

박사학위논문

감귤원에서 질소, 인산, 칼리의 다년간  
무시용이 토양화학적, 수체영양 및  
과실품질에 미치는 영향



제주대학교 대학원

농화학과

한 승 갑

2006년 2월

Effects of Long-term Non-Fertilization of Nitrogen, Phosphorus  
and Potassium on Soil Chemical Properties, Tree Nutrition and  
Productivity of Satsuma Mandarin(*Citrus unshiu* Marc.)

Seung-Gab Han

(Supervised by Professor Zang-Kual U.)



A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Doctor of Agriculture

2005. 12.

Department of Agricultural Chemistry  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

Summary .....	3
I. 서 론 .....	1
II. 연구사 .....	4
1. 제주도 토양의 특성 .....	4
2. 시비량 설정 .....	5
3. 질소성분이 수체영양과 과실품질에 미치는 영향 .....	8
4. 인산성분이 수체영양과 과실품질에 미치는 영향 .....	10
5. 칼륨성분이 수체영양과 과실품질에 미치는 영향 .....	12
6. 시비와 균근균 .....	14
III. 재료 및 방법 .....	16
1. 시험포장 조성 .....	16
2. 시비처리 내용 .....	17
3. 토양과 식물체 시료채취 및 분석방법 .....	18
1) 토 양 .....	18
2) 식물체 .....	19
4. 품질과 수량 조사 .....	20
5. 양분의 결핍 증상 조사와 결핍 회복시험 .....	21
1) 양분의 결핍 증상 조사 .....	21
2) 결핍 회복시험 .....	21

6. 질소, 인산, 칼륨의 시비량 산출 .....	22
7. 균근균 포자밀도 및 뿌리 감염률 .....	23
1) 토양 시료 채취 및 포자밀도 조사 .....	23
2) 감귤 뿌리의 균근균 감염률 조사 .....	24
IV. 결과 및 고찰 .....	25
1. 시비에 따른 감귤원 토양의 화학성 및 엽중 무기성분 변화 .....	25
1) 토양 화학성 .....	25
2) 엽중 무기성분 .....	31
2. 시비에 따른 과실 수량 및 격년결과성 .....	33
1) 수 량 .....	33
2) 격년결과성 .....	35
3. 시비에 따른 과실품질 .....	36
1) 당 도 .....	36
2) 산 함량 .....	40
3) 당산비 .....	43
4) 과실크기 .....	45
5) 착색, 과피와 양낭막 두께 .....	47
4. 적정 질소 시비량 .....	48
1) 질소 흡수량 .....	48
2) 적정 질소 시비량 추정 .....	50
3) 질소의 결핍증과 결핍 대책 .....	51
5. 적정 인산 시비량 .....	55
1) 인산 흡수량 .....	55
2) 시비 수준별 토양 인산의 변화와 적정 인산 시비량 추정 .....	55
3) 마그네슘 결핍증과 결핍 대책 .....	58

6. 적정 칼리 시비량 .....	61
1) 치환성 칼륨 함량의 변화 .....	61
2) 칼륨 흡수량 .....	63
3) 토양 중 칼륨 소모량과 적정 칼리 시비량 추정 .....	64
4) 칼륨 결핍증과 결핍 대책 .....	66
7. 시비에 따른 균근균 포자밀도 및 감염률 .....	70
1) 시비에 따른 균근균 포자밀도 .....	70
2) 시비에 따른 균근균의 뿌리 감염률 .....	72
 V. 적 요 .....	 74
 VI. 인용문헌 .....	 78



## Summary

This study was conducted to investigate the effects of the long-term treatments of N, P, K fertilizers on fruits quality and yield, tree nutrition and soil properties by cultivating 20-year-old satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc. cv. Okitsu wase) from 1994 to 2004, and to reestablish the proper application rates of fertilizers for fruit quality improvement in the area of Jeju volcanic ash soil.

The experiment plots were arranged by the randomized block design with 3 replications. Seven application rates of N, P, K fertilizers were used for the treatments of no-fertilizer (nF, 0-0-0 kg 10a<sup>-1</sup>), no-nitrogen (nN, 0-40-28 kg 10a<sup>-1</sup>), no-phosphorus (nP, 28-0-28 kg 10a<sup>-1</sup>), no-potassium (nK, 28-40-0 kg 10a<sup>-1</sup>), normal-fertilization (NPK, 28-40-28 kg 10a<sup>-1</sup>), three times of normal-fertilization (3NPK, 84-120-84 kg 10a<sup>-1</sup>), and half-phosphorus (hP, 28-20-28 kg 10a<sup>-1</sup>), respectively.

Soil physicochemical characteristics and chemical contents of leaves as well as fruit quality, yield and alternate year bearing were investigated every year, and mycorrhizal density in the root was also surveyed. The proper application rates of N, P, and K fertilizers were determined; N rate from nitrogen utilization and absorption efficiency by tree, P rate from changes of available phosphorus contents in the soil, and K rate from decreasing amount of soil potassium contents, respectively. The deficiency symptoms of micro nutrients caused by no fertilization for a long time on citrus orchard were observed, and the methods for recovery from deficiency were discussed. The results obtained are summarized as follows;

1. Soil pH was decreased by urea application as N source and lowest in the 3NPK treatment, but increased by application of fused phosphate as P source. The contents of exchangeable cations such as K, Ca, Mg were increased by application of potassium chloride and fused phosphate. But Ca, Mg contents were not increased in 3NPK treatment compared with those in NPK treatment.
2. The contents of N, K in leaves were increased by long-term application of N and K fertilizers, but the content of P in leaves was not increased by application of P fertilizer. In the 3NPK treatment, the contents of P and K were not changed compared with the NPK treatment, except nitrogen.
3. The fruit quality determined by sugar and acid contents was better in nF and nK treatments than other treatments. In nF and nK plots, the ranges of exchangeable K, Ca, Mg content were 0.56~0.60, 7.46~7.73, 2.2~3.27  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  in soil, and 9.5~11.1, 25.3~26.5, 3.5~4.2  $\text{g kg}^{-1}$  in leaves during 5 years (1996 to 2001). So the ratios of K : Ca : Mg were 1 : 13.4~14.0 : 3.9~6.4 in soil and 1 : 2.5~2.8 : 0.3~0.4 in leaves, respectively.
4. Fruit yields in nF, nP, nN treatments were lower than those in NPK, nK and 3NPK treatment. And alternate year bearings were lowest in nK treatment, and highest in nF and 3NPK treatments.
5. Significant difference in fruit sugar contents among the treatments started to appear 5 years after fertilizer treatments. Average sugar contents measured during 6 years after 5-year fertilizer treatment were

10.4 °Bx in nK treatment, and 9.7~9.8 °Bx in nN, NP, NPK and 3NPK treatments. And significant difference in fruit acid contents started to appear 3 years after fertilizer treatments, and average acid contents measured during 9 years after 3-years fertilizer treatment were 1.16% in nK treatment, and 1.30~1.35% in nN, nP, NPK and 3NPK treatments. This fact indicated that K content was important to increase sugar content and to decrease acid content in fruit.

6. Since the different amount of N absorption by fruits and trees between NPK and nN treatments was  $2.34 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  and the nitrogen absorption efficiency of fertilizer was 10%, the proper amount of nitrogen fertilizer application rate could be  $23 \text{ kg N } 10\text{a}^{-1}$ .

N deficiency symptom was determined by leaf color chart. On the deficiency symptom, chlorophyll contents and SPAD-502 values were 21~24  $\mu\text{g cm}^{-2}$  and 66~70.

7. The treatments of NPK and 3NPK increased soil phosphate contents annually but did not affect tree nutrition and fruit yield, while the hP treatment kept soil phosphate content constantly without yield decrease. That means  $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 10\text{a}^{-1}$  of the hP treatment could be reasonable application rate of P fertilizer.

In nP treatments, Mg deficiency symptom characterized by triangularly yellow spots near leaf petiole appeared and was recovered by application of  $20 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  magnesium sulfate or spray of  $5.0\sim 10.0 \text{ g L}^{-1}$  magnesium sulfate solution. When the symptom appeared, the contents of Mg in soil and leaves were  $0.7\sim 0.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  and  $2.5\sim 2.7 \text{ g kg}^{-1}$ .



8. The average amount of decreasing soil K per year could be  $0.158 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  or  $15.7 \text{ kg } 10a^{-1}$  since the absorption amount of K by fruits and trees was estimated to be  $12.9 \text{ kg } 10a^{-1}$  and the K loss from the soil  $2.8 \text{ kg } 10a^{-1}$ . Therefore,  $15.7 \text{ kg } 10a^{-1}$  of K,  $19 \text{ kg } 10a^{-1}$  as  $\text{K}_2\text{O}$ , was suggested to be the proper application rate of K fertilizer.
9. At the time when fruit acid became lower and sugar content higher in nK treatment, the exchangeable soil K was  $0.7 \sim 0.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .
10. When the K content became  $0.4 \sim 0.45 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  in soil and  $6.0 \sim 6.5 \text{ g kg}^{-1}$  in leaves, K deficiency started to appear. K deficiency symptoms characterized by yellow spots at the leaf end, defective coloring on fruit peel, small size of fruits, and dehiscent fruits appeared and recovered by application of  $33 \text{ kg } 10a^{-1}$  potassium chloride.
11. Although the densities of mycorrhizal spore in nP and 3NPK treatments were lower than those in other treatments, infection rate was highest in nP treatment.

# I. 서 론

감귤(*Citrus* Linn)은 지구상에서 생산량이 가장 많은 과실로 약 140여 개국에서 재배되고 있다. 전 세계적으로 연간 약 1억 8백 톤이 생산되고 있으며, 브라질, 미국, 중국, 멕시코, 스페인이 5대 생산국으로 세계 전체 생산량의 58%를 차지하고 있다(FAO, 2004).

우리나라에서 주로 재배되고 있는 감귤은 mandarin 계통의 품종으로 생산량은 중국, 스페인, 브라질과 일본 등에 이어 세계에서 일곱 번째로 높다. 감귤 재배는 최저 기온이  $-7^{\circ}\text{C}$  이상이고 연평균 기온이  $15^{\circ}\text{C}$  이상 되어야 하므로 우리나라에서는 제주도에서 주로 생산되고 있지만, 시설재배의 경우 남해안 지역에서도 일부 재배되고 있으며 지구 온난화 현상이 가속화되면 그 재배면적은 더욱 확산될 가능성이 높다. 또한 감귤은 1997년 이후 국내 과실 중에서 생산량이 가장 많아 우리나라 과수에서는 매우 중요한 품목 중의 하나이다.

제주도의 감귤은 1960년대 경제적 재배가 시작된 이래 그동안 꾸준히 성장하여 왔으며 2004년 현재 재배면적은 22,048 ha, 생산량은 595천 톤으로 제주 지역 1차 산업 총생산액의 16%, 농업 소득의 51.4%에 이르는 제주도의 기간산업으로 발전하였다(제주도 감귤출하연합회, 2005). 이와 같이 지속적으로 감귤 재배면적이 증가할 수 있는 이유는 해발 150 m 이하에서는 도내 어디에서든지 재배가 가능하고 타 작물에 비해 단위 면적당 소득이 높기 때문이다.

감귤이 재배되는 제주의 대부분 토양은 현무암을 모재로 한 화산회토로(신과 김, 1975; 유 등, 1978) 인산고정 능력이 강하고 난분해성의 유기물이 다량 집적되어 있을 뿐만 아니라 투수성이 양호하여 양이온의 용탈이 심한 특성을 지니고 있어(신 등, 1988; 김 등, 1973) 시비의 중요성이 강조되어 왔다. 따라서 감귤재배 초창기에는 이러한 척박한 토양 특성을 극복하기 위해 대부분의

농가에서 많은 비료를 시용하였다. 특히 90년대 초반까지는 국내 감귤 생산량이 적어 단위면적당 수량이 농가소득에 직결되었으므로 다수확을 위해 추천량의 2~3배 이상의 많은 비료를 사용하는 농가도 많았다(문 등, 1993). 이러한 과다시비는 토양의 이화학성을 악화시키고 과일의 품질을 저하시킬 뿐만 아니라 지하수의 오염을 가중시키는 원인으로 작용하여 왔다.

처음으로 제주도내 재배농가 과원의 영양상태와 시비량을 조사한 결과(김 등, 1969) 외국의 표준 시비량에 비해 과잉 시비되고 있음을 확인하고 우량농가의 엽 분석(김 등, 1969; 문 등, 1980; 고와 김, 1987)을 통하여 엽중 적정 무기성분 함량을 설정하고 역으로 감귤원 토양의 적정 시비량을 찾으려는 노력을 하였으나 엽중 무기성분과 토양 무기성분간의 뚜렷한 관계를 찾기가 어려웠고(홍과 정, 1979; 문 등, 1980) 시비량이 많음에도 불구하고 엽중 무기성분은 적정함량을 나타내어(고와 김, 1987) 엽 분석을 통한 시비량 결정은 할 수가 없었다.

정과 김(1979)에 의해 임운주 7년생을 공시하여 7년간 3요소의 시비시기와 시비량을 설정하기 위한 시험이 수행되었으나 질소 다량구에서 산 함량이 가장 낮았다는 결과 외에는 뚜렷한 결과가 없었다. 이처럼 온주밀감은 비료에 대한 반응이 민감하지 않은 특성을 지닌 과수로서 단기간에 적정 시비량을 결정하기가 어려워 장기간의 시험이 더욱 절실히 필요한 실정이었다.

1989년부터 제주도 감귤이 과잉 생산되기 시작하였고 WTO 체결로 값싸고 품질이 좋은 수입 과실류와의 경쟁이 불가피해지면서 점차 품질 위주의 농업으로 전환되었다. 또한 과다시비에 의한 부작용이 점차 인식되기 시작하면서 양적 생산 위주의 시비량에서 환경에 부하가 적고 고품질 과실의 안정생산을 위한 적정 시비량 설정이 요구되었으나 시비량이 감귤 생육과 품질에 어떤 영향을 주는지에 대한 명확한 연구 결과의 부재로 대농민 지도에 어려움이 많은 실정이었다.

한편으로는 고품질 감귤 생산을 위한 재배 환경에 대한 관심이 높아지면서

강우량을 인위적으로 차단하여 당도를 높일 수 있는 가온 하우스 재배(송, 1995)와 월동재배(김 등, 2001)등 시설재배 형태로의 전환이 이루어졌고, 노지 재배에서는 건조 스트레스를 이용한 토양 멀칭재배(노, 2002)등의 연구가 수행되었으며 기상요인과 품질과의 관계(김, 2002)에 대한 연구도 이루어졌다. 그러나 토양의 개량과 비배관리가 적절하지 않으면 품질 향상에 한계가 있다는 사실을 절실히 느끼면서 각종 양분이 품질에 미치는 영향과 토양 중 적정 함량에 대한 연구가 필요하게 되었다.

따라서 본 연구는 질소, 인산, 칼리가 감귤 수체의 영양, 품질 및 토양의 이화학적 성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 감귤 재배 면적이 가장 많이 분포된 농암갈색 화산회토에서 성목을 대상으로 실시하였다. 처리는 권장시비량 ( $N:P_2O_5:K_2O=28:40:28 \text{ kg } 10a^{-1}$ )과 질소, 인산, 칼리 각각의 결제구, 3요소 3배구, 무비료구를 두어 각 성분들이 토양 pH, 과실 품질, 수량 및 격년결과 성에 미치는 영향과 품질이 향상 되는 시점의 토양과 엽중 무기성분 함량, 각 성분들의 결핍 시점과 회복 대책 등을 조사하였다. 또한 궁극적으로는 감귤 재배 시 시비로 인한 토양 및 수질에 미치는 악영향을 최소화하면서 품질 향상에 적합한 질소, 인산, 칼리의 시비량을 재설정하고자 하였다. 더불어 인산 고정력이 강한 특성이 있는 화산회토에서 비료의 각 성분이 토양 중 균균 균 포자의 밀도 그리고 감귤나무 뿌리에 대한 감염률에 미치는 영향에 대해서도 검토하였다.

## II. 연구사

### 1. 제주도 토양의 특성

제주도 토양을 비옥도 측면에서 4개 군(群) 즉, 흑색토, 농암갈색토, 암갈색토, 적황색토로 분류하였는데(유 등, 1976), 이중 흑색토와 농암갈색토는 전형적인 화산회토로 제주도 면적의 53%(95,863 ha)를 차지하고 있으며 갈색 산림토양을 포함하면 66.4%(120,841 ha)에 달한다(엄 등, 1977).

1970년대 화산회토의 특성에 대한 연구는 주로 신과 김(1975), 유 등(1976)에 의해 이루어졌는데, 화산회토는 주광물이 allophane으로  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 과  $\text{Si}(\text{OH})_4$ 의 결합물로 규반비는 0.3~2.0이며, 토양 중 난분해성 유기물과 allophane으로부터 유리된 활성 알루미늄에 의해 인산 고정량이 많고, 미량원소의 결핍이 발생되기 쉬울 뿐만 아니라 난분해성 유기물이 집적되기 쉬우며 특히, 산성 조건하에서는  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ 의 용탈이 쉽게 일어나므로 작물 생산력이 떨어진다고 하였다(신과 김, 1975).

염기교환용량(CEC)은 20~200  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 로 일반 육지 토양에 비해 상당히 높으나, 염기의 흡착력이 약하기 때문에 강우 시 K, Ca, Mg 등의 염기와 Si 등이 심하게 용탈되며(신 등, 1964), 이로 인하여 토양의 산성화가 촉진되면 Al의 용출량이 증가되어 유리 Al의 양이 많아지게 되고 이러한 유리 Al은 인산과 결합되므로 인산의 불용화를 초래하여 결국 작물에 유효한 인산 함량이 낮아지게 된다(신과 김, 1975).

그러나 유 등(1976)은 1964년부터 5년간 토양 비옥도를 조사한 결과 유효인산 함량은 낮았지만, 일반적인 화산회토의 성질 즉, 산성화가 심하고 염기의 용탈이 커서 비옥도가 낮을 것이라는 예상과 달리 pH가 높고 치환성 염기 함량도 높은 편이었으나, 유기물 함량이 높은 토양에서는 염기교환용량이

커서 상대적으로 염기포화도 수치는 낮았다고 하였다.

화산회토양은 비화산회토양에 비하여 유기물(4~27%), 유효규산(291~884 mg kg<sup>-1</sup>), 활성 알루미늄(150~478 mg kg<sup>-1</sup>)이 많은 반면 유효인산 함량은(4~15 mg kg<sup>-1</sup>) 현저히 낮으며, 총 질소 함량은 높은 반면 무기태 질소로 방출될 수 있는 무기화율은 높지 않다고 하였다(이 등, 1983). 지대별로는 경작 년대가 오래된 해안 지역의 토양일수록 pH, 염기포화도, 유효인산, 치환성 K, Ca, Mg 함량이 높으며, 유기물 함량과 양이온 교환용량은 낮아지는 경향이라고 하였다(유와 송, 1984a).

화산회토양의 특성 중 토양을 불량하게 하는 주된 원인이 allophane에 의한다고 하였는데(신과 김, 1975) 감귤원의 경작 년대별로 allophane에서 유리된 Al의 변화를 검토한 결과 활성 Al의 함량은 높은 반면 치환성 Al의 함량은 활성 Al의 10%에 불과하며, 용성인비의 다량 시용으로 pH가 높아진 곳에서는 치환성 Al의 함량이 감소되었다고 하였다(유와 송, 1984c).

또한 1995~1999년까지 5년간 감귤원 토양 50,957점을 분석한 결과 평균 pH는 4.9, 유효인산 397 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 1.19, 3.4, 1.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 토양의 산성화가 심하고 유효인산과 치환성 칼륨 함량은 높으나 칼슘과 마그네슘 함량은 낮다고 한 바 있다(강 등, 1999).

## 2. 시비량 설정

감귤을 재배하기 시작한 이래 수량과 품질을 올리기 위해 합리적인 비배관리의 필요성을 인식하고 적정 시비량을 결정하기 위한 많은 노력이 이루어져 왔다(Embleton과 Jones, 1964; Cameron 등, 1952).

국내에서도 건전한 나무의 영양상태를 파악하고 이를 근거로 엽 중의 적정 함량을 확립하기 위한 연구가 60년대 김 등(1969)과 70년대 문 등(1980)에 이어 80년대 고 등(1987)에 의해 시도된 바 있으며, 감귤농가의 시비실태와 각

시기별 수체 영양상태의 변화를 조사하였다. 또한 엽색으로 질소의 함량을 간편하고 신속하게 판단하여 시비량을 가감할 수 있는 질소 간이 측정 엽색 판을 개발하여 농가에 보급한 바 있다(한 등, 1997b).

60년대 처음으로 우량 감귤원의 엽을 분석하여 양분의 적정 함량을 제시하였는데(김 등, 1969), 그 중 질소는  $27.3\sim 31.3\text{ g kg}^{-1}$ , 인산  $1.5\sim 1.7\text{ g kg}^{-1}$ , 칼륨  $14.2\sim 19.5\text{ g kg}^{-1}$ , 칼슘  $22.1\sim 38.7\text{ g kg}^{-1}$ , 마그네슘  $3.0\sim 4.6\text{ g kg}^{-1}$ , 망간  $29\sim 59\text{ mg kg}^{-1}$ , 철  $105\sim 159\text{ mg kg}^{-1}$ , 구리  $15\sim 41\text{ mg kg}^{-1}$ , 붕소  $33\sim 50\text{ mg kg}^{-1}$ , 아연은  $45\sim 75\text{ mg kg}^{-1}$ 로 정하였으며 농가의 연간 시비량이 10a당 질소 56.7 kg, 인산 55.0 kg, 칼리 60 kg으로 외국의 시비량에 비해 많이 사용되고 있으나 수량은 떨어진다고 하였다.

70년대 말에 문 등(1980)은 우량 감귤원을 대상으로 엽중 무기성분 함량을 조사한 바 있는데 평균값을 표준치로 하여 각 요소의 적정치를 질소는  $30.4\sim 33.0\text{ g kg}^{-1}$ , 인산  $1.5\sim 1.9\text{ g kg}^{-1}$ , 칼륨  $11.8\sim 15.6\text{ g kg}^{-1}$ , 칼슘  $28.2\sim 37.4\text{ g kg}^{-1}$ , 마그네슘  $3.9\sim 5.2\text{ g kg}^{-1}$  등으로 정하였고 도내 50% 이상의 농가가 이들 범위에 포함되었다고 하였으며 엽중 성분 함량과 과실품질간의 상관 관계를 조사한 결과 뚜렷한 관계를 볼 수 없었다고 하였다.

80년대 중반에는 고와 김(1987)이 감귤 농가의 엽중 무기성분의 평균 함량을 조사한 결과 질소는  $29.7\text{ g kg}^{-1}$ , 인산  $1.53\text{ g kg}^{-1}$ , 칼륨  $14.8\text{ g kg}^{-1}$ , 칼슘  $35.7\text{ g kg}^{-1}$ , 마그네슘  $3.4\text{ g kg}^{-1}$ 로 대부분 적정범위에 포함되고 있는데도 불구하고 여전히 많은 비료가 사용되고 있어 각종 영양장애의 발생이 우려된다고 하였으며, 엽의 성분 중 질소와 마그네슘은 수량과 정 상관관계가 있다고 보고 한 바 있다.

90년대 들어 문 등(1993)이 도내 감귤원 시비량 실태를 조사한 결과에서도 여전히 과다 사용되고 있었는데 질소질의 경우 조사 농가의 87.5%, 인산은 59%, 칼리질 비료는 70%가 권장 사용량의 2배 이상을 사용하고 있다고 하였다. 특히, 질소비료를 10a당 연간 40 kg 이하 사용하는 농가가 17.3%에 불과하

고 40~80, 80~120, 120 kg 이상 시용 농가 비율이 각각 48.8, 19.5, 14.5%나 된다고 하였다(현, 1996).

그동안 우리나라와 일본의 시비시험 결과 시비량이 증가하더라도 수량에는 효과가 없었으며 오히려 품질을 떨어뜨리고 경영비를 증가시킨다는 보고를 참고로 연구기관과 학계의 논의를 거친 후 화산회토와 비화산회토를 구분하고, 각 수령과 품종별로 적정 시비기준을 정하여 현재까지 사용되고 있는 바, 화산회토 25년생인 경우 4톤  $10a^{-1}$ 의 생산을 목표로 할 때 퇴비 2톤과 질소, 인산, 칼리의 시용량을 각각 30, 40, 30 kg으로, 비화산회토인 경우는 28, 20, 25 kg으로 정하였다(제주도 농촌진흥원, 1993).

일본의 경우 1950년대에는 시비량이 많으면 수량이 증가된다고 생각하여 비료를 다량 시비하였으나 계속된 다량 시비로 토양의 이화학성이 악화되고, 망간과잉(Sekiya와 Aoba, 1975; Moon 등, 2004) 등의 영양장애가 발생된 1960년 이후부터 시비량이 감소되어(靑葉과 關谷, 1977) 성목을 기준으로 10a 당 질소 15~35 kg, 인산 10~26 kg, 칼리 10~26 kg을 적정 시비량으로 정하였으나 여전히 다른 과수의 시비량 보다 많다고 하였다(千葉, 1982).

최근의 일본 감귤 주산단지 즉, 사가현(佐賀縣)(N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O=21 : 13 : 13 kg  $10a^{-1}$ ), 시즈오카현(靜岡縣)(N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O=23 : 15 : 13 kg  $10a^{-1}$ ), 에히메현(愛媛縣)(N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O=15 : 10 : 12 kg  $10a^{-1}$ ), 와카야마현(和歌山縣)(N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O =20 : 10 : 12.5 kg  $10a^{-1}$ )의 시비량(岩堀과 門屋, 1999)은 지역별로 조금씩 차이가 있으나 모든 지역이 현재 제주도가 정한 시비량(제주도 농촌진흥원, 1993)에 비해 월등히 적다. 특히 일본의 인산과 칼리 시비량은 제주의 비화산회토 기준 시비량에 비해 35%, 31%가 적고, 화산회토 기준 시비량에 비해서는 무려 67%, 53%가 적다.

