

한국환경농학회지 제16권 제2호(1997)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 16, No. 2, pp. 181~186

제주 감귤원에서 Arbuscular-Mycorrhizae 형성과 감귤 잎 중의 무기양분 조성[†]

정종배 · 문두길¹⁾ · 한해룡¹⁾ · 임한철²⁾

대구대학교 농화학과, ¹⁾제주대학교 원예학과, ²⁾제주감귤연구소

Arbuscular-Mycorrhizae Formation and Nutrient Status of Citrus Plants in Cheju

Jong-Bae Chung, Doo-Khil Moon¹⁾, Hae-Ryong Han¹⁾ and Han-Cheol Lim²⁾(Dept. of Agricultural Chemistry, Taegu University, Kyungsan, 713-714 ; ¹⁾Dept. of Horticulture, Cheju National University, Cheju, 690-756 ; ²⁾Cheju Citrus Research Institute, Namwon, Cheju, 699-805)

Abstract : Since volcanic ash soils in Cheju island have high capacities of adsorption and immobilization of phosphate, a relatively high rate of P application has been recommended in citrus orchards for many years and such a large amount of P application could be problematic both in agricultural and environmental point of view. The objective of this study was to test whether arbuscular-mycorrhizae can be used to improve P availability in Cheju citrus orchard soils. Soil, root and leaf samples were taken from 14 citrus orchards of different location and soil texture. Mycorrhizal spore distribution in the soils, mycorrhizal infection ratio on the citrus roots, and mineral nutrients in leaf samples were determined. Numbers of mycorrhizal spore were in the range of 9,000~40,000/100g soil. The population level was not correlated with any of the soil characteristics examined. Mycorrhizae were found in all of the examined orchards and root infection ratio varied between 14~60%. The mycorrhizae infection ratio differed substantially in different soils. Although root infection was high at soils with low extractable P level, it was not significantly correlated with other soil factors measured. Since a positive correlation was observed between leaf P concentration and root infection, enhancement of P uptake seemed to be associated with mycorrhizal infection. These results indicate that mycorrhizae could be a useful method to reduce P applications in Cheju citrus orchards.

서 론

Mycorrhizae는 식물과 곰팡이의 공생관계의 1종으로 자연 조건하에서 거의 대부분의 육관속 식물(vascular plants) 뿌리에서 형성된다.

여러 형태의 mycorrhizae가 존재하나 일반작물에서 발견되는 형태로는 Endogonaceae과에 속하는 곰팡이 균사가 뿌리의 피질세포 내로 광범위하게 침투하여 자라게 되며 뿌리 조직 내에서 vesicle과 arbuscule을 형성하는 arbuscular-mycorrhizae(이하 mycorrhizae)이다. Mycorrhizae가 식물의 성장을 촉진시켜 주는 효과는 주로 영양소 특히 인의 흡수를 증대시켜 주기 때문이며 많은 연구 결과에서 이러한 사실이 증명되고 있다^{1,2)}. Mycorrhizae균사는 토양 중으로 자라나가 결국 식물 뿌리의 흡수 표면적을 확대시켜 주는 결과가 되므로 수분, 질소, 인 등의 무기 영양소를 흡수하여 공생하고 있는 식물에 공급해 줄 수 있다³⁻⁶⁾. 특히 인의 경우 토양 중 용해도가 낮으므로 유효인의 함량이 낮거나 인의

고정이 심한 토양 등에서 식물에 인의 결핍이 초래되기 쉽다. 곰팡이는 phosphatase나 유기산을 생성하여 토양중의 불용성 인을 가용화시켜며 유기태 인의 무기화를 촉진하여 식물이 흡수 이용할 수 있게 하므로 mycorrhizae는 척박한 토양이나 인의 고정이 심한 토양에서 식물의 인 흡수를 증대시켜 줄 수 있다. Mycorrhizae가 형성된 식물의 경우 흡수된 인 중의 50~75%가 mycorrhizae균사에 의해 흡수된다는 연구 결과들이 mycorrhizae인 흡수 증진 효과를 잘 설명해 주고 있다^{7,8)}.

