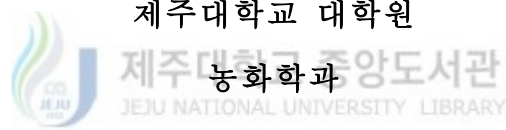


석사학위논문

토양 pH가 화산회 토양의 화학성과
온주밀감 나무의 생리 및 무기영양에 미치는 영향



정 영 수

2001년 12월

토양 pH가 화산회 토양의 화학성과
온주밀감 나무의 생리 및 무기영양에 미치는 영향

지도교수 유 장 결

정 영 수

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함



2001년 12월

정영수의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

제주대학교 대학원

2001년 12월

Effect of Soil pH on the Chemical Properties
of Volcanic Ash Soil and the Physiology
and Inorganic Nutrition of *Citrus unshiu* Marc.

Young-Su Joung

(Supervised by Professor Zang-Kual U.)



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF AGRICULTURE**

**DEPARTMENT OF AGRICULTURAL CHEMISTRY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

December 2001

목 차

Summary	1
I. 서 론	3
II. 재료 및 방법	5
실험 1. 토양 pH가 토양의 화학성과 감귤나무의 무기 영양 및 생리에 미치는 영향	5
1) 토양 채취 및 pot 재배	5
2) 비료 시용	6
3) 화학분석	6
실험 2. 감귤원 토양의 pH에 따른 감귤 수량 조사	9
실험 3. Bromocrsol green을 함유한 agar box에서 감귤 근권의 pH 측정	9
III 결과 및 고찰	10
실험 1. 토양 pH가 토양의 물리화학성과 감귤나무의 무기 영양 및 생 리에 미치는 영향	10
1) 토양의 pH별 화학적 성질	10
2) 감귤나무 잎의 엽록소 함량과 광합성	17
3) 감귤나무 잎의 무기성분 분석	19
실험2. 제주시 일원의 감귤원에서 pH별 토양 화학성 및 수량	21
실험3. 감귤 근권의 pH 측정	22
IV. 적 요	24
V. 참고문헌	26

Summary

Three years old 18 trees of *Citrus unshiu* Marc. had been cultivated from 2000 to 2001 in the pots containing the dark brown volcanic ash (DBVA) soils of pH 4, 5, and 7, to investigate the effect of soil pH on the chlorophyll contents, photosynthetic activity, mineral contents in the leaves and the fruit yield of citrus. *In vivo* pH measurement of citrus rhizosphere was made by planting the roots in the agar medium mixed with pH indicator, bromocresol green.



1. During the experimental period, the initial pH values of each soil were not changed.
2. The contents of organic matter and total nitrogen in the soils did not show any difference between before and after the experiment. The contents were lower in pH 7 regime soil than in pH 4 or 5.
3. The soluble Cu, Fe, Mn and Zn in the soils were higher in pH 4 and 5 regime soils than in pH 7. But the contents of Fe, Cu, and Zn in leaves were not affected by soil pH, only Mn content

being increased in lower pH regime.

4. The chlorophyll contents of young and old leaves were not influenced by soil pH. The contents were higher in the matured leaves than in the young or old leaves. The photosynthetic activities of trees were also not affected by soil pH.
5. The contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn and Cu in the leaves seemed to be in the sufficient ranges for citrus plant.
6. According to the farmers' opinion surveyed, the low soil pH did not affect the yield of citrus fruit.
7. The color change to the blue in the rhizosphere of citrus tree was observed in 10 min. after inserting the roots in the agar medium mixed with bromocresol green, indicating that the pH of root zones was around pH 5.2.
8. Considering that the chlorophyll content, fruit yield, pot activity and mineral content of the *Citrus unshiu* Marc. was not affected by the lowered pH of soil, the effect of soil pH on the nutritional physiology as well as the citrus growth in the DBVA soil should be investigated in detail.

I. 서 론

제주도의 중요 소득원인 감귤은 선사시대 이전부터 제주도에 자생하는 과수로써 오랜 역사를 갖고 있으며 60년대 이전까지는 제주도의 일부 지대에서 소량으로 생산되어 왔으나 경제작물로 재배를 하기 시작한 것은 1960년 이후라고 할 수 있다(한, 1974). 그 후 감귤재배 면적은 지속적으로 증가하여 1980년에는 14,094 ha, 1985년에는 17,000 ha(Ko와 Kim, 1987), 2000년에는 25,796 ha(감귤연구소, 2000)에 이르렀으며, 사과 다음의 생산량을 가지는 과일로 성장하였다. 최근 WTO출범으로 농산물시장의 개방화가 이루어지면서 외국산과의 경쟁은 불가피한 실정이며, 이로 인해 감귤농사에 대한 위기감이 매우 팽배하여 감귤의 경쟁력 제고가 매우 필요한 시점이다(감귤연구소, 2000).

그 동안 국내에서 제주도의 감귤 생산은 독점적인 위치에 있었기 때문에 생산만 하면 팔린다는 인식으로 품질보다는 생산량 위주의 영농(감귤연구소, 1999)과 제주도 화산회토의 특징으로 인해 화학비료를 다량 시비하는 관행이 계속되어 왔고 시비량은 육지보다 평균 2-3배 이상 되고 있다(金, 1975). 특히, 질소비료의 경우 기준 시비량은 5년생이 130 kg N/ha, 25년생 300 kg N/ha 이지만 연간 400 kg N/ha 이하를 시비하는 농가는 17.3%에 불과하고 대부분 400~1,200 kg N/ha 이상 시용하고 있다(현, 1996). 또한, 화산회토에 의한 인산의 흡착과 고정특성은 토양 인산의 유효도에 큰 영향을 미치므로 인산질 비료의 증시를 권장하여 왔으며 농업인은 실제 추천량보다 훨씬 많은 양을 시비하고 있는 실정이다(이와 이, 1975; 朴 등, 1975; 愼과 金, 1975; 宋 등, 1992).

이처럼 화학비료의 과다시비는 감귤의 품질을 저하시키고 영농비를 낭비하는 결과를 초래하는 원인이 되어 왔고(Embleton 등, 1973a 1973b; 金子 등, 1970; 鈴木 1979), 더욱이 감귤원 토양의 물리 화학적 성질을 악화시킬 뿐만 아니라 계속된 양분 축적으로 감귤나무가 고사하는 피해 사례가 발생한 적이 있다(감귤연구소, 1997).

특히, 질소 비료의 과다시비는 토양 산성화를 촉진시키는 주원인이 되어

왔다고 알려져 있으며(橋本, 1986), 이로 인해 감귤원 토양의 pH는 70년대 중반에 평균 6.0이었던 것이 현재 4.5 내외로 낮아 졌다고 보고하고 있다(감귤연구소, 1997).

일반적으로 토양이 산성화가 되면 K, Ca, Mg 등 염기의 용탈이 촉진 될 뿐만 아니라 N, P, K 등 양분에 대한 유효도가 크게 감소하고 Al, Mn, Fe의 용해도가 증가하여 식물생육에 해로운 영향을 끼친다고 알려져 있다(朴 등, 1975; 宋, 1984; McColl 등, 1987). 그리고 申 (1992), 申 등(2001)은 산성화로 인해 근권 내의 미생물 활동이 억제되고 유리질소고정과 질산화작용이 저해를 받게 되므로 또한 토양의 물리성도 나빠진다고 하였다.

감귤원 토양의 산성화에 대한 영향 중 가장 뚜렷한 것은 토양 중 Mn 함량을 증가시켜 감귤 엽 중 Mn 과잉과 양분흡수의 저해 또는 Al의 활성증가에 의한 수체 영향 등을 예상할 수 있다(유와 임, 1989). 그러나 도내 환경에서 토양 산성화가 감귤나무에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 구체적인 연구보고는 없는 실정이다.