1996년 도내 감귤원에서 과다시비에 의한 낙엽 피해가 발생하고, 친환경 농업과 안전성 및 품질 향상에 대한 관심이 커지면서 비료 과다 시용에 대한 농가 의식이 많이 바뀌고 있으나 이 등(2000)의 보고에 의하면 여전히 시비량이 많은 것으로 나타나고 있다.



### 3. 질소성분이 수체영양과 과실품질에 미치는 영향

질소는 생육, 수량 및 품질에 많은 영향을 주기(Wutscher과 Smith, 1993) 때문에 그동안 많은 연구가 이루어졌다. 질소의 시용으로 엽중 질소, 마그네슘 함량은 증가되고, 인산과 칼륨의 함량은 감소되며(Reuther와 Smith, 1949; Reitz와 Koo, 1959) 질소 시용량이 많을수록 수량은 증가하나 과중은 작아지며 착색이 불량한 과실이 많아지고 당도는 낮고 산 함량은 높아진다고 하였다(Reitz와 Koo, 1959). 中間(1967)은 질소 시비 수준이 감귤 엽의 함량에 영향을 주지 않았지만 수량은 3년간 반복 시비 후 다량구에서 높았다고 하였다. 또한 Reese와 Koo(1975)는 시비 수준을 10a당 6.7~26.9 kg으로 달리하여 6년간 시험을 수행한 결과 초기 3년간은 시비량이 많을수록 과실크기가 증가했으나 이후에는 반대의 경향을 보였고, 열과와 착색이 불량한 과실이 많았으며 당도에는 영향을 주지 않았으나 산 함량이 증가되었다고 하였다. Alva와 Paramasivam(1998)도 연간 질소 시용량을 11.2~22.4 kg 10a<sup>-1</sup> 범위에서는 시용량이 많을수록 수량은 증가하였으나, 과중, 과실크기, 품질에는 차이가 없다고 하였다. Tachibana와 Yahata(1996)는 20 kg 10a<sup>-1</sup>의 질소비료 단용시비에 비해 질소비료 10 kg 10a<sup>-1</sup>과 2 톤의 유기물을 혼용 시비시 수량이 크게 감소되지 않는다고 하였다.

한편, 국내의 경우 농가의 질소 시비량을 조사한 결과 10a당 연간 평균 56.7 kg을 사용하고 있었으며(김 등, 1969), 조생온주 유목을 대상으로 질소, 인산, 칼리를 각각 10a당 45, 30, 22.5 kg을 기준으로 반량구에서 2배구까지 처리한 결과 봄순의 신초 생장은 시비량 증가에 따라 증가하는 경향이었으나, 여름순과 주간의 비대는 감소되었다고 하였다(김과 고, 1975).

홍과 정(1979)은 7년생 유목에 주당 125~500 g까지 질소 수준을 달리하여 5년간 시비 시험을 수행한 결과 4년차까지 품질에 차이가 없었으나 처리 5년차에 질소 다량구에서 당과 산 함량이 낮아 담백하였다고 하였다. 또한 질소

시용량이 증가할수록 과피 두께가 두꺼워지고, 착색은 불량해지며, 산 함량은 높아지지만 수량에는 영향을 주지 않았다고 하였다(정과 김, 1986).

농암갈색 화산회토에서 감귤나무를 대상으로 질소비료의 이용률을 높이기 위해 2년간 관비효과를 검토한 결과 질소 회수율은 관행시비에 비해 관비로 공급시 약 2배 정도가 높았으나, 과실수량과 품질은 관행시비와 차이가 나타나지 않아 장기적인 시험의 필요성을 강조 하였다(강 등, 1998).

또한 요소 엽면시비 시의 질소 회수율이 17.7~29.2%로 관행시비인 표층시비 8.0% 보다 높아(강과 유, 1999) 비료의 효율적 시비 개선 방법이 제고되었으며, 가을에 토양으로 시용한 질소비료의 회수율은 처리 이듬해에 18.5%의 회수율을 보여(Kang 등, 2000) 峇切(1992)가 조사한 1년차의 질소 회수율 17.2%와 유사하였으나, 峇切(1992)는 처리 연수가 지속될수록 누적효과가 있어 6년차에는 30.4%로 높아졌고, 이를 바탕으로 회귀식을 적용한 결과 30년 이상의 경작지에서의 과피의 질소 회수율은 50%에 이를 것이라고 한 바 있다.

질소와 과실 품질과의 관계를 종합해 보면 질소성분은 당도에 영향을 주지 않는다는 보고(이, 2003; Cary, 1972; Reese와 Koo, 1975; Koo와 Reese, 1976; Alva와 Paramasivam, 1998; Tachibana와 Yahata, 1998)가 가장 많았다. 그리고 질소 시비량이 많을수록 당도가 떨어졌다는 보고(Calvert, 1970; Smith 등, 1968; 홍과 정, 1979)가 일부 있고, 당도가 향상되었다는 보고(Young과 Koo, 1967)는 거의 없었다.

한편 질소가 과실 산 함량에 미치는 영향에 대해서도 산 함량에 영향을 주지 않는다는 보고(이, 2003; Sato 등, 1987; Takatsuji 등, 1987; Alva와 Paramasivam, 1998)와 질소가 많으면 산 함량이 증가(Reitz와 Koo, 1959; Cary, 1972; Reese와 Koo, 1975; Koo와 Reese, 1976; Tachibana와 Yahata, 1998)되었다는 결과는 비슷하였다. 반면 질소 시용량이 많으면 산 함량이 감소되었다(Calvert, 1970; Koo 등, 1974; 홍과 정, 1979)는 보고도 있어 다른 성분과 달리 질소가 감귤 품질에 미치는 영향에 대한 견해는 매우 다양하였다.

#### 4. 인산성분이 수체영양과 과실품질에 미치는 영향

화산회토는 주광물이 allophane으로 토양 중 난분해성 유기물과 allophane 으로부터 유리된 활성 알루미늄에 의해 인산이 강하게 흡착, 고정되므로 작물 생산에 불리하고(신과 김, 1975), 인산 고정 능력이 매우 커서 인산비료를 다량 시용하더라도 토양 중 유효인산의 함량은 크게 증가되지 않는다고 하였다(신과 김, 1975). 김 등(1973)도 제주도 감귤원의 토양 흡수계수를 고려할 때 인산 시용량이 모자라기 때문에 용성인비를 기비로  $400 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  정도로 다량 시용토록 권장하였다.

밭작물에서는 이러한 화산회토의 특성이 뚜렷이 나타나는데 대두를 대상으로 시험한 결과 유효인산 함량이 낮거나 인산 고정력이 높은 토양에서는 인산의 시비량이 많을수록 수량은 높게 나타났으나 비화산회토에서는 일정 수준 이상의 시비량에서는 오히려 수량이 감소된다고 하였다(신 등, 1988). 그럼에도 불구하고 화산회성 유무에 관계없이 다량의 인산질 비료를 사용하고 있어 고와 김(1987)은 비화산회성이 강한 지역에서는 토양 중 인산 함량이  $900 \text{ mg kg}^{-1}$  이상으로 존재하고 있어 인산 과잉 장애가 우려된다고 하였다.

감귤 재배지에서도 농가에서 사용되는 인산 시비량은  $55 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 외국에 비해 매우 많다고 보고(김 등, 1969)하였으며, 유와 송(1984b)은 인산비료를 꾸준히 사용한 결과 오랫동안 경작되어 온 과원은 pH가 증가되어 활성 Al 함량이 감소로 유효인산 함량이 상당한 수준으로 증가하였다고 하였다. 신 등(1988)은 비화산회토에 비해 화산회토에서 인산 흡착량이 많아 시용된 인산이 유효인산으로 변화되는 비율이 낮은 하여도 인산 시비량이 증가하면 토양에 흡착되는 양은 적다고 하였다.

감귤은 시비반응이 느려 인산이 수체, 품질 및 수량에 미치는 영향은 잘 나타나지 않아(Reuther 등, 1958; 김과 오, 1971; 홍과 정, 1979; 송, 1992) 인산의 뚜렷한 시비반응을 보기가 어렵다(坂本 등, 1964; 安達 등, 1966; 정 등,

1982; 鈴木, 1979; 송, 1992). 특히, 인산 결핍 현상을 관찰할 수 있었던 사례는 매우 드물다고 알려져 있다(Reuther 등, 1958). 또한 타 과수와 마찬가지로 감귤의 인산 흡수량은 질소의 1/6, 칼륨의 1/4배에 불과하다(中間, 1991).

엽중 인산, 칼슘, 마그네슘의 함량은 인산 시용으로 증가되었으나 질소와 칼륨(Embleton 등, 1956), 아연과 구리 등의 함량은 오히려 감소된다고 하였다(Reuther 등, 1949; 정 등, 1982).

인산이 품질에 영향을 준다는 보고로는 인산 흡수가 적으면 과즙의 산 함량이 높아진다는 보고가 많다(鈴木, 1979; 坂本 등, 1969; 송, 1992).

국내의 경우 홍과 정(1979)은 감귤 유목에 주당 175~1,400 g 수준의 인산 비료를 시용하여 5년간 토양과 수체의 반응을 본 결과 다량 시용할 경우 토양 중 가용성 인산 함량은 증가 되었으나 엽중 인산 함량은 시비량에 관계없이 0.17~0.19 g kg<sup>-1</sup>로 차이를 보이지 않았으나 과실의 크기나 엽중 마그네슘 함량은 증가하였다고 하였다. 또한 인산 수준별 과실품질의 변화를 관찰할 수 없어 인산과 품질과의 관계는 좀 더 장기간의 시험이 필요하다 하였고, 인산비료로 산을 감소시켜 품질을 향상시키는 것을 크게 기대하기가 어렵다고 하였다.

엽중 적정 인산 함량은 국내외의 여러 연구자들에 의해 제시되었는데 Smith 등(1948, 1950)은 0.12~0.16 g kg<sup>-1</sup>, Sato 등(1952)은 0.15~0.16 g kg<sup>-1</sup>, 김 등(1969)은 0.15~0.17 g kg<sup>-1</sup>, 문 등(1980)은 0.15~0.19 g kg<sup>-1</sup>이 적정하다고 하였다.

한편, 고와 김(1987)은 제주도내 화산회토와 비화산회토 전지역중에서 200여개 과원을 대상으로 시비 및 비배관리 실태를 조사한 결과 화산회성 유무에 관계없이 인산비료가 과다 사용되고 있어 인산 과잉장해에 대해 우려한 바 있으며, 엽중 인산 함량과 수량과의 관계는 유의성이 없다고 하였다.

그동안 감귤원 토양의 적정한 인산 농도를 설정하는 데 많은 어려움이 있었으나 송(1992)은 <sup>32</sup>P bioassay법으로 절단근에 의한 인산 흡수량과 유효 인

산과의 관계를 조사함으로써 감귤의 산 함량을 낮추기 위해서는 토양 중 유효인산 함량이  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  이상 되어야하지만  $100 \sim 150 \text{ mg kg}^{-1}$  이상의 유효인산은 감귤 생육에 불필요하다고 하였다.

## 5. 칼륨성분이 수체영양과 과실품질에 미치는 영향

화산회 집적물로 allophane 점토광물이 형성되는데, allophane에서 유리된 Al이 강한 활성을 띠므로 화산회토양은 암모니아태 질소와 칼륨 성분과 같은 양이온의 용탈이 쉬운 특성이 있다(박 등, 1975; 유 등, 1976; 송, 1982). 박 등(1975)이 과실 분석에 의한 각 양분의 탈취량을 계산한 결과 칼륨 함량이 가장 많아 칼리비료를 많이 주도록 권장한 바 있어 과거부터 권장시비량보다 훨씬 많은 칼리비료를 감귤원에 사용하여 왔다.

연대별 토양중의 칼리비료의 사용량을 조사한 결과 감귤 재배 초기에는  $60 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ (김 등, 1969), 80년대  $35.8 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ (고, 1985), 90년대에도 감귤 재배농가의 70% 이상이  $40 \sim 120 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 을 사용하여(문 등, 1993) 현재 화산회토성목의 권장 시비량인  $28 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 보다 훨씬 많은 양이 사용되었다.

유와 송(1984a)은 제주도 토양이 화산회토임에도 치환성 칼륨 함량이 지대에 상관없이 전국 평균값보다 높은 원인은 화산회토가 allophane외에도 vermiculite를 다량으로 함유하고 있을 뿐만 아니라 칼륨 성분이 높은 해초 퇴비의 사용과 함께 칼리비료를 다량으로 사용하고 있기 때문이라 하였다. 또한 경작연수가 오래된 감귤원일수록 토양 중 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 함량이 증가하고 있는데, 그 원인은 용탈량 보다 시비량이 많기 때문이며 염기 함량이 증가하므로 염기포화도가 높아져 pH가 높아지고 있다고 하였다(유와 송, 1984b).

국내에서는 3요소 사용 수준별 내한성에 관한 연구(김과 고, 1975), 품질 및

생육에 미치는 효과(홍과 정, 1979), 그리고  $^{86}\text{Rb}$ 을 이용하여 K의 영양을 진단할 수 있는 가능성을 제시 한 바 있으며(유 등, 1994), 국외에서도 칼륨이 어떤 다른 성분보다 과실의 품질에 가장 많은 영향을 주는 원소로 알려져 있기 때문에 질소와 마찬가지로 그동안 많은 연구가 진행되어왔다. 칼리 시용 수준이 질소와 인산의 흡수에는 영향을 주지 않았지만(石原 등, 1965) 시용량이 많을수록 마그네슘 함량이 적어진다고 하였다(Reitz와 Koo, 1959; Lavon 등, 1999). 또한 칼륨 함량이 적은 엽에서 chlorophyll a, b와 아미노산의 함량이 관행구보다 높아졌다고 하였다(Lavon 등, 1999).

칼리비료가 과실크기에도 많은 영향을 준다고 알려져 있는데, 칼리 시용이 많을수록 과실크기가 커진다는 보고(Reitz와 Koo, 1959; Smith, 1966; 石原 등, 1965; 長谷과 石原, 1972; Reese와 Koo, 1975; Berger 등, 1996)는 많은 연구에서 비슷한 결과를 보이고 있다.

칼륨이 수량에 미치는 영향에 대한 연구는 주로 어린 묘목을 대상으로 수행되어 보고 자료가 많지 않으나 石原 등(1965)에 의하면 칼리 시용이 수량에 영향을 주지는 않지만 칼륨 함량이 지나치게 높으면 오히려 수량이 떨어진다고 하였다. 반면 長谷과 石原(1972)는 칼리 시용이 많을수록 수량이 증가한다고 하여 상반된 결과를 제시하였다.

칼륨과 과실품질과의 관계에 관한 연구는 많이 이루어졌는데, 일반적으로 칼리 시용량이 많을수록 과실의 당도는 떨어진다고 하였다(石原 등, 1965; 長谷과 石原, 1972; Reese와 Koo, 1975). 이와 마찬가지로 칼륨 결제 시 전분 함량이 유의성 있게 낮은 반면 당도와 amylase의 활성이 높았다고 하였다(Lavon 등, 1995). Huber(1984)도 칼륨 결제 시 전분 함량이 적어진 반면 hexose와 sucrose의 함량과 invertase의 활성이 높아 당도가 높았다고 하였다. 토마토와 밀에서도 칼륨의 결제 시 당이 축적된다는 연구가 보고된 바 있다(Wall, 1939; Ward, 1960). 또한 칼리 시용량이 많을수록 산 함량이 높고(Reitz와 Koo, 1959; Smith, 1966; 長谷과 石原, 1972; Reese와 Koo, 1975;

Berger 등, 1996) 과즙량이 적어지며 비타민C 함량은 증가한다고 하였다 (Smith, 1966). 특히 Berger(1996)는 칼리 비종별( $KNO_3$ ,  $KCl$ ,  $K_2SO_4$ ) 시험에서 염화칼륨 처리 시 과즙량이 많고 산 함량 증가량이 적었다고 하였다.

## 6. 시비와 균근균(Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi)

균근균(VAM)은 식물 뿌리와 공생관계를 갖는 토양 곰팡이로서 토양 중에 있는 포자가 발아하여 식물체의 뿌리에 침투하여 세포내에 기주 식물과의 양분 교환 장소로 이용되는 arbuscle과 양분 저장 기관인 vesicle을 형성한다 (Carling와 Brown, 1982).

VAM은 식물 성장, 양분흡수 및 수분에 많은 영향을 주며(Smith와 Read, 1997), 불용성 인산을 흡수하기 위해 균근균의 균사 표면에서 phosphate enzyme을 생산한다(Gianinazzi와 Gianinazzi, 1978). 또한 단백질 및 탄수화물을 배출함으로써 토양 입단화와 건전성에 영향을 주고(Hooker 등, 1994) 감귤에서 과실의 당도 증가와 산 함량의 감소 및 착색을 양호하게 하여 품질을 향상시키기도 한다(Shrestha 등, 1996).

국내에서도 90년대 이후 균근균에 대한 관심이 증가하여 시설재배지의 균근균의 포자밀도(박 등, 1999a; 손 등, 2003), 인산 시용량에 따른 균근균의 증식 효과(박 등, 1999b; 김 등, 2004), 균근균 접종에 따른 작물의 생육(손 등, 1994; 손 등, 1992; 조 등, 2004)에 관하여 조사된 바 있다. Brundrett 등 (1994)에 의하면 인산이 부족하면 뿌리 세포막의 투과성이 느슨해져 균근균의 뿌리에 대한 감염 발달에 필요한 양분의 획득이 용이한 반면 인산 공급이 충분할 때에는 세포막의 투과성이 감소되어 뿌리 분비물이 줄어들기 때문에 균근균의 발달이 저해 받는다고 하였는데, 김 등(2004)은 고구마의 분무경 재배 시 인산 농도가 높을수록 뿌리의 생성은 많았으나 균근균 감염 정도는 인

산 농도가 높을수록 낮았다고 함으로써 같은 결과를 보여주었다.

시설 재배지의 균근균 포자밀도는 건토 1g당 2.2~31.2개(손, 1991) 고추 재배지 1.0개, 오이 2.1개, 수박과 참외 재배지에서는 각각 2.5개와 1.6개로 나타났다(박 등, 1999a), 양파 재배지 12.1개, 마늘 11.7개, 고추 10.1개(손 등, 2003)로 재배시기와 작물 재배지별로 다양하게 분포하는 것으로 알려져 있다.

강 등(2003)이 화산회토양에서 시용 인산 농도를 달리하여 텡자나무의 균근균 형성율을 조사한 결과 시용 인산 농도가  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ 일 때 형성율이 가장 높았고,  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  이상일 경우 점차 감소되었으며 수체의 생육은 균근균 접종으로 효과가 높았다고 하였다.

최근들어 지속가능한 환경농업에 대한 관심이 고조되면서 초생재배 면적이 증가하고 있는데, 초생재배를 할 경우 균근균의 밀도 증가에 효과적인 것으로 알려져 있다(Ishii 등, 1998; Ishii 등, 2000).





### III. 재료 및 방법

#### 1. 시험포장 조성

본 시험은 농암갈색 화산회토 지역인 제주도 남제주군 남원읍 하례리의 감귤연구센터 시험포장에서 수행하였다. 시험 전의 토양 화학성은 Table 1과 같은데 칼슘과 마그네슘 함량이 제주도 감귤원 토양의 평균치인 3.4, 1.5  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (강 등, 1999) 보다 높다. 이는 시험포장을 조성하면서 10a당 고토석회 400 kg을 살포한 영향이 크기 때문이다.

시험수로는 홍진조생(*Citrus unshiu* Marc.) 20년생을 사용하였고, 주간거리 4.8 m로 900평에 180주를 식재하였다.

시험 처리구간에 비료의 이동을 차단하기 위하여 시험 처리 전에 중장비를 이용하여 토심 60 cm까지 고랑을 파서 두께 2 mm의 폴리에틸렌 필름을 매설하여 경계를 구분하였고, 지표면 위에는 강우 시 유거수의 흐름을 막기 위해 10 cm 높이의 경계석을 설치하였다(Photo 1).

Table 1. Chemical properties of the soil before experiment

pH (1:5)	T-N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Av. $\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Ex. cation ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )			CEC ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ )
			K	Ca	Mg	
5.7	6.5	141	1.36	9.62	2.32	21.2



Photo 1. Layout of experimental field.



## 2. 시비처리 내용

각 처리별 시비량은 토양과 수령별로 구분하여 만들어진 감귤 표준 시비 기준(제주도 농촌진흥원, 1993)에 따라 농암갈색 화산회 토양의 20년생 감귤 나무에 맞는 시비기준 양을 적용하였다. 즉, 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ , 28-40-28 kg  $10a^{-1}$ )를 기준으로 하여 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ , 0-0-0 kg  $10a^{-1}$ ), 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ , 0-40-28 kg  $10a^{-1}$ ), 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ , 28-0-28 kg  $10a^{-1}$ ), 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ , 28-40-0 kg  $10a^{-1}$ ), 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ , 84-120-84 kg  $10a^{-1}$ )를 두었으며, 처리구당 8주를 식재하여 이중 수세가 균일한 3주를 선정하여 1반복으로 하였고 난괴법 3반복으로 처리구를 배치하였다. 인산은 시비량별 수체내의 양분 변화의 관찰이 어려우므로 토양 중에서의 함량변화를 세밀하게 조사하기 위해 인산 1/2구( $N_1-P_{1/2}-K_1$ , 28-20-28 kg  $10a^{-1}$ )를 두었다(Table 2).

질소질 비료는 요소를 사용하였으며 3월, 6월, 11월에 각각 50, 20, 30% 비율로 나누어 사용하였으며, 인산질 비료는 용성인비로 3월에 전량 기비로 공급하였다. 또한 칼리질 비료는 염화칼리로 공급하였는데, 각 시기별로 30, 40, 30% 비율로 질소질 비료 사용시기와 같은 시기에 사용하였다.

Table 2. Application level of N, P and K fertilizers

Treatment <sup>z</sup>	Fertilizer level (kg 10a <sup>-1</sup> )
	N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	28 - 40 - 28
N <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>0</sub>	0 - 0 - 0
N <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	0 - 40 - 28
N <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>1</sub>	28 - 0 - 28
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>0</sub>	28 - 40 - 0
N <sub>1</sub> -P <sub>1/2</sub> -K <sub>1</sub>	28 - 20 - 28
N <sub>3</sub> -P <sub>3</sub> -K <sub>3</sub>	84 - 120 - 84

<sup>z</sup>N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application; N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate; K<sub>1</sub>, recommended application rate; N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

### 3. 토양과 식물체 시료채취 및 분석방법

#### 1) 토 양

토양은 봄 비료 시용전인 3월에 조사수로 지정된 나무의 주간에서 약 1 m 바깥지점 즉, 뿌리 분포량이 가장 많은 수관 가장자리의 토심 5~15 cm에서 처리구당 6지점의 시료를 채취하여 혼합하였다. 채취한 토양은 통풍이 잘되

는 음지에서 풍건시켜 1 mm 체로 통과시킨 후 폴리에틸렌 용기에 넣어 습기가 들어가지 않도록 봉한 후 음지에 보관하면서 농업과학기술원 토양 화학 분석법(NIAST, 2000)에 따라 분석하였다. pH는 25°C 실온에서 토양과 증류수 비율을 1:5로 하여 유리막대로 잘 저은 후 1 시간가량 방치한 후에 pH 측정기(Orion 720, USA)로 측정하였다. 교환성 양이온 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 1 N  $\text{NH}_4\text{OAc}$ 로 침출시켜 원자흡광 분광광도계(AA-200, Varian Co., Australia)와 유도결합 플라즈마 원자방출 분광광도계(Flame-EOP, Spectro Co., Germany)를 이용하여 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 추출한 후 분광광도계(Cary 100, Varian Co., Australia)를 이용하여 측정하였고, 총 질소 함량은 황산-과산화수소 분해법으로 분해한 후 켈달법으로 분석하였다.

## 2) 식물체

봄 비료 시비직전 봄순에서 1.0~1.5 m 높이의 수관 바깥쪽에 있는 결과모지에서 엽령이 10~11개월이 된 엽을 주당 8엽씩 채취하여 처리구당 24엽을 혼합하여 흐르는 수돗물로 깨끗이 세척한 후 75°C에서 48시간 이상 건조시켜 40 mesh로 분쇄하여 습기가 들어가지 않도록 폴리에틸렌 병에 넣고 밀봉한 후 분석 시료로 사용하였다.

전 질소는 semi-micro Kjeldahl법을 이용하여 분석하였다. 즉, 시료 0.5 g을 취한 후  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5~8 ml와 분해촉진제( $\text{K}_2\text{SO}_4+\text{SeSO}_4$ ) 3 g 을 넣고 400~420°C에서 90분간 분해하여 엽의 모든 amino 또는 nitro 형태의 질소를 ammonium태의 질소로 변환 시킨 후 질소 자동 적정장치(Kjeltec Auto 1030 Analyzer, Tecator Co., Sweden)에서 측정하였다. 이때 적정액은 0.05 N HCl을 사용하였다.

양이온은 켈달 튜브에 시료 1.0 g과 ternary solution 용액( $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4=10:1:4$ ) 10 ml를 넣고 180~200°C에서 90분간 가열한 후 300°C에서 2 시간 동안 분해하였다. 분해액은 여과하여 50 ml 부피로 맞춘 후 희석하여 원자흡광 분광광도계와 유도결합 플라즈마 원자방출 분광광도계로 측정하였다.