다량의 화학비료 사용은 토양을 황폐화시킬 뿐 아니라 지표수의 부영양화나 지하수의 오염을 초래하게 된다. 따라서 환경 친화형 영농체계의 구축은 우리 농업이 직면한 중요 과제이며, 가능하면 적은 양의 비료 사용으로 최대/최적의 수확을 거둘 수 있게 하는 것이 오늘날과 같은 환경 보전이 긴요한 시대 상황에 부합하는 것이다. 제주도 면적의 74%를 차지하고 있는 화산회토는 인산을 고정, 흡착하는 능력이 대단히 커서 다량의 용성인비의 사용이 권장되어 왔으며 그

[†] 본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비(농업과학)의 지원으로 수행되었음.

• 연락처자 : 정 종배(경북 경산시 진량면 대구대학교 자연자원대학 농화학과, 712-714. 전화 : 053-850-6755, Fax : 053-850-6709)

결과 토양 중의 인 함량은 계속 증가되어왔다. 제주도 토양에서 발생하는 이러한 인의 고정 문제를 해결하기 위하여 토양미생물의 이용 가능성에 대한 연구는 그 동안 수차례 시도되었으나^{9,10)} 아직 효과적인 대책이 없는 실정이다. Mycorrhizae를 적절히 이용할 수 있다면 화산회토에서 발생하는 인의 고정현상으로 야기되는 과량의 인 시용을 줄일 수 있고 따라서 미량원소의 결핍 현상이나 유실되는 인으로 인해 일어날 수 있는 환경문제의 해결에 또한 기여할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 제주도 감귤원 토양 중의 mycorrhizae포자의 밀도 분포와 감귤 뿌리에서의 mycorrhizae형성율을 조사하였고 이들과 감귤원 토양의 이화학적 성질이나 감귤 수체 무기영양 조성 및 과실 품질과의 관계를 조사하여 제주도 감귤원에서의 mycorrhizae의 이용 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

제주도 일원 14개소의 감귤원에서 감귤 뿌리를 포함한 토양 시료를 95년 10월 18일에 수집하였다. 표면의 이물질을 제거한 후 뿌리 자람이 왕성한 위치에서 5~15cm 깊이의 토양을 채취하였다. 뿌리와 Mycorrhizae 포자밀도 측정용 토양은 습윤 상태로 비닐 봉투에 넣어 4°C 이하에서 보관하였으며 나머지 토양은 풍건한 후 2mm 체를 통과시켜 분석 시료로 사용하였다. pH는 1:5 토양-H₂O 현탁액 중에서 초자전극으로 측정하였고, 유기물은 0.5mm 체를 통과하도록 토양을 분쇄하여 Walkley-Black 방법으로¹¹⁾, 그리고 총 질소는 Kjeldahl 법으로 측정하였다. 유효태 인은 Bray No. 1 법으로 추출하였고 총 인은 황산으로 분해하였으며 추출 및 분해액으로부터 인의 정량은 vanadomolybdate 법으로 발색시킨 후 spectrophotometry(Hewlett Packard 8452A)로 하였다¹²⁾. 치환성 양이온(K, Ca, Mg, Na)은 1M ammonium acetate(pH 7.0)로 추출하여 atomic absorption spectrophotometry(Varian SpectrAA-10 Plus)로 측정하였다¹³⁾.

토양 중의 mycorrhizae 포자의 밀도는 습윤 상태로 비닐 봉투에 넣어 4°C 이하에서 보관한 토양 시료를 사용하여 wet-sieving and decanting방법으로 포자를 분리한 후 실체현미경 하에서 포자 수를 세어 건조 토양 100g당 포자 개수로 표시하였다¹⁴⁾.