토양 산도를 교정하기 위하여 석회 사용이 많이 권장되고 있으나(신, 1996; 황, 1979), pH를 높이기 위해서는 막대한 석회량이 소요되는 바, 토양 통에 따라 차이는 있으나 농암갈색 화산회토 토양인 경우 pH를 4.0에서 5.5로 올리기 위해서는 약 3000 - 7500 kg/ha이 필요하며 제주도 전체로 보면 이러한 양을 충족시킬 만큼 석회를 확보하기 위해서는 물량과 경제적인 면에서 많은 어려움이 있으므로 단기간에 이루어 질 수 있는 사안이 아니다(유 등, 1994; 주 등, 1988; Jackson, 1960; Sasaki, 1978). 그러므로, 토양 pH가 제주도의 감귤원 화산회토 토양의 물리 화학적 특성과 감귤 수체, 수량에 미치는 영향을 파악하는 것이 석회 사용에 의한 토양 개량의 필요성과 토양이 어느 pH 범위까지 유지되어야 감귤생육에 좋은 지를 판단하는 기초 자료를 확보한다는 측면에서 매우 중요한 일이다.

따라서, 본 연구에서는 pot실험을 통해 감귤원 토양의 pH가 토양의 물리 화학성 과 감귤나무의 영양생리특성에 미치는 영향을 연구하는 한편, 농가 감귤 생산량이 토양 pH에 의해 달라지는지를 알아보았으며 감귤 뿌리의 pH를 *in vivo* 상태에서 측정했다.

II. 재료 및 방법

실험 1. 토양 pH가 토양의 화학성과 감귤나무의 무기 영양 및 생리에 미치는 영향

1) 토양 채취 및 pot 재배

제주도 동부 지역인 구좌읍과 성산읍 관내 농암갈색 화산회토 토양의 경작지에서 2000년 4월에 각 pH에 따라 토양을 채취하였는데, pH 4 와 pH 7 토양은 구좌읍 하도리에서 그리고 pH 5 인 토양은 성산읍 신산리 경작지에서 채취하였다. 특히, pH 7 인 토양은 경작지 소유 농업인이 매년 폐사를 사용하여 왔던 것이 특징이다. 이들 토양의 물리화학적 성질은 Table 1과 같다.

pH에 따라 채취된 토양은 35×30×17 cm 크기의 원형플라스틱 pot에 50 kg 썩을 넣은 후 3년생 궁천조생 감귤나무(*citrus unshiu* Marc.)를 심고 2000년 4월부터 2001년 11월까지 실험에 이용하였다.

Table 1. Chemical properties of soil used

Soil	pH (1:5)	EC (mS · m ⁻¹)	OM (%)	T-N (%)	Avail.-P (mg · kg ⁻¹)	Exch. cation - (cmol · kg ⁻¹) -				0.1 M HCl ----- (mg · kg ⁻¹) -----					
						K	Ca	Mg	Na	Mo	B	Zn	Mn	Fe	Cu
pH4	4.66	29.5	16.2	0.63	13.4	0.47	1.78	1.38	0.26	0.02	0.67	7.81	17.3	5.31	0.21
pH5	5.31	27.5	16.4	0.79	31.1	0.24	6.73	1.53	0.14	0.01	0.24	1.63	6.55	3.58	0.23
pH7	7.21	32.6	9.31	0.31	11.3	0.29	25.4	2.91	0.45	0.01	0.37	0.16	0.42	0.69	0.01

2) 비료 시용

비료는 Table 1의 분석결과를 토대로 농촌진흥청 시비처방 프로그램에 의해 산정된 량을 기초로 pot 내 토양무게로 환산하여 시비량을 pH별로 계산한 뒤 시비하였고 계절별 시비량은 농업기술원에서 권장하는 비율로 하였다. 즉, 질소질 비료인 요소는 pot당 4.52 g(130 kg N/ha)을 봄, 여름, 가을에 50, 25, 25% 비율로 분시 하였고, 인산질 비료인 용성인비는 pot당 17.6 g(220kg P₂O₅/ha)을 봄에 전량 시비하였고, 칼륨질 비료인 염화加里는 pot당 4.00 g(100 kg K₂O/ha)을 봄, 여름, 가을에 30, 40, 30% 비율로 나누어 분시 하였다. 시비 방법은 각 비료를 전자저울로 정확히 무게를 달고 잘 혼합한 후 표층에 시비하였다.

3) 화학분석

(1) 토양분석



- ① 전처리 : 토양시료는 2000년 7월과 10월 그리고 2001년 3월과 8월에 채취하였으며 그늘에서 풍건 시킨 후 2 mm 체를 통과시켰다.
- ② 유기물 함량 : 토양 0.15 g을 취하여 삼각 플라스크에 넣고 0.4N K₂Cr₂O₇(Nelson 등, 1982) 용액을 20 ml 채우고 전열판에서 150℃에서 45분간 열을 가한 후 모래판에 옮겨 놓고 식혔다. 그리고 증류수 50 ml, H₂PO₄ 5 ml, 지시약 0.5 ml를 각각 넣고 0.2N Fe₂(NH₄)₂(SO₄)₂ · 6H₂O를 표준용액으로 하여 산화·환원 적정을 실시하였다.
- ③ 총 질소 : 토양 1 g을 H₂SO₄ 14 ml와 함께 질소 자동분석기용 분해 플라스크에 넣어 완전 분해시키고 질소 자동분석기 (Buchi339, Buchi, Germany)로 측정하였다.
- ④ 유효인산 : 토양 2 g에 Bray No. 1(Bray와 Kurtz, 1945) 용액 14 ml를 가하여 1분간 진탕한 후 여과하여 유도결합플라즈마 분광분석기(JY138 Ultrace,

Jobin Yvon, France)로 측정하였다.

- ⑤ 치환성 K, Ca, Mg, Na : 토양 5 g에 1N NH₄OAc(pH 7.0) 용액 50 ml를 가하고 30분간 진탕 시킨 뒤 여과하여 유도결합플라즈마 분광분석기로 측정하였다(농촌진흥청, 1988).
- ⑥ 미량원소 : 토양 5 g에 0.1N HCl(농촌진흥청, 1988) 용액 25 ml를 넣고 25℃에서 한 시간 동안 회전 진탕하고 여과한 다음 유도결합플라즈마 분광분석기로 측정하였다.
- ⑦ 총 인산, 총 칼륨, 총 칼슘, 총 마그네슘 : 토양시료 0.1 g을 HNO₃ 3 ml와 HClO₄ 1 ml를 같이 백금 도가니에 넣고 전열판에 올려놓은 후 서서히 열을 가하였다. 흰 연기가 나타나기 시작하면(2 min) 백금 도가니를 모래상자에 옮겨 놓고 완전히 식혔다. 그리고 나서 백금 도가니에 HF 5 ml를 넣고 두경을 닫고 90분간 방치한 후 백금 도가니를 다시 전열판 위에 옮겨 놓고 8시간동안 열을 가하여 백금 도가니 속의 토양시료가 HF로 인해 완전히 용해되고 나서 건조될 때까지 기다린 후에 모래상자로 옮겨 놓았다. 완전히 식힌 백금 도가니 속에 6N HCl 5 ml와 H₂O 5 ml를 넣고 다시 열을 가하여 건조된 시료가 완전히 녹으면 모래상자로 옮겨 놓고 식힌 후에 50 ml 메스플라스크에 채웠다. 그러나 토양 습식 분해물이 완전히 용해되지 않은 경우 HF를 넣고 실험을 다시 수행하였다.
이렇게 만들어진 액은 No.5C 여과지로 여과한 후 각 성분들을 유도결합플라즈마 분광분석기로 측정하였다.

(2) 식물체 분석

- ① 감귤나무 잎은 2000년 7월, 10월 그리고 2001년 8월에 각각 신엽과 구엽으로 구분하여 일정량씩을 채취하였고 서로 혼합한 후 깨끗한 물로 씻고 약 70℃로 조절된 건조기에 넣은 다음 2일 동안 건조 시켰다. 건조된 시료는 2 mm이하의 크기로 분쇄(Embleton 등, 1967; 韓 등, 1977)하여 분석 시료로 사용하였다.
- ② 산 분해 : 시료 0.5 g을 켈달플라스크에 정확히 취하여 H₂SO₄-H₂O₂법

(Anh, 1987; 농촌진흥청, 1988)으로 분해시킨 뒤 최종 부피 100 ml로 맞추어 분해액을 조제하였다.