#### 4. 품질과 수량 조사

품질 조사용 과실은 11월 초순경에 처리구당 지정된 조사수 3주를 대상으로 각 개체수의 동서남북 방향에서 엽을 채취한 높이에 착과된 과실중에서 처리구당 21과를 채취하였다. 채취 과실은 착과된 과실중에서 평균 크기에 해당되는 것을 선정하였다. 또한 시험 조사용으로 사용된 과실의 중량은 나중에 생산량에 포함시켰다.

과즙의 가용성 고형물과 산 함량은 과피를 제거한 후 깨끗한 망사에 내용물을 넣고 압착하여 즙을 채취한 후 당산 자동 측정기(NH-1000, Horiba Co., Japan)를 사용하여 실온에서 측정하였다.

과실의 착색은 채취된 과실을 부드러운 형짚으로 깨끗이 닦은 후 색차계(Color-eye 2145, Macbeth Co., USA)를 이용하여 과실의 측면 중앙부분 5개 지점의 L(명도), a(적녹도), b(황청도) 값을 측정하여 평균하였다.

과피 두께는 7개의 과실을 1조로 하여 한 과실의 과피를 4등분하여 벗겨낸 후 한 과실 당 한 조각씩 취하여 전체 7조각을 포개어 중앙 부근을 칼로 자른 후 vernier calipers로 측정하여 평균하였다.

양낭막 두께는 양낭을 반으로 나눈 뒤 중심 유관속의 중앙 부위에서 바깥쪽 5mm 부근 지점을 두께 측정기(BGM-3, Saginomiya Co., Japan)로 측정하였다.

수량과 과실크기별 비율은 조사 수 전체의 과실을 측정하였고, 과실크기별 비율은 10등급으로 나뉘져 있는 선과기를 이용하여 크기별 등급을 나눈 후 수량을 측정하였다. 과실 채취일은 1998년과 1999년에는 11월 4일에, 나머지는 11월 10일을 기준으로 채취하였다.

## 5. 양분의 결핍 증상 조사와 결핍 회복시험

### 1) 양분의 결핍 증상 조사

질소 결핍은 온주밀감의 질소 간이 엽색판(한과 임, 1998)을 기준으로 질소 결핍에 해당되는 1번과 2번의 엽색에 해당되는 엽을 결핍엽으로 판단하였다. 마그네슘 결핍은 엽 자루 부위에 삼각형 모양의 황화증상 발생 유무에 의해, 칼륨 결핍은 엽 선단 부위의 황화증상 발생 유무에 의해 결핍 여부를 판단하였고, 결핍이 나타난 나무를 대상으로 20개 엽을 채취하여 각각의 결핍된 성분 함량을 정상 엽과 비교 조사하였다. 질소가 결핍된 엽은 부드러운 형질으로 깨끗이 닦고 엽 중앙 부분의 L(명도), a(적녹도), b(황청도)을 색차계(Color-eye 2145, Macbeth Co., USA)로 측정한 후 클로로필 측정기(SPAD-502, Minolta Co., Japan)로 엽의 중앙 부분을 엽 당 20회 반복 측정하여 클로로필의 값을 구하였다(Sibley 등, 1996; Chang과 Robinson, 2003).

그 후 사무용 펀치로 엽 중앙의 4곳을 뚫어서 채취한 조각을 50 ml의 코니칼 튜브에 넣고 *N,N*-dimethylformamide(DMF) 10 ml를 가한 후 빛이 차단된 80°C 항온기에서 6시간동안 추출 한 후 분광광도계(Cary 100, Varian, Australia)를 이용하여 647과 664.5 nm의 파장에서 흡광도를 측정한 값을  $\text{total chlorophyll} = 17.9A_{647} + 8.08A_{664.5}$ 에 대입하여 클로로필 함량으로 하였으며 (Morran과 Porath, 1980; Inskeep과 Bloom, 1985), 펀치로 뚫고 난 나머지 엽 부분은 질소 함량을 분석하는데 이용하였다.

### 2) 결핍 회복시험

질소 결핍 회복시험을 위하여 1999년 11월에 요소 농도(3.0, 5.0, 10.0 g L<sup>-1</sup>)를 달리하여 주당 10 L씩을 7일 간격으로 3회 엽면 살포하여 이듬해 같은 기간에 결핍증의 회복 여부를 조사하였다.

인산 결핍증은 인산 무처리구에서 시험기간 동안 가시적으로 관찰할 수 없

었지만, 과실이 많이 달린 가지를 중심으로 2001년과 2002년 수확기에 마그네슘 결핍증이 발생하였다. 결핍 증상이 발생한 나무를 대상으로 이듬해 3월 중순에 토양으로 황산마그네슘 20 kg 10a<sup>-1</sup>를 1회 시용하였고, 엽면으로 황산마그네슘의 농도(5.0, 10.0, 20.0 g L<sup>-1</sup>)를 달리하여 주당 10 L씩 7일 간격으로 4회 엽면 살포하여 같은 해 11월에 마그네슘의 결핍 회복 여부를 조사하였다.

한편, 칼륨 결핍에 대한 회복시험은 2002년에 발생한 나무를 대상으로 토양으로 염화칼륨 20 kg 10a<sup>-1</sup>를 봄, 여름, 가을에 30, 40, 30% 비율로 나누어 시비하였고, 2004년에 결핍 회복 여부를 조사하였다.

## 6. 질소, 인산, 칼륨의 시비량 산출

비료로부터 흡수된 질소량은 1994년부터 6년간 10a당 질소 권장 시용량 28 kg을 처리한 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)와 질소비료를 사용하지 않은 무질소구(N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)의 수체에 흡수된 질소의 함량차로 구하였다. 즉, 과실에 흡수된 질소량은 과피와 과즙을 착즙한 후 남은 펄프를 건조시켜 질소 함량을 구하였고, 착즙한 액은 직접 분해하여 질소 함량을 구하였다. 수체 생육에 소요된 질소량은 성목이기 때문에 전정량과 거의 비슷하므로 전정된 가지와 엽을 건조시켜 질소 함량을 조사하여 계산하였다.

권장 시비량은 본 시험과 같은 농암갈색 화산회토에서 동위원소를 이용한 시험(강 등, 1998; 강과 유, 1999; Kang 등, 2000; 이, 2003)에서 보고된 질소 이용률 10%를 적용하여 다음과 같이 산정하였다.

$$\text{적정 성분량(kg 10a}^{-1}\text{)} = (\text{표준시용구의 흡수량} - \text{무질소구의 흡수량}) \times 100 / \text{이용률(10\%)}$$

인산은 시비량에 따라 수체내 인산 흡수량의 차이를 관찰하기 어려우므로 무인산구(N<sub>1</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>1</sub>), 인산 1/2구(N<sub>1</sub>-P<sub>1/2</sub>-K<sub>1</sub>), 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>), 3요소 3배

구(N<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>-K<sub>3</sub>)의 토양 중의 연차적 인산 함량의 변화를 조사하여 토양 중 인산 함량이 송(1992)이 제시한 함량인 100~150 mg kg<sup>-1</sup>을 유지한 시비량을 적정 시비량으로 하였고 이보다 누적될 경우 과잉 시비량으로 산정하였다.

칼륨의 시비량은 근권내에서 없어지는 칼륨량을 구하여 이를 최대 시비량으로 고려하였다. 칼륨의 소모량을 구하기 위해 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)에서 6년간의 토양 중 치환성 칼륨의 평균 감소량(R)을 구한 후 근권이 분포된 토심 30 cm를 기준으로 토양의 용적밀도(0.85 ton m<sup>-1</sup>)를 환산하여 토양무게를 구한 후 다음과 같은 식에 적용하였다.

$$\begin{aligned} 10a \text{의 토양 무게}(\text{kg } 10a^{-1}) &= 1000 \text{ m}^2/10a \times 0.30 \text{ m} \times 0.85 \text{ ton m}^{-1} \times 1,000 \text{ kg/ton} \\ &= 255,000 \text{ kg } 10a^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{연간 칼륨 소모량}(\text{kg } 10a^{-1}/\text{yr}) &= \text{토양 무게}(255,000 \text{ kg } 10a^{-1}) \times \text{년간 평균감소량} \\ &\quad (\text{R cmol}_c \text{ kg}^{-1}/\text{yr}) \times \text{칼륨 } 1 \text{ cmol}_c (0.3909 \text{ g cmol}^{-1}) \\ &= \text{R } 99679.5 \text{ g } 10a^{-1}/\text{yr} = \text{R } 99.6795 \text{ kg } 10a^{-1}/\text{yr} \end{aligned}$$

또한 계산된 칼륨(K)량에 1.204를 곱하여 칼리(K<sub>2</sub>O)량으로 환산하여 이를 칼리비료의 추천량으로 산정하였다. 또한 수체내 필요한 칼륨량은 질소 성분과 마찬가지로 과실과 전정가지로 나누어 계산하였다.

## 7. 균근균 포자밀도 및 뿌리 감염률

### 1) 토양 시료채취 및 포자밀도 조사

1994~2005년까지 연간 시비량을 달리한 감귤원 시험 포장에서 2004년과 2005년 7월에 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>), 무질소구(N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>), 무인산구(N<sub>1</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>1</sub>), 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>), 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>), 3요소 3배구(N<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>-K<sub>3</sub>)에서 각각 토



양을 채취하여 비닐주머니에 넣어 4℃ 냉장 보관하여 포자 분리에 이용하였다. 우선 토양을 균일하게 혼합한 후 토양 시료 30 g을 취해 수돗물에 현탁하여 500  $\mu\text{m}$ 와 45  $\mu\text{m}$  체를 이용하여 500  $\mu\text{m}$  체에 모인 잔사는 버리고, 45  $\mu\text{m}$  체에 모인 잔사를 모았다. 수집된 잔사를 50 ml 튜브에 넣고 45 ml 되도록 물을 넣은 후 원심분리(2,000 rpm, 3분)하여 상정액을 버리고, 50% sucrose 용액을 튜브의 40 ml 선까지 채우고 원심분리(2,000 rpm, 1분)하여 상정액을 취하였다. 이와 같이 3회 반복하여 수집된 상정액을 45  $\mu\text{m}$  체에 비우고 수돗물로 세척한 후 페트리디쉬에 넣고 실체 현미경(SMZ-2T, Nikon, Japan)하에서 포자를 계수하였다. 시료 30 g의 건토무게를 구하기 위해 105℃에서 충분히 건조시킨 후 측정하였다.

## 2) 감귤 뿌리의 균근균 감염률 조사

감귤 뿌리의 균근균 감염률은 처리별로 3지점에서 채취한 세균을 formalin acetic acid (formalin:glacial acetic acid:ethanol=1:1:1, v/v/v) 혼합 용액에 염색 전까지 보관하였으며 Phillips와 Hayman(1970)의 염색방법에 따라 다음과 같이 수행하였다.

뿌리의 선단에서 2 cm 길이로 10개의 절편을 잘라 유리병에 넣고 10% KOH액을 뿌리가 잠길 정도로 넣고 90℃ 항온수조에서 120분간 침지한 후 실온으로 냉장하여 물로 2회 세척한 후 10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 액으로 60분간 표백시켰다. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>액을 비우고 물로 헹구고 0.2 N HCl에 1분간 침지하여 산성화시킨 후 HCl을 버렸다. 그 후 0.05% trypan blue 염색 용액(lactic acid:glycerol:water=87:6.5:6.5 ml 혼합액 + trypan blue 0.05 g 혼합)을 넣어 60℃에서 10분간 증탕한 후 50분간 실온에서 방치하여 염색하였다. 감염률은 Ishii와 Kadoya(1994)의 방법에 의해 광학현미경(Axioskop 2, Carl Zeiss Co., Germany)하에서 조사하였으며, 감염된 뿌리 내의 균사의 길이를 전체 조사된 뿌리 길이로 나누어 계산하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 시비에 따른 감굴원 토양의 화학성 및 엽중 무기성분 변화

#### 1) 토양 화학성

11년간 질소, 인산, 칼리비료의 각각의 무시용, 표준 또는 3배 처리시 토양의 pH 변화를 나타낸 것이 Fig. 1이다.

3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )의 토양 pH는 반복 시비 연도가 지속됨에 따라 처리 전 5.7에 비해 약간 상승한 경향이며 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )는 크게 높아 졌다. 반면에 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )의 pH는 다소 감소하다가 시비전과 거의 비슷하였고, 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )는 크게 떨어졌다. 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )에서 질소질 비료를 주지 않았을 때( $N_0-P_1-K_1$ )의 pH는 처리전보다 증가하였으나, 3요소구에서 칼리질 비료를 주지 않았을 경우( $N_1-P_1-K_0$ )에는 거의 차이가 없는 것으로 나타나 질소질 비료로 사용한 요소는 감굴원 토양의 pH를 떨어뜨리는 주 요인이라 생각된다. 특히, 인산질 비료를 사용하지 않을 경우( $N_1-P_0-K_1$ )에 pH가 많이 떨어지는 것으로 보아 인산질 비료로 사용한 용성인비는 토양의 pH를 높이는데 기여하고 있음을 알 수 있으며, 이는 인산비료 외에 고토(12%)와 석회(30%)에 의한 것으로 사료된다. 또한, 실험 초기 3년 동안 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )의 토양 pH가 완만히 감소되다가 4년 차에 현격히 떨어지는 것으로 보아 석회와 고토 공급이 중단되어도 3년까지는 토양의 완충작용에 의해 조절되는 것으로 사료된다.

질소, 인산, 칼리의 3배시비구( $N_3-P_3-K_3$ )에서 시험 2년차부터 pH가 현격히 떨어진 원인은 표준시비량보다 3배 시비된 요소와 염화칼륨에 의한 것이라 사료되며, 7년차 이후 pH가 상승하는 것은 용성인비에 의한 토양 pH 교정 효과는 오랫동안 시비했을 때 나타난다는 것을 보인 결과로 판단된다.

반면에 비료를 전혀 사용하지 않았을 경우 토양중의 염기가 빗물에 의해

유실 또는 식물체 내에 흡수되므로 점차 염기 함량이 감소되면 pH가 떨어질 것으로 예상했으나, 본 시험에서는 거의 변화가 없는 것으로 나타나 감귤원 토양의 pH 저하 원인이 다른 요인보다 요소나 염화칼륨 시비의 영향이 크다는 것을 암시하고 있다.



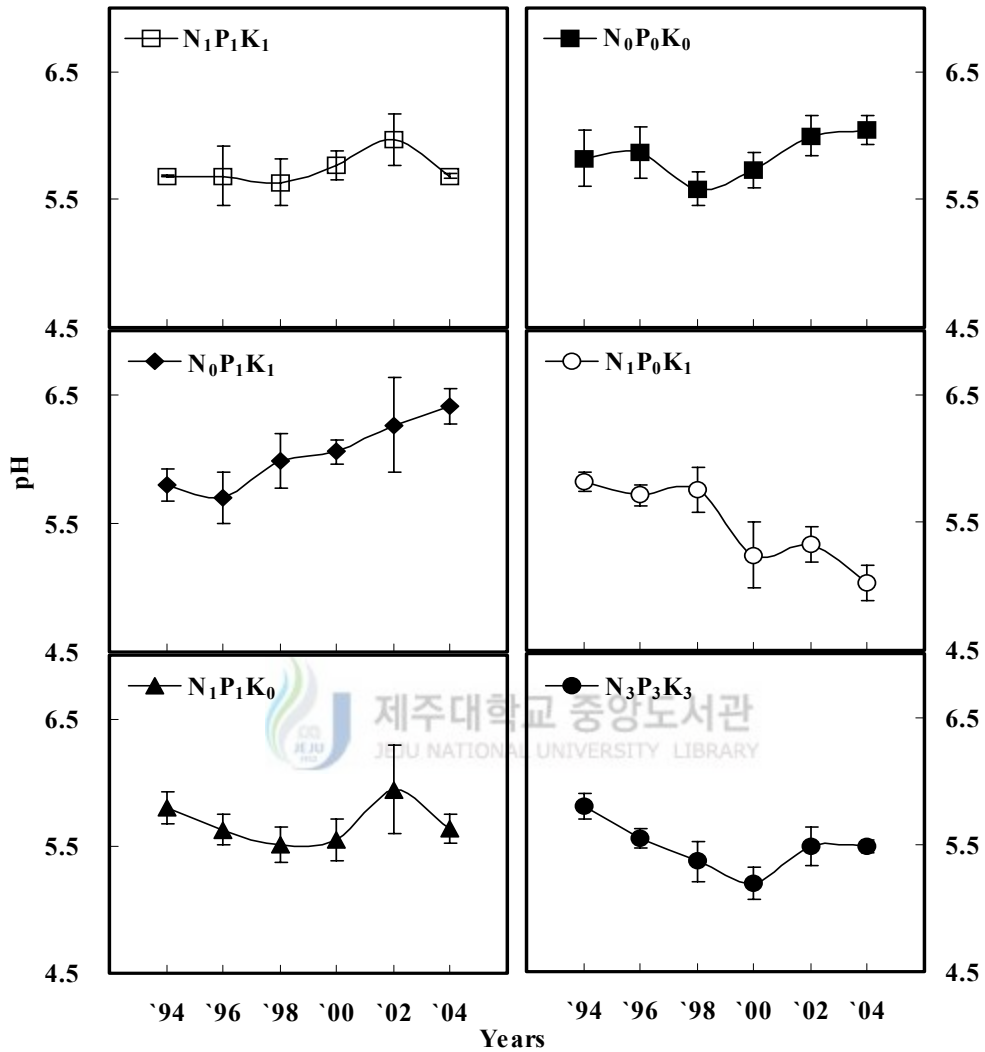


Fig. 1. Changes of pH in the very dark brown volcanic ash soil of satsuma mandarin orchard, as applied with the different combinations of N, P and K fertilizers for 11 years from 1994 to 2004.

Vertical bars indicate standard deviation (n=3).

$N_0$ , no nitrogen application;  $P_0$ , no phosphorus application;  $K_0$ , no potassium application;

$N_1$ , recommended application rate;  $P_1$ , recommended application rate;

$K_1$ , recommended application rate;

$N_3$ , three times of  $N_1$ ;  $P_3$ , three times of  $P_1$ ;  $K_3$ , three times of  $K_1$ .

Table 3은 처리 간에 과실의 품질 차이가 나타나기 시작한 3년차(1996년) 부터 칼륨, 마그네슘의 결핍증세가 발생하기 시작한 8년차(2001년)까지의 토양 중 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 평균 함량과 비율을 나타낸 것이다.

Table 3. Effect of the different combinations of N, P and K fertilizers on the average of exchangeable cations of satsuma mandarin orchard soil sampled from 1996 to 2001.

Treatment <sup>z</sup>	Exchangeable cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			Ca/K	Mg/K
	K	Ca	Mg		
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	1.42 b <sup>y</sup>	9.37 ab	3.36 abc	6.5 b	2.4 bc
N <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>0</sub>	0.60 c	7.73 ab	2.22 bc	13.4 a	3.9 b
N <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	1.80 a	10.93 a	5.42 a	6.0 b	3.2 b
N <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>1</sub>	1.32 b	6.11 b	1.24 b	4.3 b	0.9 c
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>0</sub>	0.56 c	7.46 b	3.27 ab	14.0 a	6.4 a
N <sub>3</sub> -P <sub>3</sub> -K <sub>3</sub>	1.84 a	7.59 ab	4.27 ab	4.3 b	2.4 bc

<sup>z</sup>N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application; N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate; K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)의 평균 치환성 칼륨 함량은 1.42 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 처리 전 1.36 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>(Table 1)과 비슷하게 유지된 반면, 무질소구(N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)와 3요소 3배구(N<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>-K<sub>3</sub>)의 칼륨 함량은 각각 1.80, 1.84 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 처리전보다 높아졌고, 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>)와 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)는 각각 0.60, 0.56 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 떨어졌다.

무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )의 평균 칼륨 함량은  $1.32 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )보다 약간 낮은 경향이지만 '98년 이후 급격히 칼륨 함량이 떨어졌다(Fig. 6). 이는 인산과 칼륨의 길항작용(Embleton 등, 1956; 長谷과 石原, 1972) 외에 인산비료인 용성인비에 함유되어 있는 칼슘과 마그네슘의 무시용으로 이들과 길항작용이 있는 칼륨의 흡수가 많았기(Table 4) 때문이라 사료된다. 특히, 마그네슘 결핍이 발생되기 전에는 시비된 칼리비료로 토양 중 칼륨 함량이 처리전과 큰 차이 없이 유지 되었지만, 마그네슘 결핍증이 나타날 정도로 토양 중 마그네슘 함량이 적어진 2000년 이후부터 토양 중 칼륨 함량은 급격히 감소하였다(Fig. 6). 이는 토양 중 마그네슘 함량이 적으면 칼륨의 흡수가 증가되므로 토양만 분석 할 경우 토양 중 칼륨 함량이 낮게 조사되어 영양 진단 시 오류를 범할 수 있음을 보여주는 것이라 할 수 있다.

무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )의 엽중 칼륨 함량이  $13.4 \text{ g kg}^{-1}$ 로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )  $12.1 \text{ g kg}^{-1}$ 에 비해 높음(Table 4)에도 불구하고 토양 중 칼륨 함량이  $1.80 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )  $1.42 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 에 비해 토양 중 칼륨 함량이 높게 나타났다. 이는 암모니아태 질소와 칼륨이 길항관계가 있다는 보고(Reuther와 Smith, 1949; 長谷과 石原, 1972; 정과 김, 1986)와 같이 질소질 비료의 무시용으로 요소비료( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ )가 분해되어 발생하는  $\text{NH}_4^+$ 과 길항작용이 없으므로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )보다  $\text{K}^+$ 의 유실량이 적었기 때문이라 사료된다.

또한 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )의 토양 중 칼슘과 마그네슘 함량이 각각 10.93,  $5.42 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ ) 9.37,  $3.36 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 에 비해 높은 경향을 보였는데, 이는 칼슘과 마그네슘보다 이동성이 빠른 칼륨이 우선적으로 많이 흡수되어 칼륨과 길항성질이 있는 이들의 흡수가 적었기 때문인 것이라 생각된다. 따라서 질소비료 시용량이 너무 적으면 칼륨의 흡수가 증가하고, 칼슘과 마그네슘 흡수가 감소될 것으로 사료된다. 이는 질소 무시용시 칼륨의 흡수가 증가되었다는 보고(長谷과 石原, 1972; 高橋 등, 1980)와 부지화 품종에

서 질소를 결제시켰을 때 칼슘, 마그네슘 흡수량이 감소했다는 내용(박, 2003)과 일치하였다.

무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )와 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )의 토양 중 치환성 칼륨 함량은 약  $0.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 가장 낮았고, 엽 내 흡수량도 적은 반면 길항 성질이 있는 칼슘과 마그네슘의 흡수량은 많았다.

3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )의 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 1.84, 7.59,  $4.27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )에 비해 토양 중 칼륨 함량은 유의성 있게 많았다. 그러나 시비량에 비해 토양 중 이들 함량차이가 적은 이유는 칼륨, 칼슘, 마그네슘이 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )의 약 3배정도 용탈되고(한, 1997a) 요소의 다량 시비로 pH 저하에 의한 양이온 용탈이 많았기 때문이라고 사료된다.

품질이 가장 우수했던 시기의 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )와 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )의 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각  $0.56 \sim 0.60$ ,  $7.46 \sim 7.73$ ,  $2.22 \sim 3.27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )의  $1.42$ ,  $9.37$ ,  $3.36 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 에 비해 칼륨 함량이 월등히 낮았다. 밭 토양에서 산성토양을 개량하기 위해서는 pH를 6.5 정도로 조절하고 염기포화도를 80% 정도로 하는 것이 바람직하며, 치환성 칼륨, 칼슘과 마그네슘의 비율은 1:12:3 정도로 맞추는 것이 적정하다고 하였다(농진청, 2001). 본 시험에서 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )와 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )의 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 비율은 1:13.4~14:3.9~6.4로 이와 비슷한 경향을 보이는 반면 다른 처리구는 1:4~6.5:0.9~3.2로 적정 비율과 차이가 많이 나타났다. 특히 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ ) 경우 1:4.3:2.4로 칼슘과 마그네슘에 비해 칼륨 함량이 상대적으로 매우 높았다.

강 등(1999)이 조사한 제주도 감귤원 토양의 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량의 비율을 보면 1:2.9:1.2로 염기 불균형이 심각한데 이는 칼륨 함량이 높고, 칼슘과 마그네슘의 함량이 낮기 때문이다. 토양 중 칼륨 함량이 높은 원인은 그동안 칼리비료가 감귤유목의 성장 촉진(박 등, 1975)을 중점시비와 성목이

된 이후에도 지속적으로 과다시용(유와 송, 1984a)되었기 때문이며, 칼슘과 마그네슘 함량이 낮은 원인으로는 다년간 질소, 인산, 칼리 3요소 위주의 복합비료 시용으로 고토와 석회 시용이 적었기 때문이라 사료된다.

## 2) 엽중 무기성분

시비처리 간에 과실 품질 차이가 나타나기 시작한 처리 3년차(1996년)부터 칼륨, 마그네슘 결핍증세가 나타나기 시작한 8년차(2001년)까지 엽중 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 평균 함량과 비율을 나타낸 것이 Table 4이다.

Table 4. Effect of the different combinations of N, P and K fertilizers on the average mineral compositions of satsuma mandarin leaves sampled from 1996 to 2001.