감귤나무 뿌리의 mycorrhizae형성을 조사는 직경 1mm 이하의 뿌리를 골라 10% KOH 용액으로 씻은 후 acid fuchsin으로 염색하여¹⁵⁾, 1cm 길이로 자른 100개의 뿌리 조각에 대해 실체현미경으로 fungal hyphae, vesicle, arbuscule 등의 존재 여부를 확인하여 이들이 존재하는 부분은 mycorrhizae가 형성된 것으로 간주하고 다음 식으로 mycorrhizae형성율을 계산하였다.

형성율(%)=

$$(\text{형성된 뿌리 길이} / \text{총 관찰된 뿌리 길이}) \times 100$$

토양 시료 채취와 함께 감귤 잎 시료를 채취하였으며 60°C drying oven에서 건조시킨 후 분쇄하여 분석 시료로 사용하였다. 총 질소는 Kjeldahl 방법으로 분석하였으며, 시료를 Ternary solution으로 분해하여¹⁶⁾, 분해액 중의 인은 vanadomolybdate법으로 발색시킨 후 spectrophotometry(Hewlett Packard 8452A)로 정량하였으며 그리고 K, Ca, Mg 함량은 atomic absorption spectrophotometry(Varian SpectrAA-200)로 측정하였다. 감귤원 당 20개의 과실을 채취하여 과즙을 짜고 간이글절당도계로 당도를 측정하였으며 산도는 0.1M NaOH로 중화 적정하여 구연산의 함량으로 환산하였다.

결과 및 고찰

토양 성질

토양 성질 분석 결과는 표 1에 나타내었다.

pH는 4.3~5.9의 범위에 있었으며 많은 감귤원의 토양 pH가 5.0 이하로 산성화되어 감귤나무 생육적정 pH (5.5~6.5) 범위를 벗어나 있었다¹⁷⁾.

Table 1. Some chemical properties of soils sampled from Cheju citrus orchards.

Orchard (Location)	Soil Series	pH	Org. C Bray P		Ex. Cations, cmol/kg				Total Total	
			%	mg/kg	Ca	Mg	K	Na	N %	P %
Topyong	Namwon	4.9	10.1	350	1.4	0.6	2.6	0.4	0.55	0.81
Bomok	Weemee	4.6	10.9	1151	4.2	0.8	1.4	0.3	0.97	1.72
Kangjung	Yonghung	4.9	8.4	1080	3.8	0.5	1.1	0.3	0.77	1.08
Workkwang	Gujwa	5.2	3.3	1102	2.0	0.7	1.5	0.3	0.27	0.66
Sinsoo	Donghung	4.6	2.5	671	1.6	0.6	1.2	0.3	0.20	0.24
Odung	Yonghung	4.7	4.0	576	1.6	0.5	1.1	0.3	0.33	0.36
Doryun	Cheju	5.4	1.6	385	2.2	1.1	2.8	0.3	0.12	0.26
Susan	Namwon	5.0	8.4	86	1.5	0.7	1.5	0.3	0.49	0.52
Hansan	Kimyung	5.0	7.6	670	2.8	0.9	3.0	0.3	0.58	0.91
Weemee	Ora	4.3	9.4	635	3.8	0.9	2.3	0.4	0.65	0.94
Sinye 1	Ora	4.5	17.0	698	5.1	0.8	1.5	0.4	0.92	1.09
Sinye 2	Halim	5.1	8.1	153	3.1	0.8	2.6	0.3	0.39	0.49
Sanghyo	Halim	4.9	13.8	194	1.8	0.7	1.5	0.3	0.77	0.53
Haye	Ora	5.9	9.9	29	5.3	1.1	1.6	0.3	0.54	0.40