- ③ 총질소 : 시료 1 g을 질소 자동분석기용 분해 플라스크를 넣고 황산과 분해 촉진제를 넣고 습식 분해를 시킨 뒤 질소자동 분석기로 측정하였다.
- ④ 다량원소, 미량원소측정 : 분해액을 2배 희석하여 유도결합플라즈마 분광분석기로 다량원소(P, K, Ca, Mg)와 미량원소(Mo, B, Mn, Zn, Fe, Cu)를 측정하였다.
- ⑤ 엽록소 함량 측정 : 각 pot에 있는 감귤나무 잎 중 신엽과 구엽을 각각 10개씩 선정하여 경시적으로 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였다.
- ⑥ 광합성 측정: 광합성은 광합성 측정기(Li-cor SD6600, USA)를 가지고 시험 기간 중 두 차례에 걸쳐 측정하였으며 2000년 10월에는 처리구별로 감귤나무의 성엽을 10개씩 선정하여 측정하였고, 2001년 3월에는 생장이 좋은 신엽에서만 처리구별로 15개씩 선정하여 측정하였다. 이때 광합성 측정조건은 광의 세기가 $1000 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ 이었고 CO_2 농도가 400 ppm이었다.

실험 2. 감귤원 토양의 pH에 따른 감귤 수량 조사

제주도내 감귤 농가 중에서 pH 4.0 ~ pH 4.9 범위의 33개 감귤원, pH 5.0 ~ pH 5.9 범위의 10개 감귤원 그리고 pH 6.5 이상의 6 개 감귤원을 선정하여 농가를 직접 방문하여 2000년도의 단위 면적당 감귤의 생산량을 조사·비교하였다.

실험 3. Bromocresol green을 함유한 agar box에서 감귤 근권의 pH 측정

agar box는 Hussling (1985) 등이 사용한 방법을 약간 변경하여 제작하였는데, 외부에서 색의 변화를 볼 수 있도록 두께가 0.5 mm인 투명 아크릴을 사용하여 28×8×45 cm 크기로 실험 조건에 맞게 제작하였고 pH 4.0 ~ 5.4 범위를 갖는 bromocresol green을 가지고 실험하였다.

실험방법은 다음과 같이 행하였는데, 0.012% bromocresol green(변색범위: pH 4.0 - 5.4)을 함유하는 용액에 0.8% agar를 넣어 가열하였다. agar를 완전히 녹인 후 모래상자 위에 옮겨놓아 약 50℃가 될 때까지 식히고 pH가 4.2가 되도록 0.1N HCl과 NaOH로 조절하였다. 3년생 궁천조생 감귤나무(*citrus unshiu* Marc.) 뿌리 부분이 들어있는 아크릴 박스에 녹인 agar를 넣어 굳혔다. 이전에 감귤나무의 뿌리는 세척과정에서 상처가 입지 않도록 조심스럽게 다루었으며 토양 및 불순물을 철저히 배제시켰다.

agar 상자는 광의 세기를 2000 lux, 온도는 20℃로 조절된 incubator(DS-52G4, (주)다솔과학, America)에 넣고 시간에 따른 감귤나무 뿌리주변에 있는 지시약의 색 변화를 관찰하였다.

Ⅲ 결과 및 고찰

실험 1. 토양 pH가 토양의 물리화학적 특성과 감귤나무의 무기 영양 및 생리에 미치는 영향

1) 토양의 pH별 화학적 성질

실험이 시작된 후 토양 pH 처리(4범위, 5범위, 6범위)별로 일정 기간마다 채취한 실험 토양의 pH를 보면(Table 2) 각각 pH 4.46, pH 5.12, pH 7.55 내외의 범위를 유지하여 실험기간 동안 비교적 양호하게 pH 영향을 감귤에 줄 수 있었던 것으로 사료된다. 유기물 함량과 총질소 함량은 실험전과 후의 시기별로 큰 차이를 보이지 않았으나 pH 4 또는 5 범위보다 pH 7 범위의 경우에 낮은 것은 토양을 채취했던 경작지에서 토양개량을 위해 지속적으로 투입한 폐사 때문에(경작지 주인과의 개인통신) 농암갈색 화산회 토양 유기물 함량이 희석된 것으로 사료된다. 폐사의 사용 증거는 토양을 육안으로 보거나 토양 중 치환성 칼슘 함량을 분석하였을 때(Table 1) 확인이 가능하였다.

일반적으로 질소의 유효도는 토양 pH가 산성에서 중성으로 갈 때 증가되는데, 당초 pH에 따라 채취한 토양의 총 질소농도가 다르기 때문에 총 질소의 유효도에 대한 pH 영향은 본 실험결과로는 평가하기가 곤란했다. 그러므로 질산태 질소와 암모니아태 질소를 분석하여 총질소에 대한 각 질소 형태별 유효도를 평가하여야 토양 pH에 대한 영향을 평가할 수 있을 것으로 사료되며 추후 이에 대한 분석을 실시할 예정이다.

토양 유효인산은 pH 6.0 - 7.0 범위에서 상대적인 유효도가 가장 높은 것으로 알려져 있는 데(박, 1994), 본 연구에서는 pH 5 범위에서 높게 나타난 것은 당초 예상과는 다른 결과로써 무기토양과 유기토양 특히, histosols간에도

pH 별 상대적인 인산유효도가 다른 점을 감안한다면 화산회토의 경우에 그 유효도의 특성이 다를 가능성이 있으며 이에 대한 구체적인 조사가 필요하다 (Table 2).

K, Ca, Mg의 상대적인 유효도는 pH 4 범위에서 7범위로 갈수록 증가하는 경향을 보였는데(유 등, 1989), 본 실험에서도 pH가 높을수록 K, Ca, Mg 등의 상대적인 유효도는 증가하는 것을 보여주고 있다(Table 2). 이렇게 유효도가 증가하는 원인은 중성에서 수소이온에 의한 K, Ca, Mg이 염기 치환과 유실이 적어 증가되었다고 사료된다.

Fig. 1은 토양 중 유효인산과 총인산 함량을 나타낸 것이다. 토양 중 총인산 함량은 보통 0.02~0.08% (柳, 1993)으로 알려졌으나, 본 실험결과 각 pH별로 pH4, pH5, pH7에 대하여 0.4% 0.6%, 0.3%으로 높게 나타났으며, 그리고 토양 중 유효인산의 함량은 총인산 함량과 아주 높은 정의 상관관계가 있는 것으로 나타나고 있다.

치환성 양이온 K, Ca, Mg 등의 함량은 총 칼륨, 총 칼슘, 총 마그네슘 등에 의하여 크게 좌우되는 것으로 나타났다(Fig. 2, 3, 4).

Table 2. Chemical properties of soils in which citrus trees were grown under three pH regimes

Soil pH	Sampling date	pH	EC	O.M	T-N	Avail.P	K	Ca	Mg
		1:5	mS/m	%	%	mg/kg	----	cmol/kg	-----
pH 4	July 15. 2000	4.35	55.2	15.1	0.58	24.2	0.74	4.21	1.17
	Oct. 07. 2000	4.42	28.2	15.1	0.53	48.7	0.64	2.41	0.53
	Mar. 06. 2001	4.47	37.6	15.1	0.58	42.7	0.62	2.80	1.03
	Aug. 02. 2001	5.01	22.6	14.5	0.61	39.6	1.19	2.31	0.44
	Mean	4.58	34.6	15.0	0.59	37.4	0.73	2.70	0.91
pH 5	July 15. 2000	5.39	65.8	16.1	0.63	47.3	0.76	8.23	1.52
	Oct. 07. 2000	5.41	31.2	16.3	0.63	73.4	0.59	4.09	0.73
	Mar. 06. 2001	5.04	6.53	16.5	0.63	94.4	0.66	7.44	1.26
	Aug. 02. 2001	5.12	30.0	16.4	0.67	84.1	1.38	4.88	0.73
	Mean	5.25	32.2	16.4	0.67	80.0	0.73	6.27	1.15
pH 7	July 15 2000	7.37	35.6	9.05	0.31	8.49	0.84	33.1	1.61
	Oct. 07 2000	7.41	64.7	9.01	0.29	11.1	0.88	16.2	1.54
	Mar. 06 2001	7.72	10.3	10.6	0.29	28.8	0.83	24.8	2.65
	Aug. 02 2001	8.13	21.7	10.2	0.33	15.9	1.54	23.7	2.23
	Mean	7.57	27.0	9.63	0.30	15.1	0.88	24.6	2.19