Treatment <sup>z</sup>	T-N	P	K	Ca	Mg	Ca/K	Mg/K
	(g kg <sup>-1</sup> )						
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	27.2 ab <sup>y</sup>	1.5 ab	12.1 b	24.5 ab	3.9 b	2.03 c	0.32 b
N <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>0</sub>	25.0 b	1.6 a	11.1 b	25.3 a	3.5 b	2.34 b	0.32 b
N <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	24.5 b	1.6 a	13.4 a	21.8 c	3.8 b	1.65 d	0.29 b
N <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>1</sub>	27.6 ab	1.4 b	14.0 a	23.1 bc	2.9 c	1.67 d	0.21 c
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>0</sub>	27.6 ab	1.5 ab	9.5 c	26.5 a	4.2 a	2.82 a	0.45 a
N <sub>3</sub> -P <sub>3</sub> -K <sub>3</sub>	28.5 a	1.5 ab	13.3 a	21.3 c	3.8 b	1.62 d	0.29 b

<sup>z</sup>N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application; N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate; K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .



엽중 질소 함량은 질소 시비량이 많은 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )에서  $28.5 \text{ g kg}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 다음으로 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ ), 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ ), 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )에서  $27.2 \sim 27.6 \text{ g kg}^{-1}$ 로 높았고, 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )와 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )에서  $24.5 \sim 25.0 \text{ g kg}^{-1}$ 로 가장 낮아 질소 시용량이 많을수록 높은 경향이였다.

엽중 인산 함량은 처리 간에 차이가 적었지만 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )에서  $1.4 \text{ g kg}^{-1}$ 로 가장 낮았고, 무질소( $N_0-P_1-K_1$ )구와 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )에서  $1.6 \text{ g kg}^{-1}$ 로 가장 높아 인산과 질소와는 길항작용(고, 1985)이 있는 것으로 나타났다.

엽중 칼륨 함량 역시 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )  $12.1 \text{ g kg}^{-1}$ 에 비해 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )에서  $13.3 \text{ g kg}^{-1}$ 로 시비량이 많을수록 높아지는 경향이나, 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )에서  $14.0 \text{ g kg}^{-1}$ , 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )가  $13.4 \text{ g kg}^{-1}$ 로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )보다 유의성 있게 높게 나타났는데, 이는 질소와 칼륨, 인산과 칼륨간에는 길항관계가 있다는 Embleton 등(1952)의 보고와 일치하는 결과이다. 특히 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )에서 엽중 칼륨 함량이 높은 것은 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )를 제외한 나머지 처리구에 칼슘과 마그네슘이 함유된 용성인비가 공급됨으로써 토양 중 칼슘과 마그네슘 함량이 높아져 길항작용(高橋 등, 1980)이 일어났기 때문인 것으로 사료된다.

토양과 마찬가지로 엽에서도 칼슘, 마그네슘 함량은 칼륨 함량이 높은 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ ), 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ ), 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )에서 낮고, 칼륨 함량이 낮은 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )와 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )에서 높아 칼륨이 칼슘, 마그네슘과 서로 길항작용을 한다는 보고(高橋 등, 1980)와 일치하였다.

지금까지 감귤나무의 영양상태는 주로 우량과원을 대상으로 엽중 무기물 함량을 분석하여 그 기준을 설정하고 있다(Wakayama Ken, 1966; 김 등, 1969; 문 등, 1980). 본 시험에서도 산 함량이 낮고 당도가 높은 무칼리구(Table 4)에서 다른 처리구와 품질 차이가 생기기 시작한 1996년부터 결핍 현상이 나타나기 시작한 2001년까지 3월 달 엽중 평균 칼륨 함량은  $9.5 \text{ g kg}^{-1}$ 로 石原 등(1965)과 長谷과 石原(1972)이 조사한 8월 달 엽중 적정 칼륨 함량

10~14 g kg<sup>-1</sup>과 13~16 g kg<sup>-1</sup>에 비해 낮았는데, 이는 양분 흡수가 많은 8월 달보다 3월 달이 엽중 함량이 낮기 때문이라고 판단된다. 또한, 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)의 엽중 칼륨 : 칼슘 : 마그네슘 비율은 1:2.82:0.45인 반면 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>), 무질소구(N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>), 무인산구(N<sub>1</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>1</sub>) 및 3요소 3배구(N<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>-K<sub>3</sub>)의 엽중 칼륨 : 칼슘 : 마그네슘 비율은 1:1.62~2.03:0.21~0.32로 나타나 산 함량 감소와 당도 증가에 적합한 엽중 칼슘과 마그네슘 함량은 칼륨에 비해 상대적으로 높음을 알 수 있었다.

## 2. 시비에 따른 과실수량 및 격년결과성

### 1) 수 량

시비처리 4년차(1997년)부터 11년차(2004년)까지 8년간 처리별 과실 수량은 Table 5에서 보는 바와 같다. 시비시험을 시작했던 1994년부터 4년간은 처리간에 차이를 보이지 않았으나 시험 4년차부터 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>)와 무인산구(N<sub>1</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>1</sub>)의 수량이 낮아지는 경향을 보이기 시작하여 5년차(1998년) 이후부터 처리 간에 유의성 있는 수량 차이를 보였다. 그러나 2001년과 2003년에는 처리간에 차이를 보이지 않았는데, 이는 비료에 의한 영향 보다 격년결과성이 높은 감귤나무의 생리적 특성 때문인 것으로 판단된다.

처리 후 4년간은 처리 간에 수량 차이가 없었는데, 이는 감귤나무가 연년생이고 시비량에 대한 반응이 늦을 뿐 만 아니라 수체 자체와 토양에 존재하는 무기 영양분이 이용되기 때문에 시비량이 수량에 영향을 미치기까지는 최소 4년 이상 소요되는 것으로 판단된다.

시비처리 간에 수량 차이의 경향이 보이는 처리 4년차(1997년)부터 11년차(2004년)까지 8년간 평균 수량을 비교해보면, 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>)의 주당 평균 수량은 61.5 kg으로 가장 낮았으며 착과량이 적은 해에는 30~40 kg로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)의 약 1/3 수준으로 낮았다. 무질소구(N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>), 무인산구

(N<sub>1</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>1</sub>)는 각각 76.6 kg, 79.8 kg으로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>) 90.9 kg에 비해 낮은 경향이나 유의성은 없었다. 3요소 3배구(N<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>-K<sub>3</sub>)는 88.5 kg으로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)와 차이가 없어 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>) 시비량보다 많은 양의 비료를 사용하더라도 수량에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

수량에 가장 큰 영향을 미치는 것은 3요소중 질소질 비료였으나 질소질 비료를 표준시비한 처리구와 이를 3배 시비한 처리구간에 차이를 보이지 않은 것은 표준시비량 이상은 수량성을 향상시키는 데 불필요한 양임을 나타낸 결과이다. 또한 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)에서 주당 평균 수량이 87.1 kg으로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)와 차이가 없었다. 그러나 본 보고에서 성적은 제시되지 않았지만 2003년 이후 칼리 결핍 증상이 심한 나무에서는 수량이 떨어지는 경향을 보였다.

Table 5. Effect of the different combinations of N-P-K fertilizers on fruit yields of satsuma mandarin harvested for 8 years of fertilization.

Treatment <sup>z</sup>	Yield (kg tree <sup>-1</sup> )								Average ('97~'04)
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	79.3 a <sup>y</sup>	102.0 ab	71.8 ab	92.6 a	87.5 a	121.5 a	53.0 a	119.7 a	90.9 a
N <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>0</sub>	72.6 a	55.6 c	75.3 ab	33.0 b	93.0 a	35.8 c	83.5 a	43.3 b	61.5 b
N <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	86.9 a	84.4 b	81.6 a	40.9 b	110.0 a	65.0 b	89.0 a	58.5 b	76.6 ab
N <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>1</sub>	70.6 a	95.0 b	58.7 b	76.4 a	78.7 a	113.9 a	46.9 a	98.6 a	79.8 ab
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>0</sub>	99.4 a	94.3 b	71.7 ab	85.4 a	87.3 a	102.5 a	58.4 a	97.9 a	87.1 a
N <sub>3</sub> -P <sub>3</sub> -K <sub>3</sub>	80.9 a	122.4 a	54.7 b	92.0 a	85.1 a	115.9 a	50.5 a	106.7 a	88.5 a

<sup>z</sup>N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;

N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;

K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P* = 0.05.

## 2) 격년결과성

감귤나무는 생리낙과가 심하고 전년에 자란 가지에 결과하는 습성을 가지고 있어 전해에 착과가 많아 예비지를 확보하지 못했거나 생리 낙과기 기상이 나쁘면 결실량이 적어 해거리를 하게 된다. 시비처리에 따른 수량의 변동양상(격년결과성)을 나타낸 것이 Table 6이다. 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )의 평균 수량 변동률은 44.8%였지만 격년결과가 심해 착과량이 매우 적었던 2003년도를 제외한다면 31.3%를 나타내었다. 이에 비해 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )는 평균 77%로 변동율이 가장 높았고, 다음은 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )가 54.8%로 높았다. 이는 감귤나무가 시비반응이 잘 관찰되지 않는다고 알려져(Reuther 등, 1958; 김과 오, 1971; 홍과 정, 1979; 송, 1992) 있으나 장기간 시비를 너무 적게 하거나 너무 많이 하는 경우에는 격년결과 현상이 나타날 수 있음을 보인 결과이다.

질소를 사용하지 않는 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )의 수량 변동률도 51.8%로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )에 비해 7%가 높았으나, 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )는 45.7%로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )와 차이가 없는 반면, 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )는 25.5%로 가장 안정적인 착과량을 보였다.

국내는 물론 국외에서 성목이 재배되는 감귤원 포장을 대상으로 시비량과 격년결과에 대해서 장기적으로 관찰한 연구사례는 거의 없으며, 안정적인 생산 기술을 확립하기 위해서는 좀 더 자세한 연구수행이 필요하다고 판단된다.

Table 6. Effects of the different combinations of N-P-K fertilizers on fruit yield fluctuation of satsuma mandarin measured for 8 years.

Treatment <sup>z</sup>	Fluctuation of fruit yield (%) <sup>y</sup>							Average ('97~'04)
	'97~'98	'98~'99	'99~'00	'00~'01	'01~'02	'02~'03	'03~'04	
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	28.6	29.6	29.0	5.5	38.9	56.4	125.7	44.8
N <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>0</sub>	23.4	35.4	56.2	181.8	51.5	133.2	48.1	77.0
N <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	3.0	3.3	53.7	190.9	40.9	37	34.3	51.8
N <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>1</sub>	34.6	38.3	30.2	3.0	44.8	58.8	110.1	45.7
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>0</sub>	5.2	23.9	19.1	2.2	17.3	43.1	67.9	25.5
N <sub>3</sub> -P <sub>3</sub> -K <sub>3</sub>	51.2	55.3	67.1	6.8	36.1	56.4	111.1	54.8

<sup>z</sup>N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application; N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate; K<sub>1</sub>, recommended application rate; N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>y</sup>The fluctuation of yield(%)=( |Yield of this year-Yield of last year | /yield of last year)×100.

### 3. 시비에 따른 과실품질

#### 1) 당도

최근 8년간의 처리별 당도는 Table 7에서 보는 바와 같다. 1997년과 2001년에 전체적으로 당도가 높은 해였고, 1999년에 가장 낮게 나타났는데, 이는 조사 시기(11월 4일)가 빠른 영향 외에 기상적인 영향을 받은 것으로 사료된다.

Table 7. Effects of the different combinations of N-P-K fertilizers on the content of soluble solids in the fruit of satsuma mandarin measured for 8 years.

Treatment <sup>z</sup>	Soluble solids (°Bx)							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	11.3 a <sup>y</sup>	9.6 a	8.3 b	9.7 b	10.8 ab	9.9 bc	9.6 b	9.6 bc
N <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>0</sub>	11.0 a	9.6 a	8.5 ab	9.8 b	11.2 ab	10.6 ab	10.4 a	10.4 a
N <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	11.1 a	9.7 a	8.6 ab	9.9 b	10.3 b	9.9 bc	9.6 b	9.4 c
N <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>1</sub>	10.9 a	9.5 a	8.5 ab	9.8 b	10.9 ab	9.8 c	9.7 b	9.6 c
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>0</sub>	11.0 a	9.6 a	8.7 a	10.5 a	11.7 a	10.7 a	10.2 a	10.5 a
N <sub>3</sub> -P <sub>3</sub> -K <sub>3</sub>	11.2 a	9.8 a	8.3 b	9.8 b	11.1 ab	9.9 bc	9.8 b	9.9 b

<sup>z</sup>N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application; N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate; K<sub>1</sub>, recommended application rate; N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

처리 간 당도 차이는 6년차(1999년)부터 유의성 있게 나타나기 시작하였는데 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)와 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>)에서 전반적으로 높게 나타났다.

처리 6년차(1999년)부터 11년차(2004년)까지 평균 당도(Fig. 2)를 보면 질소를 사용하지 않은 무질소구(N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)의 경우 6년간 평균 당도는 9.7 °Bx로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)와 3요소 3배구(N<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>-K<sub>3</sub>)와 차이가 없었다. 이는 질소 사용을 증가 시키면 당도가 높아진다는 보고(Jones 등, 1970)와 당도가 감소된다는 서로 상반된 보고(Calvert, 1970; Smith 등, 1968)와는 달랐으며, Lee(2003), 石原 등(1965), Cary(1972), Reese와 Koo(1975), Koo와

Reese(1976), Alva와 Paramasivam(1998), Tachibana와 Yahata(1998) 등이 질소 시비 수준이 당도에 영향을 주지 않는다는 보고와 유사하였다.

무인산구( $N_1-P_0-K_1$ ) 역시  $9.7^\circ Bx$ 로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )와 차이가 없어 인산 역시 당도에 영향이 없는 것으로 나타나 인산이 당도에 미치는 영향이 적었다는 보고(坂本 등, 1964; 安達 등, 1966; 정 등, 1982)와 일치하였다. 그러나 균근균을 처리할 경우 인산의 흡수 증가로 당도가 증가되었다는 보고(Shrestha 등, 1996)가 있는데, 이는 기존 토양 시비로는 인산 시비량을 많게 하더라도 수채 내로 흡수되는 양에는 차이가 적어(Table 4) 인산시비의 효과가 뚜렷하지 않지만, 균근균 이용과 같은 방법으로 인산 흡수율을 높이면 품질이 개선될 가능성이 있음을 시사하는 것으로 사료된다.

반면 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )의 당도는 처리 5년차(1998년)까지 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )와 차이가 없었지만 처리 6년차(1999년)부터 11년차(2004년)까지 6년간 평균 당도는  $10.4^\circ Bx$ 로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )  $9.7^\circ Bx$ 에 비해  $0.7^\circ Bx$ 가 높았다. 이는 칼리비료를 증시하면 당도가 낮았다는 보고(Reese와 Koo, 1975; 石原 등, 1965; 長谷와 石原, 1972)와 마찬가지로 본 연구에서도 칼리비료를 제한함으로써 감귤의 당도가 증가된 것으로 판단된다.

과실내 당의 증가는 성숙한 엽에서 자당(sucrose)을 합성하여 이를 과실로 전류하고, 양낭의 액포 안에 축적됨으로서 이루어지는데(Echeverria와 Valich, 1988) 칼륨 흡수가 적어지면 엽의 전분 함량은 적어지나 soluble sugar 함량은 유의성 있게 증가하고, invertase activity가 관행구에 비해 월등히 높아졌다고 보고하였다(Lavon 등, 1995; Lavon과 Goldschmidt, 1999). 따라서 국내에서도 칼륨 함량과 효소 활성과의 관계를 심도 있게 연구할 필요성이 있으며, invertase와 함께 탄수화물 대사 즉, 자당의 합성과 분해에 관여하는 주 효소인 sucrose phosphate synthase, sucrose synthase(Schaffer 등, 1987; Lowell 등, 1989)의 활성도 함께 구명하여 당도를 올릴 수 있는 효율적인 방법을 구명해야 한다고 사료된다.

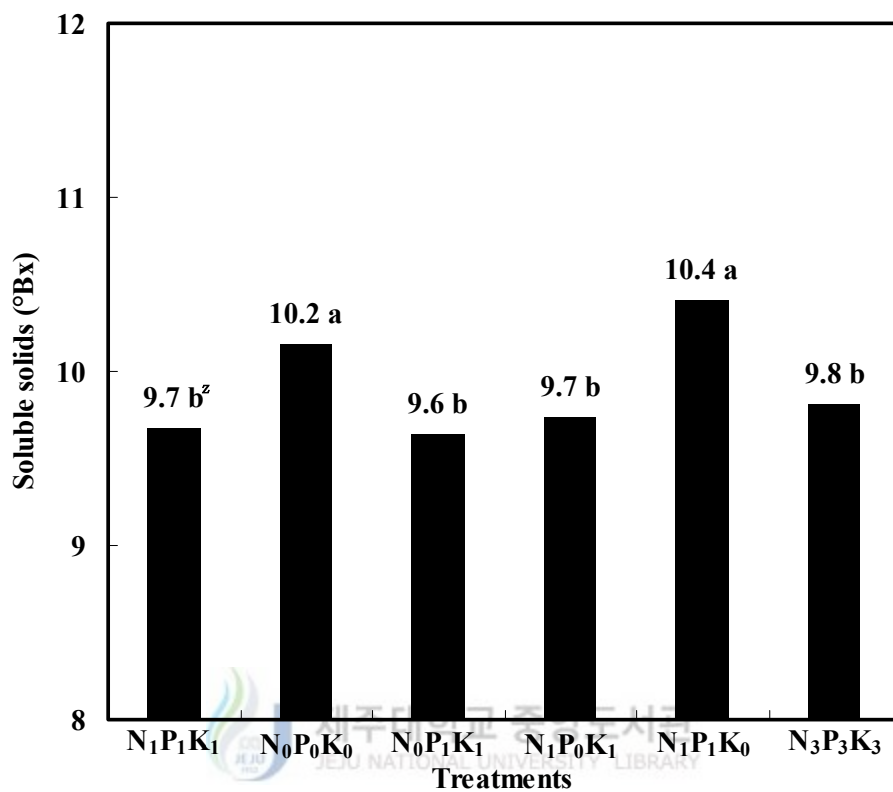


Fig. 2. Average content of soluble solids in the fruit of satsuma mandarin measured from 1999 to 2004, as applied with the different combinations of N-P-K fertilizers for 6 years.

N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;

N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;

K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .



## 2) 산 함량

품질에 가장 큰 영향을 미치는 산 함량을 조사한 결과는 Table 8과 같다. 조사 전 기간의 모든 처리구의 산 함량은 보통 1.1~1.4% 범위였으나, 조사 시기(11월 4일)가 빠른 해(1998, 1999)와 착과량이 적었던 2003년도에는 전반적으로 산 함량이 높았고, 2004년도와 같이 여름철 고온현상과 가을철 일조가 좋고 적기에 비가 내려 산 함량이 낮은 해에는 모든 처리구에서 산 함량이 낮았다.

처리별 산 함량을 보면 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )에서 매년 가장 낮은 산 함량을 보였고, 다음은 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )로 1997년과 2003년을 제외한 7년간은 3요소구보다 유의성 있게 낮았다.

Table 8. Effects of the different combinations of N-P-K fertilizers on the content of acid in the fruit of satsuma mandarin measured for 9 years.

Treatment <sup>z</sup>	Acidity (%)								
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
$N_1-P_1-K_1$	1.27 a <sup>y</sup>	1.46 a	1.20 a	1.55 ab	1.17 a	1.23 ab	1.20 abc	1.66 a	1.10 ab
$N_0-P_0-K_0$	1.13 b	1.20 b	1.06 b	1.28 c	1.28 a	1.01 d	1.09 bc	1.16 b	0.91 c
$N_0-P_1-K_1$	1.15 b	1.39 ab	1.21 a	1.38 bc	1.26 a	1.21 abc	1.31 ab	1.68 a	1.15 a
$N_1-P_0-K_1$	1.23 a	1.48 a	1.20 a	1.53 ab	1.21 a	1.30 a	1.20 abc	1.64 a	1.06 ab
$N_1-P_1-K_0$	1.14 b	1.38 ab	1.02 b	1.37 bc	1.03 b	1.12 c	1.06 c	1.37 ab	0.98 bc
$N_3-P_3-K_3$	1.24 a	1.58 a	1.19 a	1.60 a	1.24 a	1.19 bc	1.34 a	1.69 a	1.07 ab

<sup>z</sup> $N_0$ , no nitrogen application;  $P_0$ , no phosphorus application;  $K_0$ , no potassium application;  $N_1$ , recommended application rate;  $P_1$ , recommended application rate;  $K_1$ , recommended application rate;  $N_3$ , three times of  $N_1$ ;  $P_3$ , three times of  $P_1$ ;  $K_3$ , three times of  $K_1$ .

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

처리 간에 유의성 있는 차이가 나타나기 시작한 3년차(1996년)부터 9년간('96~'04년) 평균 산 함량을 보면 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )와 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )가 각각 1.12%와 1.16%로 가장 낮은 반면, 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ ), 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ ), 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )가 1.30~1.32%로 대체로 높았고, 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )는 1.35%로 가장 높았다. 이처럼 장기간 칼리질 비료를 사용하지 않아 토양과 엽중 칼륨 함량이  $0.56\sim 0.60\text{ cmolc kg}^{-1}$ ,  $9.5\sim 11.1\text{ g kg}^{-1}$ 일 때 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )에 비해 0.16~0.20% 산 함량이 낮았다. 이는 칼리질 비료 사용량을 증가시키면 산 함량이 높았다는 연구결과(Reitz와 Koo, 1959; Smith, 1966; 長谷과 石原, 1972; Reese와 Koo, 1975; Berger 등, 1996)와 유사한 것으로 칼리비료를 많이 사용하여 토양 중 치환성 칼륨 함량이 필요 이상으로 증가되면 감귤의 산 함량이 높아져 당산비를 낮추는 결과를 초래함으로써 과일품질이 떨어지게 되는 것을 시사한다. 따라서 수채 생육에 지장을 주지 않는 범위에서 칼리질 비료의 시비관리를 하여야 할 것으로 사료되며, 성목 감귤원에서 감귤의 산 함량을 낮추기 위해서는 칼리질 비료 시비량을 현재의 표준 시비량보다 낮추어야 할 것으로 사료된다.

질소비료와 감귤의 산 함량과의 관계를 보면(Fig. 3) 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )의 평균 산 함량은 1.30%로 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ ) 1.32%에 비해 0.02%가 낮으나 통계적 유의성은 없었다. 이는 질소 성분이 산 함량에 미치는 영향이 적기 때문인 것으로 판단되었다. 이것은 질소를 많이 사용할수록 산 함량이 증가하였다는 보고(Reitz와 Koo, 1959; Cary, 1972; Reese와 Koo, 1975; Koo와 Reese, 1976; Tachibana와 Yahata, 1998)와 오히려 산 함량이 감소한다는 보고(Calvert, 1970 ; Koo 등, 1974; 홍과 정, 1979)와는 다른 견해지만 질소가 산 함량에 영향을 미치지 않았다는 연구 결과(Lee, 2003; Sato 등, 1987; Takatsuji 등, 1987; Alva와 Paramasivam, 1998)와는 일치하였다.

질소질 비료의 사용이 산 함량에 영향을 주지 않은 것으로 나타난 본 연구 결과로 볼 때 품질을 향상시키기 위해 질소비료를 지나치게 줄이더라도 그

효과는 미미하고, 오히려 수세를 저하시켜 생산량을 떨어뜨리고, 해거리가 심해질 수 있으므로 질소질 비료는 매년 필요량을 꾸준히 사용해야 할 것으로 판단되었다.

무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )의 산 함량은 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )와 유사하여 시험포장의 성목 감귤원의 토양 인산 함량 수준에서 인산질 비료의 장기간 사용유무에 의한 감귤 산 함량에 미치는 영향은 관찰되지 않았다. 따라서 유효인산 함량이  $141 \text{ mg kg}^{-1}$ 인 시험 포장과 같은 토양 조건에서는 다년간 인산 시비량을 줄이더라도 품질을 떨어뜨리지는 않을 것으로 생각된다. 그러나 인산 흡수를 증가시키면 과실 품질이 향상된다는 보고(Shrestha 등, 1996)와 인산이 모자라면 산 함량이 증가하고(鈴木, 1979; 坂本 등, 1969) 토양 중 유효인산이  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  이상 되어야 감귤의 산 함량이 낮아졌다는 보고(송, 1992)와는 차이가 있으므로 다양한 토양 인산 함량 조건에서 좀 더 심도 있는 검토가 필요하다.

인산 흡수계수가 높은 화산회토 개량(김 등, 1973; 김, 1974; 신 등, 1988)을 위해 그동안 많은 양의 인산비료가 사용되어 왔으며, 그 결과 감귤원 토양에는 유효인산 함량이 약  $400 \text{ mg kg}^{-1}$ (강 등, 1999) 이상 높은 경우가 많다. 화산회토 특성상 토양 중에 고정되어 있는 인산이 많으므로 인산 가용화와 식물체내에 흡수 효율을 높일 수 있는 재배기술이 개발된다면 인산비료 감비효과는 클 것으로 기대된다.