유기물은 탄소 함량으로 2~17%의 범위로 일반 경작지 토양에 비해 높은 경향이었고 특히 유기농 감귤원에서 높았다. 총질소 함량은 0.1~1.0%로 대부분 적절한 수준인 것으로 보인다. 유효태 인은 일부 인을 처리하지 않은 시험 포장에서는 낮으나 대개 100~1000mg/kg의 범위였고, 총 인의 함량은 0.2~1.7%로 조사되어 인 함량이 본토 경작지 토양에 비해 높은 것으로 나타났다. 특히 Bray No. 1법으로 추출된 유효태 인의 함량이 일부 감귤원 토양에서 1000 mg/kg 이상으로 매우 높은 이유는 인을 함유한 복합비료의 추비 사용과 토양시료 채취 시기가 비슷하였기 때문인 것으로 추정된다. 치환성 양이온들의 함량은 비교적 감귤나무 생육에 적절한 범위였다.

토양조사의 결과에서 나타난 비교적 높은 인의 함량은 제주 지역에서 다년간 관행으로 이루어지고 있는 높은 수준의 인 비료의 투입 결과로 보이며 토양 중의 불용태 인의 함량이 높으므로 mycorrhizae를 이용함으로써 불용태 인의 이용율을 높임과 동시에 인 시비량을 경감시킬 수 있는 환경친화형 감귤원 관리 모형의 개발 여지가 충분히 있을 것으로 생각된다.

토양 중 mycorrhizae 포자 밀도

조사된 모든 감귤원 토양 중에서 4종 이상의 mycorrhizae 곰팡이 포자가 분리되었으며 1차 동정결과 Glomus속 3종(*G. deserticola*, *G. vesiculiferum*, *G. rubiforme*)과 *Acaulospora* 속의 1종이 확인되었다¹⁸⁾. 포자의 밀도는 건조 토양 100g당 9,000~40,000개의 범위로 조사되었다(표 2). 감귤원별로 약간의 차이는 있었으나 *Acaulospora*속의 1종이 가장 많이 존재하였으며 *G. vesiculiferum*의 밀도는 매우 낮았다. 조사된 포자 밀도는 유 등¹⁰⁾이 제주도 토양에서 보고한 토양 100g당 500~1,000개의 포자에 비하면 훨씬 높으며 외국에서 조사된 밀도보다도 높은 경향이였다¹⁹⁾.

Table 2. Mycorrhizae infection in citrus roots and mycorrhizal spore density in soils of Cheju citrus orchards.

Orchard (Location)	Mycorrhizae infection %	Spore density spores/100g dry soil
Topyong	57.9	9080
Bomok	26.5	24036
Kangjung	16.9	27922
Worlkwang	25.9	33240
Sinsoo	21.5	25876
Odung	59.2	9275
Doryun	30.9	18863
Susan	42.9	9542
Hansan	34.6	17447
Weemee	36.7	29702
Sinye 1	14.2	9410
Sinye 2	30.1	13382
Sanghyo	21.1	41298
Haye	48.4	17095

일반적으로 토양 중 유효태 인 함량이 부족할수록 mycorrhizae형성이 많아지고 따라서 토양 중 포자의 밀도도 증가하는 것으로 알려져 있으며¹⁾, Menge 등²⁰⁾은 California 감귤원 토양에서 mycorrhizae포자 밀도는 유효태 인 함량과 유기물 함량과 부의 상관관계, pH 와 Na과는 정의 상관관계, 그리고 염도, 토성, K, Ca, Mg, NO₃ 등과는 일정한 상관관계를 갖지 않는 것으로 보고하였다. 제주 감귤원에서의 mycorrhizae포자 밀도는 토양 중의 인 함량이나 기타 다른 성질과 일정한 상관관계는 보이지 않았다. 이러한 결과는 다른 여러 연구에서도 보고되었으며^{19,21)}, 뿌리로 부터의 유기물의 공급, 제초제 등 농약의 영향, 기후 조건 등이 또한 mycorrhizae형성에 복합적으로 영향을 미치기 때문이다.