Soil pH	Sampling date	Mo	B	Zn	Mn	Fe	Cu
		-----mg/kg-----					
pH 4	July 15. 2000	0.01	0.32	4.53	18.5	2.31	0.24
	Oct. 07. 2000	0.01	0.24	4.29	5.91	1.77	0.22
	Mar. 06. 2001	0.09	0.81	9.64	26.1	7.05	0.74
	Aug. 02. 2001	0.01	0.75	10.3	24.1	8.30	1.26
	Mean	0.03	0.56	7.31	18.4	4.95	0.53
pH 5	July 15 2000	0.02	0.51	6.94	11.5	2.86	0.11
	Oct. 07 2000	0.01	0.38	0.86	2.21	0.66	0.12
	Mar. 06 2001	0.04	1.24	13.3	26.8	5.84	0.27
	Aug. 02 2001	0.01	0.96	16.7	31.7	10.0	0.46
	Mean	0.02	0.67	7.90	15.8	4.59	0.22
pH 7	July 15. 2000	0.01	0.39	0.12	0.25	0.36	0.01
	Oct. 07. 2000	0.01	0.35	0.21	0.26	0.38	0.01
	Mar. 06. 2001	0.07	0.80	0.13	1.19	1.14	0.04
	Aug. 02. 2001	0.09	0.72	0.09	0.61	1.28	0.05
	Mean	0.04	0.53	0.14	0.5	0.77	0.02

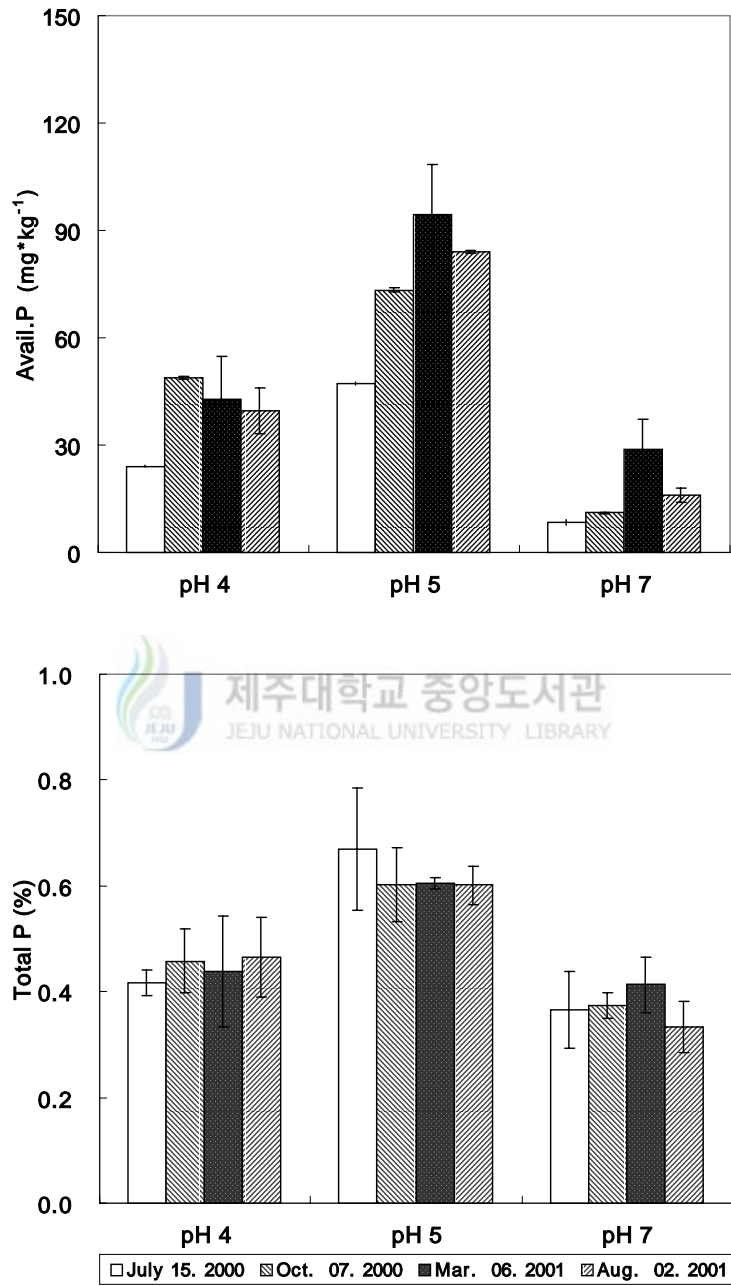


Fig. 1. The relationship between available P and total P of the soils in which citrus trees were grown under three pH regimes.

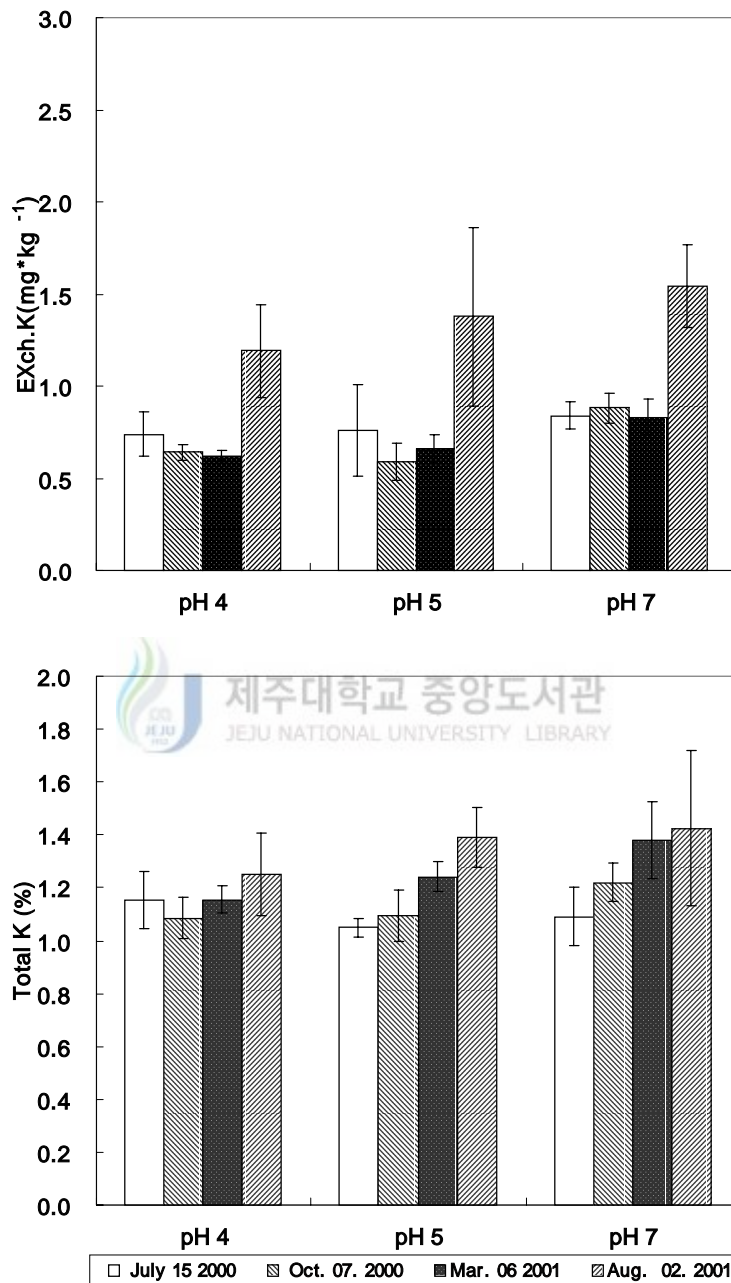


Fig. 2. The relationship between exchangeable-Ca and total Ca of the soils in which citrus trees were grown under three pH regimes.