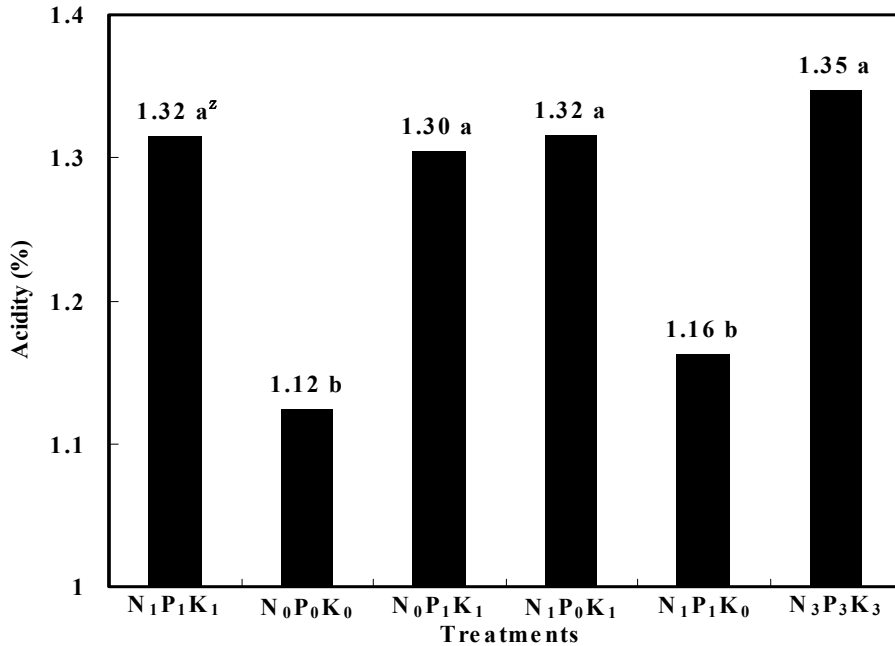


Fig. 3. Average content of acid in the fruit of satsuma mandarin measured from 1996 to 2004, as applied with the different combinations of N-P-K fertilizers for 9 years.

N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;

N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;

K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

### 3) 당산비

당산비는 과즙의 당도(Brix)를 산 함량(%)으로 나눈 값으로 당산비가 높을수록 맛이 좋을 것을 뜻하는데 Table 9는 시비처리 4년차(1997년)부터 11년차까지 당산비 차이를 나타낸 것이다. 당산비는 Table 9에서 보는 바와 같이 산 함량이 낮은 2001년과 2004년도에 높아 산 함량이 당산비 즉, 과실 품질에 영향을 크게 미치는 것으로 나타났다. 시비처리에 따른 당산비는 2000년

을 제외하고는 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>)의 당산비가 가장 높았고, 다음은 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)로 '97년을 제외하고 매년 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)보다 높았다.

Table 9. Effects of the different combinations of N-P-K fertilizers on the ratio of soluble solids to acid in the fruit of satsuma mandarin measured for 8 years.

Treatment <sup>z</sup>	Ratio of soluble solids to acid							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	7.81 b <sup>y</sup>	7.99 c	5.43 c	8.33 b	8.83 c	8.18 bc	5.81 c	8.75 b
N <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>0</sub>	9.16 a	9.08 ab	6.65 a	7.85 b	11.01 a	9.76 ab	8.96 a	11.40 a
N <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	7.95 b	7.96 c	6.32 ab	7.93 b	8.48 c	7.57 c	6.09 c	8.42 b
N <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>1</sub>	7.39 b	7.93 c	5.65 bc	8.13 b	8.39 c	8.13 bc	6.09 c	9.14 b
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>0</sub>	7.95 b	9.43 a	6.38 ab	10.25 a	10.52 ab	10.20 a	7.52 b	10.81 a
N <sub>3</sub> -P <sub>3</sub> -K <sub>3</sub>	7.08 b	8.23 bc	5.32 c	7.91 b	9.48 bc	7.32 c	5.89 c	9.34 b

<sup>z</sup>N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application; N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate; K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

1997~2004년까지 8년간의 평균 당산비를 보면(Fig. 4) 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>)와 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)가 각각 9.34, 9.22로 나머지 처리구 7.76~7.84에 비해 약 1.5가 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 거의 매년 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)와 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>)에서 당산비가 높게 나타난 것은 이미 앞서 언급했듯이 토양 중 칼륨 함량이 줄면서 과실 산 함량이 현격히 떨어지고 당 함량이 증가되었기 때문이라고 생각된다.

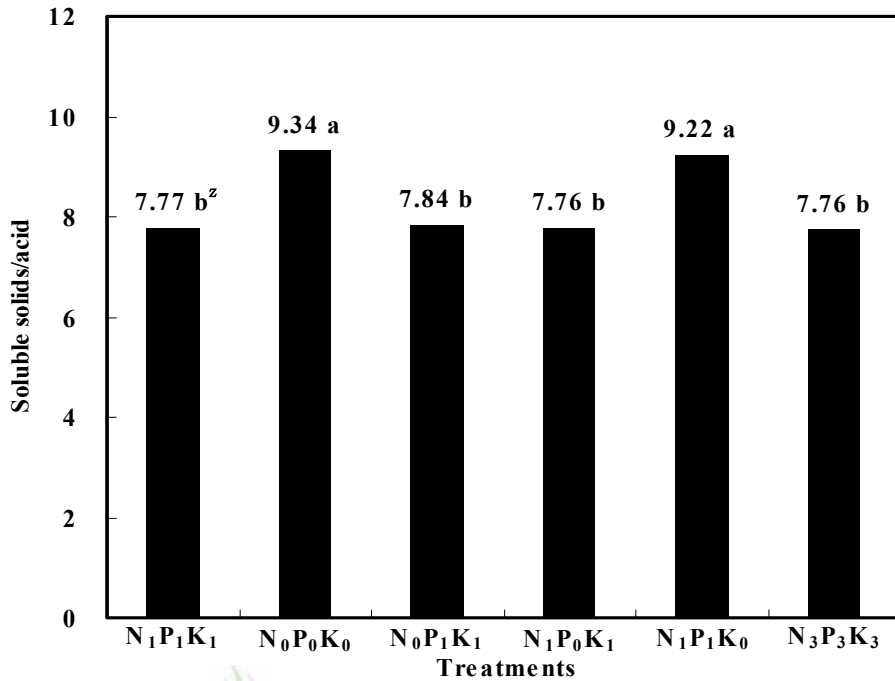


Fig. 4. Average content of soluble solids to acid in the fruit of satsuma mandarin measured from 1997 to 2004, as applied with the different combinations of N-P-K fertilizers for 8 years.

N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;  
 N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;  
 K<sub>1</sub>, recommended application rate;  
 N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

#### 4) 과실크기

처리별 과실크기 분포는 Table 10과 같다. 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)와 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>)에서 70 mm 이상의 대과 비율이 각각 20.0, 20.7%로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)의 33.9%에 비해 약 13%가 낮았다. 또한 3요소 3배구(N<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>-K<sub>3</sub>)도 26.8%로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)에 비해 대과 비율이 낮은 반면, 무질소구

(N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)는 33.7%로 3요소구와 차이가 없었고, 무인산구(N<sub>1</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>1</sub>)는 37.4%로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)보다 높은 경향이였다.

Table 10. Effect of the different combinations of N-P-K fertilizers on the average fruit size distribution of satsuma mandarin measured from 2000 to 2002.

Treatments <sup>z</sup>	Distribution of fruits size (%)			
	51~55 mm	56~61 mm	62~69 mm	>70 mm
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	12.5	24.0	29.7	33.9
N <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>0</sub>	10.9	32.2	36.2	20.7
N <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	11.3	27.1	27.9	33.7
N <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>1</sub>	11.0	21.9	29.8	37.4
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>0</sub>	18.1	31.3	30.6	20.0
N <sub>3</sub> -P <sub>3</sub> -K <sub>3</sub>	19.9	27.8	25.5	26.8

<sup>z</sup>N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application; N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate; K<sub>1</sub>, recommended application rate; N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

51~55 mm의 소과 비율은 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)와 3요소 3배구(N<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>-K<sub>3</sub>)에서 18.1, 19.9%로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)의 12.5%에 비해 높았으며, 무인산구(N<sub>1</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>1</sub>)와 무질소구(N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)는 각각 11.3, 11.0%로 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)와 비슷하였다. 반면 무비료구(N<sub>0</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>0</sub>)는 10.9%로 소과 비율도 낮게 나타났다.

칼륨은 질소, 인산과는 달리 과실의 크기에 영향을 주었으며 이는 칼리 시비량이 많을수록 과실이 커졌다는 보고(Reitz와 Koo 등, 1959; Smith, 1966;

Reese와 Koo, 1975; Berger 등, 1996; 石原 등, 1965; 長谷과 石原, 1972)와 일치하였다. 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )에서 대과비율이 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )에 비해 낮은 원인은 무칼리의 효과로 사료되며, 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )에서 대과 비율이 높은 이유는 Table 4에서 본 바와 같이 엽중 칼륨 흡수량이 많아진데서 기인된 것으로 생각된다.

이상의 결과로 볼 때 대과일수록 상품성이 증가하는 오렌지와 만감류 품종과는 대조적으로 온주밀감은 과실크기가 클수록 당도가 떨어지고 부피현상이 심해 상품성이 감소하므로(新居, 1998) 과실품질 향상 뿐 만 아니라 상품율 향상을 위해서도 칼륨비료의 감비(減肥)는 필수적이라고 사료된다.

## 5) 착색, 과피와 양낭막 두께

비료 각 성분이 과실의 과피와 양낭막 두께, 과피의 착색에 미치는 영향을 조사하였다(Table 11). 과피 두께는 타 처리구에 비해 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )가 유의성 있게 두꺼웠다. 또한 양낭막 두께는 과실의 씹는 느낌을 결정하므로 맛과 함께 품질 결정에 중요한 요소인데 처리 간에 통계적 유의성은 없었으나 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )가 가장 두껍고 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )가 가장 얇은 경향이였다. 착색도를 나타내는 L, a, b 값 중에서 적색과 녹색의 지표가 되는 a 값이 착색과 가장 관계가 깊은데, 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )의 a 값이 가장 높아 착색이 양호하였고, 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )의 a 값이 가장 낮아 착색이 가장 불량한 것으로 나타났다. 이는 질소 시용이 증가할수록 과피가 두꺼워지고(정과 김, 1986; Smith, 1966) 착색이 불량했다는 보고(Reitz와 Koo, 1959; Reese와 Koo, 1975; 정과 김, 1986)와 유사한 결과이다.

이와 같이 비료 시용량이 많은 3요소 3배구에서 착색이 늦고 과피 두께가 두꺼운 것은 비료 흡수가 과실 성숙기까지 이어지면서 과피의 생장이 계속 진행되었기 때문인 것으로 사료된다.



Table 11. Effects of the different combinations of N-P-K fertilizers on the peel and endocarp thickness, and color of satsuma mandarin peel.

Treatments <sup>z</sup>	Peel thickness	Endocarp thickness	Peel color <sup>x</sup>		
	('97~'00) (mm)	('98~'99) (mm)	L	a	b
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	2.63 b <sup>y</sup>	0.25 a	55.4 a	9.4 ab	30.8 a
N <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>0</sub>	2.56 b	0.25 a	56.1 a	11.1 a	31.6 a
N <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>1</sub>	2.51 b	0.24 a	56.5 a	10.0 ab	31.8 a
N <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> -K <sub>1</sub>	2.68 b	0.26 a	56.3 a	10.4 ab	31.5 a
N <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> -K <sub>0</sub>	2.56 b	0.25 a	56.0 a	9.9 ab	31.4 a
N <sub>3</sub> -P <sub>3</sub> -K <sub>3</sub>	2.89 a	0.27 a	53.6 b	6.2 b	29.6 a

<sup>z</sup>N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;

N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;

K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

<sup>x</sup>L, lightness; a, green -60~red +60; b, blue -60~yellow +60.

## 4. 적정 질소 시비량

### 1) 질소 흡수량

감귤 성목은 감귤 착과량과 영양 생장이 거의 안정화되어 있어 1년간의 영양 성장량은 매년 전정을 통해 잘려나가는 가지 및 엽의 양 정도가 된다. 따라서 감귤나무의 1년간의 양분흡수량은 과일과 전정된 가지와 엽에 함유하는 양분의 양으로부터 산정될 수 있다.

Table 12는 1994~2001년까지의 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)에서 주당 평균 수량 66.3 kg 즉, 10a당 과실 4,000 kg을 생산하는데 흡수된 질소 성분을 나타낸 것

이다. 과실은 과피, 과즙, 착즙하고 남은 부산물이 각각 19, 73, 8%로 구성되어 있으며, 건조 시 이들의 질소 함량은 각각 9.0, 0.6, 2.0 g kg<sup>-1</sup>로 과실 4,000 kg에 함유된 질소 총량은 약 3.86 kg이었다.

Table 12. Annual amount of nitrogen uptake by fruits, pruned branches and leaves from 10a of soils in N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub> treatment.

Plant part	Fresh wt. <sup>y</sup> (kg 10a <sup>-1</sup> )	Dry wt. <sup>w</sup> (kg 10a <sup>-1</sup> )	N Content (g kg <sup>-1</sup> )	Uptake of N (kg 10a <sup>-1</sup> )
Peel	760	212.8	9.0	1.91
Fruit <sup>z</sup> (4,000 kg 10a <sup>-1</sup> )	Pulp	320	96	0.19
	Juice	2,920	0.6	1.75
Subtotal				3.86
Pruned branch and leaves <sup>x</sup>	540	216	22.0	4.75
Total				8.61

<sup>z</sup>4,000 kg 10a<sup>-1</sup>: average fruit yield from 1994 to 2001.

<sup>y</sup>Composition of fruit part needed to calculate fresh weight: peel 19%, juice 73%, pulp 8%

<sup>x</sup>Fresh weight of pruned branch and leaf per 10a: 9kg tree<sup>-1</sup> × 60 trees 10a<sup>-1</sup> = 540 kg 10a<sup>-1</sup>.

<sup>w</sup>Dry weight %: peel 28%, pulp 30%, pruned branch+leaf 40%.

또한 한 주당 전정량은 9 kg(생체중)으로 10a당 60주가 식재되어 있어 전체 540 kg의 전정량이 발생하며 건조중은 생체중의 40%인 216 kg이 된다.

가지와 엽중 평균 질소 함량은 건조중 기준으로 22 g kg<sup>-1</sup>이 되어 10a당 전정가지 및 엽중에 존재하는 질소량은 4.75 kg이 된다. 따라서 과실 4,000 kg을 생산하기 위해서는 전체 8.61 kg의 질소가 흡수되는 것으로 계산되어 이 (2002)가 <sup>15</sup>N 시험 수행 시 보고했던 양과 매우 유사하였다.

Table 13은 Table 12와 같은 기간 동안 질소를 시용하지 않은 무질소구 (N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)에서 흡수된 질소 함량을 나타낸 것으로, 주당 평균 수량은 60.3

kg이므로 10a당 수량은 3,600 kg이었다. 이때 과실에는 2.91 kg의 질소가 흡수되었다. 또한 전정량은 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)보다 가지의 생장이 적어 주당 7.5 kg이 발생하였으며, 엽과 가지의 평균 질소 함량은 18.6 g kg<sup>-1</sup>로 10a당 흡수되는 질소량은 3.35 kg이 된다. 따라서 10a당 3,600 kg을 생산하기 위해서는 총 6.26 kg의 질소가 흡수되었다.

Table 13. Annual amount of nitrogen uptake by fruits, pruned branches and leaves from 10a of soils in N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub> treatment.

Plant part	Fresh wt. <sup>y</sup> (kg 10a <sup>-1</sup> )	Dry wt. <sup>w</sup> (kg 10a <sup>-1</sup> )	N Content (g kg <sup>-1</sup> )	Uptake of N (kg 10a <sup>-1</sup> )
Peel	684	191.5	7.5	1.44
Fruit <sup>z</sup> (3,600 kg 10a <sup>-1</sup> )	Pulp	288	86.4	0.16
	Juice	2,628		1.31
	Subtotal			2.91
Pruned branch and leaves <sup>x</sup>	450	180	18.6	3.35
Total				6.26

<sup>z</sup>3,600 kg 10a<sup>-1</sup>: average fruit yield from 1994 to 2001.

<sup>y</sup>Composition of fruit part needed to calculate fresh weight: peel 19%, juice 73%, pulp 8%.

<sup>x</sup>Fresh weight of pruned branch and leaf per 10a: 7.5 kg tree<sup>-1</sup> × 60 trees 10a<sup>-1</sup> = 450 kg 10a<sup>-1</sup>.

<sup>w</sup>Dry weight %: peel 28%, pulp 30%, pruned branch+leaf 40%.

## 2) 적정 질소 시비량 추정

10a당 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)의 과실과 수체 생육을 위해 흡수된 질소량(8.61 kg, Table 12)은 토양중 질소와 비료로 공급된 질소로부터 온 것이고, 무질소구(N<sub>0</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)의 수체 내 질소 흡수량(6.26 kg, Table 13)은 토양중 질소로부터만 공급된 것이기 때문에 사용된 비료의 질소로부터 흡수된 질소량은 8.61-6.26=2.34 kg 10a<sup>-1</sup>로 계산되어 질 수 있다.

그러므로 10a당 연간 28 kg의 표준시비량을 표층 시비된 질소질 비료의 흡수율은 8.4%(2.34 kg×100/28 kg)로 산정되었다. 이는 제주 감귤원에서 <sup>15</sup>N을 이용하여 조사한 질소비료의 흡수율이 10% 내외였다는 보고(강 등, 1998; 강과 유, 1999; 강 등, 2000; 이, 2003)보다 다소 낮게 나타났다. 이처럼 제주 감귤원에서 현재 행해지는 표층시비 방법으로는 질소비료의 흡수율이 낮기 때문에 감귤나무의 연간 질소 요구량을 충족시키기 위해서는 시비량을 높게 산정할 수밖에 없다. 따라서 엽면시비나 관비 등과 같은 비료의 흡수율을 높이기 위한 비배 관리기술(강과 유, 1999; 강 등, 1998; 오, 1997)이 개발된다면 적정 시비량은 보다 낮게 산정될 수 있을 것이다. 그러나 현재의 표층시비 방법으로 시비된 질소비료의 이용률이 평균 10% 정도이므로 이를 적용하면 10a당 적정 시비량은 23 kg으로 추정할 수 있다

### 3) 질소의 결핍증과 결핍 대책

질소의 결핍은 장기간 질소를 공급하지 않은 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )와 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ )에서 4년차부터 나타났는데, 정상인 엽과 질소가 결핍된 엽은 Photo 2에서 보는 바와 같다. 질소 결핍증은 다른 성분들처럼 엽의 특정 부분에서 나타나는 것이 아니라 엽 전체에서 서서히 진행되는 특징이 있다. 엽 연령과 수체부위별로 보면 구엽과 착과가 많은 가지에 먼저 나타났으며, 그 증상은 엽 표면에 광택이 적고 엽맥을 중심으로 전반적으로 연한 녹색으로 변하다가 점차적으로 노랗게 변하며, 정상 엽에 비해 엽폭이 좁게 변하였다.

질소의 결핍 시점은 감귤 엽색을 8등급으로 분류해서 만든 감귤 엽색판(한과 임, 1998)에서 질소 결핍증에 해당하는 1~2번의 엽색을 기준으로 조사하였다.

엽중 질소 함량이 낮을수록 엽은 녹색으로 되어 명암을 나타내는 L 값이 31~34로 정상 엽의 27~30보다 커졌고, 노란색과 청색을 나타내는 b 값은 12~14로 정상 엽의 8~11보다 커서 노란색의 방향으로 변화되었다. 적색과 녹색을 나타내는 a 값은 처리 간에 겹치는 부분이 있어 L과 b 값에 비해 뚜렷한 차이가 없었다(Table 14).



Photo 2. Symptoms of N deficiency on the leaves of satsuma mandarin induced by no supply of nitrogen in the  $N_0$ - $P_1$ - $K_1$  plot.

A; normal leaves B; deficient leaves.

$N,N$ -DMF로 추출하여 분광광도계로 측정한 클로로필 함량은 결핍 엽이  $21 \sim 24 \mu\text{g cm}^{-1}$ 로 정상 엽  $28 \sim 33 \mu\text{g cm}^{-1}$ 에 비해 낮았고, 클로로필 측정기 SPAD-502를 이용하여 비파괴적으로 측정한 경우도 결핍 엽은  $66 \sim 70$ , 정상 엽은  $72 \sim 78$ 로 뚜렷이 구분되었다.

Table 14. Range of leaf color and chlorophyll contents of the normal and nitrogen deficient satsuma mandarin trees, measured from 1997 to 1999.

Trees	Leaf color <sup>z</sup>			Chlorophyll ( $\mu\text{g cm}^{-1}$ )	SPAD-502 <sup>x</sup> value
	L	a	b		
Normal	27~30	-1.5~-1.9	8~11	28~33*	72~78*
N-deficient	31~34	-1.2~-1.6	12~14 <sup>y</sup>	21~24	66~70

<sup>z</sup>L, lightness; a, green -60~red +60; b, blue -60~yellow +60.

<sup>x</sup>Chlorophyll contents and SPAD-502 values were measured on Feb. 20 every year.

<sup>y</sup>Means significant at 5% level by  $t$ -test.

또한 엽에 결핍 증세가 나타나더라도 토양 중 총 질소 함량은 정상처리구와 유의성 있는 차이가 없었으나, 엽중 질소 함량은 정상 나무의 26~28 g kg<sup>-1</sup>에 비해 결핍된 나무는 25 g kg<sup>-1</sup> 미만으로 낮게 나타났다(Table 15).

이러한 결과는 토양 중 질소 함량이 제주 감귤원 토양에서 질소 시비여부를 결정하는 지표로 사용할 수 없음을 시사하는 것이다.

Table 15. Range of nitrogen content in the soil and leaves from the experimental plots of the normal and nitrogen deficient satsuma mandarin trees from 1997 to 1999.

Trees	N content in soil (g kg <sup>-1</sup> )	N content in leaves (g kg <sup>-1</sup> )
Normal	4.9~6.0	26~28 <sup>*z</sup>
N-deficient	4.8~4.9	below 25

<sup>z</sup>Means significant at 5% level by t-test.

질소가 결핍된 나무를 대상으로 시험 6년차인 1999년 가을에 3.0, 5.0, 10 g L<sup>-1</sup>의 요소용액을 3회 엽면시비 한 결과 Table 16에서 보는 바와 같이 모든 처리구에서 녹화가 잘되어 질소 결핍증세는 회복되었다. 그러나 살포농도가 높았던 5.0과 10.0 g L<sup>-1</sup> 처리구에서는 엽 끝이 타는 농도장해 증상이 발생하므로(Photo 3) 질소 결핍을 회복시키기 위한 요소의 엽면시비 농도는 3.0 g L<sup>-1</sup> 정도가 안전한 것으로 사료되었다.

Table 16. Effect of urea application on the leaves for the recovery of nitrogen deficiency of satsuma mandarin.

Treatments <sup>z</sup>	N content in soil <sup>y</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	N content in leaves <sup>x</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	Deficient symptom	Degree of damage <sup>w</sup>
0.0 g L <sup>-1</sup>	4.8±0.4	24.8	remained	-
3.0 g L <sup>-1</sup>	4.8±0.2	26.0	cured	-
5.0 g L <sup>-1</sup>	5.0±0.5	26.7	cured	+
10.0 g L <sup>-1</sup>	5.0±0.4	27.1	cured	++

<sup>z</sup>Ten liters of urea solution were sprayed on leaves three times in Nov. of 1999.

<sup>y</sup>Investigated in Mar. of 2000.

<sup>x</sup>Investigated in Nov. of 2000.

<sup>w</sup>-, no damage; +, medium; ++, severe.

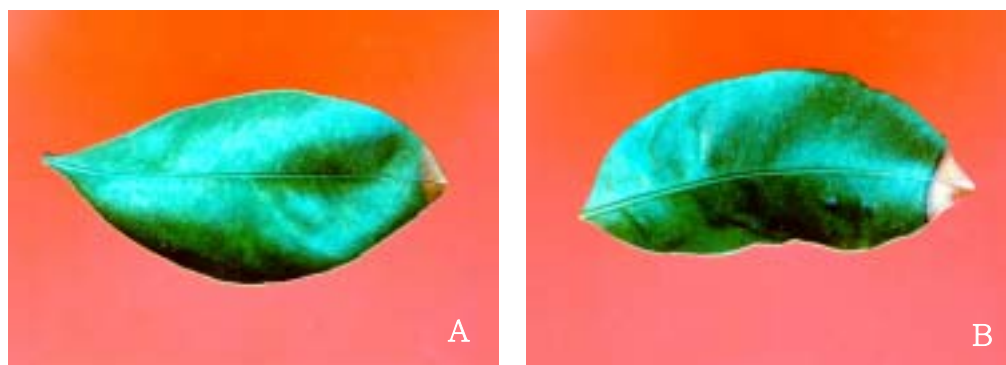


Photo 3. Leaf-burn damages of satsuma mandarin, as foliar-sprayed with 5.0 g L<sup>-1</sup>(A) and 10 g L<sup>-1</sup>(B) of urea solution three times at intervals of 7 days in Nov. of 1999.

## 5. 적정 인산 시비량

### 1) 인산 흡수량

1997년부터 2004년까지 8년간 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )와 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )와의 수량, 품질, 전정량을 조사한 결과 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )와 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )간에 차이가 없어 시비한 비료로부터 인산 흡수율을 산정하기가 곤란하였다. 이는 감귤이 양분에 대한 반응이 느리고(Reuther 등, 1958; 김과 오, 1971; 홍과 정, 1979; 송, 1992), 특히 인산 성분은 질소나 칼륨 성분과 달리 다년간 시험을 하였어도 그 시비반응이 잘 나타나지 않기 때문이다(坂本 등, 1964; 정 등, 1982). 또한 방사성 표지 인산질 비료를 이용한 흡수율 산출도 감귤 성목인 경우 수채 크기가 너무 커서 사용이 어렵다. 따라서 인산 처리 수준을 다양화하여 토양 중 유효인산 함량이 적정한 수준으로 유지되는 경우의 시비량을 적정 시비량으로 추정하고, 그 이상 토양 중 인산 함량이 증가되는 양은 과다시비 되는 것으로 간주(송, 1992)하였다.

### 2) 시비 수준별 토양 인산의 변화와 적정 인산 시비량 추정

인산 처리 수준별로 토양 중 인산 함량의 변화를 조사한 결과는 Fig. 5와 같다. 시비 전 토양의 인산 함량은 처리구별로 약간의 차이는 있으나 약  $141 \pm 17 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 인산 시비가 필요 없는  $100 \sim 150 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위(송, 1992)에 해당하였다.