토양 중의 인 함량만이 mycorrhizae형성을 좌우하는 조건이 아닐 수 있으며 따라서 포자밀도 또한 토양 중의 인 함량과 상관관계를 갖지 않을 수도 있는 것이다. 제주 감귤원에서는 1년중 3차례 정도 시비를 하게되므로 년중 토양 중 가용성 인 함량의 변화가 많으며 수령에 따른 시비량의 차이, 화산회토와 비화산회토에서의 유효태 인 함량의 차이 등의 변수가 또한 토양 중의 포자 밀도 분포에 영향을 미치게 될 것이다. 본 연구 결과에서 나타난 비교적 높은 포자밀도는 감귤나무에서의 mycorrhizae형성에 충분한 조건이 될 수 있을 것으로 판단된다.

감귤 뿌리 mycorrhizae 형성률

최근까지 제주도 감귤뿌리에는 mycorrhizae가 형성되지 않는 것으로 알려져 있었으나 본 연구에서 조사된 모든 감귤원에서 mycorrhizae가 형성되어 있음이 확인되었다.

그림 1은 acid fuchsin으로 염색된 감귤 뿌리로, mycorrhizae의 형성을 확인할 수 있는 균사와 vesicle을 볼 수 있으며 arbuscule은 확인하지 못하였다. 뿌리의 mycorrhizae형성율은 전체적으로 14~60%의 범위였으며 8개 포장에서 30% 이상의 형성율을 보였다(표 2).

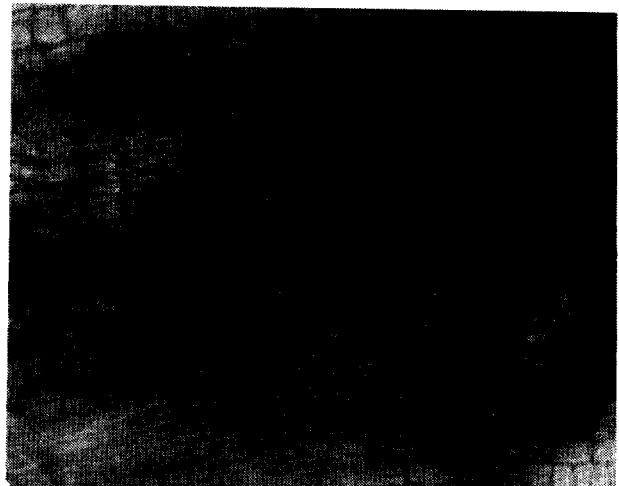


Fig. 1. Photomicrograph of citrus root colonized by arbuscular-mycorrhizae. Root was cleared with 10 % KOH and stained with acid fuchsin. H and V represent fungal hyphae and vesicle respectively.

감귤 뿌리의 mycorrhizae형성율과 토양 중 포자밀도 사이에 부의 상관관계가 인정되었다($r=0.539^*$). 토양 중의 유효태 인의 함량이 낮을수록 mycorrhizae형성율은 높아지는 경향을 보였으나 통계적으로 유의성은 인정되지 않았고, 나머지 토양 성질과는 일정한 상관관계를 보이지 않았다. 유기농법과 일반농법으로 관리되고 있는 감귤원 사이에 mycorrhizae형성율의 차이는 나타나지 않았다.

일반적으로 토양 중의 포자밀도가 높을수록 mycorrhizae형성율이 높아지는 것으로 알려져있으나 조사된 감귤원에서 나타난 부의 상관관계는 mycorrhizae형성율에 영향을