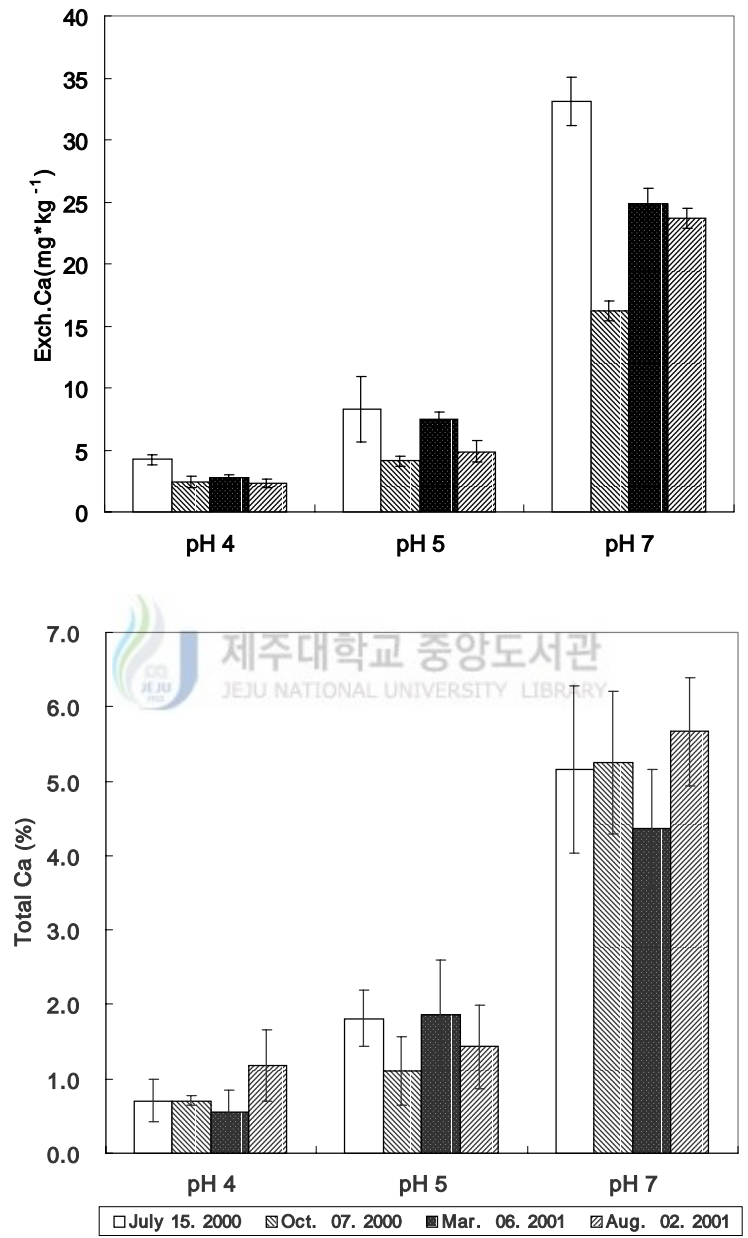


Fig. 3. The relationship between exchangeable-Ca and total Ca of the soils in which citrus trees were grown under three pH regimes.

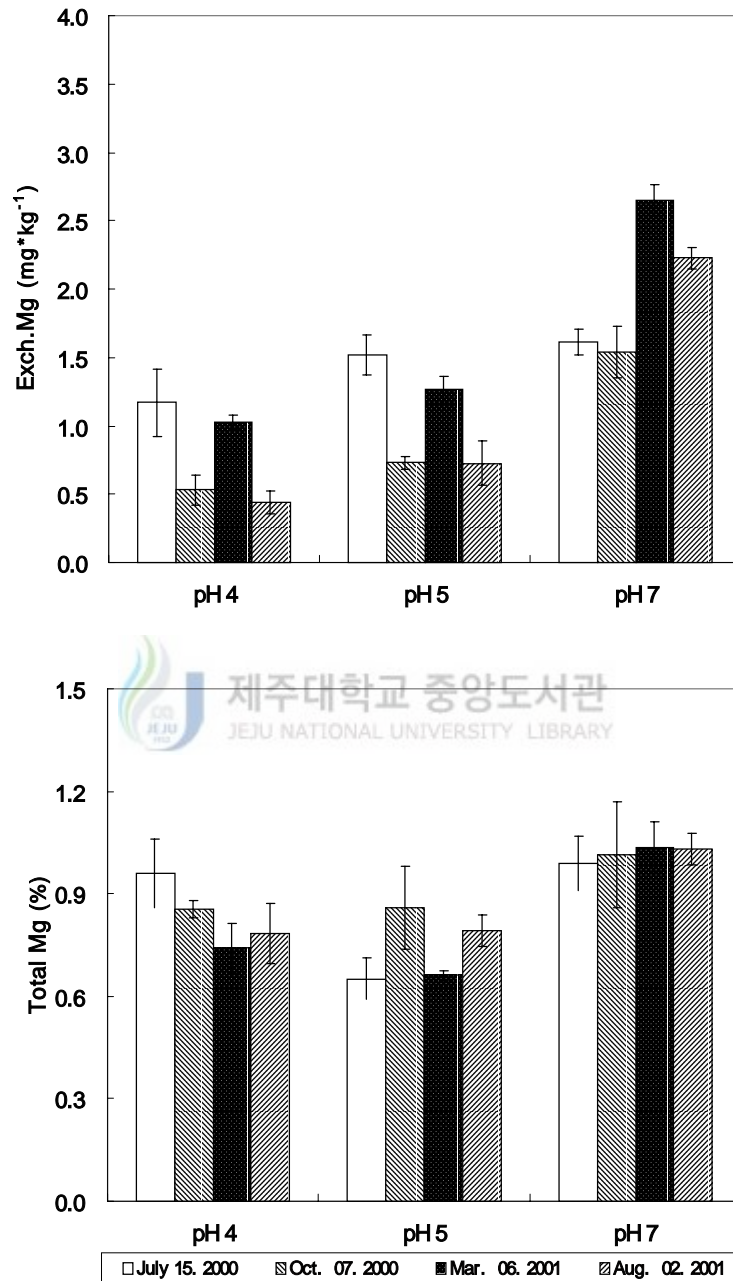


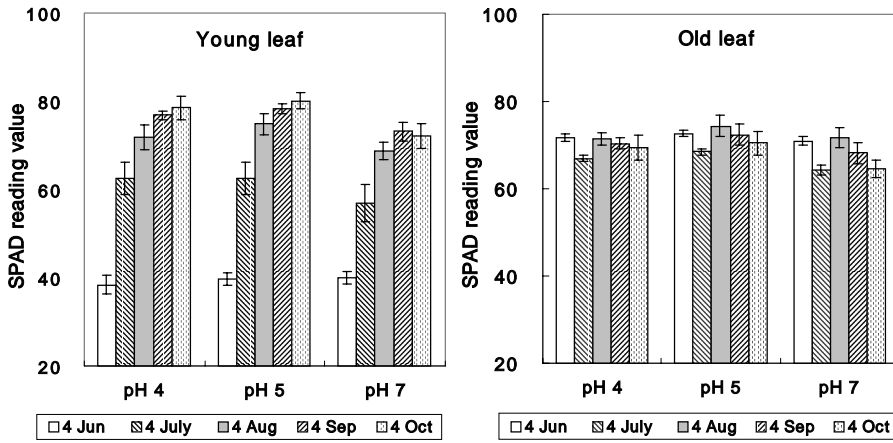
Fig. 4. The relationship between exchangeable-Mg and total Mg of the soils in which citrus trees were grown under three pH regimes.