무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )는 매년 토양 중 인산 함량이 점차 감소하여 시험 5년 차(1999년)에는 이후 시험전의 약 1/2인 수준인  $75.5 \text{ mg kg}^{-1}$ 까지 떨어졌고 그 이후는 크게 변하지 않는 상태를 보이고 있으나, 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ )는  $285 \text{ mg kg}^{-1}$ 까지 증가하여 처리 전 함량의 2배 가까이 되었으며, 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )는  $456 \text{ mg kg}^{-1}$ 까지 급격히 증가하였다. 특히, 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )에서 증가된 인산 함량은  $318 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 근권 토양 30 cm를 기준



으로 할 때 약 81.0 kg이 증가되어 연간 10.1 kg이 축적된 것으로 계산되었고, 이는 3요소 3배구의 연간 인산 시비량인 120 kg의 1/12이 누적되는 것으로 조사되었다.

표준 인산량의 반량 처리구인 인산1/2구( $N_1-P_{1/2}-K_1$ )는 처리전과 거의 비슷하게 유지되므로 표준시비량의 반량인 20 kg 이상의 인산 시비량은 불필요한 양이라고 사료된다.

그동안 화산회토는 인산 고정력이 강한 특성이 있어(신과 김, 1975; 유 등, 1976) 토양 개량 및 인산의 효과를 증대하기 위해 많은 양의 인산이 시용(김 등, 1973)되어 왔고, 특히 경작 연수가 오를수록 토양 중 인산 함량이 높아(유와 송, 1984b; 고와 김, 1987) 과잉 장애에 대한 우려도 있었으나, 다행히 지금까지는 인산의 직접적인 과잉 장애가 보고된 바는 없다.

최근 강 등(1999)이 조사한 제주도 감귤원 토양의 유효인산 함량이 397 mg  $kg^{-1}$ 인 점을 고려해 볼 때 인산비료의 감비가 필요하며, 인산이 과잉될 경우 질소, 칼륨과 아연, 구리 등의 미량원소의 결핍을 발생시킬 수 있으므로 이들 원소에 민감한 품종에서는 양분 불균형에 따른 수체 생육 장애가 발생할 수 있을 것으로 사료된다.

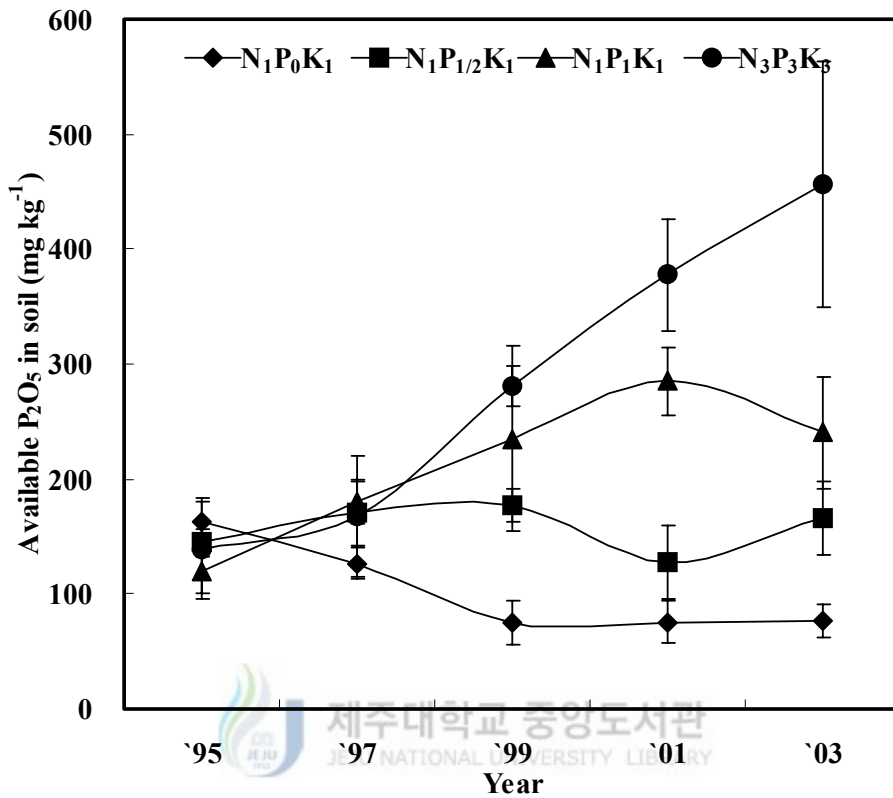


Fig. 5. Changes of available P in the very dark brown volcanic ash soil of satsuma mandarin orchard, as applied with the different combinations of N, P and K fertilizers for 11 years from 1994 to 2004.

Vertical bars indicate standard deviation (n=3).

N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;

N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;

K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

### 3) 마그네슘 결핍증과 결핍 대책

마그네슘 결핍 증상은 Photo 4와 같이 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )에서 11월 중 착과량이 많은 가지에서 많이 발생하였다.



Photo 4. Symptoms of Mg deficiency on the leaves of satsuma mandarin induced by no supply of fused phosphate in the  $N_1-P_0-K_1$  plot in Nov. of 2001.

체내 인산 함량이 낮으면 칼슘과 마그네슘의 흡수가 감소된다는 보고(Embleton 등, 1956)도 있으나, 인산이 풍부한 감귤원에서도 마그네슘 결핍 증상이 종종 발생하는 것으로 보아 우선적으로 토양 중 마그네슘 함량이 낮으면 발생하는 것으로 사료된다. 본 시험에서도 인산질 비료로 고토(MgO) 함량이 12%인 용성인비가 공급된 처리구에서는 마그네슘 결핍증이 발생되지 않았다. 그러나 용성인비를 사용하지 않는 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )에서 토양중 마그네슘 함량이 점차 낮아지면서 처리 8년차(2001년)에 결핍증상이 나타났다.

초기 결핍 증상의 발생시기는 과실 비대기에서 착색기에 발생하였으며, 구엽에 먼저 발생하지만 착과량이 많은 가지는 신엽에서도 결핍 증상이 발생하였다. 결핍 증상은 엽 자루 부근부터 노랗게 되고, 점차적으로 증상이 넓어져(Photo 5) 삼각형의 모양을 띠었기 때문에 다른 결핍 증상과 쉽게 구분이 가능하였다.



Photo 5. Development of magnesium deficiency in the leaves of satsuma mandarin induced by no supply of fused phosphate in the N<sub>1</sub>-P<sub>0</sub>-K<sub>1</sub> plot. The symptoms appeared yellow around both sides of midrib.

가시적으로 결핍 초기 증상이 발생할 시점의 토양과 엽중 마그네슘 함량을 조사한 결과(Table 17) 토양 중에는 0.7~0.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 엽은 2.5~2.7 g kg<sup>-1</sup>으로 나타났다. 반면 정상구의 토양과 엽중 마그네슘 함량은 1.0~6.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 3.0~4.5 g kg<sup>-1</sup>로 결핍 증상이 나타난 토양과 엽중 함량과 비교시 뚜렷한 차이가 있었다. 이러한 결과는 정상적인 감귤원의 엽중 마그네슘 함량이 2.5 g kg<sup>-1</sup> 이상이고, 결핍증이 발생한 나무는 0.5~2.0 g kg<sup>-1</sup>이라는 보고(高橋 등, 1980)보다는 다소 높았다.

Table 17. Range of exchangeable magnesium content in the soil and magnesium in the leaves from the experimental plots of the normal and magnesium deficient satsuma mandarin trees sampled from 2001 to 2002.

Trees	Mg content in soil (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Mg content in leaves (g kg <sup>-1</sup> )
Normal	1.0~6.0 <sup>z</sup>	3.0~4.5*
Mg-deficient	0.7~0.8	2.5~2.7

<sup>z</sup>Means significant at 5% level by *t*-test.

마그네슘은 엽록소 구성 중심 요소로 마그네슘이 결핍되면 엽록소가 감소하여 엽색이 황색으로 변하고 광합성 능력이 떨어지며 체내 전분 함량이 감소함으로써 생육과 품질이 떨어진다(高橋 등, 1980). 따라서 마그네슘 결핍을 회복시키기 위하여 결핍된 나무를 대상으로 3월 중순부터 토양에 황산마그네슘 20 kg 10a<sup>-1</sup>를 공급하거나 그 수용액을 5.0~20 g L<sup>-1</sup> 농도로 수체당 10 L 씩을 1주일 간격으로 4회 엽면 살포한 결과(Table 18), 토양 중 마그네슘 함량은 시비 전에 비해 증가했으나, 시비수준 간에는 차이가 없었다.

엽면 살포시 처리 농도가 높을수록 엽중 마그네슘 함량은 높은 경향이었다. 5.0 g L<sup>-1</sup> 농도로 엽면 살포시 10a당 공급되는 황산마그네슘 총량은 14 kg으로 토양으로 직접 시용된 양의 70%가 되어 엽면살포 후 토양 중으로 들어가 존재하는 양은 적지만 살포 효과는 토양에 직접 시비한 것과 차이가 없었다. 10.0 g L<sup>-1</sup> 농도 이상의 엽면 살포시 엽중 마그네슘 함량은 토양 살포보다 높은 경향이었으며, 마그네슘 결핍증은 토양 또는 엽면시비로 쉽게 회복되었다.

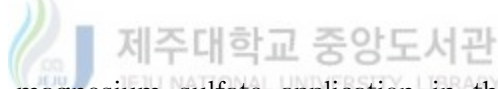


Table 18. Effect of magnesium sulfate application in the soil and on the leaves for the recovery of magnesium deficiency of satsuma mandarin.

Treatments	Mg content in soil (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Mg content in leaves (g kg <sup>-1</sup> )	Deficient symptom <sup>x</sup>
No application	0.75	2.6	remained
Soil treatment <sup>z</sup>	0.87 <sup>**w</sup>	3.0*	disappeared
5.0 g L <sup>-1</sup>	0.80	3.1*	disappeared
Foliar spray <sup>y</sup> 10 g L <sup>-1</sup>	0.89*	3.2*	disappeared
20 g L <sup>-1</sup>	1.03*	3.4*	disappeared

<sup>z</sup>20 kg 10a<sup>-1</sup> of magnesium sulfate were applied in the soil on Mar. 18 in 2003.

<sup>y</sup>Solutions of magnesium sulfate were applied on Mg-deficient trees four times on Mar. 18, Mar. 25, Apr. 1, and Apr. 8 in 2003.

<sup>x</sup>Spring shoot observation five months after magnesium sulfate treatment.

<sup>w</sup>Means significant at 5% level by *t*-test.

## 6. 적정 칼리 시비량

### 1) 치환성 칼륨 함량의 변화

1994~2004년까지 11년간 비료 처리별로 토양 중 칼륨 함량의 변화를 조사하였다(Fig. 6).

무비료구( $N_0-P_0-K_0$ )와 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ )에서 토양 중 치환성 칼륨 함량은 칼리 무시용 후 6년간은 급격히 떨어졌고 그 후 완만하게 감소하였다. 시험 11년차(2004년)의 토양중 치환성 칼륨 함량은 처리 전 함량의 1/10 수준으로 떨어졌다.

표준량의 3배( $N_3-P_3-K_3$ ) 시용할 경우 토양중 치환성 칼륨량은 지속적으로 증가하였으나, 표준시비량( $N_1-P_1-K_1$ )을 시용할 경우 토양 중 칼륨 함량은 11년간  $1.3 \pm 0.2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  수준으로 처리전과 거의 비슷하게 유지되었다. 그러나 과즙 산 함량이 감소된 시점인 시험 3년차(1996년)의 토양중 치환성 칼륨 함량은  $0.70 \sim 0.80 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 였고(Fig. 6) 산 함량이 낮고 당도가 향상되었던 시기의 6년간(1996~2001년)의 토양중 평균 칼륨 함량이  $0.56 \sim 0.60 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 였던 점은 현재의 칼리 시비량이 많다는 것을 의미하며, 칼리비료의 다량 시비는 과실 품질에 좋지 않은 영향을 미친다고 생각된다.

무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )에서 토양 중 칼륨 함량이 점차 떨어졌던 원인은 마그네슘이 별도로 공급되지 않아 결핍 증상이 나타날 정도로 함량이 낮아지므로 이와 길항작용(Reitz와 Koo, 1959; Lavon 등, 1999)이 있는 칼륨 흡수량이 많았기 때문으로 사료된다. 또한 무인산구의 토양 중 칼륨 함량이 무칼리구에서 과실품질이 향상되었던 시점보다 더 낮은  $0.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 떨어졌으나 과실 품질은 3요소구와 비슷한 경향이였다. 이는 단순히 토양 중의 칼륨 함량이 적어졌다고 품질이 향상되는 것이 아니고, 칼륨과 함께 칼슘과 마그네슘이 토양 중에 적정량 존재할 때 품질이 향상 되는 것임을 알 수 있었다.

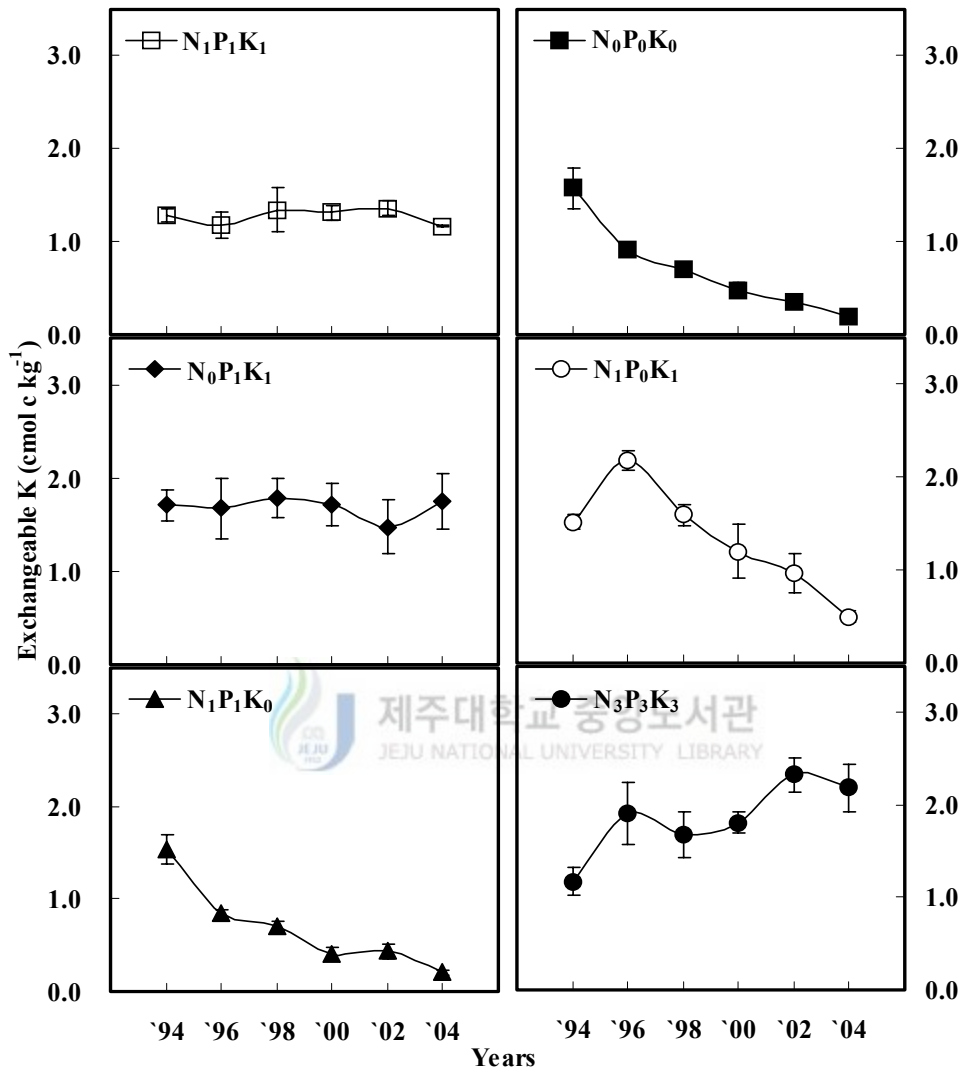


Fig. 6. Changes of exchangeable K in the very dark brown volcanic ash soil of satsuma mandarin orchard, as applied with the different combinations of N, P and K fertilizers for 11 years from 1994 to 2004.

Vertical bars indicate standard deviation (n=3).

N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;

N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;

K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

## 2) 칼륨 흡수량

질소 흡수량과 같은 방법으로 계산된 3요소구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>)에서의 칼륨 흡수량을 조사하였다(Table 19).

Table 19. Annual amount of potassium uptake by fruits, pruned branches and leaves from 10a of soils in N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>1</sub> treatment.

Plant part	Fresh wt. <sup>y</sup> (kg 10a <sup>-1</sup> )	Dry wt. <sup>w</sup> (kg)	K Content (g kg <sup>-1</sup> )	Uptake of K (kg 10a <sup>-1</sup> )
Peel	760	212.8	9.5	2.02
Fruit <sup>z</sup> (4,000 kg 10a <sup>-1</sup> )	Pulp	320	96	0.38
	Juice	2,920	3.0	8.76
Subtotal				11.16
Pruned branch and leaves <sup>x</sup>	540	216	8.0	1.73
Total				12.89

<sup>z</sup>4,000 kg 10a<sup>-1</sup>: average fruit yield from 1994 to 2001.

<sup>y</sup>Composition of fruit part needed to calculate fresh weight: peel 19%, juice 73%, pulp 8%.

<sup>x</sup>Fresh weight of pruned branch and leaf per 10a: 9 kg tree<sup>-1</sup> × 60 trees 10a<sup>-1</sup> = 540 kg 10a<sup>-1</sup>.

<sup>w</sup>Dry weight %: peel 28%, pulp 30%, pruned branch+leaf 40%.

과실을 과피, 과즙과 펄프로 나누어 분석하였으며, 10a당 4,000 kg의 과실에 흡수되는 칼륨량은 각각 2.02, 8.76, 0.38 kg으로 전체 약 11.7 kg이 되었다. 또한 수체 생육에 수반하여 흡수된 칼륨량은 전정된 가지와 엽이 함유하는 칼륨량으로 산정되었으며 그 양은 10a당 1.7 kg이 되어 과실 4,000 kg을 생산하는데 전체 흡수되는 칼륨량은 연간 12.9 kg으로 계산되었다.



### 3) 토양 중 칼륨 소모량과 적정 칼리 시비량 추정

무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)에서 연간 토양 중 치환성 칼륨의 감소량을 나타낸 것이 Fig. 7로 처리 후 6년까지는 급속한 감소를 보였으나 그 후 감소폭은 현저히 줄었다.

칼륨을 사용하지 않은 무칼리구(N<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>-K<sub>0</sub>)의 시험 전 치환성 칼륨 함량은 1.36 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>이었으나 6년 후(2000년)에는 0.41 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 떨어져 연 평균 0.158 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>이 감소되었다. 이를 가비중이 0.85인 시험 포장 토양에서 감귤나무의 근권 30 cm 내 소모되는 칼륨 성분량으로 계산하면 15.7 kg에 해당되므로 10a당 연간 이 양만큼 토양에서 칼리 성분이 감소되는 것을 의미한다.

따라서 성목원에서 과실 4,000 kg을 생산할 때 토양에서 15.7 kg의 칼륨 함량이 소모되는데 이중 12.9 kg은 수채 생육과 과실 생산을 위해 소모되며 나머지 2.8 kg은 유거수 및 지하로 용탈되는 손실량으로 판단되었다.

그러므로 성목원에서 고품질 감귤을 생산하기 위해서는 토양 중 치환성 칼륨 함량이 0.56~0.60 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>(Table 3)로 떨어진 후 10a당 연간 성분량으로 최대 15.8 kg의 칼륨 함량(19 kg K<sub>2</sub>O)을 공급하면 충분하고, 만일 토양 중 유실되는 양을 줄여 보다 효율적으로 흡수 시킬 수 있는 방법이 개발되거나 기타 전정가지 파쇄물 및 퇴비가 공급될 경우에는 이에 해당되는 양만큼 줄여야 한다.

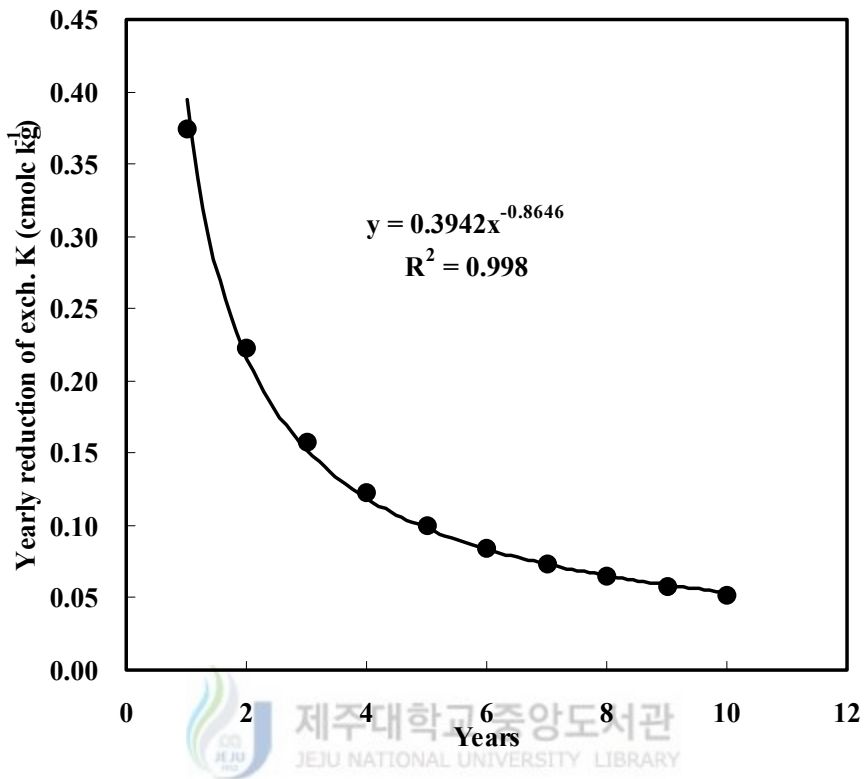


Fig. 7. Yearly reduction of exchangeable K in the volcanic ash soil where satsuma mandarin trees were grown without K application for 11 years.

N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;

N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;

K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

#### 4) 칼륨 결핍증과 결핍 대책

칼륨 결핍증은 Photo 6과 같이 무칼리구에서 시험 8년차인 2001년 8월과 11월에 발생하였다.



Photo 6. Symptoms of potassium deficiency on the leaves of satsuma mandarin grown with no application of potassium for 8 years.

A; fruit enlargement stage B; harvesting stage.

칼륨 성분은 다량성분의 하나로 토양 중 함량이 많고, 체내 이동이 빠르므로 일반 과원에서는 좀처럼 결핍 증상이 발생하지 않지만 본 시험에서는 다년간 칼리비료를 사용하지 않아 결핍 증세가 나타났고, 주로 구엽에 발생하였다. 초기에는 엽 끝이 노랗게 되면서 점차적으로 황화 면적이 확대되었다 (Photo 7A).

칼리비료를 사용하지 않은지 9년(2002년)차 이후에는 결핍 증상은 더욱 심해져 엽 끝이 타버리는 증상(leaf scorch)이 나타났으며, 과실에서도 과정부 부근이 노랗게 되면서 괴저 현상이 발생하였고 이 부위를 중심으로 열과 증상이 나타났다(Photo 7B). 지금까지 열과 증상에 대하여 확실히 구명은 되지 않았지만 흔히 과원에서 수분관리 등의 불량으로 발생하는 열과인 경우 가시적으로 괴저 증상이 없이 과피에 균열이 생겨 찢기지만 칼륨 결핍에 의한 열과는 과실 표피가 찢기기 전 과정부 부근에 괴저 증상이 나타나는 특징이 있

다. 따라서 차후 칼륨성분이 괴저 증상 및 열과 발생에 어떤 영향을 미치는지에 대해서 좀 더 심도 있는 검토가 필요하다고 생각한다.



Photo 7. Development of potassium deficiency on the leaves (A) and necrosis on fruit apex (B) of satsuma mandarin grown with no application of potassium for 10 years.

결핍 증상이 심한 나무에서는 착색이 불량한 과실이 생기기 시작하였는데, 수확기에도 여전히 푸른색을 띠었다(Photo 8, left). 또한 건전과에 비해 과실 크기가 작았으며 당도가 낮고 산 함량이 높았다(Table 20).



Photo 8. Abnormally ripened fruits (left) of satsuma mandarin caused by potassium deficiency and normal fruit (right).

Table 20. Average fruit weight, soluble solids and acidity of juice, and fruit peel color of the normal and potassium deficient satsuma mandarin trees examined from 2002 to 2003.

Trees	Fruit wt. (g)	Soluble solids (°Bx)	Acidity (%)	Fruit peel color <sup>y</sup>		
				L	a	b
Normal	109 <sup>z</sup>	10.6*	1.22*	58.1*	29.8*	32.5
K-deficient	84	9.7	1.69	56.5	5.4	30.6

<sup>y</sup>L; lightness, a; green -60~red +60, b; blue -60~yellow +60.

<sup>z</sup>Means significant at 5% level by *t*-test.

칼륨 결핍시의 과실 특성에 관한 본 조사 결과는 칼륨 함량이 모자라면 과실크기가 작아지며(Reitz와 Koo, 1959; Smith, 1966; 石原 등, 1965; 長谷과 石原, 1972; Reese와 Koo, 1975; Berger 등, 1996) 엽 끝이 황화되고 과실의 과정부에 괴저 증상과 열과 현상이 나타난다는 보고(長谷과 石原, 1972)와 일치한다. 長谷과 石原(1972)에 의하면 이와 같은 칼륨 결핍 증상은 칼리 무시용 3년 차에 발생되었다고 하였으나 본 시험에서는 다소 늦게 증상이 발생하였는데, 그 원인은 성목을 대상으로 직접 포장에서 시험하였기 때문이라고 생각된다.