미치는 복잡한 환경요인과 그들의 상호작용을 감안할 때 여기서 명확히 설명되지 않는다. 토양 중의 유효태 인의 함량과 mycorrhizae형성을 사이의 부의 상관관계, 즉 토양 중 가용성 인의 함량이 높으면 mycorrhizae의 형성이 저해되는 현상은 여러 연구 결과에서 확인되어 있다²⁰⁻²³. 제주도 감귤원에서 mycorrhizae형성과 토양 중의 인 함량 사이에 유의성 있는 상관관계가 나타나지 않는 이유는 전반적으로 토양 중 유효태 또는 총 인의 함량이 높기 때문인 것으로 추정된다. 또한 mycorrhizae의 형성은 토양조건 외에도 식물체 내의 인 함량 또는 mycorrhizae가 형성되는 뿌리 내의 인 함량이 직접적으로 영향을 미칠 수 있으며^{24,25}, 외부 환경 조건 중 일조 시간은 식물의 광합성에 영향을 미치므로 일조 시간이 길수록 mycorrhizae곰팡이가 이용할 수 있는 유기 화합물의 공급이 증가하므로 mycorrhizae의 형성이 증대될 수 있다²⁶. California 감귤의 경우 품종에 따라 mycorrhizae에 대한 의존도에 차이가 있는 것으로 알려져 있다⁵. 따라서 mycorrhizae의 형성은 다양한 환경 조건에 의해 결정되는 것이며 감귤원 토양에서 mycorrhizae형성을 높일 수 있는 환경 조건의 탐색은 더욱 자세히 연구되어야 할 과제이다.

감귤 잎 중의 무기양분 조성과 과실 품질

감귤 잎 중의 무기성분 함량을 보면, 질소는 2.5~3.4%, 인은 0.08~0.15%범위 내에 있으며 K, Ca, Mg함량은 평균적인 제주 지역 감귤 잎 중의 농도와 동일한 수준이었다(표 3). 과실 품질 평가 기준으로 과실중의 당도와 산도를 측정하였는데 그 결과는 제주 지역의 감귤에서 측정되는 평균치에 비교하여 차이가 없었다(표 3).

Table 3. Phosphorus and other nutrient concentrations in citrus leaf samples, and sugar and acid contents in citrus fruits.

Orchard (Location)	N	P	K	Ca	Mg	Sugar	Acid
	%					°Bx	%
Topyong	3.21	0.15	1.79	2.20	0.32	10.1	1.70
Bomok	3.04	0.14	1.75	2.57	0.46	9.8	1.21
Kangjung	3.05	0.11	1.35	2.43	0.46	10.9	1.46
Workkwang	3.11	0.13	1.59	2.07	0.52	10.9	1.45
Sinsoo	3.12	0.12	1.41	2.92	0.48	10.4	1.33
Odung	3.08	0.12	1.42	3.20	0.52	9.4	1.31
Doryun	2.51	0.08	1.05	3.05	0.71	10.0	1.49
Susan	3.15	0.13	1.81	1.89	0.41	9.3	1.38
Hansan	2.98	0.13	1.74	2.23	0.41	9.8	1.14
Weemee	3.34	0.12	1.65	2.50	0.36	10.0	1.38
Sinye 1	3.20	0.11	1.59	2.51	0.28	9.3	1.29
Sinye 2	3.40	0.13	1.54	2.75	0.35	9.7	1.40
Sanghyo	2.59	0.10	1.31	2.19	0.26	10.1	1.34
Haye	3.19	0.13	1.52	2.45	0.39	8.7	1.73

잎 중의 인 함량과 뿌리에서의 mycorrhizae형성을 사이에는 통계적으로 유의한 정의 상관관계가 인정되어 ($r =$

0.585*) mycorrhizae형성율이 높을수록 식물체 인 함량이 높아지는 것으로 나타났다(그림 2). 이러한 결과는 기존의 연구 결과들과 일치하는 것으로 유효태 인의 함량이 낮은 토양에서 mycorrhizae형성율이 높아지며 그에 따라서 식물체 내의 인 함량이 증대될 수 있다는 것을 보여준다^{4,23,27,28}).