2) 감귤나무 잎의 엽록소 함량과 광합성

Fig. 5은 토양 pH별 감귤나무의 신엽과 구엽의 엽록소 함량(SPAD 값)을 측정한 것으로 엽 중 질소함량과 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 신엽에서 성엽으로 갈수록 엽록소함량은 증가하였으며 구엽은 성엽에 비해 그 값이 낮은 경향이였다. 토양 유기물 함량과 총 질소함량이 비슷한 pH 4 와 5 범위의 경우에 엽록소 함량은 비슷한 경향을 보였으나, pH 7 범위에서 엽록소 함량이 낮은 것은 토양분석결과(Table 2)에서 보듯이 비록 중성부근에서 토양 중 질소유효도가 크더라도 토양 중 총 질소 함량이 낮아 식물에 공급되는 질소의 양이 적어 엽 중 질소 함량이 낮아져 엽록소 함량이 적어진 것이고 토양 pH에 의한 영향은 아닌 것으로 사료된다.

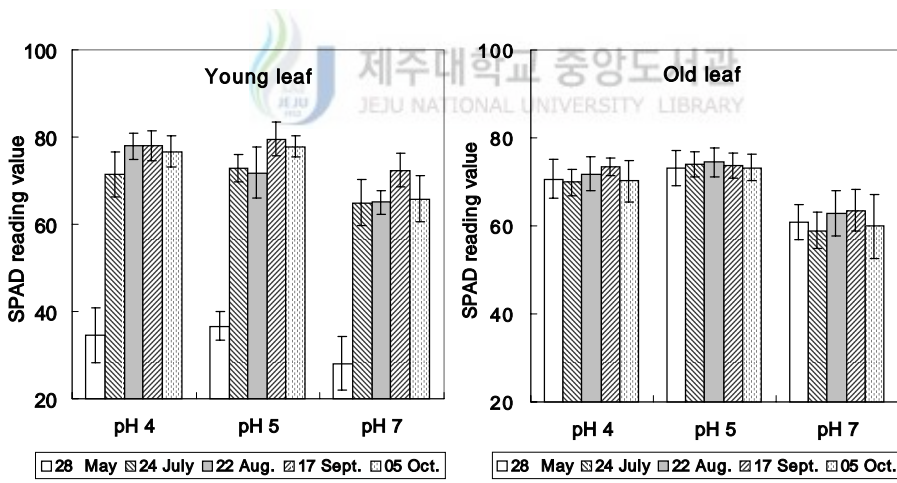
광합성량의 경우도 pH에 따라 2000년 10월 21일에 측정된 CO₂ 흡수량은 pH 4, pH 5, pH 7에서 8.05±1.45, 7.87±1.88, 7.51±1.50 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 로 나타나 있고 서로 유의차가 없었다. 2001년 3월 28일에 측정한 CO₂ 흡수량은 2.50±1.12, 2.46±0.97, 2.35±1.00 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 로 서로 유의차가 없이 나타난 것으로 보아 pH별로 차이가 없는 것으로 사료된다. 그러나 2000년 10월보다 2001년 3월에 측정된 광합성량이 낮은 것은 성엽보다 신엽의 엽록소 함량이 적기 때문이었다.

그러므로 본 연구를 수행한 토양 조건의 감귤원에서는 토양 pH가 다르더라도 엽록소 함량과 광합성에는 변화가 없었던 것으로 사료된다.



(a) 2000 year, young leaf

(b) 2000 year, young old



(c) 2001 year, young leaf

(d) 2001 year, old leaf

Fig. 5. The contents of chlorophyll in young and old leaves of citrus trees grown in the different pH soils.

3) 감귤나무 잎의 무기성분 분석

토양 pH가 감귤 잎의 무기물 함량에 미치는 영향을 Table 3에 나타냈다. N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn의 함량은 Embleton 등(1973)이 보고한 감귤류의 엽 중 적정 기준치 범위에 들어 있음을 감안할 때, 본 실험 조건과 같은 감귤원 토양에서는 낮은 토양 pH가 감귤의 무기영양에 큰 영향을 미치지 않았던 것으로 사료된다. 그런데 Mn은 토양 분석결과(Table 2) pH가 낮은 토양에서 중성 토양보다 높게 나타나고 있었고 엽 중에서도 pH 4 토양에서 자란 감귤나무의 Mn 함량이 pH가 7인 토양에서 자란 감귤나무보다 더 많이 나타났다. 그러나 Mn 함량은 기준치 범위에 들어 있었다.

Mn과는 달리 Fe, Zn, Cu는 토양 중 함량의 다소와는 상관없이 엽 중 함량에 별 차이가 없었다.

일본 감귤원인 경우 토양 산성화로 인하여 토양 중 가용성 Mn 함량이 증가되어 과잉 흡수되고 엽의 선단과 엽록부에 초코렛 반점과 조기 낙엽 등이 발생한 사례가 있었다(橋本, 1986).

한편, Ca의 농도가 매우 높았던 pH 7 범위의 토양에서는 감귤나무의 엽 중 Mg함량이 낮은 것은 Ca-Mg간의 길항작용에 기인한 것으로 사료된다.

Table 3. Effect of soil pH on the mineral contents of *Citrus unshiu* Marc leaves

Soil pH	Sampling date	N	P	K	Ca	Mg
		----- % -----				
pH 4	July 15. 2000	2.51	0.21	1.03	1.38	0.31
	Oct. 07. 2000	2.54	0.12	0.87	1.94	0.31
	Aug. 02. 2001	2.60	0.14	1.59	1.84	0.24
	Mean	2.55±0.05*	0.16±0.05	1.16±0.38	1.72±0.30	0.29±0.04
pH 5	July 15. 2000	2.66	0.22	1.19	1.38	0.31
	Oct. 07. 2000	2.75	0.14	0.98	1.94	0.31
	Aug. 02. 2001	2.84	0.15	1.49	2.20	0.24
	Mean	2.75±0.09	0.17±0.04	1.22±0.26	1.84±0.42	0.29±0.04
pH 7	July 15. 2000	2.58	0.24	1.15	1.57	0.26
	Oct. 07. 2000	2.25	0.13	1.08	1.91	0.22
	Aug. 02. 2001	2.29	0.20	1.61	2.37	0.17
	Mean	2.37±0.18	0.19±0.06	1.28±0.29	1.95±0.40	0.22±0.05

Soil pH	Sampling date	Fe	Mn	Zn	Cu
		----- mg · kg ⁻¹ -----			
pH 4	July 15. 2000	105	22.3	21.4	8.11
	Oct. 07. 2000	204	35.7	31.6	7.58
	Aug. 02. 2001	126	35.2	24.9	5.14
	Mean	145±52.2*	31.1±7.60	26.0±5.18	6.64±1.58
pH 5	July 15. 2000	87.6	18.4	21.9	4.77
	Oct. 07. 2000	171	29.8	33.1	8.51
	Aug. 02. 2001	150	31.5	24.8	5.06
	Mean	133±42.2	26.6±7.12	26.6±5.81	6.11±2.08
pH 7	July 15. 2000	76.4	16.6	20.7	5.11
	Oct. 07. 2000	191	17.2	29.5	8.36
	Aug. 02. 2001	156	19.6	14.5	5.37
	Mean	141±58.7	17.8±1.59	21.6±7.54	6.28±1.81

* Mean ± Standard deviation.

실험2. 제주시 일원의 감귤원에서 pH별 토양 화학성 및 수량

Table 4는 제주시 일원의 pH가 상이한 감귤원에 대한 토양의 화학성과 수량을 조사한 것이다.

감귤원 토양 중 치환성 염기 K, Ca, Mg는 앞서 pot 실험에서와 마찬가지로 pH가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 보였고 유효인산 함량은 pH에 따라 차이가 없었다. 또한, 감귤의 수량도 토양 pH에 의해 크게 영향을 받지 않은 것으로 나타났다.

이상의 pot실험과 감귤원 현장조사를 종합하여 보면 아직까지는 토양 pH가 낮더라도 감귤나무의 엽록소 함량, 광합성량, 엽 중 무기물 성분이 크게 영향을 받고 있지 않으나 기타 환경 요인들이 감귤의 생육과 생산량에 더 영향을 미칠 것으로 사료된다.