칼륨 결핍 증상이 나타나기 시작한 시점의 토양중 치환성 칼륨 함량에 대한 보고는 찾아 볼 수 없었지만, 본 시험에서는 0.4~0.45 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 떨어졌을 때 초기 결핍 증세가 나타나기 시작하였다(Table 21). 또한 長谷과 石原(1972)은 엽중 칼륨 함량이 5.0 g kg<sup>-1</sup> 이하, Chapman(1968)은 6.0 g kg<sup>-1</sup> 이하를 칼리 결핍이라 한 바 있다. 본 시험 포장에서도 엽중 칼륨 함량이 6.0~6.5 g kg<sup>-1</sup>로 떨어졌을 때 초기 칼륨 결핍 증상이 나타나 앞서 보고한 연구 결과와 유사하였다(Table 21). 한편 Chapman(1968)은 결핍 함량외에 7~10 g kg<sup>-1</sup>를 부족, 12~17 g kg<sup>-1</sup>을 적정하다고 하였다.

Table 21. Range of exchangeable potassium content in the soil and potassium in the leaves from the experimental plots of the normal and potassium deficient satsuma mandarin trees sampled from 2001 to 2002.

Trees	K content in soil	K content in leaves
	( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	( $\text{g kg}^{-1}$ )
Normal	0.60~1.3 <sup>z</sup>	8.0~14.0*
K-deficient	0.40~0.45	6.0~6.5

<sup>z</sup>Means significant at 5% level by *t*-test.

칼륨이 결핍된 나무를 회복시키고, 토양 중에 적정 칼륨 함량을 유지시키기 위해 2년간 염화칼륨  $20 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ (성분량)을 봄, 여름, 가을철에 각각 30, 40, 30%를 토양에 분시한 결과(Table 22) 토양의 치환성 칼륨 함량은 처리 전  $0.38 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 에서 처리 후  $0.62 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로, 엽은  $5.4 \text{ g kg}^{-1}$ 에서  $7.1 \text{ g kg}^{-1}$ 로 높아졌으며 가시적으로 결핍 증상이 보였던 엽은 모두 회복되었다.

Table 22. Effect of potassium chloride application in the soil on the recovery of potassium deficiency of satsuma mandarin.

Treatments	K content in soil ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	K content in leaves ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Deficient symptom <sup>x</sup>	
			fruits	leaves
No application	0.38 <sup>y</sup>	5.4*	remained	remained
Soil treatment <sup>z</sup>	0.62	7.1	disappeared	disappeared

<sup>z</sup> $33 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  of potassium chloride applied in Mar. of 2002.

<sup>x</sup>Investigated in Mar. of 2004.

<sup>y</sup>Means significant at 5% level by *t*-test.

## 7. 시비에 따른 균근균 포자밀도 및 감염률

### 1) 시비에 따른 균근균 포자밀도

시비 처리별 토양 중 균근균의 포자밀도(Fig. 8)는 2004년과 2005년 7월에 조사한 것인데 건토 1.0 g당 0.2~0.6개 수준으로 상당히 낮게 나타났다.

비료 처리별로는 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )와 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )에서 가장 적었고, 나머지 처리구에서는 비슷한 경향을 보였다.

비화산회토인 육지부 토양에서 조사된 자료를 보면 건토 1.0 g당 2.2~31.2개(손, 1991)정도 존재하며, 작목별로는 고추 재배지 1.0개, 오이 2.1개, 수박과 참외 2.5개로 보고 되어져 있다(박 등, 1999a). 토성별 조사에서는 사양토, 양토에 비해 사질토의 포자밀도가 낮았다.

일반적으로 균근균의 생태에 미치는 요인으로는 토양 산도(Hayman과 Tavares, 1985; Khaliel, 1989; Anderson 등, 1984), 토양 수분과 무기성분(Hayman, 1982), 유기물 함량(Hepper와 Warner, 1983) 등이 알려져 있다.

이 시험에서 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )와 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )의 포자밀도가 낮은 원인은 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )의 토양 pH는 5.0, 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )는 5.5로 나머지 처리구에 비해 낮아 토양 pH가 포자밀도에 영향(Anderson 등, 1984; Khaliel, 1989)을 미친 것으로 판단된다.

그러나 균근균 포자밀도가 토양 pH에 의해 영향을 받지 않는다는 보고(Bohrer 등, 2001; Habte, 1995)도 많이 있는 점으로 미루어 보아 이에 대해서는 좀 더 검토가 필요하다고 사료된다.

최근 균근균의 중요성이 보고되면서 많은 연구가 이루어지고 있는데, 감귤 나무 뿌리에 감염되는 균근균은 내생 균근균의 하나로 인산의 흡수를 촉진시켜 품질을 향상시키고(Shrestha 등, 1995; Ishii 등, 2000) 토양 건조 스트레스(Ishii T, 2000; Shrestha 등, 1996)와 내염성(Matsubara 등, 1996; Krikun과 Levy, 1980)을 증대시키기도 한다.

제주의 감귤원 토양에서 지금까지 비료의 각 성분이 균근균의 밀도에 어떤 영향을 주는지, 화산회성 토양이 육지부의 비화산회성 토양에 비해 포자밀도가 낮은 이유는 무엇인지 아직까지 명확히 밝혀지지 않았다.

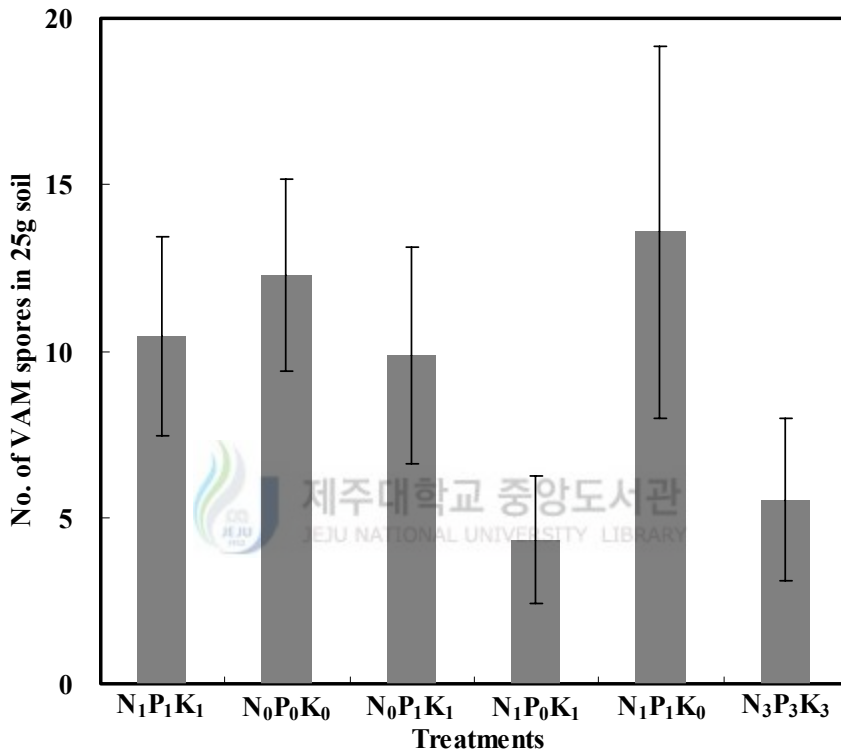


Fig. 8. Effect of the different combinations of N-P-K fertilizer application on the number of spores in the volcanic ash soil.

Vertical bars indicate standard deviation (n=4).

N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;

N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;

K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.



## 2) 시비에 따른 균근균의 뿌리 감염률

감귤원에서 질소, 인산, 칼리 각 성분이 균근균의 뿌리 감염에 얼마만큼 영향을 미치는지 알아보기 위해 2004년과 2005년 7월에 뿌리 감염률을 조사하였다(Fig. 9). 감염율은 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ )에서 가장 높았고, 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ )에서 가장 낮게 조사되었다.

조사시기의 토양 중 인산 함량을 보면 무비료구( $N_0-P_0-K_0$ ) 84, 무질소구( $N_0-P_1-K_1$ ) 191, 무인산구( $N_1-P_0-K_1$ ) 75.5, 무칼리구( $N_1-P_1-K_0$ ) 161, 3요소구( $N_1-P_1-K_1$ ) 194, 3요소 3배구( $N_3-P_3-K_3$ ) 414 mg kg<sup>-1</sup>로 인산 함량이 높을수록 뿌리 감염률이 낮고 인산 농도가 가장 낮은 처리에서 감염률이 높음을 알 수 있었다.

이는 양액이나 토양 중의 인산 농도가 높으면 기주식물에 대한 균근균 감염이 잘 되지 않는다는 보고(Whetten과 Andeson, 1992)와 유사한데 인산이 결핍할 경우 기주식물 뿌리 세포막의 투과성이 느슨해져 균근균이 감염 형성에 필요한 양분을 쉽게 얻을 수 있지만, 인산 공급이 충분하면 세포벽의 코르크 형성이 촉진되어 균근균 균사의 부착기 형성이 억제되고 뿌리로부터의 영양 공급이 줄어 균근균 형성에 저해를 받기 때문(Brundrett 등, 1994; Smith와 Read, 1997)인 것으로 사료된다. 고구마 분무경 재배 시 인산 농도를 5~20  $\mu$ M로 달리하여 균근균 형성에 미치는 영향을 조사한 결과(김 등, 2004)에서도 뿌리 생성량은 인산 농도가 높은 수준에서 많아졌지만 균근균 감염은 인산 농도가 낮을수록 높다고 하였다. 강 등(2003)도 화산회토양에 감귤을 시험재료로 인산 농도별 균근균 형성율을 조사한 결과 100 mg P kg<sup>-1</sup> 처리구에서 균근균 형성율이 가장 높았다고 하였다. 토양중의 인산 농도와 균근균 감염률에 관한 이상의 보고 자료와 본 연구결과를 고려해 볼 때, 균근균의 감염률을 높여 균근균의 효과를 높이기 위해서는 토양 중 유효인산 함량을 낮추어야 할 것으로 사료된다.

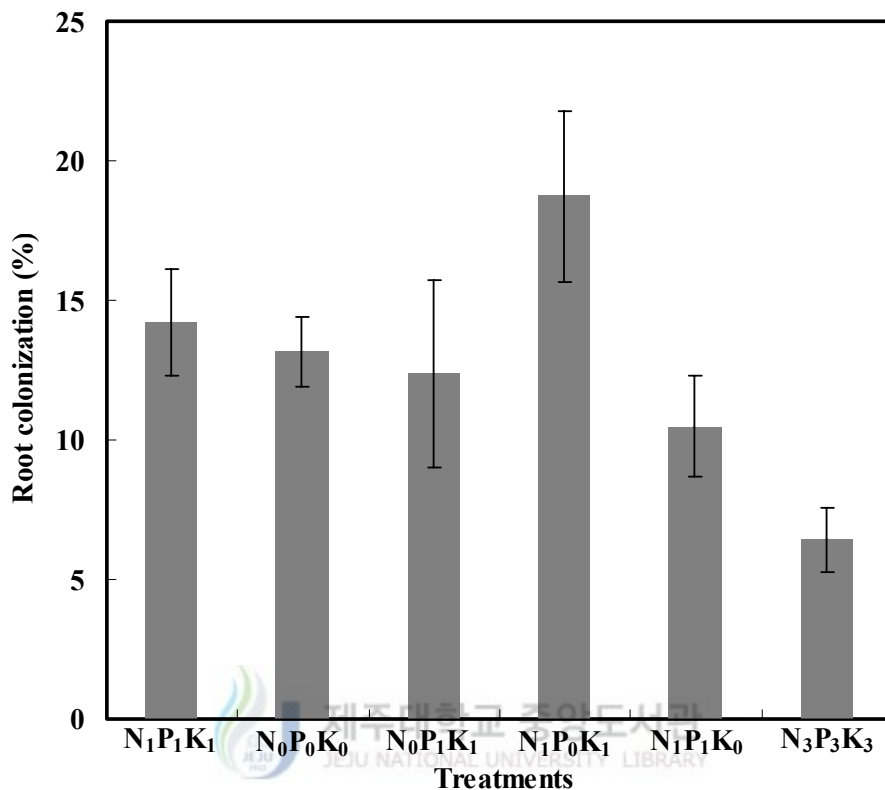


Fig. 9. Effect of the different combinations of N-P-K fertilizer application on the infection rates of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) in the roots of satsuma mandarin. The rate of VAM infection (%)=(length of infected root/root length observed)×100.

Vertical bars indicate standard deviation (n=3).

N<sub>0</sub>, no nitrogen application; P<sub>0</sub>, no phosphorus application; K<sub>0</sub>, no potassium application;

N<sub>1</sub>, recommended application rate; P<sub>1</sub>, recommended application rate;

K<sub>1</sub>, recommended application rate;

N<sub>3</sub>, three times of N<sub>1</sub>; P<sub>3</sub>, three times of P<sub>1</sub>; K<sub>3</sub>, three times of K<sub>1</sub>.

## V. 적 요

화산회토 감귤원에서 질소, 인산 및 칼리비료를 장기간 연용하거나 이들 비료를 각각 결제하여 1994년부터 2004년까지 11년간 토양의 이화학성, 수체영양, 품질 및 수량에 미치는 영향을 조사하였다.

홍진조생 20년생을 시험수로 사용하였고 시험구는 무비료구(0-0-0 kg 10a<sup>-1</sup>), 무질소구(0-40-28 kg 10a<sup>-1</sup>), 무인산구(28-0-28 kg 10a<sup>-1</sup>), 무칼리구(28-40-0 kg 10a<sup>-1</sup>), 3요소구(28-40-28 kg 10a<sup>-1</sup>) 및 3요소 3배구(84-120-84 kg 10a<sup>-1</sup>)로 나누어 난괴법 3반복으로 배치하였으며 인산인 경우 인산1/2구(28-20-28 kg 10a<sup>-1</sup>)를 추가적으로 두었다.

각 성분들이 토양 pH, 과실 품질, 수량 및 격년결과성에 미치는 영향을 조사하였고, 품질이 향상되었던 시기의 토양과 엽중 무기성분 함량, 표준시비와 질소를 시용하지 않았을 때의 수체의 질소흡수량과 이용률, 인산 시비량에 따른 토양 유효인산 변화, 칼리비료의 무시용에 따른 토양 칼리 감소량 등으로 질소, 인산 또는 칼리질 비료의 적정 시비량을 재고하였다. 또한 이들을 장기간 시용하지 않았을 때 나타나는 무기성분의 결핍 증상을 정확히 조사하여 체계화시키는 한편, 이에 대한 회복 대책을 강구하였다. 한편, 장기간 인산 시비의 유무가 토양 중 균근균 포자의 밀도 그리고 감귤나무에 대한 감염률에 미치는 영향도 함께 조사하였다.

1. 토양 pH는 화학비료의 시용에 의해 변화되었는데 질소비료로 사용된 요소는 pH를 떨어뜨리는데, 인산비료로 사용된 용성인비는 pH를 상승시키는데 기여하였다. 특히 3요소 3배구와 같이 과다시용 할 경우 가장 pH가 낮았다. 토양 중 치환성 양이온인 K, Ca, Mg 함량은 염화칼륨 또는 용성인비의 시비에 의해 각각 증가하였으나, 요소시비에 의한 pH 저하는 이들 K,

Ca과 Mg 함량을 떨어뜨리는 요인이 되었다. 또한 3요소 3배시비구의 치환성 Ca와 Mg 함량은 3요소 처리구에 비해 크게 증가하지 않았다.

2. 장기간 질소와 칼리비료의 시비는 엽중 질소와 칼륨 함량을 증가시켰으나, 인산 시비는 엽중 인 함량을 증가시키지 않았다. 특히, 표준시비량을 3배 사용하였을 때에는 엽중 질소 함량만 표준시비구보다 약간 높았을 뿐 다른 성분에는 차이가 없었다.

3. 과실 품질이 가장 우수한 처리구는 무칼리구와 무비료구로 3요소구에 비해 산 함량이 낮아지기 시작한 시점(처리 3년차)부터 K 결핍 증상이 나타나기 이전(처리 8년차)까지의 이들 처리구의 토양중 평균 치환성 K, Ca, Mg의 함량은 각각 0.56~0.60, 7.46~7.73, 2.22~3.27  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 이고, 그 비율은 1:13.4~14.0:3.9~6.4로 기타 처리구의 1:4~6.5:0.9~3.2 보다 K에 대한 Ca와 Mg 비율이 높았다. 또한 이들 처리구의 엽중 K, Ca, Mg의 함량은 9.5~11.1, 25.3~26.5, 3.5~4.2  $\text{g kg}^{-1}$ 이고, 그 비율은 1:2.5~2.8:0.3~0.4로 나머지 처리구에 비해 Ca와 Mg의 비율이 높았다.

4. 무질소와 무인산구의 감귤 수량은 3요소구에 비해 낮은 경향이였으며, 무칼리구는 3요소구와 차이가 없어 삼요소중 질소가 감귤 수량에 가장 큰 영향을 주었고, 표준시비량의 3배 시비는 수량 증가에 영향을 주지 않았다. 한편, 연도별 수량변동률은 무비료구와 3요소 3배구에서 가장 높았고, 무칼리구에서 제일 낮았다.

5. 과실의 당도는 시험 6년차부터 처리간 차이가 나타나기 시작하였으며, 차이가 발생한 시점부터 6년간의 평균 당도는 3요소구, 무질소구, 무인산구, 3요소 3배구가 9.7~9.8 °Bx로 차이가 없었고 무칼리구는 10.4 °Bx로 이들 처

리에 비해 약 0.7 °Bx가 높아 칼륨 성분은 당도 증가에 영향이 있었으나, 질소와 인 성분은 당도에 미치는 영향이 적었다.

6. 산 함량은 시험 3년차부터 처리간에 차이가 나타나기 시작하였으며, 차이가 발생한 시점부터 9년간의 평균 산 함량은 3요소구, 무질소구, 무인산구, 3요소 3배구가 1.30~1.35%로 차이가 없었고 무칼리구는 1.16%로 이들 처리에 비해 0.16%가 낮아 산의 감소에도 칼륨 성분의 영향이 크나 질소와 인 성분은 산 함량에 미치는 영향이 적었다.

과실크기도 칼륨 성분에 좌우되었으며, 토양 치환성 칼륨 함량이 0.56~0.60 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>일 때 대과 비율이 낮았고, 중·소과 비율은 높았다. 질소와 인 성분은 과실크기에 영향을 주지 않았으며 3요소 3배시비구에서는 과실의 착색이 불량하고, 과피 두께가 가장 두꺼웠다.

7. 10a당 28 kg 시용시 10a당 과실 4,000 kg이 생산되어 과실과 전정가지에 흡수된 질소량은 8.61 kg이었고, 질소를 사용하지 않았을 경우에는 10a당 3,600 kg의 과실이 생산되었으며, 이때 과실과 전정가지에 흡수된 질소량은 6.26 kg이었다. 따라서 시용된 비료로부터 흡수된 질소량은 2.34 kg으로 흡수율은 8.4%였다. 질소비료 이용률을 10%로 적용 할 경우 연간 필요한 질소 시비량은 약 23 kg 10a<sup>-1</sup>로 산정되었다.

감귤 엽색판에서 질소 결핍증에 해당하는 엽색의 엽중 질소 함량은 25 g kg<sup>-1</sup>이하였고, 크로로필 함량은 21~24 μg cm<sup>-1</sup>, SPAD-502 값은 66~70으로 정상 엽의 질소, 크로로필, SPAD-502 값인 26~28 g kg<sup>-1</sup>, 28~33 μg cm<sup>-1</sup>, 72~78에 비해 뚜렷이 낮았다. 질소 결핍 증상은 3.0 g L<sup>-1</sup> 요소를 1주일 간격으로 3회 엽면시비하면 회복되었고, 5.0 g L<sup>-1</sup> 이상에서는 엽 끝이 타는 농도장해가 나타났다.

8. 인산은 수체 및 품질에 영향이 없었고 토양 중 유효인산 함량은 3요소 3배구와 3요소구에서 계속 증가하나 인산 1/2구에서는 처리 전 함량인  $141 \pm 17 \text{ mg kg}^{-1}$ 와 비슷하게 유지되어 적정 시비량은  $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 10\text{a}^{-1}$ 로 추정되었다.

무인산구에서 엽 자루 부근에 삼각형 모양으로 노랗게 변하는 Mg 결핍증이 발생하였으며, 결핍 시점의 토양과 엽중 Mg 함량은 각각  $0.7 \sim 0.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $2.5 \sim 2.7 \text{ g kg}^{-1}$ 이었다. 결핍 증상은 황산마그네슘  $20 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 을 토양에 시비하거나 그 용액  $5.0 \sim 10.0 \text{ g L}^{-1}$ 을 봄철 7일 간격으로 4회 엽면시비하면 회복되었다.

9. 칼리비료의 무시용시 토양 중 치환성 칼륨의 감소량은 연간  $0.158 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 이를  $10\text{a}$ 당 칼륨 성분량으로 계산하면  $15.7 \text{ kg}$ 이었고, 이 중  $12.9 \text{ kg}$ 은 과실  $4,000 \text{ kg}$ 을 생산하는데 소모되며, 나머지  $2.8 \text{ kg}$ 은 손실량으로 추정된다. 따라서 매년 토양에서 감소되는 양 만큼은 보충되어야하므로 적정 시비량은 칼리( $\text{K}_2\text{O}$ ) 성분량으로 환산하면  $19 \text{ kg K}_2\text{O } 10\text{a}^{-1}$ 로 추정되었다.

10. 과즙의 산 함량이 감소되고, 당도가 올라가기 시작한 초기 시점의 치환성 칼륨 함량은  $0.7 \sim 0.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 이었고 결핍증이 발생하는 시점의 토양과 엽중 칼륨 함량은 각각  $0.4 \sim 0.45 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $6.0 \sim 6.5 \text{ g kg}^{-1}$ 이었다.

K 결핍 증상은 엽 끝의 황화, 과피의 착색불량, 소과 및 열과 현상으로 나타났으며 연간 엽화칼륨  $20 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 을 관행시비 방법으로 사용하면 회복되었다.

11. 균근균 포자밀도는 무인산구와 3요소 3배구가 가장 적었지만 뿌리 감염률은 무인산구에서 가장 높았고, 3요소 3배구에서 가장 낮았다.

## VI. 인용문헌

青葉辛二, 關谷宏三. 1977. 果樹園の微量金屬元素に關する研究. VI. 溫州ミカン園における土壤化學性の惡化に伴う葉と細根の無機成分含量及び酵素活性の變化, 果樹試報. A:37-44.

安達義正, 中鳥芳和, 堀金正巳. 1966. 코스台およびカラタチ溫州ミカン生育ならびに果實の收量と品質に及ぼすリン酸施肥 影響, 園學雜. 35(2):98-105.

Alva, A. K. and S. Paramasivam. 1998. Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 62:1335-1342.



Anderson, R. C., Liberta, A. E. and L. A. Dickman. 1984. Interactions of vascular plants and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi across a soil moisture-nutrient gradient. Oecologia(Berl.). 64:111-117.

Berger, H., J. Opazo, S. Orellana and L. Galletti. 1996. Potassium fertilizers and orange postharvest quality. Proc. Int. Soc. Citriculture pp.759-761.

Bohrer, G., V. Kagan-Zur, N. Roth-Bejerano and D. Ward. 2001. Effects of environmental variables on vesicular-arbuscular mycorrhizal abundance in wild populations of *Vangueria infausta*. J. vegetation. Sci. 12(2):279-288.

Brundrett, M., L. Melville and L. Peterson. 1994. Practical methods in mycorrhiza research. Mycorrhiza publications, Lochside Drive, Canada. pp.71-79.

Calvert, D. V. 1970. Response of 'Temple' oranges to varying rates of nitrogen, potassium, and magnesium. Proc. Fla. state Hort. Soc. 83:10-15.

Cameron, S. H., R. T. Muller, A. Wallace and E. Sartori. 1952. Influence of age leaf, season of growth, and fruit production on the size and inorganic composition of valencia orange leaves. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 60:42-50.

Carling, D. E. and M. F. Brown. 1982. Anatomy and physiology of vesicular arbuscular and non-mycorrhizal roots. Phytopathology 72:1108-1114.

Cary, P. R. 1972. The residual effects of nitrogen, calcium and soil management treatments on yield, fruit size, and composition of citrus. J. Hort. Sci. 47:479-491.

Chang, S. X and D. J. Robinson. 2003. Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the SPAD-502 chlorophyll meter. Forest Ecology and management 181:331-338.

Chapman, H. D and D. S. Rayner. 1951. Hilgardia. 20:603-605.



Chapman, H. D. 1968. Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. Calif. Div. Agr. Sci. pp.362-394.

조자용, 김영주, 진서영, 강성구, 김홍림, 손보균, 김현우. 2004. 균근균 *Glomus* sp. 접종에 따른 고품배지경 오이와 방울토마토의 균근 형성과 생육. 한토비지. 37(5):341-349.

千葉 勉. 1982. 果樹園の土壤管理と施肥技術. 博友社 pp.128-160.

Echeverria, ED and J. Valich. 1988. Carbohydrate and enzyme distribution in protoplast from valencia orange juice sacs. *Phytochemistry* 27(1):73-76.

Embleton, T. W., J. D. Kirkpatrick and E. R. Arker. 1952. Visible response of phosphorus-deficient orange trees to phosphate fertilizers and seasonal changes in mineral constituents of leaves. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 60:55-61.