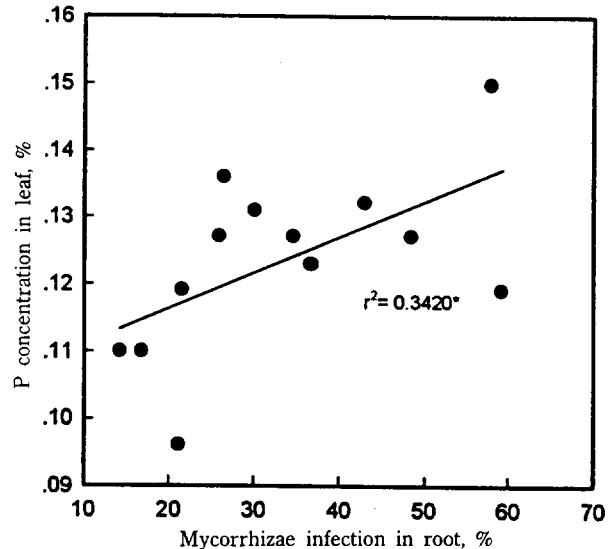


Fig. 2. Relationship between mycorrhizal infection ratio and leaf phosphorus content of Cheju citrus plants.

Menge 등²⁰의 보고에 의하면 mycorrhizae가 형성된 경우와 그렇지 않은 경우를 비교했을 때, mycorrhizae가 형성된 경우 감귤 잎 중의 K, Cu의 농도는 높으며 Mg, Na의 농도는 낮고 Ca, Zn, Mn, Fe 등의 농도는 토양에 따라서 증감 현상이 다르게 나타났다. 본 연구에서 조사된 제주 감귤 나무의 경우는 mycorrhizae의 형성율의 차이가 질소 등 무기성분 흡수에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 감귤 과실중의 당도와 산도는 mycorrhizae형성율과 상관관계를 보이지 않았다.

요 약

인의 고정이 심한 제주도 토양에서 인 사용량을 줄이고 불용태 인의 이용율을 높일 수 있는 방법으로써 mycorrhizae의 이용 가능성을 검토하기 위하여 제주도 감귤원에서 그 분포 실태를 조사하고 mycorrhizae형성율과 토양의 이화학적 성질 및 감귤 잎의 무기양분 함량과의 관계를 분석하였다. 제주도 내 토성과 위치를 달리한 14개소의 감귤원에서 감귤 뿌리를 포함한 토양 시료를 채취하여 조사한 결과 건조 토양 100g당 9,000~40,000개의 mycorrhizae포자가 관찰되었으며 조사된 전 감귤원에서 mycorrhizae가 형성되어 있는 것을 확인하였다. 감귤 뿌리중의 mycorrhizae형성율은 14~60%로 감귤원별로 차이를 보였으며 토양 중 유효태 인의 함량이 낮을수록 mycorrhizae 형성율은 높아지는