따라서, 감귤원의 토양 산도를 교정하는 것은 감귤나무의 양분 흡수의 효율성을 위해서 매우 바람직한 일이나 시용 할 석회의 물량확보 및 인건비 등 경제적인 측면에서 어려운 점이 있으므로 보다 장기적인 측면에서 석회 시용 이외에 지역 증진을 위해 초생재배등 방법을 도입하는 것도 바람직하다고 사료된다

Table 4. The soil properties and fruit yield in the citrus orchard, having different soil pH

Soil pH	No. of orchard	O.M	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	yield
		%	mg · kg ⁻¹	- - - -	cmol · kg ⁻¹	- - - -	ton/10a
4.39±0.27*	33	8.65±6.19	277±231	0.42±0.29	1.40±1.09	0.56±0.36	358±198
5.29±0.30	10	6.07±4.74	296±191	0.54±0.45	2.96±1.87	1.02±0.60	365±165
7.07±0.26	6	3.22±1.30	275±234	1.25±0.62	12.7±3.69	2.10±1.56	341±103

* Mean ± Standard deviation.

실험3. 감귤 근권의 pH 측정

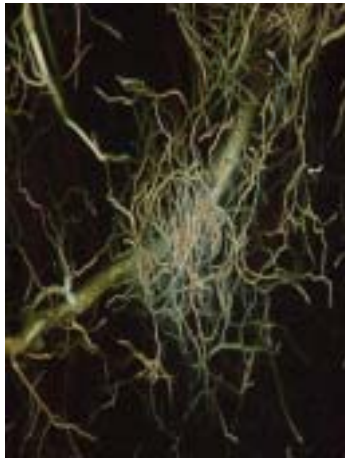
감귤나무의 뿌리에서 분비되는 유기물 중 유기산은 근권 미생물의 유기물 공급원 뿐만 아니라 근권을 형성하며(신, 1992; 유와 임, 1989; Haussling, 1985) 토양 중의 난용성 무기염 특히, 불용성의 수산화 알루미늄 또는 철 인산염을 용해하여 식물에 인을 공급하는 기능을 갖고 있는(Gregoy, 1999) 산성토양에서 활성 알루미늄과 결합하여 알루미늄-유기산 복합체를 만들어 알루미늄의 활성을 감소시킴으로써 식물에 대한 알루미늄 독 작용을 경감시켜 준다고 알려졌다.

따라서, 감귤나무 뿌리로부터 유기산이 분비되는 정도를 확인하기 위한 기초 실험으로서 생체조건에서 감귤의 근권 pH를 측정하는 방법을 고안하여 근권의 pH 변화를 조사하여 보면 Photo 1에서 보는 바와 같다.

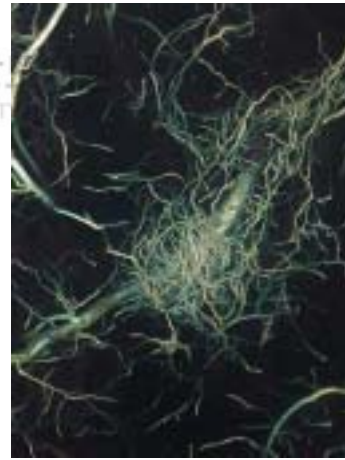
근권의 pH는 bromocresol green(초록-청색)의 변색범위를 가지고 추정하여 보면 pH 5.2 정도로 되고 있었다. 특히, 실험을 시작한지 10분만에 근활성이 높은 작은 뿌리 부분 주위에서 먼저 변색되기 시작하였으며 그 후 시간이 경과함에 따라 약간 큰 뿌리 주변에서도 변색을 관찰할 수 있었는데, Haussling (1985) 등은 토양에서 뿌리의 직경이 2 mm보다는 1 mm에서 더 먼저 변색이 된다고 하였다. 유기물함량이 높은 제주도 화산회토에서 알루미늄 활성에 의한 해로운 작용이 잘 알려져 있지 않은 것은 알루미늄-유기물 복합체를 만들기 때문이라고 보고하고 있다(柳 등, 1984). 그런데, 토양 pH에 따른 비화산회토양이 많이 분포한 제주도 지역 감귤원의 감귤 수량을 조사한 앞의 결과(Table 4)를 보면 토양 pH에 따른 수량 차이를 발견되지 못하고 있다. 그러므로, 토양 pH가 낮을 때 감귤나무에 대한 알루미늄의 해로운 작용을 충분히 예상할 수 있으나 잘 관찰되지 않은 것이 원래 감귤나무의 뿌리가 유기산 분비력이 좋아 알루미늄과 결합하여 불 활성화시켰기 때문인지를 본 연구결과로는 확인할 수 없기 때문에 뿌리의 유기산 분비량 및 종류 등에 대한 조사가 필요하다.



(A) 10 min



(B) 90 min



(C) 1200 min

Photo 1. *In vivo* pH measurement of rhizosphere of citrus tree by indicator-mixed agar

IV. 적 요

본 연구에서는 토양 pH가 토양의 화학성 그리고 감귤나무의 무기영양 및 생리특성에 어떠한 영향을 미치는 지를 알아보기 위하여 토양 pH가 4, 5, 7 범위에 있는 농암갈색 화산회토 토양에 3년생 감귤나무를 심고 pot재배를 실시하였고 현지 농가 감귤원 포장에서 감귤 수량이 토양 pH에 의해 과연 영향을 받고 있는지를 조사하였다.

또한, 감귤 뿌리주변 근권의 pH를 알아보기 위해 bromocresol green 지시약을 함유한 한천 배지 상자에 감귤나무를 심고 시간에 따라 지시약의 변색을 관찰하였다.

1. 일정 시기별로 채취한 처리구별 시험 후 토양의 pH는 각각 4.46, 5.12, 7.55 내외의 범위를 유지하였고, pot 재배 시험기간동안 토양의 pH에 변화는 관찰되지 않았다.
2. 유기물 함량과 총질소 함량은 실험전과 후의 시기별로 큰 차이를 보이지 않았다.
3. 토양 중의 Cu, Fe, Mn, Zn의 가용성 함량은 토양 pH가 7 범위인 중성보다는 pH 4 - 5 범위에서 그 용해도의 증가로 높았다. 그러나 엽 중 Cu, Fe, 그리고 Zn의 함량은 토양 pH에 영향을 받지 않았으나 Mn의 함량은 토양 pH가 낮을 때 더 높았다.
4. 감귤나무의 신엽과 구엽의 엽록소 함량은 토양 pH에 의해서 영향을 받지 않았다. 그리고 신엽에서 성엽으로 갈수록 엽록소함량은 증가하였으며 구엽은 성엽에 비해 그 값이 낮은 경향이였다. 또한, 광합성량의 경우도 토양 pH에 의해 영향을 받지 않았다.

5. 감귤 엽 중 N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu의 함량은 토양 pH에 따른 양분 유효도에 별다른 영향을 받지 않고 적정 기준치의 범위에 들고 있었다.
6. 감귤의 수확량은 토양의 pH에 의해 크게 영향을 받지 않은 것으로 나타났다.
7. 근권 주변의 pH 변화는 처리 후 10분부터 관찰되었으며 작은 뿌리 부분 주위에서 먼저 변색되기 시작하였다. 그리고 변화된 근권의 pH는 5.2 정도였으며 시간이 경과함에 따라 약간 큰 뿌리 주변에서도 변색을 관찰할 수 있었다.
8. 이상의 결과에서 보듯이 토양 pH가 낮더라도 감귤나무의 엽록소 함량, 광합성능, 엽중 무기물 성분이 크게 영향을 받지 않은 것으로 보아 현재 토양 pH가 낮은 감귤원의 감귤나무의 생육 또는 생산성이 우려할 만큼 토양산도에 의해 크게 영향을 받는 것으로 생각되지는 않으나 성목의 pot 재배시험을 통해서 토양 pH 영향을 재확인하여야 할 것으로 생각된다.



V. 참고문헌

Ahn, Y. S. 1987. Plant analysis for evaluating plant nutrition. IN 'International Training Workshop on Soil Test and Plant Analysis" RDA & FFTC. pp. 355-400.

Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in Soil. Soil Sci 59:39-45.