Embleton, T. W., J. D. Kirkpatrick, W. W. Jones and C. B. Cree. 1956. Influence of applications of dolomite, potash and phosphate on yield and size of fruit and on composition of leaves of Valencia orange trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 67:183-190.

Embleton, T. W., W. W. Jones. 1964. Leaf analysis, a tool for determining the nutrient status of citrus. *Proc. Soc. Soil and Plant Diagnosticians* 1:160-169.

Food and agriculture organization of the united nation. 2004. Agricultural production indices. faostat.fao.org.

Gianiazzi, P. V. and S. Gianinazzi. 1978. Enzymatic studies on the metabolism of vesicular arbuscular mycorrhizae: II. Soluble alkaline phosphatase specific to mycorrhizal infection in onion roots. *Physiol. Plant Pathol.* 12:45-53.

Habte, M. 1995. Soil acidity as a constraint to the application of vesicular-arbuscular mycorrhizal technology. *Mycorrhiza structure, function, molecular biology and biotechnology* pp.593-606.

韓承甲. 1997a. 施肥량이 柑橘園 土壤 化學性 및 柑橘의 生育에 미치는 影響. 碩士學位 論文. 濟州大學校. 제주대학교 중앙도서관

한승갑, 임한철, 이종희. 1997b. 감귤엽중 질소간이 판정법. 과수연구소 시험 연구 보고서 pp.616-623.

한승갑, 임한철. 1998. 조생온주 밀감의 엽중 질소 함량 간이 측정 엽색판 개발. 농업과학기술개발 결과 시책건의자료 pp.385-386.

Hayman, D. S. 1982. Influence of soil and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi. *Phytopathology* 72:1119-1125.

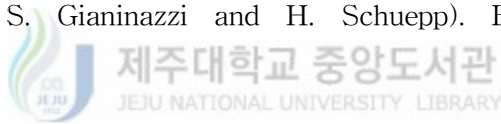
Hayman, D. S. and M. Tavares. 1985. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XV. Influence of soil pH on the

symbiotic efficiency of different endophytes. *New Phytol.* 100:367-377.

Hepper, C. M. and A. Warner. 1983. Role of organic matter in growth of a vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi in soil. *Trans. British. Mycol. Soc.* 81:155-156.

洪淳範, 鄭舜京. 1979. 濟州蜜柑에 對한 三要素 施用水準이 樹體生育, 收量 및 品質에 미치는 影響. *農試報告*. 21(園藝, 農工):67-75.

Hooker, J. E., M. Jaizme-Vega and D. atkinson. 1994. Biocontrol of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. pp. 191-200. In *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*(eds S. Gianinazzi and H. Schuepp). Birkhauser, Basel, Switzerland.



Huber, S. C. 1984. Biochemical Basis for effects of K-deficiency on assimilate export rate and accumulation of soluble sugars in soybean leaves. *Plant Physiol.* 76:424-430.

현승원. 1996. 제주도 환경보전형 농업의 방향. 환경친화형 농업을 위한 국제 심포지움. 제주대학교 아열대원예산업 연구센터 pp.119-139.

Inskip, W. P. and P. R. Bloom. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll *a* and *b* in *N,N*-dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiol.* 77:483-485.

Ishii, T., I. Matsumoto, Y. H. Shrestha, L. S. Wamocho and K. Kadoya. 1998. Observation of vesicular-arbuscular mycorrhizal formation in the roots of some seasonal, weeds proliferated in citrus orchards. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67(4):556-558.

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

Ishii, T., S. Kirino and K. Kadoya. 2000. Sustainable citriculture using vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi : Introduction of new soil management techniques. Proc. Intl. Soc. Citricult. IX Congr. pp.1026-1029.



Ishii, T., 2000. The utilization of mycorrhizal fungi on agroforestry systems in the semi arid regions of kenya. 京都府立大學校 術報告. NO(52). pp.21-37.

岩切. 1992. ウンシュウミカンの窒素の 肥效と樹体榮養・果實品質に関する研究. 佐賀縣果樹試驗場 研究報告 第12号: pp.1-77.

岩堀修一, 門屋一臣. 1999. カンキツ 總論. 養賢堂. pp.397-453.

中間和光. 1967. 温州 みかんじ對する施肥效果の判定關する研究. 静岡縣 柑橘試驗場 特別報告. 第一號:1-46.

제주도 감귤출하연합회. 2005. 2004년산 감귤 유통 처리 분석 pp.1-94.

제주도 농촌진흥원. 1993. 수입개방 대응 고품질 생산 감귤원 시비기준표  
37pp.

정재권, 문덕영, 권혁모. 1982. 감귤원 석회시용에 의한 인산비료 증진시험.  
제시보고. pp.185-204.

정승경, 김한용. 1979. 감귤원 시비적기와 적량에 관한 시험. 제시보고.  
pp.75-97.

정재권, 김광식. 1986. 질소시용 수준 구명 시험. 제시보고. pp.290-298.

Jones, W. W., S. Embleton, B. Boswell, G. E. Goodall and E. L. Barnhart.  
1970. Nitrogen rate effects on lemon production, quality and leaf  
nitrogen. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95:46-49.

강호준, 한근섭, 오세건, 김우일, 이중석, 현근수, 이신찬, 황재종, 성문석, 김유  
경, 한원탁. 1999. 밭토양 정밀검정. 제주도 농업기술원 시험연구 보고서.

강석범, 문두길, 정종배. 2003. 화산회토양에서 인산 시용 수준별 탱자 유묘의  
공생균근 형성과 생육 및 무기양분 흡수. 한토비지. 36(5):311-322.

강영길, 유장걸, 강봉균. 1998. 온주밀감 과원 토양에서 질소에 대한 시비방법  
과 시비수준에 따른 회수율. 한토비지. Vol. 31(2):143-150.

강영길, 유장걸. 1999. 요소 엽면시비에 따른 온주밀감의 질소회수율. 한토비지. Vol. 32(2):132-139.

Kang, Y. K., Z. K. U. and Y. C. Kim. 2000. Distribution of fall-applid in various parts of satsuma mandarins. Korean J. Soil Sci. & Fert. Vol. 33(5):325-332.

Khaliel, A. S. 1989. Mycorrhizal status of some desert plants and correlation with edaphic factors. Trans. Mycol. Soc. Jpn. 30:231-237.

김창명, 문영일. 2001. 조생온주밀감 수상월동 재배에 관한 연구. 제주농업 시험장 연구보고서.

金昌明. 2002. 氣象要因이 濟州地方 溫州蜜柑의 開花·結實 및 果實品質에 미치는 影響. 博士學位論文. 濟州大學校.

金滢玉. 1974. 濟州道 柑橘園 土壤의 磷酸形態 및 吸着에 關한 研究. 農化學誌. 17(3):219-232.

金滢玉, 吳現道. 1971. 肥料反應이 柑橘生育에 미치는 影響. 濟大論文集 3:241-253.

김홍림. 1999. 조미채소 주산지 토양의 Arbuscular 균근군 포자밀도에 관한 연구. 석사학위 논문. 순천대학교.

金鍾天, 鄭碩文, 孔聖帝. 1969. 葉分析에 의한 우리나라 柑橘樹의 營養狀態에

關한 研究. 農試報告 12(2):45-51.

김영섭, 배대한, 김종천, 홍중운, 오재섭, 한해룡. 1973. 제주도 감귤재배지역  
실태조사 보고. 농촌진흥청.

김영주, 진서영, 조자용, 김길용, 차규석, 손보균. 2004. 분무경재배에 의한  
arbuscular 균근균 증식에서 양액내 인산농도의 영향. 한토비지.  
37(5):350-355.

Kim, Y. Y. and C. K. Ko. 1975. Effect of N, P and K Levels on Cold  
Resistance of Miyagaya-Wase satsuma Orange and Freezing Test of  
Citrus Trees. Jour. Kor. Soc. Hort. Sci. 16(1):36-47.

고관달. 1985. 제주도 감귤원의 시비 및 영양에 관한 연구. 충북대 석사학위  
논문.

高官達, 金善圭. 1987. 濟州道 柑橘園의 土壤化學性과 葉內 無機成分 含量. J.  
Kor. Soc. Hort. Sci. 28(1):45-52.

Koo, R. C. J. and R. L. Reese. 1976. Influence of fertility and irrigation  
treatments on fruit quality of 'Temple' orange. Proc. Fla. State Hort.  
Soc. 89:49-51.

Koo, R. C. J., T. W. Young, R. L. Reese and J. W. Kesterson. 1974.  
Effects of nitrogen, potassium, and irrigation on Yield and quality of  
lemon. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99:289-291.

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

Lavon, R., E. E. Goldschmidt, R. Salomon and A. Frank. 1995. Effect of potassium, magnesium, and calcium deficiencies on carbohydrate pools and metabolism in citrus leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120:54-58.

Lavon, R., R. Salomon, E. and E. Goldschmidt. 1999. Effect of potassium, magnesium and calcium deficiencies on Nitrogen Constituents and Chloroplast Components in Citrus Leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124(2):158-162.

이상규, 차규석, 김인탁. 1983. 제주도 화산회토양의 이화학적 특성 및 유기물 성상에 관한 연구. *한토비지*. Vol 16(1):20-27.

이신찬, 강호준, 황재중, 김유경, 강상훈, 한원탁, 유장걸. 2000. 감귤원 토양 검정에 의한 시비절감 효과 실증시험. *제주농업시험 연구보고서*. 제주도 농업기술원 pp.272-278.

이신찬. 2003. 제주지역에서 중질소 표시요소를 이용한 온주밀감의 적정 질소 시비량 결정. 박사학위논문. 제주대학교.

Lowell, C. A., P. T. Tomlinson and K. E. Koch. 1989. Sucrose-metabolizing enzymes in transport tissues and adjacent sink structures in developing citrus fruit. *Plant Physiol.* 90:1394-1402.



石原正義, 長谷嘉臣, 佐藤公一. 1965. 温州蜜柑の加里 營養に 關する研究. I. 温州蜜柑の生長, 葉分析, 樹體分析及び果實の品質に及ぼす窒素と加里の相互作用. 日園試報. A(4):19-44.

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* spp.) seedlings. J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 65:297-302.

문덕영, 고상욱, 김용호, 김유학. 1993. 감귤원 영양 및 관리실태 조사에 의한 종합기술 전산화에 관한 연구. 제주감귤시험장 pp.759-766.

文德永, 權赫謀, 李運植, 洪淳範. 1980. 葉分析에 의한 濟州道 柑橘園의 營養診斷에 關한 研究. 農試報告. 22(園藝, 農工):63-70.

Moon, D. G., H. C. Lim, J. H. Joa, S. K. Han, H. N. Hyun and F. Mizutani. 2004. Leaf and soil chemical properties in citrus orchards occurring leaf spots disorders. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 45(2):88-92.

Moran, R and D. Porath. 1980. Chlorophyll determination in intact tissues using *N,N*-dimethylformamide. Plant Physiol. 65:478-479.

中間和光. 1991. 溫帶露地柑橘の施肥法と周邊技術の改善(3). 農及園. 66(3)409-412.

新居直祐. 1998. 果實の成長と發育. 朝倉書店. 日本 東京. 132 pp.

NIAST(National Institute of Agricultural Science and Technology). Korea.  
2000. Methods of soil and plant analysis. RDA. Suwon. pp.202.

노일래. 2002. 온주밀감의 수분 스트레스 시기 및 방법이 과실품질에 미치는 영향. 석사학위 논문. 경상대학교.

농촌진흥청. 2001. 과원토양관리 pp.45-48.

오상호. 동위원소 질량분석기에 의한 식물체중  $^{15}\text{N}$  측정법 확립 및 온주밀감의 요소 엽면 흡수량 측정. 석사학위 논문. 제주대학교.

박원표. 2003. 질소 결핍이 부지화 [(*C. unshiu* Marc.×*C. sinensis* Osb.)×*C. reticulata* Bla.] 의 생육과 양분흡수에 미치는 영향. 석사학위 논문. 제주대학교.



박향미, 강항원, 강위금, 박경배, 이상선, 송승달. 1999b. Arbuscular mycorrhiza의 접종방법 및 인산 시용량이 고추(*Capsicum annum* L.)의 초기 생장에 미치는 영향. 한토비지. 32(1):68-75.

박향미, 남민희, 강항원, 이재생, 고지연, 강위금, 박경배. 1999a. 영남지역 시설재배지에 분포하는 Arbuscular 균근균의 포자밀도 및 기내조건에서의 포자발아와 균사생장 특성. 한토비지. 32(2):203-209.

朴薰, 柳順昊, 洪順範. 1975. 濟州道 柑橘園 土壤의 特性과 管理. 韓土肥誌. Vol 8(3):135-152.

- 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. Bri. Mycol. Soc.* 55:158-160.
- Reese, R. L. and R. C. J. Koo. 1975. Effect of N and K fertilization on internal and external fruit quality of three major florida orange cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 100(4):425-428.
- Reitz, H. J. and R. C. J. Koo. 1959. Effect of nitrogen and potassium fertilization on yield, fruit quality, and leaf analysis of 'Valencia' orange. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 75:244-252.
- Reuther, W., F. Gardner, P. F. Smith and W. R. Roy. 1949. Phosphate fertilizer trials with oranges in Florida. I. Effects on yield, growth and leaf and soil composition. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 53:71-84.
- Reuther, W., T. W. Embleton and W. W. Jones. 1958. Mineral nutrition of tree crops. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 9:175-206.
- Robinson, J. B. D. 1980. Soil and tissue analysis in predicting nutrient needs. In "Mineral nutrition of fruit trees " pp.355-364.
- 柳寅秀, 柳順昊, 尹禎熙. 1976. 濟州道 田土壤의 肥沃度 現況. 韓土肥誌. 8(3):121-132.
- 柳寅秀, 尹禎熙, 金仁卓. 1978. 火山灰土에서의 磷酸의 施肥量과 施肥法 및 硅

- 灰石의 效果. 韓土肥誌. 11(1):25-30.
- 坂本辰馬, 圓本忠志, 奥地進, 奥地進, 般上和喜. 1964. 温州ミカン葉中の無機成分の組成ならび土壤リン酸に及ぼす10年間のリン酸肥料の影響. 園學雜. 33(3):204-212.
- 坂本辰馬, 奥地進, 三好實成. 1969. リン酸肥料に對する温州ミカンの反應. 園學雜. 38(3):230-238.
- Sato, K., M. Ishihara. and A. Kurihara. 1952. Seasonal absorption of nutrient-elements of citrus and Pear trees. Na Ms. Agr. Sci Bul. 6:161-198.
- Sato, Y., E. Nagatomo and H. Hatano. 1987. The effects of nitrogen, phosphorus and potash on growth, yields and fruit qualities of satsuma mandarin. Bull. Miyazaki Agr. Exp. Sta. 21:49-61.
- Schaffer, A. A., O. Sagee, E. E. Goldschmidt and R. Goren. 1987. Invertase and sucrose synthase activity, carbohydrate status and endogenous IAA levels during citrus leaf development. Physiol. Plant. 69:151-155.
- Sekiya, K. and K. Aoba. 1975. Studies on the minor metal elements in orchards. I. Investigation on the soil conditions and minor metal elements in relation to the abnormal defoliation of satsuma mandarin orchards and the internal bark necrosis of apple orchards. Bull. Fruit Tree Res. Sta. A. 2:77-98.

申喆雨, 金鼎濟, 尹禎熙. 1988. 耕作地 田土壤의 磷酸特性에 關한 研究. III. 磷酸 吸收力이 相異한 田土壤에서 大豆에 關한 施用磷酸의 肥效. 韓土肥誌. Vol. 21(3):272-279.

慎鏞華, 李炯兌, 金明華, 蔡庠錫. 1964. 제주도 개략토양조사보고. 농사시험연구보고 (7)1:49.

慎鏞華, 金滢玉. 1975. 火山灰土의 特性에 關하여. 韓土肥誌. 8(3):113-120.

Shrestha, Y. H., T. Ishii, I. Matsumoto and K. Kadoya. 1996. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on satsuma mandarin tree growth and water stress tolerance and on fruit development and quality. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 64(4):801-807.



Shrestha, Y. H., T. Ishii and K. Kadoya. 1995. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, photosynthesis, transpiration and the distribution of photosynthates do bearing satsuma mandarin trees. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 64(3):517-525.

Sibley, J. L., D. J. Eakes, C. H. Gilliam, G. J. Keever, W. A. Dozier and D. G. Himelrick. 1996. Foliar SPAD-502 Meter Values, Nitrogen Levels, and Extractable Chlorophyll for Red Maple Selections. Hort. Sci. 31(3):468-470.

Smith, P. F., G. K. Scudder and G. Hrniciar. 1968. A comparison of nitrogen sources, rates, and placement on the performance of Pineapple

- orange trees. Proc. Fla. State Hort. Soc. 81:25-29.
- Smith, P. F., G. K. Scudder, Jr., and G. Hrnciar. 1963. Twenty years of differential phosphate application on pineapple orange. Proc. Fla. State Hort. Soc. 76:7-12.
- Smith, P. F., W. Reuther and A. W. Spocht. 1948. Seasonal changes in Valencia Orange trees. II. Changes in micro-elements, sodium and carbohydrates in leaves. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 59:31-35.
- Smith, P. F., W. Reuther and A. W. Spocht. 1950. Mineral composition of chlorotic orange leaves and some observations on the relation of sample preparation techniques to the interpretation of results. Plant physiol. 25:496-506.
- Smith, S. E. and D. J. Read. 1997. Mycorrhizal Symbiosis(2nd ed). Academic press, Berkeley, CA, USA.
- Smith, P. F. 1966. Citrus nutrition. Chap. 7 In: N. F. Childers (ed.). Nutrition of fruit crops. Horticultural Publication, Rutgers-The State University, New Brunswick, NJ.
- 손보균. 1991. 시설원에 작물의 균근 감염과 초기 생장 반응에 미치는 토착 VA균근균에 관한 연구. 박사학위 논문. 전남대학교.
- 손보균, 양원모, 김광식. 1992. 시설원에 작물에서 VA 균근균에 관한연구 III.

- 토착 VA균 근균 접종 효과. 한토비지. 25(1):99-107.
- 손보균, 허상만, 김길용. 1994. 딸기 묘 초기 생육에 미치는 VA균근균의 접종 효과. 한토비지. 27(1):54-63.
- 손보균, 김홍립, 김영주. 2003. 조미채소 재배지의 토양 화학성에 따른 균근균 분포특성에 관한 연구. 한토비지. 36(3):145-153.
- 송성준. 1992.  $^{32}\text{P}$  Bioassay에 의한 감귤나무의 인산 영양 진단법 개발. 박사 학위 논문. 제주대학교.
- 宋寬哲. 1982. 濟州道 土壤의 化學的 特性 調査 研究. 碩士學位論文. 서울大學校.
- 송창훈. 1995. 시설 재배 온주밀감의 생육특성과 토양수분 조절이 과실품질에 미치는 영향. 박사학위 논문. 제주대학교.
- Tachibana, S. and S. Yahata. 1996. Optimizing nitrogen fertilizer application for a high density planting of satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 65:471-477.
- 鈴木鐵男, 新川善和, 竹下耕一, 岡本. 1977. 靜大農研報. 27:33-38.
- 鈴木鐵男. 1979. 果樹의 無機營養と 果實品質ならびに 施肥めぐる 二三の問題点. 農及園. 54(5):637-642.
- Tachibana, S. and S. Yahata. 1998. Effect of organic matter and nitrogen

fertilizer application on fruit quality of satsuma mandarin in a high density planting. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67(5):671-676.

Takatsuji, T., K. Inutsuka and T. Ushiroda. 1987. The influence of different soil management methods on the nutrition and yield of satsuma mandarin. Kyushu Nogyo Kenkyu. 49:109.

高橋英一, 吉野 實, 前田正男. 1980. 作物の要素缺乏過剩症. 農山漁村文化協會. pp.98-130.

嚴基泰, 朱永熙, 李景洙, 愼鏞華. 1977. 濟州道 綜合改良을 爲한 土壤特性的 研究. 農試研報. 19:1-18.

유장걸, 한해룡, 문덕영, 김창명, 임한철, 문두경, 송성준. 1994. K(<sup>86</sup>Rb)-bioassay를 이용한 감귤나무의 가리영양진단 개발. 한국농화학회지 37(3):182-188.

柳順昊, 宋寬哲. 1984a. 濟州道 土壤의 化學的 特性 調査 研究. I. 地代別 化學的 特性 變化. 韓土肥誌. 17(1):1-6.

柳順昊, 宋寬哲. 1984b. 濟州道 土壤의 化學的 特性 調査 研究. II. 耕作年代에 따른 柑橘園 土壤의 化學的 特性 變化. J. Koean Soc. Soil Sci. Fert. 17(2):161-166.

柳順昊, 宋寬哲. 1984c. 濟州道 土壤의 化學的 特性 調査 研究. III. 柑橘園 土壤에서의 알루미늄 特性. 韓土肥誌. Vol 17(2):167-172.



Wakayama Ken. 1966. 果樹榮養眞檀事業成績書(41柑橘課 資料).

Wall, M. E. 1939. The role of potassium in plants. I. Effect of varying amount of potassium on nitrogenous, carbohydrate and mineral metabolism in the tomato plants. *Soil Sci.* 47:143-146.

Ward, G. W. 1960. Potassium in plants metabolism. III. Some carbohydrate changes in the wheat seeding associated with varying rates of supply. *Can. J. Plant Sci.* 40:729-735.

Whetten, R. and A. J. Andeson. 1992. Theoretical considerations on the commercial utilization of mycorrhizal fungi. In D. K. Arora, R. P. Elander and K. G. Mukerji(ed.) *Handbook of Applied Mycology*. Vol. 4. Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA. pp.849-879.

Wutscher, H. K. and P. F. Smith. 1993. Citrus. Chap. 17. In; W. F. Bennett(ed). *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. APS Press, American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Young, T. W. and R. C. J. Koo. 1967. Effect of nitrogen and potassium fertilization on Persian limes on lakeland fine sand. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 80:337-342.

長谷嘉臣, 石原正義. 1972. 温州蜜柑の加里營養に關する研究. II. 加里 施用量ならび結實量が 樹の生育, 樹体成分, 果實の品質に及ぼす影響. *日園試報*. A(11):77-102.

## 감사의 글

농업연구에 발을 디딘지도 어느덧 10여년이 지났지만, 시간이 지날수록 점점 어렵다는 생각이 듭니다. 그동안 미처 알지 못했던 많은 부분에 대해 다시 한번 생각할 수 있는 기회를 주신 분들께 지면을 통해 감사의 말씀을 전합니다.

부족한 저에게 논문이 완성되기까지 다그쳐주시고, 성심성의껏 지도하여 주신 유장걸 교수님께 먼저 깊은 감사의 인사를 올립니다. 그리고 바쁘신 가운데 논문 심사를 마다하지 않으셨던 김용웅 교수님, 이효연 교수님과 처음부터 끝까지 세심하게 검토해주신 송성준 박사님과 김창명 과장님께 진심으로 감사드립니다. 또한 학부과정부터 학문적으로나 인간적으로 많은 도움을 주신 현해남 교수님과 고정삼 교수님, 김찬식 교수님께도 감사드립니다.

농촌진흥청에 들어와서 처음으로 토양과 비료에 인연을 맺게 해주시고 어려운 상황속에서도 시험사업이 지속될 수 있도록 해주신 임한철 과장님, 문덕영 장장님, 정순경 장장님, 그리고 논문 완성에 박차를 가해주신 강상조 소장님께도 감사의 말씀을 올립니다.

지금은 멀리 계시지만 시험포장을 만드느라 고생하시고 처음으로 토양 시료 채취하는 방법을 가르쳐주신 원예연구소 권현중 박사님, 진흥청 문두경 박사님, 그리고 언제나 웃으면서 열심히 도와주셨던 영남농업연구소 이종희 연구사님께도 감사드립니다. 또한 시험사업에 남달리 깊은 관심과 격려를 아끼지 않으셨던 권혁모 과장님, 김광식 연구관님, 김용호 박사님, 항상 합리적인 사고로 따뜻이 대해주시는 김동환 박사님, 가까이 있으면서 어려울 때 항상 묵묵히 도움을 주셨던 현재욱 박사님, 시간과 정신적으로 많은 배려를 해주신 전승종 연구관님, 술 마시면 의구심 가득

한 질문과 도움이 필요할 때 기꺼이 시간을 할애해 주시는 문경환 연구사님, 좌재호 연구사님께도 감사드립니다.

아침 일찍부터 항상 수고를 아끼지 않으시는 현승욱 선생님, 말없이 언제나 실험과 작은일까지 챙겨주는 김경미님과 강진영군에게도 감사드립니다. 이외에도 많은 관심과 도움을 주신 난지농업연구소 직원들에게도 감사드립니다.

시간에 쫓기면서도 본 논문이 마무리되기까지 열성적으로 도와주신 제주대학교 강태우 후배님께도 감사드립니다.

누구보다도 기뻐하시고 논문이 완성되기를 소원하신 아버님과 손자 돌보는데 정성을 아끼지 않으시는 어머니, 언제나 친족의 일에 앞장서시며 따뜻한 관심을 가져주신 한재룡 할아버님, 가슴 속 깊이 사위 잘되기만을 말없이 지켜봐 주신 장인, 장모님, 처남 내외분께 감사드립니다.

끝으로 여러 가지 어려운 여건 속에서도 많은 시간을 배려해준 사랑하는 아내와 집에 들어서면 제일 먼저 반기이 웃으면서 맞아주는 아들 창윤과 나날이 예뻐지는 딸 경의에게 미안함과 감사의 마음을 전합니다.

끝이 아니라 시작이라 생각합니다. 앞으로 더 나아가기 위해 좀 더 노력하고 많이 힘들어하는 농민들을 위해 조그마한 힘이 될 것을 다시 한번 다짐해봅니다.