경향이였다. Mycorrhizae 형성율이 높을수록 감귤 잎 중의 인 함량은 증가하는 경향을 보였고 통계적으로 mycorrhizae에 의한 인 흡수 증대 효과를 인정할 수 있었다. 따라서 효과적인 mycorrhizae의 이용은 제주 감귤원 토양에서 관행적으로 이루어지고 있는 과량의 인 시비를 줄일 수 있는 한 가지 방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Antunes, V. and E.J.B.N. Cardoso. 1991. Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. *Plant Soil*. 131 : 11~19.
2. Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil*. 134 : 189~207.
3. Graham, J.H., J.P. Syvertsen, and M.L. Smith, Jr. 1987. Water relations of mycorrhizal and phosphorus-fertilized non-mycorrhizal citrus under drought stress. *New Phytol*. 105 : 411~419.
4. Manjunath, A., R. Mohan, and D.J. Bagyaraj. 1983. Response of citrus to vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation in unsterile soils. *Can. J. Bot.* 61 : 2729~2732.
5. Menge, J.A., E.L.V. Johnson, and R.G. Platt. 1978. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. *New Phytol*. 81 : 553~559.
6. Treeby, M.T. 1992. The role of mycorrhizal fungi and non-mycorrhizal micro-organisms in iron nutrition of citrus. *Soil Biol. Biochem.* 24 : 857~864.
7. Li, X.L., E. George, and H. Marschner. 1991. Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil. *Plant Soil*. 136 : 41~48.
8. George, E., K.U. Haussler, D. Vetterlein, E. Gorgus, and H. Marschner. 1992. Water and nutrient translocation by hyphae of *Glomus mosseae*. *Can. J. Bot.* 70 : 2130~2137.
9. 김 형욱, 이 신찬, 현 해남. 1989. 화산회토에서 고정인산 장애 경감 연구. 농시논문집(농업산학협동편) 32 : 109~115.
10. 유장걸, 김형욱, 이 신찬. 1985. 인광석의 인산비효증진에 관한 연구. 제주대 논문집. 20 : 81~92.
11. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total C, organic C, and organic matter. p. 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.
12. Olson, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 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.
13. 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.
14. Pacioni, G. 1992. Wet-sieving and decanting technique for the extraction of spores of vesicular-arbuscular fungi. p. 777~782. In Norris, J.R. et al.(ed.) *Techniques for Mycorrhizal Research*. Academic Press, San Diego, CA.
15. 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. Brit. Mycol. Soc.* 55 : 158~161.
16. Chapman, H.P and P.F. Pratt. 1982. *Methods of analysis for soils, plants, and waters*. Univ. of California, Div. Agric. Sci., Berkeley, CA.
17. Koo, R.C.J. 1984. Recommended fertilizer and nutritional sprays for citrus. *Inst. Food and Agric.Sci., Univ. of Fla., Gainesville. Bul.* 536D.
18. 이용세, 정종배, 문두길. 1997. 제주감귤원 토양중의 공생균근균의 동정. 한국균학회지.(투고중)
19. Hass, J.H. and J.A. Menge. 1990. VA-mycorrhizal fungi and soil characteristics in avocado(*Persea americana* Mill.) orchard soils. *Plant Soil*. 127 : 207~212.
20. Menge, J.A., W.M. Jarrell, C.K. Labanauskas, J.C. Ojala, C. Huszar, and E.L.V. Johnson. 1982. Predicting mycorrhizal dependency of Troyer citrange on *Glomus fasciculatus* in California citrus soils and nursery mixes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46 : 762~768.
21. Vinayak, K. and D.J. Bagyaraj. 1990. Vesicular-arbuscular mycorrhizae screened for Troyer citrange. *Biol. Fertil. Soils*. 9 : 311~314.
22. Asmah, A.E. 1995. Effect of phosphorus source and rate of application on VAM fungal infection and growth of maize(*Zea mays* L.). *Mycorrhiza*. 5 : 223~228.
23. Edriss, M.H., R.M. Davis and D.W. Burger. 1984. Influence of mycorrhizal fungi on cytokinin production in sour orange. *J. Amer. Hort. Sci.* 109 : 587~590.
24. Menge, J.A., D. Steirle, D.J. Bagyaraj, E.L.V. Johnson, and R.T. Leonard. 1978. Phosphorus concentration in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection. *New Phytol*. 80 : 575~578.
25. Lu, S., 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 Soil*. 158 : 119~128.
26. Johnson, C.R., J.A. Menge, S. Schwab, and I.P. Ting. 1982. Interaction of photoperiod and vesicular-arbuscular mycorrhizae on growth and metabolism of sweet orange. *New Phytol.* 90 : 665~669.
27. Krikun, J. and Y. Levy. 1980. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza on citrus growth and mineral composition. *Phytoparasitica*. 8 : 195~200.
28. Murdoch, C.L., J.A. Jackobs, and J.W. Gerdemann. 1967. Utilization of phosphorus sources of different availability by mycorrhizal and nonmycorrhizal maize. *Plant Soil*. 27 : 329~334.