Bledsoe, C. S. and R. J. Zasoski. 1983. Effects of ammonium and nitrate on growth and nitrogen uptake by mycorrhizal Douglas-fir seedlings. Plant Soil 71: 445-454

Buwalda, J. G., D. P. Stribley, and T. B. Tinker 1983. Increased uptake of anions by plants with vesicular-arbuscular mycorrhizas. Plant Soil 71:463-467

Dinkelaker, B., V. Romheld and H. Marschner. 1989. Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.) Plant Cell Environ 12:285-292

Embleton, T. W. H. J. Reitz and W. W. Jone. 1967. Citrus Fertilization. p124-125. 138. In " The citrus industry vol. III Propagation, Planting, Weed control, Soil, Fertilization, Pruning, Irrigation Climate, Frost Protection" (ed. Rduther, W.). Univ. Calif. Div. Agr. Sci, Berkley, California.

Embleton, T. W. H. J. Reitz, and W. W. Jone. 1973. Citrus Fertilization.

IN W. Renther(ed) The citrus industry. vol. 3. Div. of Valancia orange.
Amer. Soc. Hort. Sci 75:244-252.

Gregory, P. J. and P. Hinsinger. 1999. New approaches to studying
chemical and physical changes in the rhizosphere: an overview. Plant.
Soil 211:1-9

현승원. 1996. 제주도 환경보전형 농업의 방향, 환경친화형 농업을 위한 국제시
포지움. 제주대학교 . 아열대 원예연구센터. pp. 119-139.

한해용. 1977. 감귤재배신서. 선우 문화사. pp. 83-395

황남열. 1979. 토양분석에 의한 석회시용. 해외연수귀국보고서. p. 10

橋本. 1986. 酸性土壤と作物生育. 養賢堂發行. pp. 10-39

Hausling, M. E. Leisen, H. Marschner and V. Romheld 1984. An
Improved Mehod for Non-destructive Measuremints of the pH at the
Root-Soil Interface(Rhizosphere). J. Plant. Plrysiol. 117:371-375

Jo, S. J., L. S. Jo., L. Y. Kim. and B. K. Hua. 1985 A Study on the
correlations among the Physical and Chemical Properties of Soils in
Korea. J. Kor. Soc. Hort. Sci 18(2):134-141.

주지호, 하상건, 엄명호, 임명식. 1988. 토양석회요구량 결정방법의 실험적 고찰.
한국토양비료학회지 21(3):280-283

감귤연구소. 1997. 감귤연구소식지. 제 1권. 3호. p1

감귤연구소. 1997. 감귤연구소식지. 제 1권. 4호. p4

감귤연구소. 1997. 감귤연구소식지. 제 2권. 1호. p1

감귤연구소. 2000. 감귤연구소식지. 제 4권. 6호. p36

감귤연구소. 2000. 감귤연구소식지. 제 5권. 4호. p46

金子衛, 鈴木鐵男, 田中實. 1970. 温州ミカンの生育と結實ならびに土壤の化學性に及ぼす多肥の影響, 愛和縣農試研報 B(2):1-10

김형옥. 1975 제주도 감귤원 토양의 인산형태 및 흡착에 관한 연구. 한국농화학회 17(3):219-233.

Ko, K. D. and S. K. Kim. 1987. Chemical Properties of Soil and Leaf Mineral Contents in Jeju citrus orchards J. Kor. Soc. Hort. Sci 28(1):45-52.

Krasnodebska-Ostrega, B., H. Emons, and J. Golimowski. 2001. Selective leaching of elements associated with Mn - Fe oxides in forest soil, and comparison of two sequential extraction methods Fresenius' Journal of Analytical Chemistry

이종기, 이근상. 1975. 제주도 초지개발에 있어서 토양학적 문제점. 한국토양비료학회 8(3):153-160.

농촌진흥청 농업기술연구소. 1989. 토양화학분석법- 토양, 식물체 pp. 22-122.

McCull, J. G. and M. k. Firestone. 1987. Cumulative effects of simulated acid rain on soil chemical and microbial characteristics and conifer

seedling growth. Soil. Sci. Soc. A. J. 51:794-800

Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In Methods of Soil Analysis 2:539-579

박훈, 유순호, 홍순범. 1975. 제주도 감귤원 토양의 특성과 관리. 한국토양비료학회 8(3):133-153.

박선옥. 1994. 토양학원론. 문운당. p. 201-209

白子勳. 1994. 果實生理學. 光雲堂 p. 18-19.

Romheld, V. 1987. Existence of two different strategies for the acquisition of iron in higher plants. In: Plants and Animals. Eds. G. Winkelmann, D. van der Helm, J. B. Neilands. VCH Verlag, Weinheim, Germany.

Romheld, V. 1998. The soil-root interface : Its relationship to nutrient availability and plant nutrition. Plants Skierniewice, Poland. p. 41-58

鈴木鐵男. 1979. 果樹의 無機管養と 果實品質ならびに 施肥をめぐる 一三の 問題点. 農及園 54(5):637-642

宋寬哲, 柳順昊. 1992. 濟州道 대표 土壤에서 Allphane 生成條件에 關한 研究. 韓國土壤肥料學會. 제 48차 學術발표. p. 15

宋寬哲. 1982. 濟州道 土壤의 化學的 特性 祖師研究. 서울대학교. 碩士學位論文.

宋寬哲, 柳順昊. 1984. 濟州道 土壤의 化學的 特誠祖師 研究 II. 柑橘園 土壤의 알루미늄의 特性. 韓國土壤肥料學會 17(2);167-173.

宋榮吳, 姜榮喜. 2001. 土壤 · 作物營養 · 肥料學. 響文社. pp. 39-45

申榮五. 1992. 土壤生態係와 土壤資源. 한림저널사. pp. 42-43, 57-75.

신제성. 1995. 우리나라 토양 특성과 석회. 환경보전농업에서 석회의 역할 심포지움. p. 7-28

Sasaki. 1975. Acid sulfate soils from neogene formation 22(2):2-14

Tan, K. H. 1993. Soil reaction in principle of soil chemistry. Dekker, Inc. pp. 255-266

유순호, 임선욱. 1989 and 1993. 토양비료. 한국방송대학교출판사. pp. 96-101, 259-289

유관식, 유순호, 송관철. 1994. 토양수분조건에 따른 Ca, Mg과 K의 이동. 한국 토양비료학회지 27(4):255-262

柳順昊, 宋寬哲. 1993. 濟州道 대표 土壤의 Andisols 分類에 關한 研究. 韓國農化學會. 93년 춘계 학술발표회. p. 158

柳順昊, 宋寬哲. 1984. 濟州道 土壤의 化學的 特誠祖師 研究 I. 地帶別 化學的 特性變化. 韓國土壤肥料學會 17(1):1-7.

柳順昊, 宋寬哲. 1984. 濟州道 土壤의 化學的 特誠祖師 研究 II. 耕作年代에 대한 柑橘園 土壤의 化學的 特誠變化. 韓國土壤肥料學會 17(2):161-167.

柳順昊. 1992. 農業 環經 汚染 輕勘 對策 研究. 農村振興淸 研究所. pp. 19-33



감사의 글

본 논문이 나오기까지 많은 지도와 격려를 아끼지 않으신 유장걸 교수님께 마음 깊이 감사 드립니다.

바쁘신 중에도 본 논문의 심사를 맡아 주신 강영길 교수님, 김찬식 교수님께도 깊은 감사 드립니다.

아울러 늘 깊은 관심과 조언을 아끼지 않은 고정삼 교수님, 류기중 교수님, 현해남 교수님께 감사 드립니다.

또한 바쁘신 가운데에도 끝까지 세심하게 교정 및 보완을 아낌없이 지도 해주신 송성준 박사님과 실험수행과 자료정리에 도움을 준 강태우 선배, 박원표, 나준혁 후배 그리고 저의 옆에서 지켜봐 주신 홍경애 박사님, 김양록, 오상호, 부창호선배님과 김기혁 후배, 고석형 조교 그리고 나를 아는 모든 분들께 감사의 뜻을 전합니다.

끝으로 오늘이 있기까지 염려하여 주시고 보살펴 주신 어머니와 가족 모두에게 고마움을 깊이 새기며, 이 논문을 아버님의 영전에 바칩니다.