, Mg 함량이 높아지는 경향이였다.
5. 모든 처리에서 전반적으로 VAM균 감염율이 낮았는데 이는 P 시용량이 너무 많았고 토양처리 과정에서 토양의 물리적 성질을 악화시켰기 때문이라고 생각되었다.

VI. 참고문헌

- 안태근, 이민웅, 이상선. 1992. 콩과식물 주변 토양의 내생균근균에 관한 생태학적 연구. 한국균학회지 20(3):204-215.
- Antunes, V. and E. J. B. N. Cardoso. 1991. Growth and nutrient status of citrus plant as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. Plant and Soil 131:11-19.
- Baas, R. 1990. Effects of *Glomus fasciculatum* and isolated rhizosphere microorganisms on growth and phosphate uptake of *Plantago major* ssp. *pleiosperma*. Plant nutrition-physiology and application pp:153-159.
- Berchelt, V. 1989. Effect of different organic manures on the efficiency of VA mycorrhiza. Agriculture, Ecosystems and Environment 29:55-58.
- Bolan, N. S. and A. D. Robson. 1984a. Increasing phosphorus supply can increase the infection of plant root by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Biol. Biochem. 16(4):419-420.
- Bolan, N. S. 1991b. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant and soil pp:189-207.
- Calvet, C., J. Pera. and J. M. Barea. 1993. Growth response of marigold(*Tagetes erecta* L.) to inoculation with *Glomus mosseae*, *Trichoderma aureoviride* and *Pythium ultimum* in a peat-perlite mixture. 1993. Plant and soil 148:1-6.
- 제주농협지역본부. 1998. '97년산 감귤유통처리 실태분석. p17, 19, 60.

제주도농촌진흥원. 1995. 제주농업시험연구보고서. pp:471-473.

제주도농촌진흥원. 1996. 제주농업시험연구보고서. pp:452-458.

Davies, F. S. and L. G. Albrigo. 1994. Citrus. Redwood Books pp: 94-96.

엄안흠, 이상선. 1989. 산림 및 해안지역에서 발견된 내생균근. 한국균학회지 17(1):14-20.

Graham, J. H. and J. P. Syvertsen. 1984a. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the hydraulic conductivity of roots of two citrus rootstocks. *New Phytol.* 97:277-284.

Graham, J. H. and J. P. Syvertsen. 1985b. Host determinants of mycorrhizal dependency of citrus rootstock seedlings. *New Phytol.* 101:667-676.

한해룡, 권오균. 1991. 감귤원예신서. 선진문화사. pp: 237-240.

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.

Hartmond, U., N. V. Schaesberg., J. H. Graham. and J. P. Syvertsen. 1987. Salinity and flooding stress effects on mycorrhizal and nonmycorrhizal citrus rootstock seedlings. *New Phytol.* 105:37-43

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.

Hirata, H., T. Masunaga. and H. Koiwa. 1987. Response of chickpea crown on ando-soil to vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in relation to

the level of phosphorus application. *Soil Sci. Plant Nutr.* 34(3):441-449.

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

Ishii, T., Y. H. Shrestha., I. Matsumoto. and K. Kadoya. 1996. Effect of ethylene on the growth of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and on the mycorrhizal formation of trifoliata orange roots. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65(3):525-529.

고성덕, 이형환. 1984. 간척지 식물과 관련된 vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi의 분류와 분포에 관한 연구. *한국균학회지* 12(4):175-181.

김상엽. 1997. 제주도 감귤원의 Vesicular-arbuscular mycorrhizae(VAM)에 관한 연구. 석사학위논문.

Kleinschmidt, G. D. and J. W. Gerdeman, 1972. Stunting of citrus seedlings in fumigated nursery soils related to absence of endomycorrhizae. *Phytopathology* 62:1447-1453.

Krikun, J. and Y. Levy. 1980. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza on citrus growth and mineral composition. *Phytoparasitica* 8(3):195-200.

이상선, 류창선. 1992. 식물뿌리에 내생균근의 공생. *한국균학회지* 20(2):126-133.

이상선, 엄안흠, 이석구. 1994. 화학비료를 사용한 arbuscular 내생균근균의 포자증식에 관한 연구. *한국균학회지* 22(2):172-183.

이용세, 정종배, 문두길. 1998. 제주도 감귤원 토양에서 분리한 공생균근균의 동정. *한국균학회지* 26(1):97-102.

- Lu, H., 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.
- Matsubara, Y., T. Karikomi., M. Ikuta., H. 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.
- 농촌진흥청. 1997. 작물재배생리의 이론과 실험. 농업과학기술도서(2). pp:571-573.
- Nelsen, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total C, organic C, and organic matter. In A. L. Page et al, (ed) *Methods of soil analysis. Part. 2.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA. pp:403-430
- Nemec, S. and J. C. V. Vu. 1990. Effect of soil phosphorus and *Glomus intraradices* on growth, nonstructural carbohydrates, and photosynthetic activity of *Citrus aurantium*. *Plant and Soil* 128: 257-263.
- 오현우. 1997. Vesicular-arbuscular mycorrhizal가 탕자 유묘의 생육과 무기양분 조성에 미치는 영향. 석사학위논문.
- Ojala, J. C., W. M. Jarrell., J. A. Menge. and E. L. V. Johnson. 1982. Influence of mycorrhizal fungi on the mineral nutrition and yield of onion in saline soil. *Agronomy Journal* 75:255-259.

- Olson, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. In A. L. page et al.(ed). methods of soil analysis. part. 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison. WI. USA. pp:403-430.
- Pacovsky, R. S., G. J. Bethlenfalvay. and E. A. Paul. 1986. Comparisons Between P-Fertilized and mycorrhizal plants. crop Sci. 26:151-156.
- Paul, E. A. and F. E. Clark. 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic press, Inc. pp:291-323.
- 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.
- Phillips, J. M, and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. mycol. soc. 55(1):158-161
- 송관철. 1998. 친환경농업기술강좌교재. 제주도농업기술원 · 흙살리기운동추진본부 pp:3-39
- Shrestha, Y. H., T. Ishii. and K. Kadoya. 1995a. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on the growth photosynthate bearing satsuma mandarin trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 64(3):517-525.
- Shrestha, Y. H., T. Ishii., I. Matsumoto. and K. Kadoya. 1996b. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on satsuma mandarin the growth and water stress tolerance and fruit development and quality. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 64(4):801-807.

- Thomas, G. W. 1982. Exchangeable cations. In A. L. Page et al(ed). Method of soil analysis. part. 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA. pp:159-165.
- Treeby, M. T. 1992. The role of mycorrhizal fungi and non-mycorrhizal micro-organisms in iron nutrition of citrus. Soil. Biol. Biochem. 24(9):857-864.
- 유인수, 유순호, 윤정조. 1975. 제주도 전 토양의 비옥도 현황과 개량. 한국토양비료학회지 8(3):121-132.
- 유순호, 송관철. 1984. 제주도 토양의 화학적 특성 조사연구 II. 경작년대에 따른 감귤원 토양의 화학적 특성 변화. 한국토양비료학회지 17(2):161-166.
- Vejsadová, H., D. Siblíková., H. Hršelová. and V. Vančura. 1992. Effect of the VAM fungus *Glomus* sp. on the growth and yield of soybean inoculated with *Bradyrhizobium japonicum*. 1992. Plant and Soil 140:121-125.
- Vinayak, K. and D. J. Bagyaraj. 1990. Vesicular-arbuscular mycorrhizae screened for troyer citrange. Soil Fertil. Soil 9:311-314.